

Netztechnik

Entwicklungskriterien Netzarchitektur

Bereich

- so allgemein wie möglich vs. Anwendungsspezifisch

Skalierbarkeit

- kein Unterschied zwischen klein oder groß → evtl. Nachteile

Robustheit

- Ausfälle tolerieren, unvollständige oder fehlerhafte Übertragung erkennen

Selbstkonfigurierbarkeit

- eigenständig, von selbst funktionieren

Fähigkeit zur Feinabstimmung

- konfigurierbare Parameter

Determinismus

- identische Bedingung führen zu identische Ergebnisse

Migration

- Netzwerkentwürfe können z.B. nicht mehr zweckmäßig sein → Stück für Stück Migration

Adressierungsarten innerhalb eines Netzwerkes

Unicast

- Sendung von einem Sender an **einen** Empfänger → 1:1

Broadcast

- Sendung von einem Sender an **alle** möglichen Empfänger → 1:n

Multicast

- Sendung an eine (z.B. auch leere) **Empfängergruppe** → 1:x

Anycast

- Sendung an einen **unbestimmten Empfänger** aus einer **Gruppe**
- In der Praxis ist der Empfänger eine Server einer Gruppe von gleichen Servern
 - Lastenverteilung, auch unter Sicherheitsaspekten
 - Geringe Zugriffszeiten
 - z.B. Content Delivery Network (CDN) alt. Content Distribution Network

Verbindungsarten und Kanäle

Verbindungsorientierte Kommunikation (Connection-oriented)

- Drei Phasen: Verbindungsaufbau, Datenübertragung und Verbindungsabbau
- Leitungsvermittelnden Netzen (z.B. ISDN)
- Paketvermittelnden Netzen (z.B. TCP über IP)

Verbindungslose Kommunikation (Connectionless)

- Kein Aufbau einer physikalischen oder logischen Verbindung
- Nachrichten direkt ohne Verbindungsaufbau an dem Empfänger gesendet
- Paketvermittelnden Netzen (z.B. UDP)

Symmetrische vs. asymmetrische Kommunikation

Symmetrisch

- Der Datenaustausch der Kommunikationsteilnehmer ist gleich oder gleichberechtigt
- Gleiche Transportcharakteristik in der Hin- und Rückrichtung
z.B. klassisches Telefonnetz oder Vernetzung von Standorten

Asymmetrisch

- Ungleiches Datenaufkommen zwischen Kommunikationsteilnehmern
 - Client-Server-Architekturen
Anfrage kleine Datenmenge – Antwort große Datenmenge
 - A-DSL (Asynchronous Digital Subscriber Line)

Mediennutzung

Dedizierte / permanent exklusive Nutzung

- Standleitung
- Richtfunkstrecke
- „Dark Fiber“

Gemeinsame (shared) Nutzung

- Multiplexverfahren
- Vielfachzugriffsprotokoll
- Einzelner Kommunikationskanal wird von allen angeschlossenen Knoten gemeinsam genutzt
- Nachricht ist für alle Knoten sichtbar, nur adressierte Knoten nehmen Nachrichten vom Netz
→ Anwendung : LAN, WLAN, Satellitenverbindungen

Vermittlungsarten - Leitung

Leitungsvermittlung

- Schaltung eines Pfad über mehrere Knoten für die Datenübertragung
- Alle Teilstrecken weisen identische Eigenschaften wie z.B. gleiche Bandbreite auf
- Pfad während der Übertragung unveränderlich

Pfadarten

- Permanent Virtual Circuit (PVC) – fest eingerichteter Pfad
- Switched Virtual Circuit (SVC) – dynamisch auf- und abgebauter Pfad
- Allgemein → virtual circuit (VC) – virtueller Pfad

Vermittlungsarten – Nachricht und Paket

Nachrichtenvermittlung

- Übertragung einer vollständigen Nachricht über Knoten
- Weiterleitung am Knoten nach korrektem Empfang (store-and-forward)
- Unterschiedliche Pfade möglich → Reihenfolge bleibt nicht erhalten

Paketvermittlung

- Zerlegung der Nachricht in kleinere Pakete
- Pakete werden unabhängig im store-and-forward-Prinzip übertragen
- Pakete können auf unterschiedlichen Pfaden übermittelt werden → Reihenfolge bleibt nicht erhalten
- Folge Rekonstruktion der Nachricht aus den Pakete beim Empfänger

Zeitbezogene Eigenschaften bei der Übertragung

Zeitbezogene Eigenschaften:

- Delay / Latency (Verzögerung) → Zeit bis Paket ankommt
- Jitter (Varianz der Verzögerung) → Abweichung von der mittleren Verzögerung
- Round-Trip-Time (Rundlaufzeit) → Laufzeit eines hin- und nach Bearbeitung rücklaufenden Pakets

Volumenbezogene Eigenschaften:

- Bandbreite (Übertragungsrate) → Übertragungsvolumen pro Zeiteinheit
- Verlustrate → Volumenprozent verlorener Information
z.B. Packet Loss Rate (PLR)
- Fehlerrate → Verhältnis falsch übertragener zu korrekt übertragener Information
z.B. Bit Error Rate (BER)

Übertragungsformen

Asynchrone Übertragung

- keine zeitliche Restriktionen bei der Kommunikation → diskrete Medien z.B. email, File-Transfer

Synchrone Übertragung

- maximale Ende-zu-Ende-Verzögerung
- Grenze wird nicht überschritten, früher Ankunft aber möglich

Isochrone Übertragung

- minimale und maximale Ende-zu-Ende-Verzögerung definiert → Jitter wird begrenzt

Kontinuierlicher Datenströme Periode, Gleichmäßigkeit und Reihenfolge

Periode

- **Streng periodische** Datenströme → **Abstand** zwischen zwei Paketen ist **konstant**
- **Schwach periodische** Datenströme → **Abstand** zwischen den Paketen ist **variabel**, übergeordnet ein **konstanter** Abstand zwischen Paketgruppen
- **Aperiodische** Datenströme → keine Regelmäßigkeit

Gleichmäßigkeit

- **Streng gleichmäßige** Datenströme → alle Pakete sind **gleich groß**
- **Schwach gleichmäßige** Datenströme → Paketgröße **variiert periodisch**
- **Ungleichmäßige** Datenströme → Paketgröße variiert ungleichmäßig

Reihenfolge

- **Zusammenhängend** → Pakete lückenlos aufeinanderfolgend
- **Unzusammenhängend** → **Reihenfolge** wird **nicht** unbedingt **eingehalten** und zwischen den Paketen kann es **Lücken** geben

Paketierung

PDU – Protocol Data Unit

- Paket im Sinne eines Protokolls, z.B. UDP-Paket

LDU – Logical Data Unit

- Logische Paketierung
- abhängig vom Medium z.B. Track (CD), Sektor mit 1/75s Audio (CD), Frame (Videobild)
- hierarchische LDU-Struktur →



Datenströme

Übertragung multimedialer Daten

- Quelle sendet Paket → Senke empfängt Pakete

Datenfluss

- Sequenz einzelner Pakete in zeitlicher Abfolge
 - *zeitliche Komponente*
 - *Lebensdauer*

Datenstrom

- kontinuierliche Medien (Video)
- diskrete Medien (Text)

Übertragungseigenschaften

Benötigte Bandbreite (Übertragungsrate)

- Text → niedrig
- Audio → mittel
- Video → hoch

Akzeptable Verzögerung (Delay), Varianz der Laufzeit (Jitter)

- Audio → niedrig
- Video → mittel
- Text → hoch

Akzeptable Verlustrate (Fehlerrate)

- Text → niedrig
- Audio → mittel, komprimiert
- Video → hoch, nicht Komprimiert

Generisches LAN

Eigenschaften

- Mehrere Systeme (Knoten) verbunden über ein gemeinsames Medium
- „geringe“ Verzögerung
- „geringe“ Fehlerrate
- Fähigkeit eine Nachricht an mehrere oder alle Systeme zuschicken
- begrenzte Geografie
- begrenzte Anzahl von Systemen
- gleichrangige Beziehungen zwischen den angeschlossenen Systemen → Gegensatz Leit- und Folgesystem (aka Master-Slave)
- „privates“ Netzwerk → Gegensatz Provider Netzwerke

Adressierung

Vermittelnde Netze (Switching Systems)

- Individuelle Adressen (Unicast-Adressen)
- Gruppenadressen (Multicast-Adressen)
- Rundsendeadressen (Broadcast-Adressen)

Adressarten:

- Lokale Adressen → nur gültig innerhalb eines Teilnetzes
- Globale Adressen → Netz weit eindeutig
- Logische Adressen → dem Endkunden freivergeben (z.B. IP-Adressen)
- Physische Adressen → vom Hersteller zugeordnet (z.B. Ethernet-Adresse)

Aspekte

Protokoll

- Notwendig für die Kommunikation zwischen Systemen
- Konventionen → Wie ist der Ablauf der Kommunikation
- Datenstrukturen → Wie werden die Informationen interpretiert

Offene Systeme

- Standards für die Interaktion zwischen heterogenen Systemen

Reduzierung der Komplexität

- durch Unterteilung des Netzes in aufeinander aufbauende Schichten
- Jede Schicht beinhaltet mindestens ein Protokoll

Beispiele:

- ISO/OSI-Protokollsuite
- TCP/IP-Protokollsuite

Open Systems Interconnection Model (OSI 7 Schicht Modell)

Layer 7: Application

Layer 6: Presentation

Layer 5: Session

Layer 4: Transport

Layer 3: Network

Layer 2: Data Link

Layer 1: Physical

OSI Physical Layer (1) / OSI Data Link Layer (2)

Layer 1 – Physical (Physikalisch / Bitübertragung) → **Einheit Bit**

- Übertragung von (Informationsbits)
- Definiert Steckverbindungen (Größe, Form, Belegung)
- Umwandlung von Bits in elektrische Signale
- Synchronisation auf Bit-Ebene
- Ein Netzwerk-Knoten kann mehrere verschiedene physikalische Schichten benutzen.

Layer 2 – Data Link (Datenverbindung / Sicherung) → **Einheit Frame**

- Überträgt Datenpakete
- Prüfung vom Problemen → Datenverstümmung oder Kollisionen
- Koordination des gemeinsamen Medium (Kollisionsdomäne)
- Adressierung der durch das gemeinsame Medium erreichbaren Netzwerk-Knoten

OSI Network Layer (3)

Layer 3 – Network (Netzwerk / Vermittlung) → Einheit Paket

- Ermöglicht die Kommunikation von beliebigen Systemen
- Es werden Pfade von einem System über das Netzwerk
(also die miteinander verbundenen Knoten) zu einem System „gesucht“
- Weitergabe von Datenpaketen, die nicht für das eigene System bestimmt sind
- Fragmentierung und Defragmentieren von Paketen
- Stau-Steuerung

OSI Transport Layer (4)

Layer 4 – Transport (Transport) → Einheit Segment / Datagramm

- Richtet einen verlässlichen Kommunikationsstrom ein zwischen den Systemen die über das Netzwerk kommunizieren
- Fehlerkorrektur
- Paketverlust
 - Reihenfolge der Pakete Die Transportschicht richtet einen verlässlichen
 - Fragmentierung und Defragmentierung von Informationsströmen
 - Optional kann auch hier Datenstaus entgegen gewirkt werden.

OSI Session Layer (5) / OSI Presentation Layer (6)

Layer 5 – Session (Sitzung) → Einheit Daten

- Dienste wie
 - Dialogsteuerung
 - Verkettung von Paketen
 - Kombination der Auslieferung von Paketen
- Anmerk. Im Bereich Internetprotokolle keine Relevanz

Layer 6 – Presentation (Darstellung) → Einheit Daten

- Datendarstellung
 - Datenstrukturen
 - Fließkommazahlen
 - Bit Byte Reihenfolgen (Stichwort „Little Endian“)
 - Abstract Syntax Notation one (ASN.1)

OSI Application Layer (7)

Layer 7 – Application (Anwendung) → Einheit Daten

- Die „Anwendungen“
 - Webbrowsing
 - Internet-Telefonieren
 - Virtueller Arbeitsplatz
 - Videokonferenz
- eigentlich die Protokolle
 - *Hypertext Transport Protocol (HTTP)*
 - *Session Initiation Protocol (SIP)*
 - *Remote Desktop Protocol (RDP)*
 - *Realtime Transport Protocol (RTP)*
- Alles was der Anwender will (bekommt)

Bezeichnungen für Netzwerke

Personal Area Network (PAN) / Wireless Personal Area Network (WPAN)

- Reichweite einige Meter
- Leitung: Firewire, Thunderbold, USB / Schnurlos: Bluetooth, IrDa

Local Area Network (LAN) / Wireless Local Area Network (WLAN)

- Reichweite mehrere 100 m
- Leitung: 1000BaseT/Glasfaserleitung / Funk: Wifi, WiMax

Metropolitan Area Network (MAN)

- Reichweite mehrere Kilometer
- Fließender Übergang zu WAN

Wide Area Network (WAN)

- Reichweite „unbegrenzt“
- Standleitung (Glasfaser/Kupfer) - Funkstrecke auch über Satelliten - POTS/ISDN

Beispiel LAN (Ethernet)

Aktive Netzkomponenten:

- **Repeater (Layer 1)**
 - kompensieren die Dämpfung und die Abschwächung höherer Frequenzen
 - verstärken und regenerieren (reclock) das Signal
- **Bridge (Layer 2)** verbindet zwei LAN-Segmente und leitet nur Pakete für das Nachbarsegment weiter
- **Hubs und Switches (Layer 2)** sind Knotenpunkte, die Netzwerksegmente elektrisch oder logisch zusammenfassen
- **Router (Layer 3)** verbinden mehrere LAN-Segmente, enthalten Weglenkungstabellen und vermeiden geschlossene Wege
- **Gateways (Layer 7)** konvertieren Protokolle, Adressen und Formate zwischen unterschiedlichen Datennetzen

Layer 1

Was erledigt der Layer 1

Transport von Bits über Medien

- Sequentialisierung von Bits
- Codierung von Bits in Signale
- Analoge/Digitale Übertragung

Normierung:

- Physikalisch → elektronische, elektromagnetisch, optische, ...
- Mechanisch → z.B. Anschluss- (Stecker-) Form
- Funktional → Stecker-Belegung, Takt, ...
- Prozedural → Ablauf, Startbedingung, ...
- Spezifiziert die Dienstqualität bei der Übertragung → Error Rate, Transit Delay, Service Availability, Transmission Rate

Eigenschaften von Übertragungsmedien

Übertragungseigenschaften

- Erreichbare maximale Übertragungsrate
- Überbrückbare Entfernungen
- Medium spezifische Charakteristika
- Medium spezifische Störeinflüsse

Betriebliche Aspekte

- Installationseigenschaften der Medien
- Verkabelungsstruktur
- Brandschutzeigenschaften
- Kosten
- Angebot an Netzkomponenten, die diese Medien unterstützen
- Zukunftsperspektiven

Grundbegriffe

Topologien

- Bus, Stern, Ring (, mesh, full-mesh)

Betriebsarten:

- simplex: Informationen werden **nur in eine Richtung** transportiert
- half-duplex: Informationen werden **in beide Richtungen** über einen Weg transportiert → **keine gleichzeitig** Übertragung
- full-duplex: Die **Hin- und Rückrichtung** besitzen jeweils einen getrennten Weg → **gleichzeitig** Übertragung möglich

Übertragungsarten:

- seriell, parallel

Übertragungsverfahren:

- Basisbandverfahren (Bits unmittelbar auf Leitung z.B. Ethernet)
- Trägerbandfrequenz (Bits auf Trägerfrequenz z.B. Modem)

Firewire

„Home networking“ → Kamera, Drucker, Festplatte

- IEEE 1394 400 MBit/s → bis 4,5 m
Steckerverbindung 6 polig inklusive Stromversorgung, 4 polig ohne Stromversorgung
- IEEE 1394b 1,6 GBit/s → bis 100 m
Steckerverbindung 9 polig
- IEEE 1394c 3,2 GBit/s → bis 500 m über Glasfasermedium

Paketprotokoll:

- Peer-to-Peer Szenarium
- 63 Knoten pro Segment

Bluetooth

Funkbasierend (IEEE 802.15.1)

- Geringere Reichweite als WLAN
- Frequenz: Lizenzfreies ISM Band 2,4 Ghz
- Sendeleistung: 1 mW; 2,5 mW; 100 mW

Bandbreite V1

- Synchron bis zu 3x64 kBit/s
- Asynchron bis 732,2 kBit/s + 57,6 kBit/s max 866,9 kKit/s

Bandbreite V2 (EDR = Enhanced Data Rate)

- ca. dreifache Bandbreite → bis 2,2 Mbit/s

Universal Serial Bus (USB)

USB Serielles Bussystem für Drucker, Speichermedien, Netzwerkkarten, ...

- USB 1.0 Low-Speed mit 1,5 MBit/s, Full-Speed mit 12 MBit/s
- USB 2.0 High-Speed mit 480 MBit/s
- USB 3.0 Gen 1 mit 5 GBit/s
- USB 3.1 Gen 2 mit 10 GBit/s
- USB 3.2 Gen 2x2 mit 20 GBit/s
- USB4 Gen 3x2 mit 40 GBit/s (integriert in Thunderbolt 4)

Protokoll

- Layer 1 Topologie Direktverbindung → eigentlich Master-Slave (Layer 2)

Physikalisch

- verdrehte Adernpaare (twisted), Abschirmung aus Kupfer, verzinkt
- Vielzahl unterschiedlicher Steckertypen
- Differenzspannung zur Bit-Übertragung

Vergleich USB, Firewire, Ethernet und eSata

Schnittstelle /Anschluss	USB 2.0	USB 3.0	FireWire 400	FireWire 800	Gigabit Ethernet	eSATA
Transferrate (theoretisch)	bis 60 MByte/s	bis 600 MByte/s	bis 50 MByte/s	bis 100 MByte/s	bis 125 MByte/s	bis 750 MByte/s
Geräteanzahl	127	127	63	63	1	1
Kabellänge pro Gerät	5 m	3 m	4,5 m	4,5 m	100 m	1 m
Erschienen	2000	2008	1995	2002	1999	2005

infrared data association (IrDA)

IrDA ist ein Netzkonzept für die drahtlose, auf Infrarotlicht basierende Punkt-zu-Punkt-Übertragung

- bidirektionale, serielle Übertragung
 - Reichweite 1 m (Standard), 0,2 m (Low-Power)
 - Winkel: 30°
 - Wellenlänge: 850 – 900 nm
-
- Serial Infrared (SIR) mit 115 kBit/s
 - Fast Infrared (FIR) mit 4 MBit/s
 - Very Fast IR (VFIR) mit 16 MBit/s
 - Ultra Fast Infrared (UFIR) mit 96 MBit/s
 - Giga-Infrared (Giga-IR) 1 GBit/s

Verbindungs- (Verkabelungs-) Topologie

Point-to-Point

- direkte Verbindung zwischen zwei Knoten → 1:1
- Endknoten und Vermittlungsknoten z.B. WAN (mesh)

Strukturvarianten der Verkabelung

- Bustopologie: Verzweigungsfreies Kabelsegment
- Ringtopologie: Gerichtete & geschlossene Folge von Punkt zu Punkt
- Sterntopologie: Leitungen zu einem zentralen Punkt

Sternkoppler

- Separate Hin- und Rückleitung pro Station
- "Rundsprechendes" Element im Sternpunkt

Bus-Segmente:

- Über Koppellemente/Gateways verbundene Bus-Segmente
- Weglenkung in den Koppellementen möglich

Hierarchische Verkabelung

Primärverkabelung – Geländeverkabelung (alt. Campusverkabelung)

- Verkabelung einzelner Gebäude
- Große Entfernungen
- Wenige Stationen
- Optimierte auf hohe Datenübertragung

Sekundärverkabelung – Gebäudeverkabelung

- Verkabelung von Stockwerken

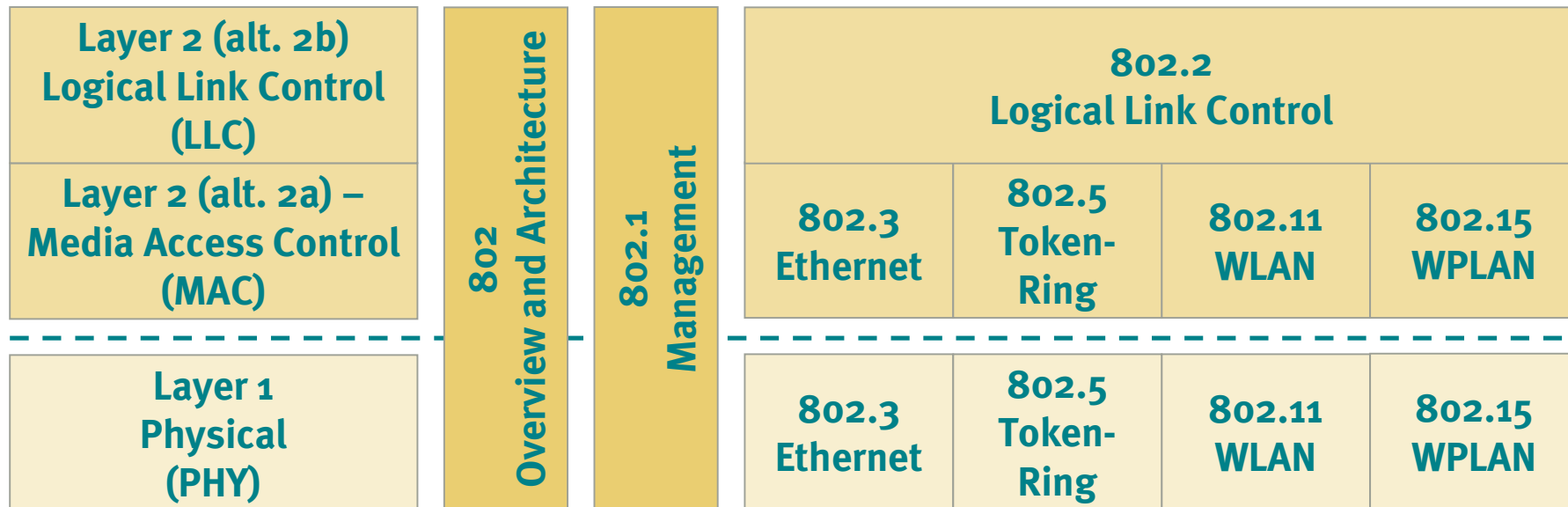
Tertiärverkabelung - Etagenverkabelung

- Stockwerksverteiler bis zur Anschlussdose oder Wireless Access Point

Begriffe:

- Patchfeld (Patchpanel) und Patchkabel
- Verteilerschränke

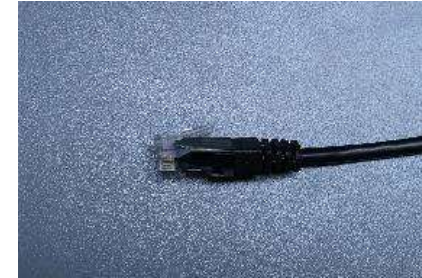
IEEE Normen (Auszug, unvollständig)



Layer 1 - Medien

Kupferleitung

- „Twisted Pair“
- Koaxialtechnologie



Lichtwellenleiter (LWL)

- Glas
- Kunststoff



Funk

- Richtfunk
- Ungerichtet

Infrarot

Kupferleitung

Leitungsaufbau:

**UTP Leitung (bis Cat 6)
(unshielded twisted pair)**

- Billiger, störungsempfindlicher, meist ausreichend

**STP Leitung (ab Cat 6a)
(shielded twisted pair)**

in verschiedenen Varianten:

- Screened: Koaxial Schirm
- Foiled: Metallfolienschild
- Kombiniert

Kategorien:

Cat 1: Plain Old Telephone Service

Cat 2: ISDN

Cat 3: bis 10 Mbits/s

Cat 4: bis 20 Mbit/s

Cat 5: bis 100 Mbits/s

Cat 6: bis 1Gbits/s

Cat 7: bis 10 Gbits/s

Cat 8: bis 40 Gbits/s

Glasfaser

Glasfaserkabel / Lichtleiter

- Glas oder Kunststoff als Lichtleiter.
- Kein Übersprechen zu Nachbarfasern.
- Wellenlängenmultiplex
- Meist mehrere Fasern in äußerer Ummantelung:
 - Schutz vor Beschädigung,
 - Absorption durch Mantel,
 - Schutz gegen Streulicht

Übertragung von Lichtimpulsen:

- Laser oder LED-Dioden als Quelle
- Sehr hohe Datenraten möglich

Steckverbindungen:

- Reflexionen an der Trennfläche vermeiden
- Faserenden müssen genauesten passen.

Glasfaser Leitungstypen

Multimode

- Kern 50–125 μm , Hülle 125–500 μm
- Unterschiedliche Pfadlänge für verschiedene Einstrahlwinkel (Modi),
- Bei langen Übertragungsstrecken
→ Pulsverbreiterung
- Pulsverbreiterung bestimmt die möglichen Datenrate.

Monomode

- Kernradius 2–8 μm , Hülle 125 μm
- Laser als kohärente Sender erforderlich
- Photodiode als Empfänger
- gleiche Pfadlänge für alle Strahlen
- Wellenlängen 850, 1300 oder 1500 nm
- Modulation mit bis zu 100 GHz
- Kleinere Pulsverbreiterung
→ kleinere Dämpfung.
- Erbium dotiertes Glas ermöglicht eine Verstärkerwirkung

Bit-Ebene – asynchron vs. synchrone

Asynchrone Übertragung

- Start-Stop-Verfahren
- Die Zeichen werden zu einer beliebigen Zeit gesendet
- Start- und Stop-Bit
- Start-Bit → Takt-Länge

Synchrone Übertragung

- Leitungssignal liefert Takt
- Start/Stop/Sync Zeichen
- Bit-Stuffing, also das einfügen von Füllbits ,sorgt für Gleichlauf

Leitungskodierung: Kriterien und Non-Return-to-Zero

Fragestellung:

- Übertragungsrate → Wieviel Redundanz ist in der Codierung enthalten?
- Selbsttaktung → Liefert der Signalverlauf den Takt?
- Gleichstromfreiheit → Finden regelmäßige Pegelwechsel statt?
- Robustheit → Wie wirken sich Bitfehlern aus?

Non-Return-to-Zero (NRZ)

- Zustand 1 = positive Spannung (z.B. 1 V)
- Zustand 0 = negative Spannung (z.B. -1 V)

NRZ Inverted Mark (Diff. NRZ)

- Zustand 1 = Vorherige Spannung wird invertiert (z.B. 1 V wird zu -1V)
- Zustand 0 = Vorherige Spannung wird beibehalten

Leitungscodierung: Return-to-Zero

Gemeinsamkeit: In der Mitte des Taktes Rückkehr auf kein Pegel (0V)

Return-to-Zero (RZ)

- Zustand 1 = positiver Impuls (z.B. Sprung auf 1V)
- Zustand 0 = negativer Impuls (z.B. Sprung auf -1V)

Variante: Unipolares Verfahren

- Zustand 1 = positiver Impuls (z.B. Sprung auf 1V)
- Zustand 0 = kein Impuls (0V)

Variante: Bipolares Verfahren

- Zustand 1 = Wechsel zwischen positiver und negativen Impuls (1V zu -1V)
- Zustand 0 = kein Impuls (0V)

Taktrückgewinnung mittels Manchester Code

Manchester Code:

- Wieder Übergang in der Mitte der Taktperiode
- Zustand 0 = Startet mit negativen Impuls (-1V), dann positiver Impuls (1V)
- Zustand 1 = Startet mit positiven Impuls (1V), dann negativer Impuls (-1V)
→ Taktrückgewinnung („self clocking“)

Differential Manchester Code:

- Übergang am Anfang bedeutet '0' (kein Phasenwechsel, keine Phasendifferenz),
- Taktung & Übergang in der Mitte der Bitperiode

Auszug: weitere Codierungen

- 2B1Q (2 Binary 1 Quarternary) → Vier Zustand, damit 2Bit abbildbar
- 4B/5B (4Bit/5Bit) → 4 Bit Nutzdaten werden auf 5 Bit abgebildet. Ziel Reduzierung der Null-Zustände (Taktverlust, Leitungsfehler)

Multiplexing

Eine Übertragungsleitung wechselweise für mehrere Kanäle genutzt.

- Multiplex mit separaten Trägerfrequenzen im Frequenzbereich.
- Multiplex mit Zeitschlitten im Zeitbereich.

Meist fest zugeordnete Zeitschlitzze oder Frequenzen.

Multipoint, Multidrop, Multiple Access:

- Adressierung der einzelnen Stationen.
- Zentrale oder dezentrale Zugriffssteuerung.

Wireless LAN

2,4 Ghz (802.11 b/g/n) Industrial, Scientific and Medical (ISM) Band

- auch international verbreitet
- Nebeneffekte mit anderen Funkgeräten wie z.B. DECT Telefone
- 11 Kanäle überlappend (effektiv nur jeweils 3 brauchbar)
- Sendeleistung 100 mW
- Modulation z.B. 802.11 b (DSSS+CCK)
→ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) + Complementary Code Keying (CCK)

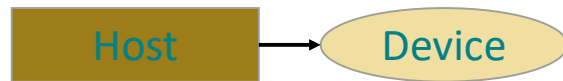
5 Ghz (802.11 n/ac/ax) ISM Band

- Deutschland: Freigabe durch RegTP in 2002, Welt.: teils nicht frei!
- 19 Kanäle, nicht überlappend (alle brauchbar)
- Sendeleistung 5 Ghz 200 mW, (mit 802.11h bis 1000 mW)
- Modulation z.B. 802.11 ac (MU-MIMO+OFDM+BPSK/QPSK/QAM)
→ Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM)

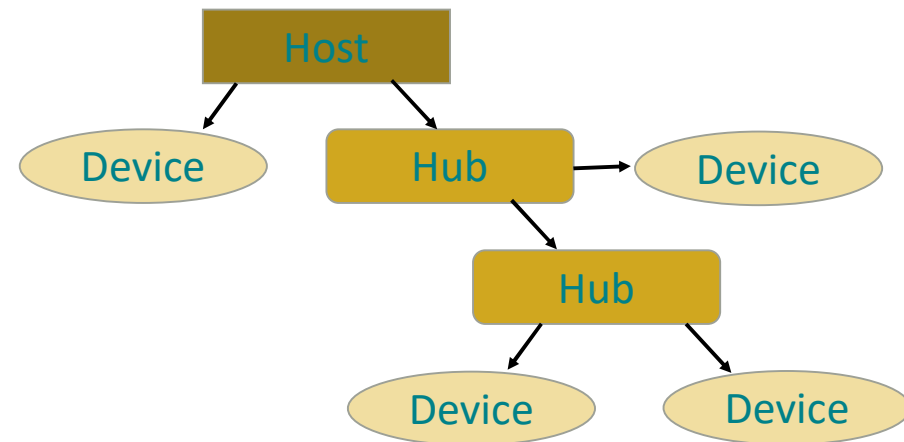
Layer 2

USB Layer 2

Logischer serieller Bus



Physikalische Baumstruktur



Übertragungsmodi

- Uni-Direktional
 - Isochroner – Echtzeit mit fester Bandbreite hohe Priorität
 - Interrupt – Periodischer Transfer
 - Bulk – Große Datenmengen, niedrige Priorität
- Bi-Direktional, bestätigt → Control

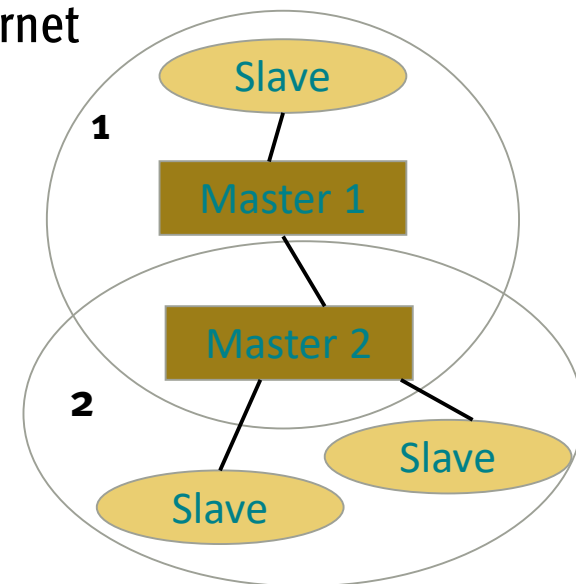
Bluetooth – Adressierung und Sicherheitsaspekte

Adressierung

- Piconet aus max 255 (8 Bit-Adressierung) Teilnehmern
- davon bis zu 8 (3-Bit-Adressierung) gleichzeitig aktiv (1 Master + 7 Slaves)
- Die restlichen 247 sind geparkt -> Synchronisation zum Master wird gehalten
- Teilnahme in mehreren Piconetzen möglich → Scatternet
- Authentifizierung auf Basis einer PIN

Sicherheit

- Modus 1 - Sicherheitsfunktionen werden nur auf Anforderung benutzt.
- Modus 2 - Sicherheitsfunktionen auf Dienstsicht nach Verbindungsaufbau
- Modus 3 - Jede Kommunikation wird von Beginn an auf den Verbindungsschicht verschlüsselt



Übersicht - Dezentrale Zugriffsverfahren

reine Reservierung

Token-Verfahren

**Bitmap-
Reservierung**

**MLMA
DQDB**

reiner Wettstreit

Aloha

„slotted“ Aloha

Wettstreit & Reservierung

**Reservierungs-
Aloha**

**CSMA
CSMA/CD
CSMA/CA**

Token-Ring und -Bus

Token-Ring

- Alle Netzknoten werden miteinander zu einen Ring zusammengeschlossen
- Wann ein Knoten senden darf bestimmt der „Free-token“ bzw. „busy-Token“
- Die Durchlaufzeit bei Token-Ring kann sehr genau bestimmt werden

Token-Bus

- Die Netzknoten werden durch eine Bus oder Baumstruktur verbunden
- Aufbau eines logischen Rings durch Adressvergabe
- Steuerung wieder durch „free-token“ / „busy-token“ / ...

Zugriffsverfahren Aloha

Aloha

- Jede Station darf jeder Zeit senden → nicht synchronisiert
- Der Empfang eines Daten-Block wird über einen separaten Kanal bestätigt
- Empfängt der Sender eine Bestätigung ist → die Übertragung kollisionsfrei erfolgt
- Empfängt der Sender keine Bestätigung → ist eine Kollision aufgetreten.
- Bei einer Kollision warten beide Sendestationen ein von der Länge zufälligen Zeitraum

„slotted Aloha“

- Einteilung über eine Zeitscheibe (slot)
- Jede Station darf zu jeden Slot senden → synchronisiert
- Eine Kollision ist die vollständige Überdeckung mehrere Daten-Blöcke unterschiedlicher Sender

Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (CSMA/CD)

CSMA/CD

- Carrier Sense → Ist das Übertragungsmedium frei?
- Multiple Access → n-Knoten teilen sich das Übertragungsmedium
- Collision Detection → senden zwei Knoten gleichzeitig wird eine Kollision erkannt

Ablauf

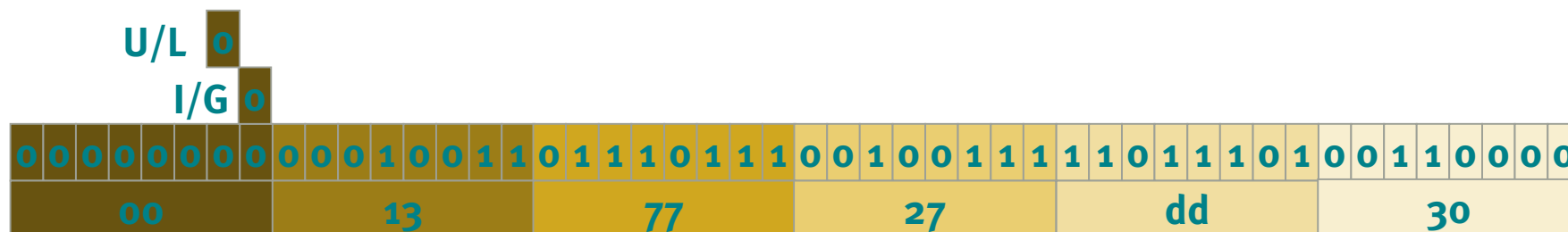
- 1) Horchen
 - Signal, warten
 - keine Signal innerhalb einer Zeit (interframe spacing, IFS), weiter zu 2)
- 2) Übertragung des Frame und gleichzeitig abhören des Mediums
 - stimmt gesendet, keine Kollision
 - stimmt gesendet nicht, Kollision zu 3)
- 3) definiertes Störsignal (Jam) senden und Fehler an die höhere Schicht melden

Gern Verwechselt mit Ethernet! Ist aber nur bei Halbduplex nötig

Adressierung Ethernet

Media-Access Control (MAC) Adresse nach IEEE 802.1 besteht aus 48 Bit

- dadurch 281.474.976.710.656 verschiedene Interfaces adressierbar
- Schreibweise: sechs Oktetts (8 Bit) 00:13:77:27:dd:30 (alt. 00-13-77-27-dd-30)
- Oberen 24 Bit -> Organizationally Unique Identifier (OUI, auch Vendor Code) → 00:13:77
- Unteren 24 Bit -> vom Hersteller vergeben und eindeutig → 27:dd:30
- Broadcast: FF:FF:FF:FF:FF:FF Multicast: 01:00:5e:00:00:00 bis 01:00:5e:7f:ff:ff
- (1. Bit) Identifier I/G → Einzeladresse(I)=0, Gruppenadresse(G)=1 (z.B. Multicast)
- (2. Bit) Identifier U/L → Global eindeutig(U)=0, Lokal verwaltet (L)=1



Fehlerbehandlung

Ursachen von Übertragungsfehlern:

- Absichtlicher Abbruch der Übertragung durch den Sender
- physikalische Störungen im Übertragungskanal, Hard- und Softwarefehler
- außer Tritt geraten der Taktsynchronisierung
- Überlastung des Empfängers ("Overrun")
- Überlastung des Senders ("Underrun")
- Zugriffskollisionen im LAN

Fehlercharakteristiken:

- zufällige oder periodische Fehler → einzeln (**Bitfehler**) oder in Gruppe (**Burstfehler**)

Behandlungsmöglichkeiten

- fehlerkorrigierende Codes
- Byteparität, Langs- und Querparität
- Zyklische Redundanzprüfung (**cyclic redundancy check, CRC**)

Ethernet: Frame Struktur

Länge min. 64 Byte und max. 1518 Bytes

- Präambel: Sieben Mal die Bitmuster 10101011 → Synchronisierung
- start of frame delimiter (SFD) → Bitmuster 10101011 Frame beginnt
- Ziel- und Quelladresse
- Ethernet II → Protokoll Layer 3, andere → Länge des Frames
- Daten und ggf Padding → Frame muss min. 64 Byte haben
- Frame check sequence (FCS) → 4 Byte CRC



Hub (Multiport-Repeater)

Hub (Verteilknoten auf Layer 2)

- Hub kann ein Kollisionssignal erzeugen
- Multiport-Repeater, macht aus physikalischer Sterntopologie einen logischen Bus
- Eingehendes Signal auf einem Port wird an allen anderen Ports verstärkt ausgegeben

Problem: Viele konkurrierende Stationen in einem Ethernet bedeuten

- höhere Wahrscheinlichkeit für Kollisionen
 - mehr „erneutes Senden“ (Retransmit)
 - geringer Durchsatz

Lösung: Bridges

- Das gesamte Netz wird in Segmente zerteilen → mehrere Collision Domain
- Gekoppelt durch eine Brücke (Bridge)
- Leitet Frames erst nach vollständigem Empfang weiter

Schleifen in Netzwerken

Problem

- Wie kann verhindert werden dass Schleifen (Loop) entstehen?

Ziel

- Aufbau eines logischen schleifenfreien Baumes
- Grundregel → redundante Wege sind erlaubt, aber nur genau einer darf aktiv sein

Lösungsansätze

- Spanningtree Protocol (STP) → IEEE 802.1D–Part 3: Media Access Control (MAC) Bridges
- Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) → IEEE 802.1w Rapid Reconfiguration of Spanning Tree

Spanning tree protocol (STP)

Bridge Protocol Data Unit (BPDU)

- Konfigurationsnachrichten
- Multicast Frame → 01-80-C2-00-00-10
Bridge-ID → 8 Oktetts = 2 Oktetts Priorität (Konfigurierbar) + 6 Oktetts MAC-Adresse (vom Hersteller vergeben)

Ein Port kann folgende fünf Zustände annehmen:

Disabled

- keine Frame-Verarbeitung (weder Nutzer-Frames noch BPDUs)
- Port wird nicht im spanning tree berücksichtigt

Blocking

- keine Nutzer-Frame-Verarbeitung
- Teilnahme am ST-Prozess (Senden und Empfangen von BPDUs)

Spanning tree protocol (STP)

Listening

- Vorstadium zum Learning
- keine Nutzer-Frame-Verarbeitung
- Teilnahme am spanning tree (Senden und Empfangen von BPDUs)

Learning

- Vorstadium zum Forwarding
- keine Nutzer-Frame-Verarbeitung
- Aufbau der Bridgetabelle aufgrund empfangener Frames
- weitere Teilnahme am spanning tree

Forwarding

- Nutzer-Frame-Verarbeitung
- weiterer Aufbau der Bridgetabelle
- weitere Teilnahme am spanning tree

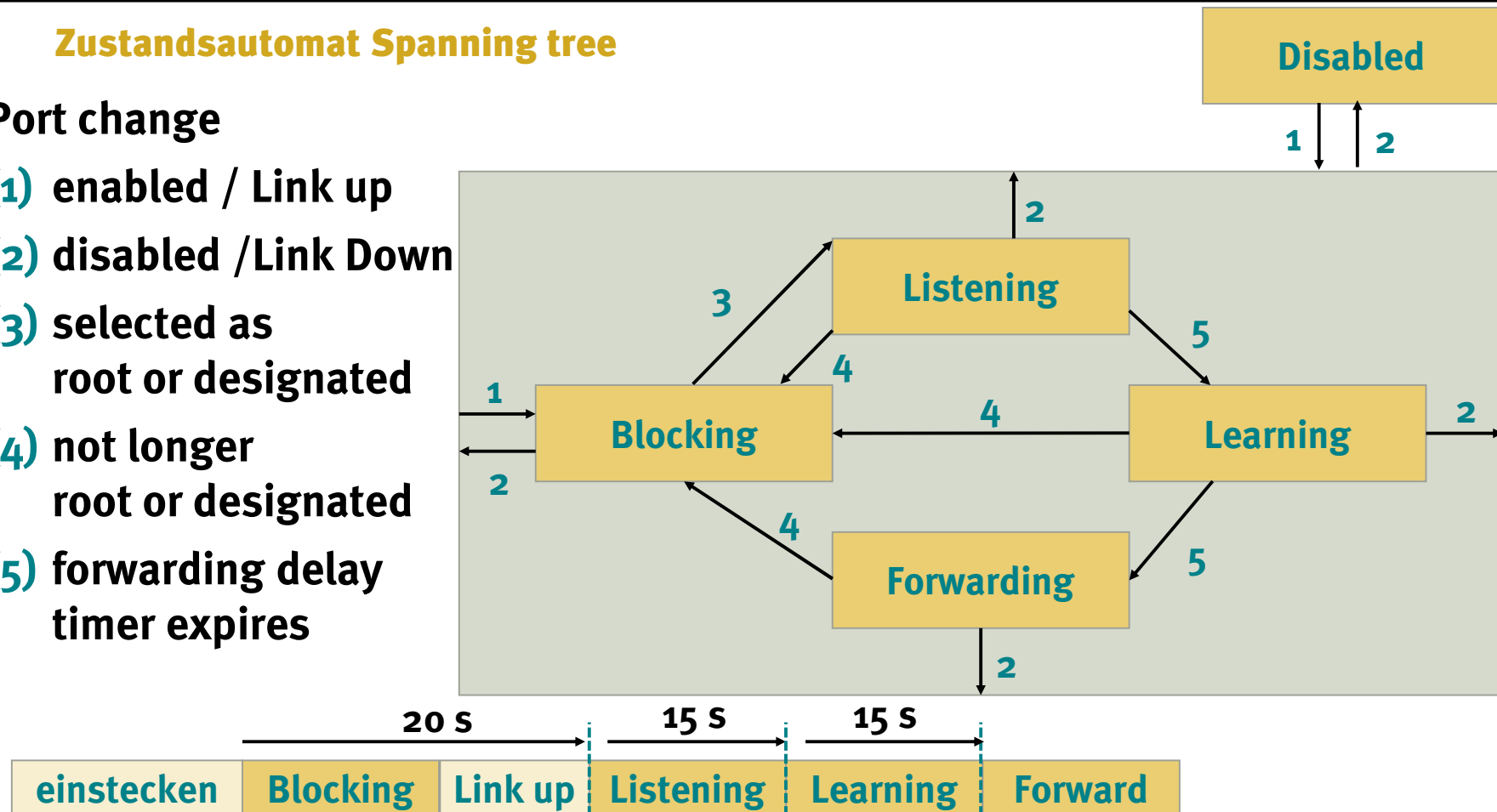
Spanningtree Ablauf

- 1. Initialisierung: Auswahl einer Root-Bridge**
 - jede Bridge setzt alle Ports in den Blocking-Mode
 - geht davon aus dass sie Root-Bridge ist → sendet BPDU mit Root-Path-Cost 0
- 2. kalkulieren des kürzesten Weg von einem selber zur Root-Bridge**
 - einzelne Kosten sind abhängig von der Interface-Geschwindigkeit
 - aufsummieren der Kosten Richtung Root-Bridge → Kosten klein = kürzester Weg
- 3. Auswahl einer Designated-Bridge → kürzesten Weg zur Root-Bridge**
- 4. jede Bridge Auswahl des Root-Ports → kürzesten Weg zur Root-Bridge**
 - vorrangig Ports mit direktem Link zur Root-Bridge
- 5. jede Bridge Auswahl der am spanning tree teilnehmenden → Ports Root-Port plus ggf. der eigenen Designated-Bridge-Ports**
- 6. alle anderen Ports werden Alternate-Ports → Blocking-Mode**

Zustandsautomat Spanning tree

Port change

- (1) enabled / Link up
- (2) disabled / Link Down
- (3) selected as root or designated
- (4) not longer root or designated
- (5) forwarding delay timer expires



Rapid spanning tree protocol (RSTP)

IEEE 802.1w

- abwärtskompatibel zu 802.1D, d.h. interoperabel mit herkömmlichen STP-Bridges
- nicht mehr Timer-basiert wie 802.1D, Konvergenz-Zeiten < 1s möglich !
- gleicher spanning tree Algorithmus zur Topologie-Kalkulation. Bridge- und Port-Prioritäten wie bisher
- neue Port-Zustände (Port-States)
 - Discarding, Learning, Forwarding
- Port-Rollen (Port-Roles)
 - Root, Designated, Alternate, Backup
- neues BPDU-Format und BPDU-Handling
- neuer Bridge-Bridge-Handshake-Mechanismus
- neue Topologie-Change-Notification (TCN)

Switch

Switch („Switching Hub“, Layer 2 Switch oder Hub)

- Switching → gleichzeitige Übertragung zwischen separaten Portpaaren
- Duplexbetrieb → keine Kollisionen bei ausreichend großem Speicher
- Ein Port eines Switches entspricht einer Collision Domain
- Ports sind verbunden über eine Backplane- oder Matrix-Architektur
- Umcodierung, verschiedene Signalform an verschiedenen Ports → Kupfer auf LWL
- Switch können bei „besetzten“ Netz-Segmenten Frames kurzzeitig zwischenspeichern und später senden
- Store & Forward → Zwischenspeicherung der Pakete.
- Switch „lernen“, welche MAC-Adressen in welchen Segmenten des Netzes sind
→ Switch führt eine MAC Tabelle je Port

Vollduplex und Autonegotiation

Vollduplex

- Senden und Empfangen von Frames gleichzeitig möglich → kein Multiple Access bzw. Verlagerung des Konfliktes in den Switch/Hub
- Vergleich → Halbduplex implizite Flusssteuerung durch Kollision und Binary Exponential Backoff (Wartezeit Erhöhung bei aufeinanderfolgenden Kollision)
- Flusskontrolle über Pufferüberlauf
 - Senden des MAC-Kontrollframes Pause an Sender von Frames
 - Sender unterbricht Übertragung von Frames nach Beendigung des aktuellen Frames
- Beendigung der Pufferprobleme → Senden eines Cancel-Pause Kontrollframes

Autonegotiation

- Automatische Konfiguration des Übertragungsstandards und Duplex Modus durch Switch und Endknoten (ab 100BaseT meist Vollduplex)

Broadcast und Partitionierung Problem

Problem

- Größen und Ausdehnung Skalierung
- Broadcast Storm häufiger Versand von Nachrichten „an Alle“
- Große Anzahl von Systemen → Große Menge an Datentransfer

Lösung

- Virtuel LAN (VLAN)
- Segmentierung entsprechend Verkehr durch VLAN
- Ports werden zusammengefasst zu einer logischen Gruppe (VLAN)
- Broadcast bleibt innerhalb eines VLANs
- Mehre VLAN auf einen Switch → verschiedene Broadcast Domains

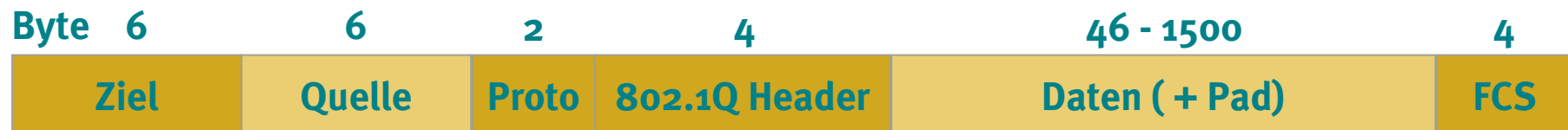
Virtual Local Area Network (VLAN)

Umsetzung

- jeden Port wird ein oder mehrer VLANs zugeordnet
- Ein VLAN bekommt eine ID Wert zwischen 1 und 4094 (12 Bit)
- Die VLAN-ID muss im Frame eingebaut werden → 802.1Q
- Die MAC-Tabelle wird erweitert um die Zuweisung der VLAN-ID
- Zwischen den Switchen (oder Bridges) können alle Frames übertragen werden

802.1Q Header

- Tag Protocol Identifier (TPID) → fester Wert 8100 hex
- Tag Control Information (TCI) → Priority Code Point (3 Bit) , Drop Eligible Indicator (1 Bit) und VLAN-ID (12Bit)



Hierarchisches Netzwerkdesign

Core layer (alt. Backbone)

- Verbindung zwischen Standorten, Serverfarmen, Gebäuden
- Hohe Bandbreite und schneller Transport
- Redundanz durch (Voll-/Teil-) Vermaschung der core Komponenten

Distribution layer

- Verbindet Core und Access
- Sicherheitsmaßnahmen wie z.B. Access Control List (ACL)
- VLAN-Routing

Access layer

- verbindet Benutzer bzw. Arbeitsgruppen miteinander

Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)

Problem

- Eine Antenne kann entweder zum Senden oder zum Empfangen genutzt werden

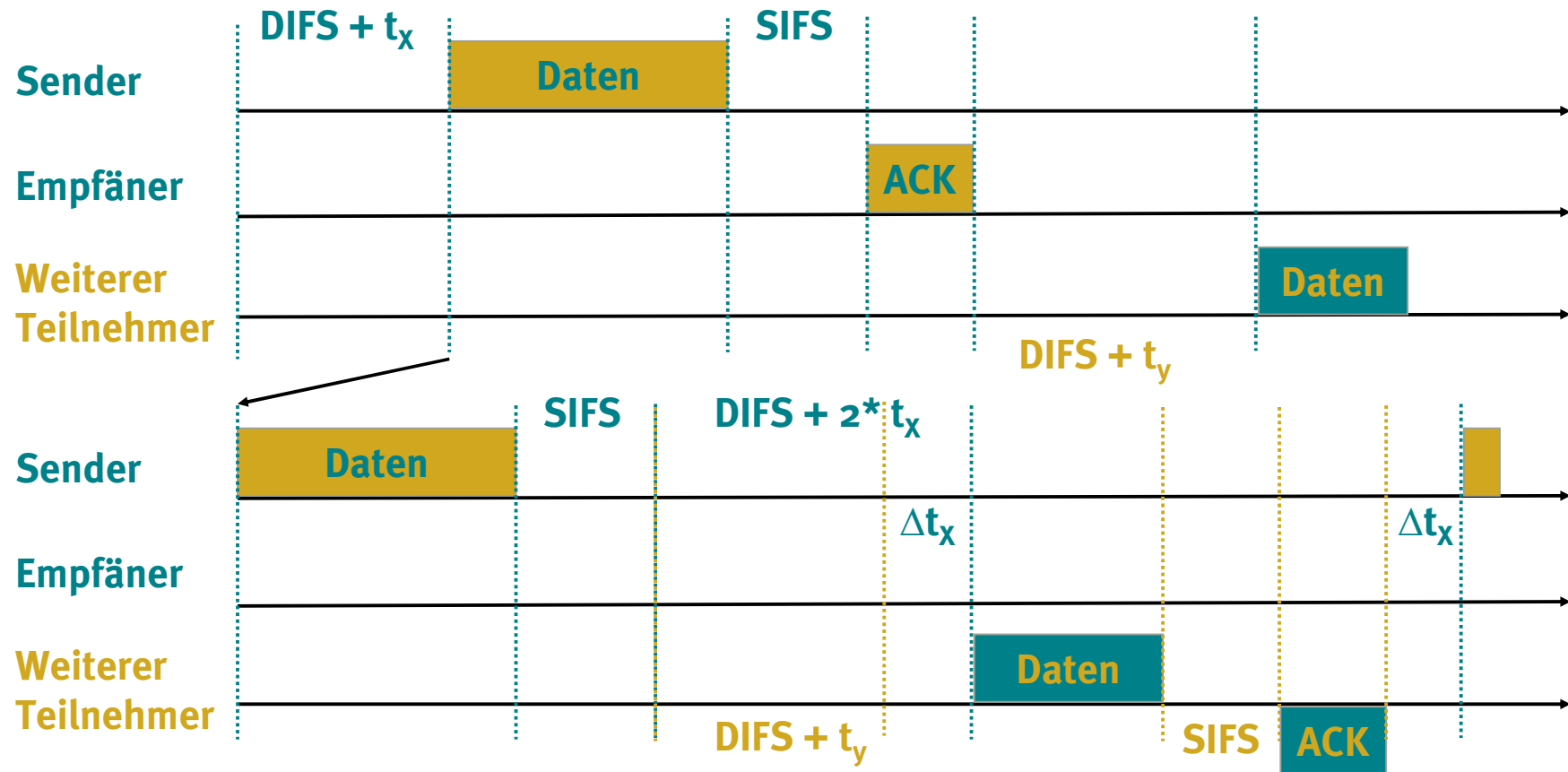
CSMA/CA

- Carrier Sense → Ist das Übertragungsmedium frei seit einer bestimmten Wartezeit?
- Multiple Access → n-Knoten teilen sich das Übertragungsmedium
- Collision Avoidance
 - Jede Datenübertragung, außer Broadcast, quittiert der Empfänger mit einer Bestätigung (ACK)
 - ACK erfolgt mit sehr kurzer Wartezeit (Short Inter Frame Spacing)
- Bestimmte Wartezeit > kurze Wartezeit

Ablauf CSMA/CA

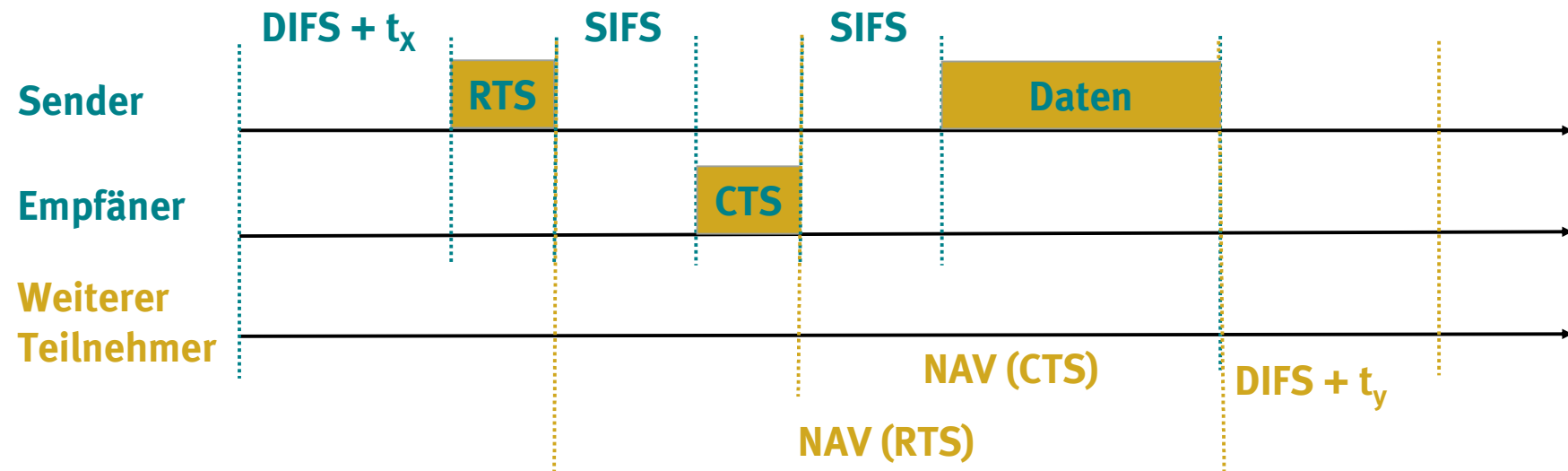
1. Die Sender hört das Medium ab. Wenn frei 2.
 2. Sender beginnt nach einer Wartezeit → zusammengesetzt aus Data Interframe Spacing (DIFS) + zufällige Wartezeit
 3. Der Empfänger quittiert ACK
 4. Datenübertragung abgeschlossen wenn Sender ACK erhalten hat
- Bleib das ACK aus, dann erneutes Sende nach verdoppelter Wartezeit
 - Ist ein andere Sender schneller, dann warten bis verdoppelte Wartezeit abgelaufen ist → sehr wahrscheinlich kürzer als die Wartezeit aus 2.

Normal vs. Kollision



Reservierung des Medium

1. Sender sendet Request to send (RTS)
→ weitere Teilnehmer speichern Network Allocation Vector (NAV) für RTS
2. Empfänger sendet clear to send (CTS)
→ weitere Teilnehmer speichern Network Allocation Vector (NAV) für CTS
3. Wieder frei nach NAV(RTS) bzw. NAV(CTS)



Einige grundsätzliche Fragen

Wie kann eine Station ein vorhandene WLANs finden?

- Identifikation der Access Points → sichtbar oder versteckt

Wie kann die Station feststellen ob ein WLAN nutzbar ist?

Wie kann ein Berechtigungssystem aussehen?

Was muss verwaltet werden?

- Bandbreiten, Sendefrequenz, ...

Welche Abläufe muss es geben?

- Anmeldung und Abmeldung

Wie können verschiedene WLANs verknüpft werden?

- Mesh, Roaming, ...

Wie kann Mitschneiden verhindert werden?

Einige Grundbegriffe

- Station (STA) → Endgerät mit Zugriff auf das WLAN
- Access Point (AP) → Übergang von WLAN zu LAN – übernimmt die Verwaltung
- Basic Service Set (BSS): STA die mit einem AP verbunden sind
- Service Set Identifier (SSID) → Name des WLAN, frei wählbar, meist Menschenlesbar
- Distribution System (DS): Layer-2-Netz zu Verbindung mehrerer BSS
- Extended Service Set (ESS): BSS mit Anbindung an DS
- Extended Service Set Identifier (ESSID) → entsprechend Name im DS Verbund
- Independent Basic Service Set (IBSS) → abgegrenztes Netzwerk z.B. Laptop und Drucker (alt. Ad-Hoc Modus)
- Basis Service Set Identifier (BSSID) → Name eine Ad-Hoc Netzwerk

WLAN 802.11 Frame Struktur

- Control Frame → Verwaltungsinformationen
- Duration → Information zum setzen der NAV Zeiten
- Address 1 bis 4 → variiert nach Konstellation der beteiligten Systeme
- Sequence Control → optional bei Fragmentierung
- Quality of Service (QoS) und Control High Throughput (HT) Control
→ optional z.B. Priorisierung

Byte

2	2	6	6	6	0/2	6	0/2	0/4	0-7951	4
Control Frame	Duration/ ID	Address 1	Address 2	Address 3	Sequence Control	Address 4	QoS Control	HT Control	Daten	FCS

Control Frame (Gesamtlänge 2 Byte)

Type (2 Bit)

- Control, Management, Data und Extension

Subtype (4 Bit)

- z.B. Control/RTS, Management/Authentication, Data/Null

To/From DS (1 Bit)

- Senderichtung des Pakets zum Distribution System (DS) Interpretation der Adressfelder

Weitere Fragmente (1 Bit)

- weitere Fragmente des Datenteils folgen

Retry (1 Bit)

- Paket ist eine erneute Übertragung eines vorangegangenen Paketes

Protocol Version	Type	Subtype	to DS	from DS	more Fragments	Retry	Power Mgmt.	more Data	protected Frame	+HTC / Order
------------------	------	---------	-------	---------	----------------	-------	-------------	-----------	-----------------	--------------

Adressen Interpretation (from DS, to DS)

- Destination Address (DA) MAC-Adresse des Zielsystems
- Receiving Address (RA) MAC-Adresse des Ziels der aktuellen Übertragung
- Source Address (SA) MAC-Adresse des Quellsystems
- Transmitting Address (TA) MAC-Adresse der Quelle der aktuellen Übertragung
- Access Point Address (AP) MAC-Adresse des Access Points
- Bei Ad-Hoc (1. - 3.) wird aus der MAC des APs die IBSS (Zufallszahl)

	From DS	to DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
1. STA → STA	0	0	DA	SA	AP	-
2. AP → STA	0	1	DA	AP	SA	-
3. STA → AP	1	0	AP	SA	DA	-
4. Mesh	1	1	RA	TA	DA	SA

Aufbau Control Frames bei Reservierung des Mediums in einer DS Struktur

Acknowledgement (ACK)

- Bestätigung des vorangegangenen Datenframes mit Transmitting Address (TA)



Request to send (RTS)

- Anforderung senden mit Receiving Address (RA) und Transmitting Address (TA)



CTS

- Sendefreigabe mit Receiving Address (RA) → Steuerung des NAV



Management

Synchronisation

- Timing Synchronization Function (TSF Timer) zur Vereinheitlichung der Zeitbasis aller Stationen innerhalb eines Basic Set Service (BSS) → SIFS/DIFS etc.

Power Management

- Abschalten der Station für eine bestimmte Zeit → Stromsparmechanismen
- Zwischenspeichern für Pakete das für eine abgeschaltete Station bestimmt ist

Assoziierung/Reassoziierung

- Aufnahme bzw. Entfernen einer Station innerhalb eines BSS

Roaming durch Wechsel des AP

- Suche nach vorhandenen Netzen

Synchronisation mittels Beacon-Frames

Beacon

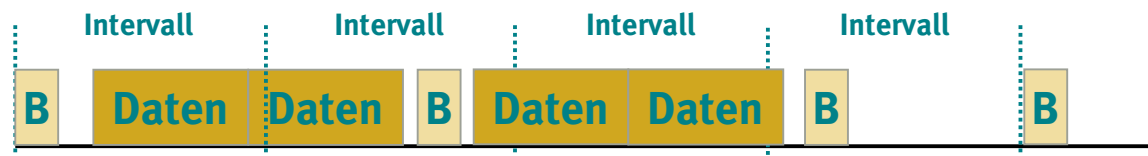
- TSF-Zeitstempel (in Mikrosekunden mit Periode 2^{64})
- Beacon-Intervall

Ad-Hoc-Modus

- Beacons werden zufällig von beliebiger Station generiert
- zufällige Verzögerung vor Beacon-Aussendung → dient der Kollisionsvermeidung
- Ende des Beacon-Intervalls → Alle Pakete werden zurückgehalten

Infrastrukturmodus

- Zeitgeber ist der Access Point



Energiesparen

Ziel: Kein Paketverlust durch zeitweise abschalten des Sende/Empfängers (Transceivers) zum Energiesparen

Grundidee:

- Station können in Power-Save-Modus wechseln wenn im Frame Control das Flag Power Management auf 1 gesetzt ist
- Pakete für Stationen im Power-Save-Modus werden zwischengespeichert
- Traffic Indication Map (TIM) → Access Point hält eine Liste der Stationen
- TIM Beacon weckt die Stationen auf
- TIM Beacon enthält die Station für die Daten zwischengespeichert sind

Roaming

**Entscheidung für den Wechsel eines Access-Points führt die Station durch
→ Verbindungsqualität**

**Scanning, Reassociation, ggf. Aushandlung von Verbindungsparametern
(Schlüssel, QoS) sind zeitaufwändig**

Fast BSS Transition 802.11r

- Verkleinerung der Unterbrechung zum DS
- Mobility Domain → Gruppe von Aps
- Bevor Wechsel zu einem anderen AP → Ermittlung eines geeigneten AP über DS
- verringerte Nachrichtenanzahl bei AP
- Wechsel durch Parallelisierung von Assoziierung, Schlüsseltausch etc.

Layer 3

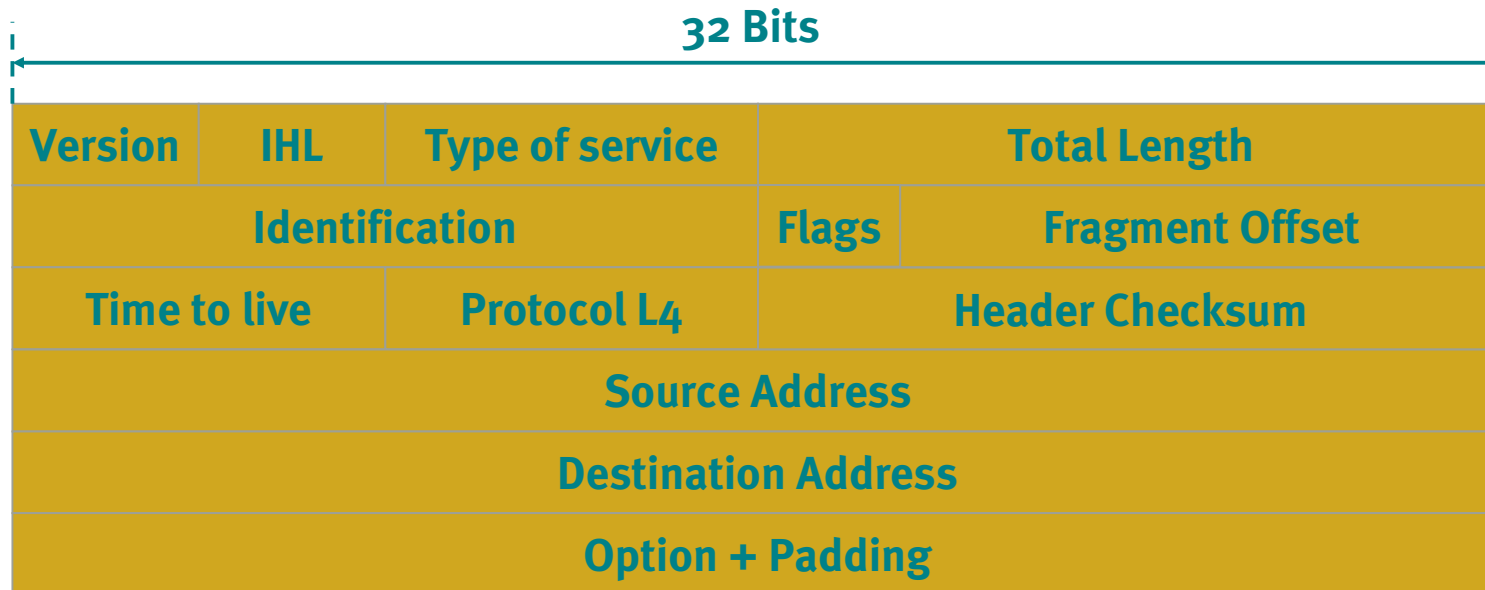
Protokolle IP, ARP, ICMP und OSPF

Layer 3 – Network

- Zustandlos, Paket orientiert, keine festen Pfade von der Quelle bis zum Ziel
- Adressierung der Knoten → Internet Protocol (Version 4 und 6)
- Segmentierung durch Subnetze (Subnetting)
- Zusammenfassung durch Supernetze (Supernetting)
- Verbindung zu Layer 2 durch das Address Resolution Protocol (ARP)
- Fehlersteuerung durch das Internet Control Message Protocol (ICMP)
- Konfiguration der Pfade nach Kosten, Bandbreite etc.
→ z.B. Open Shortest Path First (OSPF)



IPv4 Header



IPv4 Adressierung

IPv4 Aufbau

- 32 Bit Zahl → 1100000 10101000 00000000 00000001
- Notation Dezimalzahl → 192.168.0.1
- Theoretische Adressraum $2^{32} = 4.294.967.296$
- Aufteilung Netzwerkadresse und Hostadresse → Netzmaske 255.255.255.0
- Ursprünglich Class A bis Class E mit festen Größen der jeweiligen Subnetze
- Effizientere Nutzung durch Classless Inter-Domain Routing (CIDR)
- Notation statt 192.168.0.1 mit 255.255.255.0 → 192.168.0.1/24
- Niedrigste Adresse im Netzsegment ist reserviert → Netzwerkadresse
- Höchste Adresse im Netzsegment ist reserviert → Broadcastadresse

Auszug - Reservierte IP-Adressbereiche

Reservierte IP-Adressbereiche

- Netzadressbereich die im Internet nicht von Router weitergeleitet werden
 - *10.0.0.0 bis 10.255.255.255 → 10.0.0.0/8*
 - *172.16.0.0 bis 172.31.255.255 → 172.24.0.0/12*
 - *192.168.0.0 bis 192.168.255.255 → 192.168.0.0/16*
- Multicast Adressen → 224.0.0.0/4
- Loopback Adressen → 127.0.0.0/8

Router

- verbindet beliebige Netzwerksegmente
- führt die Routingtable zu anderen Netzwerken
- Default Route ist die IP-Adresse des Routers

Segmentierung und Zusammenfassung von Netzwerksegmenten

Subnetting

- Gesamtnetzwerk in Untersegmente (Subnet) unterteilen
- z.B. Unternehmensnetzwerk mit Adressbereich 10.0.0.0/8 in zwei Subnet teilen
- Netz 1 → 10.0.0.0-10.127.255.255
- Netz 2 → 10.128.0.0-10.255.255.255

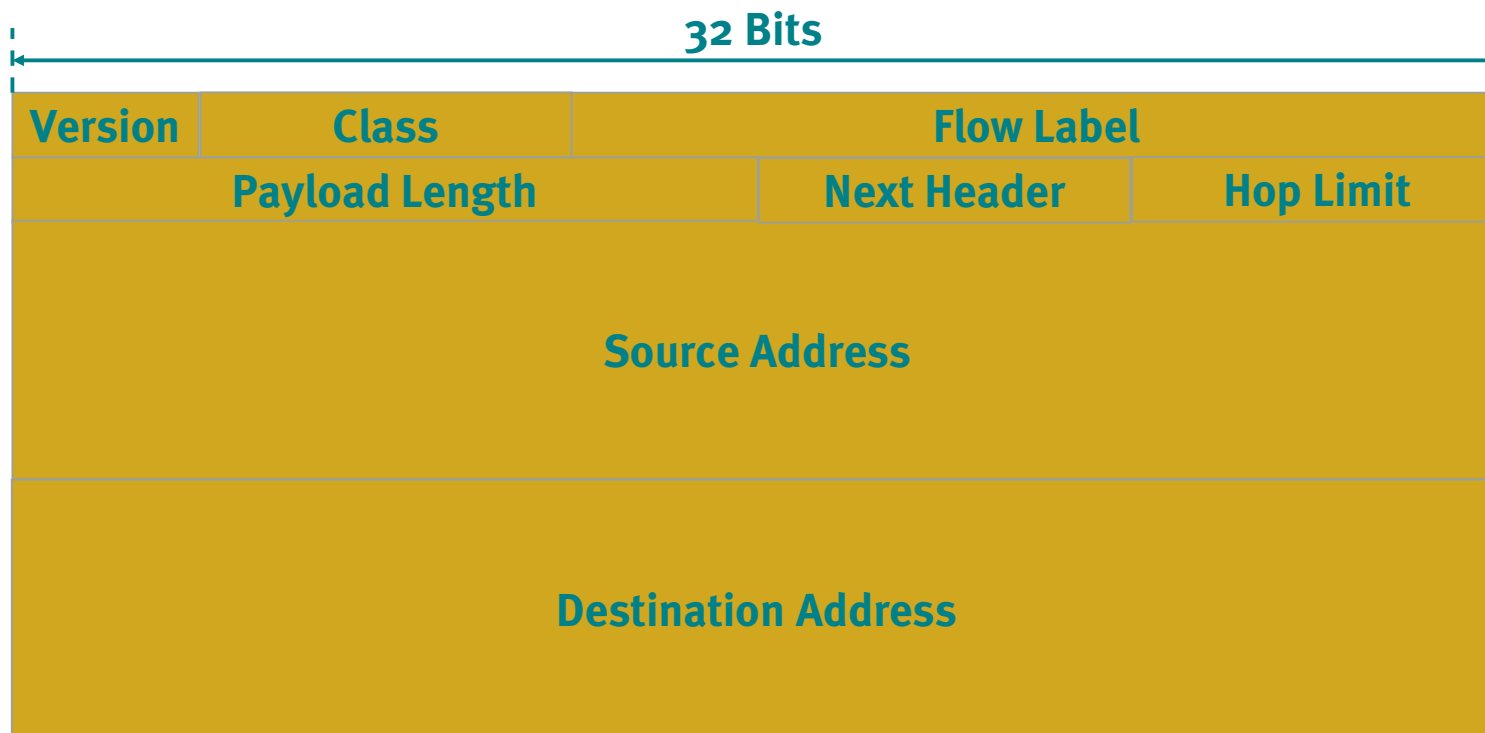
Supernetting

- Zwei Netzwerksegmente zusammen zufassen Ziel Verkleinerung der Routing Tabelle
- z.B. Hauptstelle mit zwei Segmenten 192.168.0.0/24 und 192.168.1.0/24
- Statt zwei Routen wird nur eine Route mit 192.168.0.0/23 benötigt

IPv6

- Notation 4 x 4 Bit in hexadezimaler Darstellung getrennt durch ein Doppelpunkt
→ 2001:0DB8:0000:0000:0008:0800:200C:417A/64 (0010 0000 000 0001 ...)
- Sind in den 4x4 Bit **nur Nullen** enthalten werden sie weggelassen und verkürzt
→ 2001:0DB8::0008:0800:200C:417A/64
- Die **führenden Nullen** werden ebenfalls weggelassen
→ 2001:DB8::8:800:200C:417A/64
- Adressvergabe durch die Regional Internet Registry
- Ersten 64 Bit sind der Network Prefix → 2001:DB8::
- Provider Prefix 32 Bits → 2001:DB8::/32
- Kunden ab 48 Bits → 2001:DB8:1::/48 oder 2001:DB8:2:1::/56
- Localhost → ::1/128 (nur eine Adresse vergleich IPv4 Netzwerk 127.0.0.1/8)
- Multicast → ff00::/8
- Letzten 64 Bit ist der Interface-Identifizier → z.B. Abbildung der MAC-Adresse

IPv6 Header Aufbau



IPv6 Header Legende

- Verkettung von hierarchisch Header nach fester Reihenfolge
- Basisheader mit 40 Byte Länge notwendigen Angaben für den Transport
- Versionsnummer → bei IPv6 „6“
- Verkehrsklasse (Class) →
- Flusskennung (Flow-Label) → eindeutigen Kennzeichnung eines Datenstroms
- Nutzdatenlänge (Payload length) → max. 65535 Byte
- Nächster Header (Next) → Typ des nächsten Headers, letzter Header Typ der Nutzdaten (TCP)
- Teilstreckenlimit (Hop Limit) → Countdown von Router zu Router
- Empfänger- und Senderadresse

Headerverkettung

1. IPv6 Basisheader
2. #0 Hop-by-Hop-Optionen
3. #60 Ziel-Optionen für jeden Router
4. #43 Header für Routing
5. #60 Ziel-Optionen für das Endgerät
6. #44 Header für Fragmentierung
7. #51 Header für Authentisierung
8. #50 Header für Verschlüsselung
9. TCP/ UDP etc.

(#60 darf zweimal vorkommen, alle übrigen nur einmal)

Verbindung Layer 2 und 3 Adressierungen

Problem:

- Wie finden die Layer 2 Frame den Weg zum Zielknoten?

Lösung:

- Address Resolution Protocol (ARP)
- Sender sendet auf Layer 2 ein Broadcast Frame mit der Frage: Wer hat die IP? (ARP-Request)
- Empfänger sendet auf Layer 2 ein Unicast an den Sender mit seiner IP (ARP-Reply)
- Jeder Knoten in der Kollisionsdomäne wertet automatisch jeden (ARP-Reply) - auch ohne Anfrage - aus und speichert ihn → ARP Cache
- ARP ist eine Layer 2 Protokoll, allerdings ist es eher zwischen Layer 2 und 3 zusehen

Sprung Layer 7 → Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

Wie bekommt ein Knoten eine IP Adresse

- Manuell einstellen der IP-Adresse, der Netzmaske, die Default Route
- Automatisch mit Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

DHCP

- Client: Adresse anfordern über ein Layer 2 Broadcast (DHCPDISCOVER)
- Server: sendet Vorlag IP Adresse als Unicast (DHCPOFFER)
- Client: sendet Anfrage mit IP Adresse über Layer 2 Broadcast (DHCPREQUEST)
- Server: bestätigt dass die IP Adresse benutzt werden darf als Unicast (DHCPACK)
- Zusätzlich können weitere Optionen wie default gateway, Domain Name Server, Network Time Server, ...

Internet Control Message Protocol

Internet Control Message Protocol (ICMP) → RFC 792

- Gehört zu IPv4 stellt allerdings ein eigenes Protokoll da
- ICMP übermittelt von Fehler- und Statusmeldungen

IP-Header

ICMP Nachricht

Wichtige ICMP Nachrichten:

- Echo Request und Echo Reply → ping.exe
- Host nicht erreichbar oder Port nicht erreichbar
- Zeitüberschreitung (bei TTL = 0)
- und weitere ...

Routed Protocol vs. Routing Protocol

Keine Weiterleitung

- Bei Adressierung der Broad- oder Netzwerkadresse
- z.B. Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

Routed Protocol

- Protokolle die über Router transportiert werden z.B. zwischen zwei IP Netze
- z.B. http

Routing Protocol

- Protokolle zum Aufbau der Routing Tabellen der einzelne Routern
- Routing Information Protocol (RIP)
- Open Shortest Path First (OSPF)
- Border Gateway Protocol (BGP)

Routing Information Protocol (RIP)

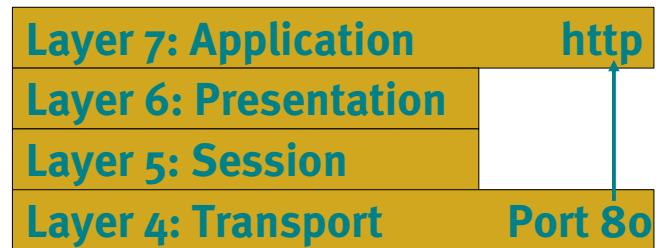
- Version 1 → RFC 1058
- Version 2 → RFC 2453
- Distance-Vector-Algorithmus
- Router kennt nur begrenzt das Netzwerk
- Anzahl der Hops 1 bis 15 (Metrik)
→ maximal Ausdehnung 15 Hops
- Maximal 25 Zielnetzwerke (Distanzvektoren) werden übertragen
→ sind weitere Vorhanden, werden sie nicht übertragen
- RIP-Advertisement periodische alle 30 Sekunden

Open Shortest Path First (OSPF)

- RFC 2328
- Link State Routing Algorithmus
- Jeder Router innerhalb des Netzwerkes kennt die gesamte Topologie
- Topologie Änderungen werden über Link State Advertisements (LSA) propagiert
- Änderungen sind:
 - Neuer Router
 - Router „verschwindet“
 - Kosten einer Verbindung ändert sich
- Jeder Router kündigt seine Links an
- Ein empfangendes LSA wird an alle Nachbarn, die dieses LSA nicht gesendet haben, weitergeleitet
- Dijkstras Algorithmus

Layer 4

Portnummern und -bereiche

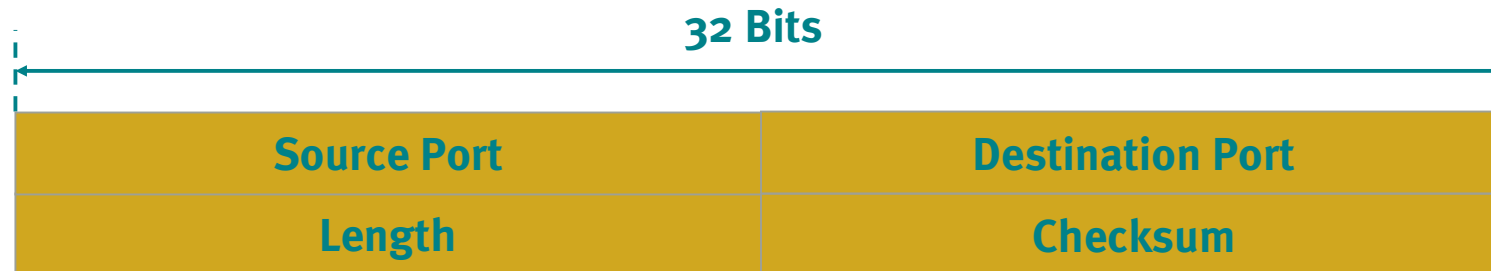


- Vergleich: Durchwahl bei Telefonanlagen
- Konvention über Portnummer und Dienste
- Verwendung im TCP und UDP
- Well Known Ports (Bereich 1 – 1023) Diese Ports sind fest einer Anwendung oder einem Protokoll zugeordnet. Die feste Zuordnung ermöglicht eine einfachere Konfiguration durch den Benutzern.
- Registered Ports (1024 bis 49151) Diese Ports können von Herstellern reserviert werden
- Dynamically Allocated Ports (49152-65535) Diese Ports sind nicht fest zugeordnet

Layer 4 - User Datagram Protocol

User Datagram Protocol (UDP) → RFC 768

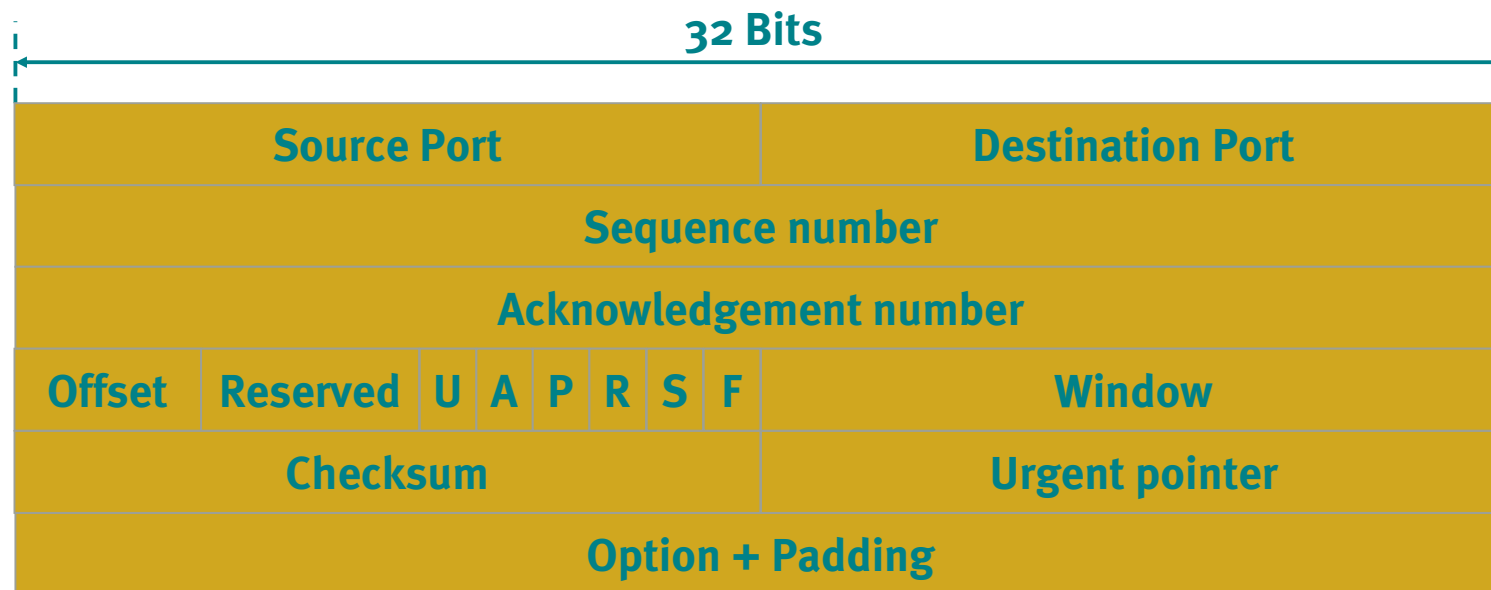
- Verbindungslos
- Keine Prüfung der Reihenfolge
- Keine Fehlerkorrektur
- Geringer Protokollanteil
- Ziel- und Quellport



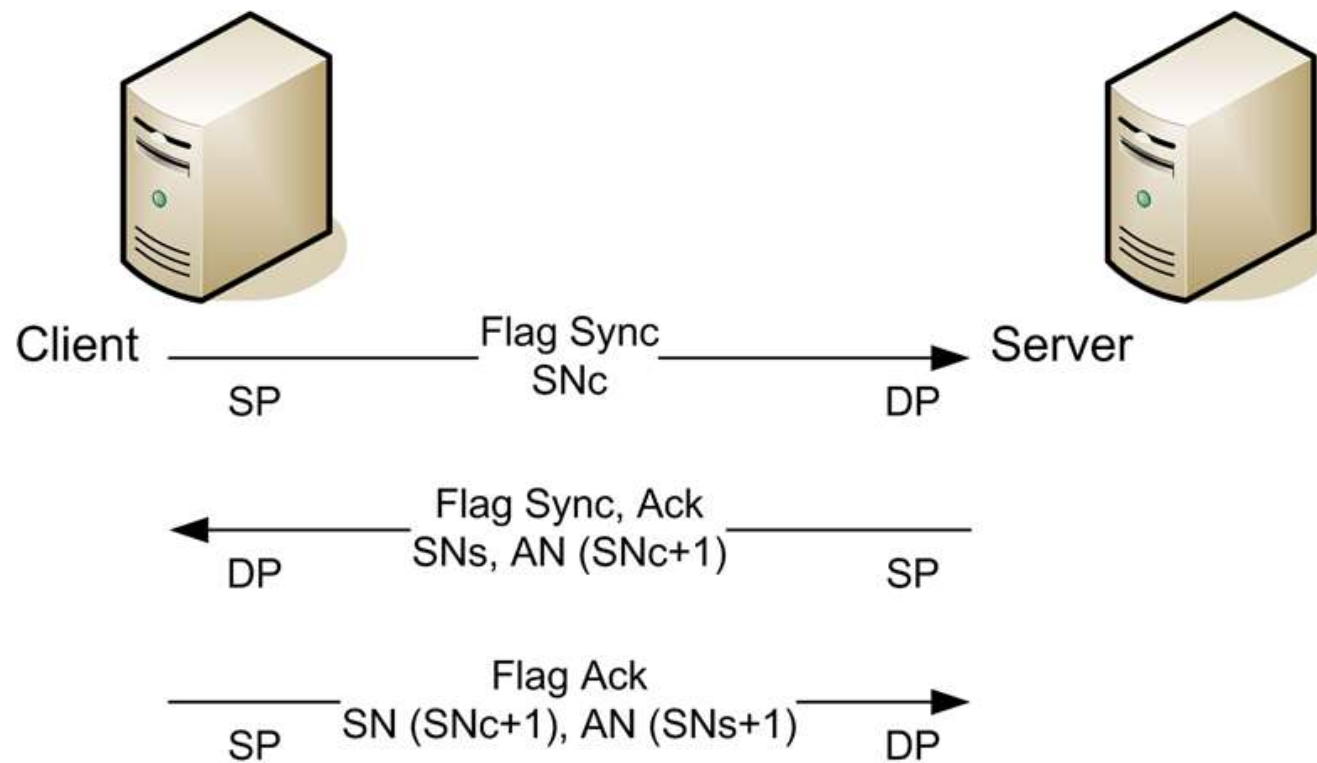
Transmission Control Protocol

Transmission Control Protocol (TCP) → RFC 793

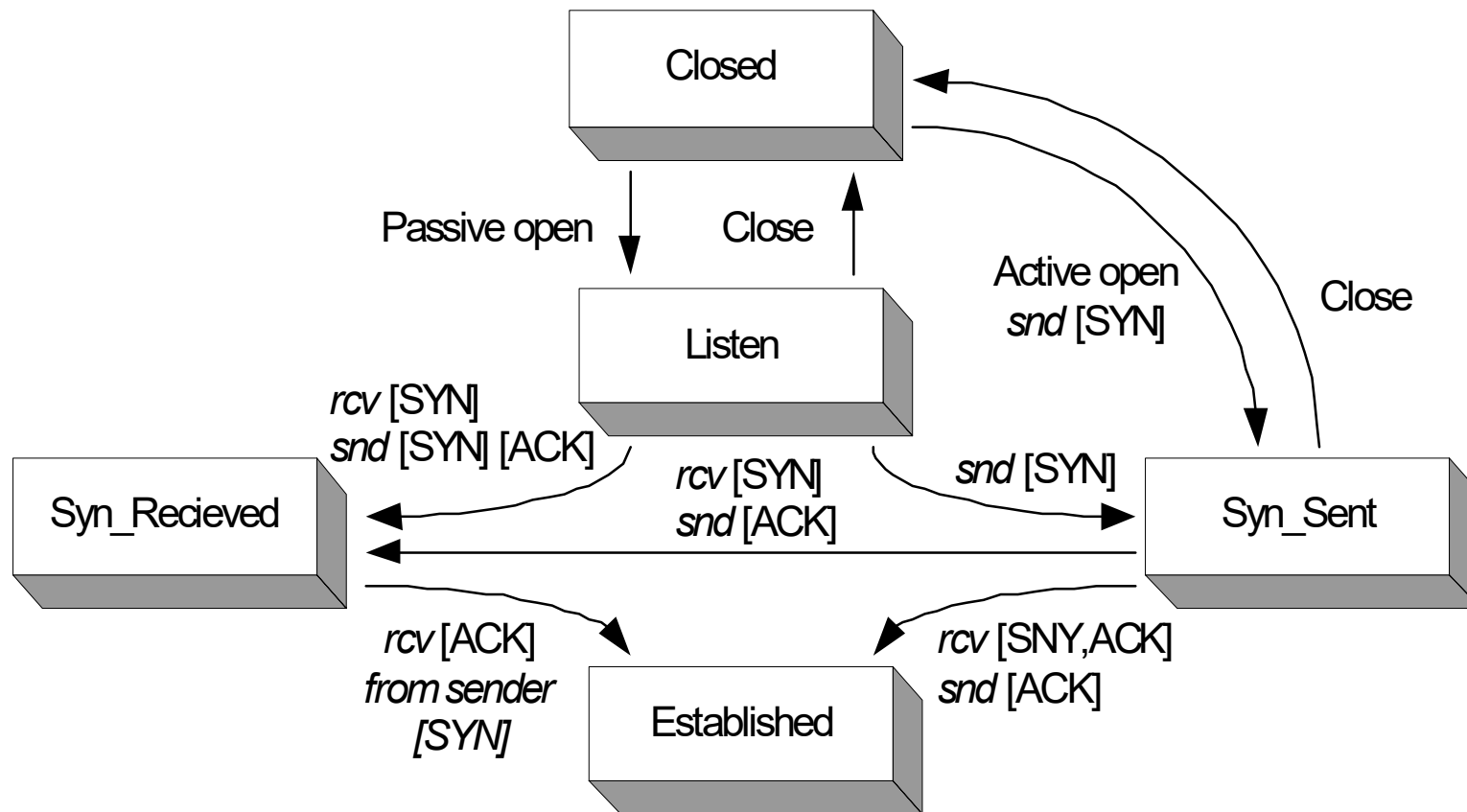
- Ziel- und Quellport
- Verbindungsorientiert und gerichtete Kommunikation
- Reihenfolge wird sichergestellt und Fehlerkorrektur



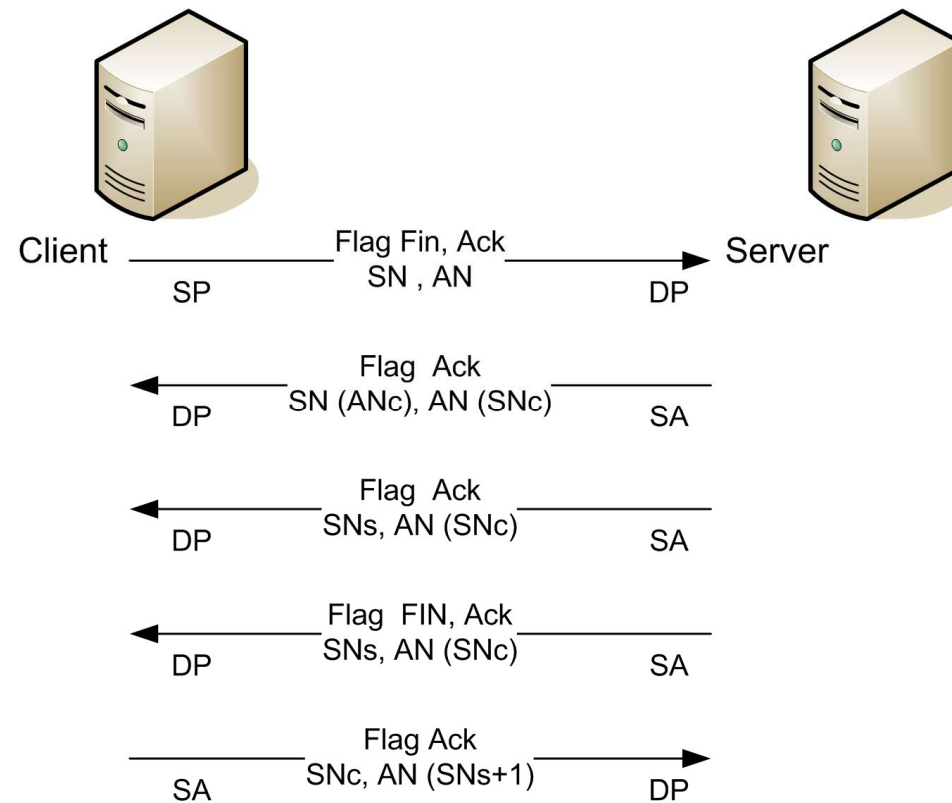
Three-Way-Handshake



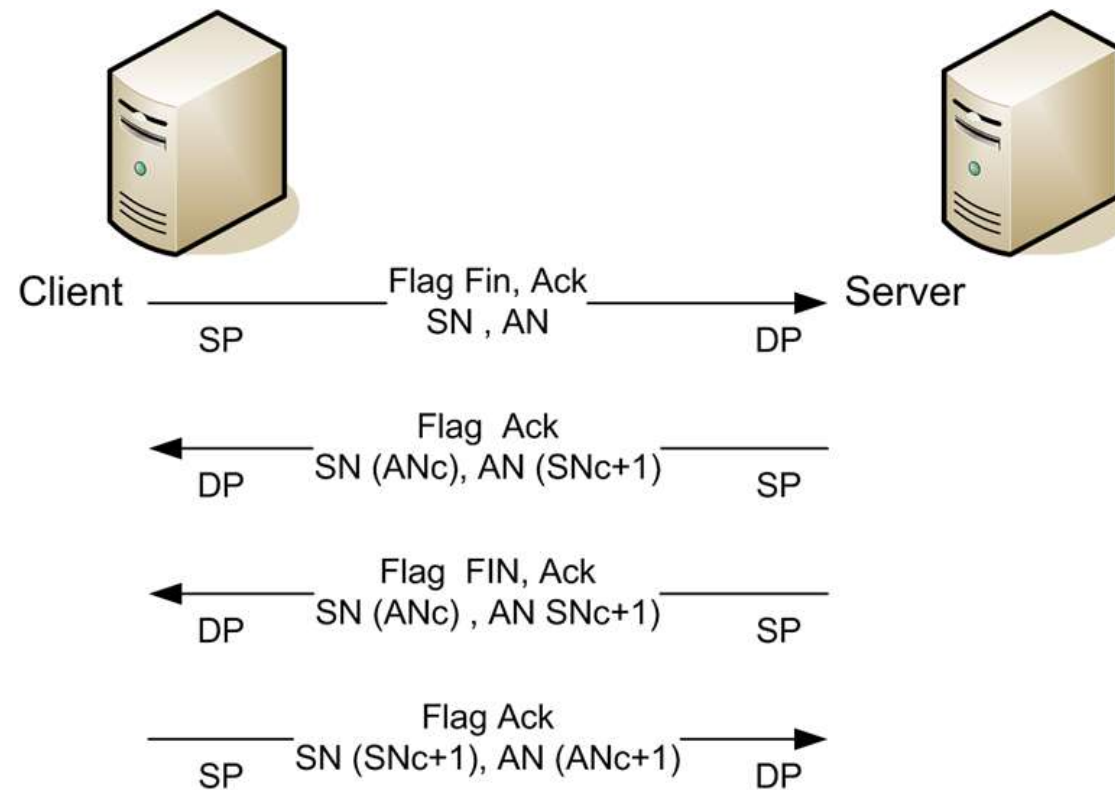
Zustandsautomat - Aufbau der Verbindung



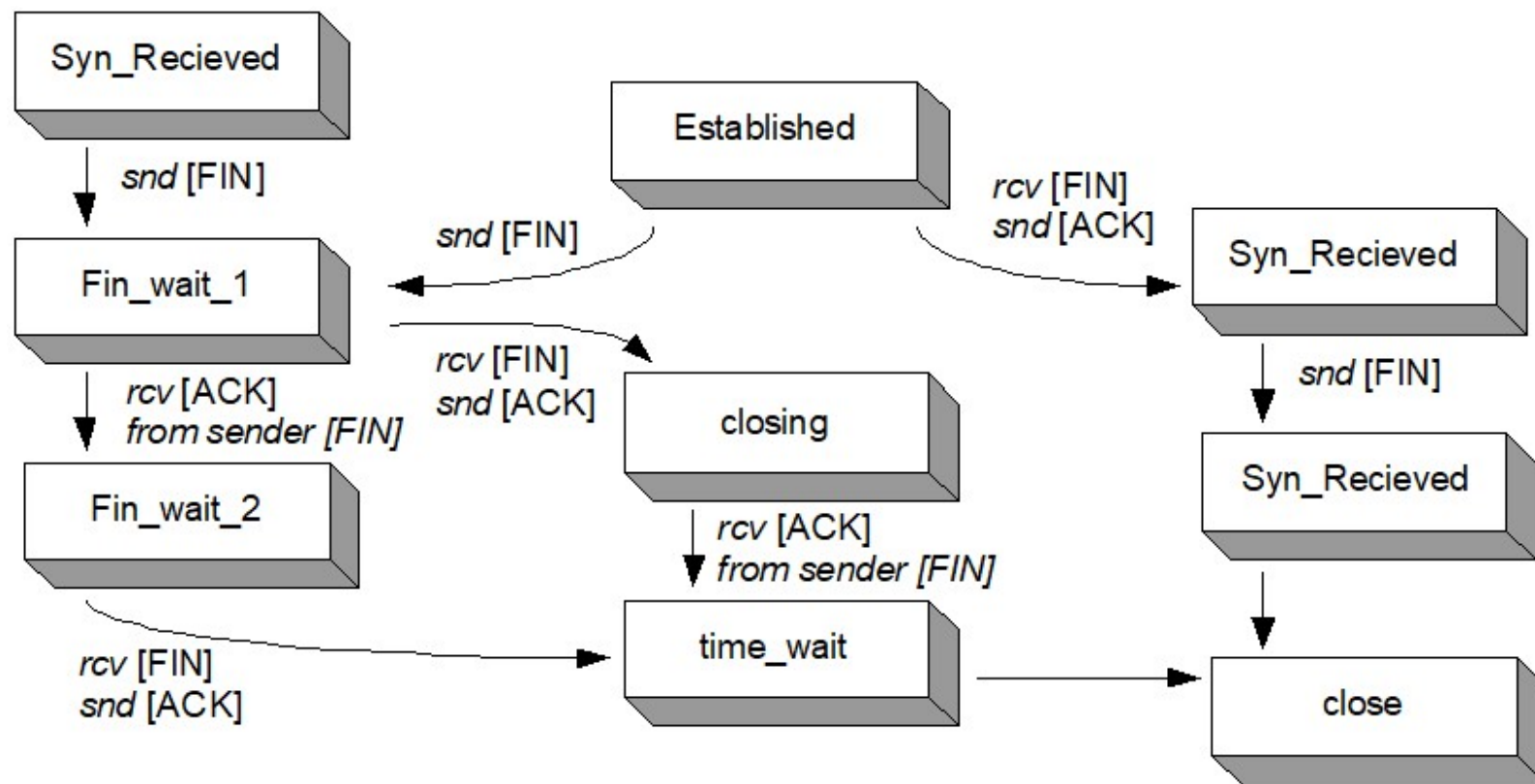
Halbseitiger Verbindungsabbau



Beidseitiger Verbindungsabbau



Zustandsautomat - Abbau der Verbindung



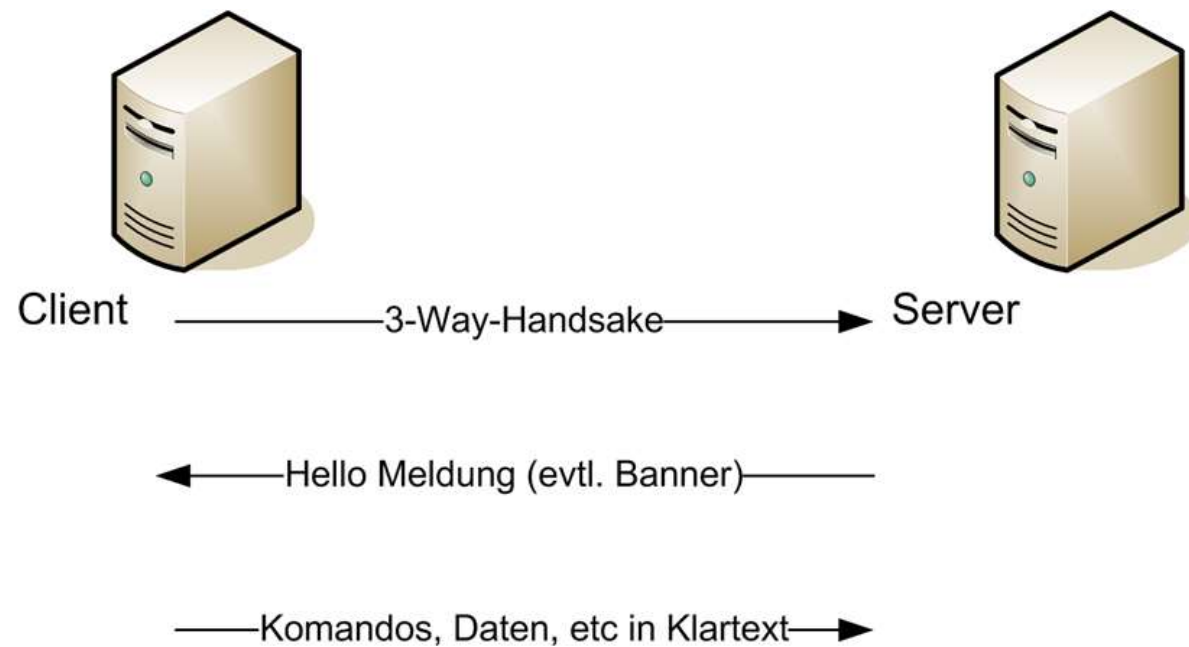
Layer 7

Domain Name System (DNS)

- Bildet Namen auf IP-Adressen besser lesbar für Menschen
- Verteiltes, hierarchisches System bestehende aus Nameservern
lokal → primary → root
- Zuverlässigkeit durch Replikation
- Anfragen / Antworten durch UDP (Port 53)
- Name Server Cache
 - Name / IP-Adresse / von welchem NS
 - Informationen veraltet als Nachricht
 - Bereinigung durch time-to-live (TTL)
- Einträge: IPv4 A Resource Record (A), IPv6 AAAA Resource Record, Mailexchange (MX), CNAME Resource Record, [...]
- Reverse Lookup PTR Resource Record (PTR)

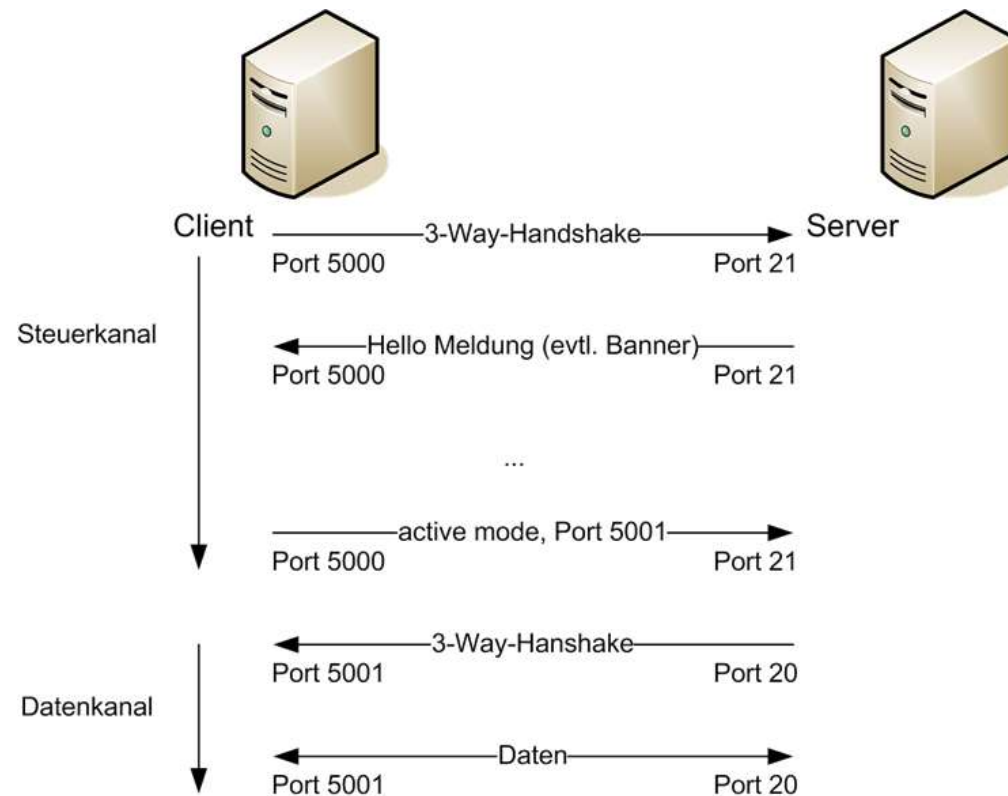
Protokoll mit einer TCP-Verbindung

z.B. hypertext transport protocol (http)



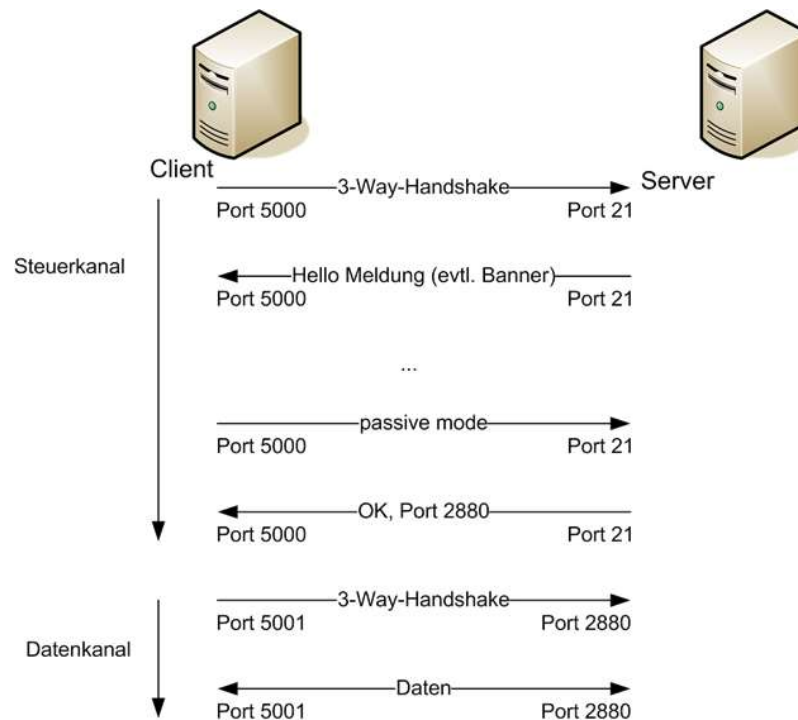
Protokoll mit zwei TCP-Verbindungen mit gegenseitigen Verbindungsaufbau

z.B. File transfer Protocol (FTP) in active mode



Protokoll mit zwei TCP-Verbindungen mit einseitigen Verbindungsaufbau

z.B. File transfer Protocol (FTP) in passive mode



Protokoll mit Steuerkanal TCP und unidirektional UDP

Realaudio (Video)

