Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Institut für Informatik – Technische Universität München
Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme

Kapitel 6: Transport-Protokolle

TCP, UDP

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Technische Universität München
carle@net.in.tum.de
http://www.net.in.tum.de

Übersicht

1. Einführung und Motivation
   - Bedeutung, Beispiele
2. Begriffswelt und Standards
   - Dienst, Protokoll, Standardisierung
3. Direktverbindungsnetze
   - Fehlererkennung, Protokolle
   - Ethernet
4. Vermittlung
   - Vermittlungsprinzipien
   - Wegwahlverfahren
5. Internet-Protokolle
   - IP, ARP, DHCP, ICMP
   - Routing-Protokolle
6. **Transportprotokolle**
   - **UDP, TCP**
7. Verkehrssteuerung
   - Kriterien, Mechanismen
   - Verkehrssteuerung im Internet
8. Anwendungsorientierte Protokolle und Mechanismen
   - Netzmanagement
   - DNS, SMTP, HTTP
9. Verteilte Systeme
   - Middleware
   - RPC, RMI
   - Web Services
10. Netzsicherheit
    - Kryptographische Mechanismen und Dienste
    - Protokolle mit sicheren Diensten: IPSec etc.
    - Firewalls, Intrusion Detection
11. Nachrichtentechnik
    - Daten, Signal, Medien, Physik
12. Bitübertragungsschicht
    - Codierung
    - Modems

Ziele

- In diesem Kapitel wollen wir vermitteln
  - Arten von Transportdiensten
  - Verbindungsaufbau und -abbau
  - Aufgaben der Transportschicht
  - Funktionalität TCP
  - Funktionalität UDP

Kapitelgliederung

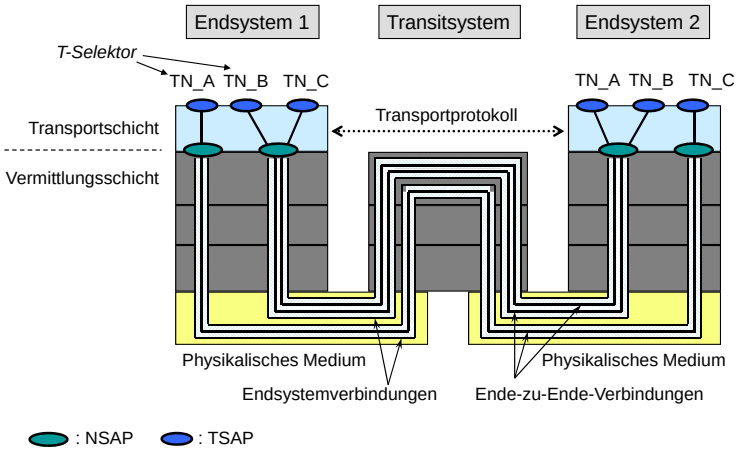
6.1. Der Transportdienst (nach ISO/OSI-Begriffswelt)

- Man unterscheidet die folgenden Transportdienste:
  - **verbindungsorientiert**
  - **verbindungslos**

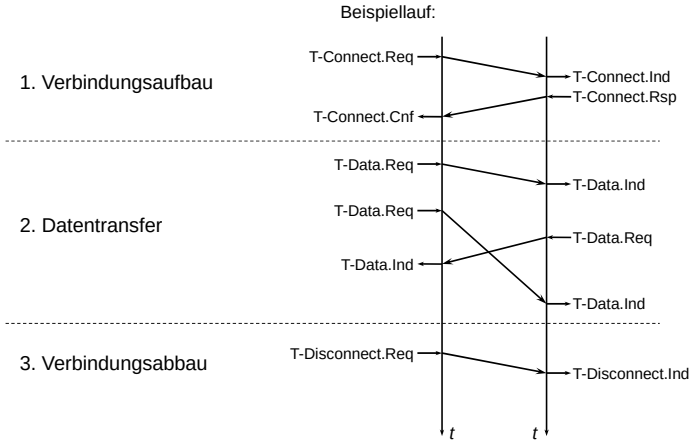
- Beim **verbindungsorientierten** Dienst unterscheidet man drei Phasen:
  - Verbindungsaufbauphase (Dienstelement: T-Connect)
  - Datentransferphase (Dienstelement: T-Data)
  - Verbindungsabbauphase (Dienstelement: T-Disconnect)

- Adressierung eines Transportdienstbenutzers durch *TSAP-Adresse* (Transport Service Access Point), beinhaltet:
  - *NSAP-Adresse* (Network Service Access Point) zur Adressierung des Endsystems
  - *T-Selektor* zur Identifizierung des TSAP auf einem Endsystem

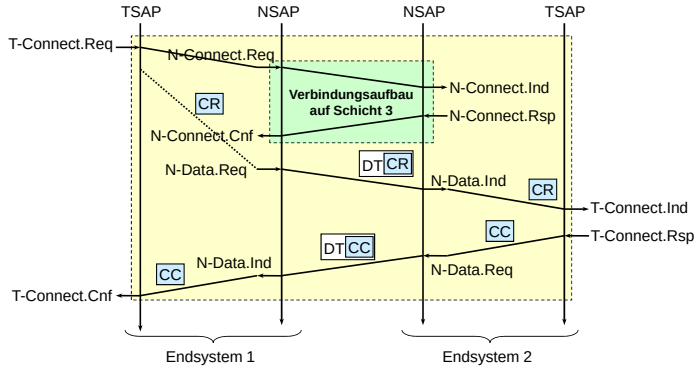
Abstraktionseigenschaft der Transportschicht



6.1.1. Phasen des verbindungsorientierten Dienstes



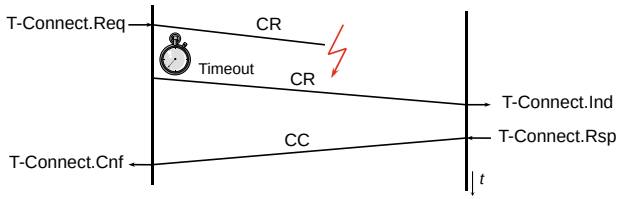
Verbindungsaufbau auf Schicht 3 für verbindungsorientierten Transportdienst



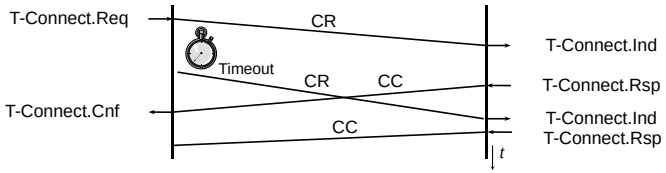
- **Hinweis:** Setzt die Transportschicht auf einem verbindungslosen Dienst der Vermittlungsschicht auf (z.B. IP) oder existiert bereits eine Schicht-3-Verbindung, so ist kein Verbindungsaufbau auf Vermittlungsebene notwendig!

6.1.2. Fehler beim Verbindungsaufbau

- Verlust der CR oder CC TPDU:

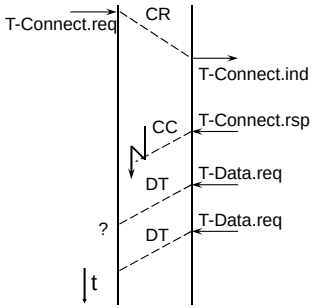


- Duplizierung von TPDUs:

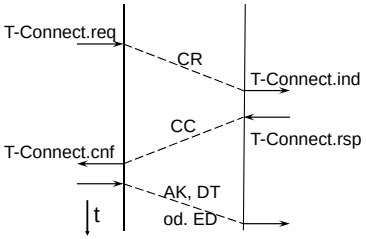


Three-Way Handshake

- **Problem:** Verlust der CC TPDU

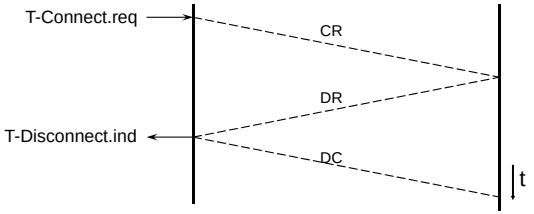


- **Lösung:** Three-Way Handshake
  Verbindung wird erst als aufgebaut anerkannt, wenn beide Verbindungsaufbau TPDUs (CR und CC) quittiert sind.



Verbindungsrückweisung

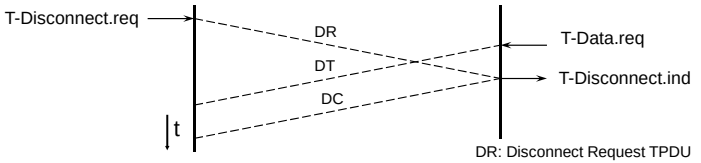
- Connection Refusal:
  - Zurückweisung eines Verbindungsaufbauwunsches erfolgt durch Disconnect-Request (DR) oder Error-TPDU. Gründe für Zurückweisung werden angegeben.
  - Gründe:
    - Zurückweisung durch den Transportdienstbenutzer.
    - Anforderungen an den Dienst können nicht erfüllt werden



DR: Disconnect Request TPDU
DC: Disconnect Confirm TPDU

6.1.3. Verbindungsabbau

- Normal Release:
  - Beim Verbindungsabbau wird eine bestehende Transportverbindung aufgelöst. Dabei kann es zum Verlust von Daten kommen.
  - Varianten:
    - implizit: Abbau der Vermittlungsschichtverbindung.
    - explizit: Abbauprozedur über Disconnect-TPDUs.

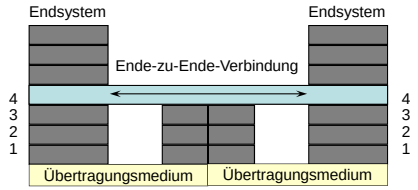


DR: Disconnect Request TPDU
DC: Disconnect Confirm TPDU

  - Verbindungsabbau nach Fehler (Error Release): Kann nach einem Fehler (N-Disconnect oder N-Reset) keine geeignete Fehlerbehandlung erfolgen, wird eine Transportverbindung vom Transportdiensterbringer abgebaut.

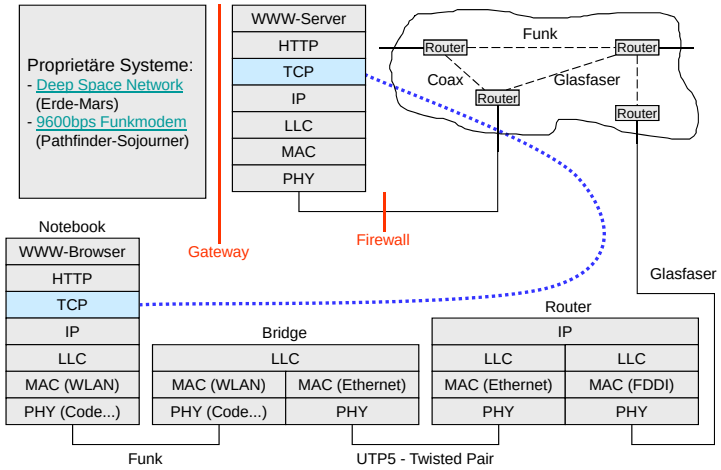
6.2. Aufgaben der Transportschicht

- **Ende-zu-Ende-Verbindung**
  (Teilnehmer-zu-Teilnehmer statt Rechnerknoten-zu-Rechnerknoten)



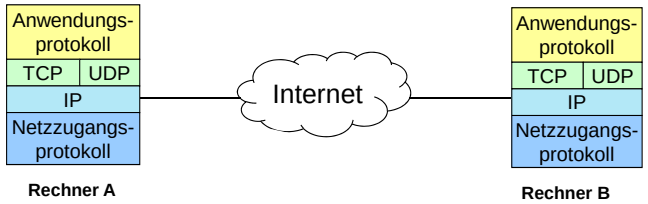
- Isolierung der höheren Schichten von der Technologie, der Struktur und den Unvollständigkeiten der verwendeten Subnetze.
- Transparente Übertragung der Nutzdaten.
- Wahlmöglichkeiten für die Dienstgüte.
- Unabhängige Teilnehmeradressierung: globaler Adressraum für Teilnehmer, unabhängig von Adressen der unteren Schichten.
- **Ziel:** Effizienter und zuverlässiger Dienst soll angeboten werden

6.2.1. Ende-zu-Ende Kommunikation im Internet



Die Transportschicht im Internet

- Im Internet kommen auf Transportebene derzeit hauptsächlich zwei Protokolle zum Einsatz:
  - **TCP** (Transmission Control Protocol): Zuverlässiges, verbindungsorientiertes Transportprotokoll über unzuverlässigem IP
  - **UDP** (User Datagram Protocol): Verbindungsloses Transportprotokoll. Bietet eine Anwendungsschnittstelle zu IP, d.h. es verbessert den Dienst von IP nicht wesentlich.



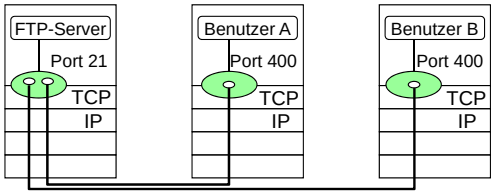
6.2.2. TCP: Eigenschaften und Dienste (II)

- **Datenübertragung:**
  - Vollduplex
  - Gesicherte Übertragung: Fehlerkontrolle durch Folgenummern (Sequenznummern ➔ Sicherstellung der richtigen Reihenfolge), Prüfsumme, Quittierung, Übertragungswiederholung im Fehlerfall
  - Flusskontrolle (durch Fenstermechanismus) und Staukontrolle
  - Unterstützung von Auslieferungsprioritäten
  - Zeitbehaftete Daten: Falls die Auslieferung in einer bestimmten Zeit nicht möglich ist, wird der Dienstbenutzer informiert.

- **Fehleranzeige:**
  - Treten während der Verbindung Störungen auf, wird der Benutzer darüber in Kenntnis gesetzt.

TCP: Adressierung

- Identifikation von TCP-Diensten geschieht über Ports (TSAPs in der OSI-Terminologie)
- Portnummern bis 255 sind standardisiert ("well known ports") und für häufig benutzte Dienste reserviert (z.B. 21 für FTP, 23 für TELNET, 80 für HTTP)
- Ein FTP-Server ist z.B. über (IP-Adresse:Portnummer)129.13.35.7:21 erreichbar
- Socket: Kommunikationsendpunkt einer Kommunikationsbeziehung der Transportschicht, welche durch Fünftupel (Protokoll, lokale Adresse, lokale Portnummer, entfernte Adresse, entfernter Port) spezifiziert ist



TCP: fest vereinbarte port-Nummern (well-known ports)

Viele Anwendungen wählen TCP als Protokoll, allerdings muss der richtige *port* gewählt werden, um auf der Gegenseite mit der richtigen Anwendung zu kommunizieren.

- 13: Tageszeit
- 20: FTP Daten
- 25: SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)
- 53: DNS (Domain Name Server)
- 80: HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)
- 119: NNTP (Network News Transfer Protocol)

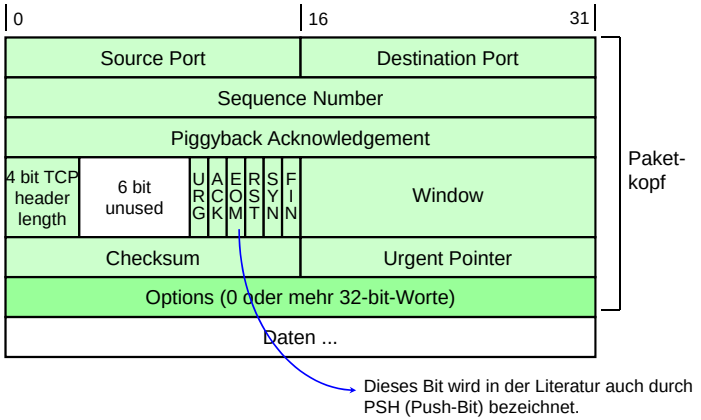
```
> telnet walapai 13
Trying 129.13.3.121...
Connected to leonis.
Escape character is '^]'.
Mon Aug  4 16:57:19 2002
Connection closed by foreign host
```

```
> telnet mailhost 25
Trying 129.13.3.161...
Connected to mailhost .
Escape character is '^]'.
220 mailhost ESMTP Sendmail 8.8.5/8.8.5; Mon,
4 Aug 2002 17:02:51 +0200
HELP
214-This is Sendmail version 8.8.5
214-Topics:
214-    HELO    EHLO    MAIL    RCPT    DATA
214-    RSET    NOOP    QUIT    HELP    VRFY
214-    EXPN    VERB    ETRN    DSN
214-For more info use "HELP <topic>".
...
214 End of HELP info
```

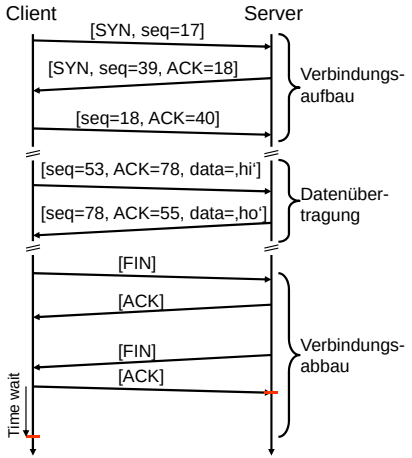

TCP: Verbindungsaufbau

- Verbindungen können nach der Erstellung eines Sockets **aktiv** (connect) oder **passiv** (listen/accept) aufgebaut werden.
  - Aktiver Modus: Anforderung einer TCP-Verbindung mit dem spezifizierten Socket.
  - Passiver Modus: Ein Dienstnutzer informiert TCP, dass er auf eine eingehende Verbindung wartet.
    - Spezifikation eines speziellen Sockets, von dem er eine eingehende Verbindung erwartet wird (fully specified passive open) oder
    - Alle Verbindungen annehmen (unspecified passive open).
    - Geht ein Verbindungsaufbauwunsch ein, wird ein neuer Socket erzeugt, der dann als Verbindungsendpunkt dient.
- Anmerkung:
  - Die Verbindung wird von den TCP-Instanzen ohne weiteres Eingreifen der Dienstbenutzer aufgebaut (es existiert z.B. kein Primitiv, das T-CONNECT.Rsp entspricht).

6.2.2.1. TCP-Paketformat: Aufbau



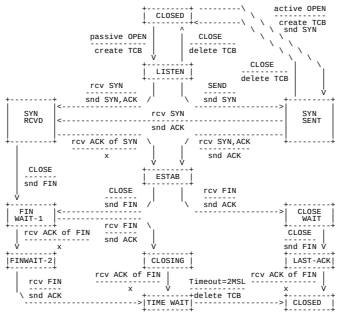
TCP-Verbindungsaufbau/Datenübertragung/ Verbindungsabbau



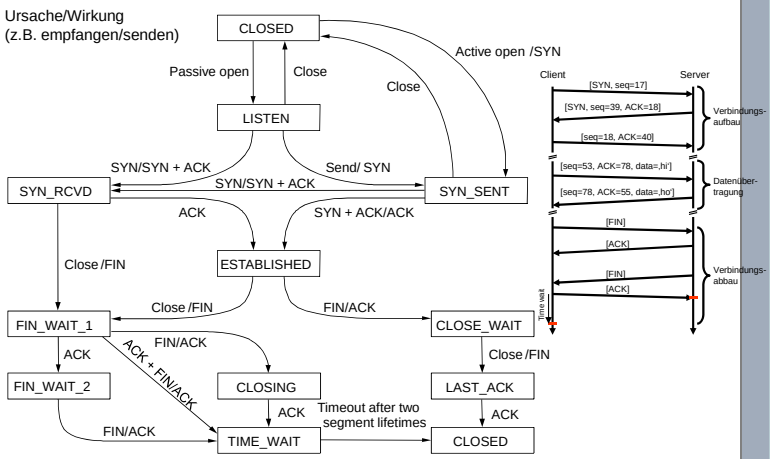
- Verbindungsaufbau
  - 3-Wege-Handshake
  - Aushandlung von Fenstergröße, Sequenznummern
- Datenübertragung
  - Bestätigung im Huckepack
- Verbindungsabbau
  - Bestätigt
  - Ressourcenfreigabe auf Client-Seite erst nach time-wait (frozen reference), typisch sind 30 s, 1 min, 2 min – beeinflusst stark die Leistungsfähigkeit!

TCP-Zustandsübergangsdiagramm

- RFC 793



TCP-Zustandsübergangsdiagramm



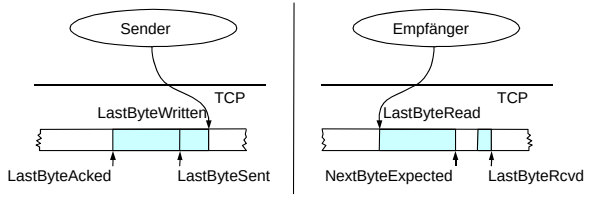
6.2.2.2. TCP: Mechanismen (I)

- Einheit der Datenübertragung: **Segment** (TCP-Header + Nutzdaten)
  - Größenbeschränkung durch max. IP-Nutzdatengöße von 65536 Byte
  - in Praxis: Größe von mehreren tausend Byte, um Fragmentierung auf IP-Ebene zu vermeiden
- **Mechanismen:**
  - Verwendung von **Timern:**
    - z.B. **Retransmission-Timer**: Wird beim Senden eines Segments gestartet
      - Übertragungswiederholung, falls keine Bestätigung vor Ablauf des Timers
      - komplexe Berechnung des Timer-Wertes
  - Verwendung des **Sliding-Windows-**Verfahrens**:**
    - Fenstergröße variabel, wird dem Sender im Feld *Window* mitgeteilt (auch Receiver Window genannt)
    - maximal 16 Bit (2^{16}=65536 Byte)
      - unzureichend für Hochleistungsnetze ⇨ Fensterskalierung bis 2^{32} Byte

TCP: Mechanismen (II)

- Piggybacking (jeweils 16 Bit Sequenznummer)
- Prüfsummenbildung
  - Sicherung von TCP-Header, Nutzdaten und TCP-Pseudoheader
  - TCP-Pseudoheader = IP-Quell-/Zieladresse, IP-Protocol-Feld (6), TCP-Segmentgröße
- Ähnlich wie Go-Back-N
  - Bestätigungsnr. *n* bestätigt Empfang aller Bytes bis Seq.-Nr. *n-1*
  - Übertragungswiederholung aufgrund Ablauf von Retransmission Timer
  - Pakete, die in der falschen Reihenfolge ankommen, werden am Empfänger zwischengespeichert (Unterschied zu Go-Back-N).
- Aushandlung bei Verbindungsaufbau:
  - Selective-Repeat (RFC 1106)
    - durch NAK kann fehlerhaftes Segment explizit angefordert werden
  - Selective Acknowledge (1996, RFC 2018)
    - durch SACK werden einzelne, korrekt empfangene Segmente bestätigt
- Flusssteuerung und Staukontrolle
  - Siehe Kapitel 9

Sliding Window – Prinzip in TCP



Sender

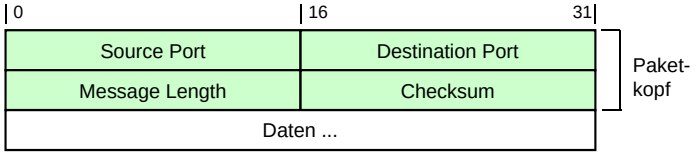
- **`LastByteAcked <= LastByteSent`**
- **`LastByteSent <= LastByteWritten`**
- Puffern aller Daten zwischen **`LastByteAcked`** und **`LastByteWritten`**

Empfänger

- **`LastByteRead < NextByteExpected`**
- **`NextByteExpected <= LastByteRcvd +1`**
- Puffern aller Daten zwischen **`NextByteRead`** und **`LastByteRcvd`**

6.2.3. UDP (User Datagram Protocol)

- Unzuverlässig, verbindungslos, einfacher und schneller als TCP
- Demultiplexing der empfangenen Pakete basiert auf der Port-Nummer
- Optionale Prüfsumme



- festgelegte, sog. „well-known“ ports:
  - 13: daytime
  - 53: domain name server
  - 123: network time protocol
- sehr viele Multimedia-Anwendungen nehmen UDP statt TCP wegen Leistungsvorteilen