



STUDIERN  
AUF HÖCHSTEM  
NIVEAU

**Prof. Dr. Jürgen Anders, Hochschule Furtwangen  
Fakultät Digitale Medien**

## Ein Rechnernetz ist...

- ...ein Zusammenschluss von Geräten
- ...zur gegenseitigen Kommunikation
- ...mithilfe von Kommunikationsprotokollen

## Rechnernetze bestehen aus drei Komponenten:

- Endgeräte (Basiskomponenten), auch Hosts genannt, z.B. Rechner, Smartphone, Tablet, ...
- Zwischensysteme (Infrastrukturkomponenten, Knoten) zum Anschluss und zur Kopplung der Clients  
-> Router, Switch, Repeater
- Physikalische Verbindung über ein Trägermedium, z.B. Verkabelung (Ethernet-Kabel), Funkverbindungen, ...

## Rechnernetze nutzen Kommunikationsverbindungen:

- Je nach **Nutzungsszenario** gibt es verschiedene Arten von Kommunikationsverbindungen wie
  - **Festverbindung**
  - **Leitungsvermittelt**
  - **Paketvermittelt**
  - **Zellvermittelt**
  - **Drahtlos**

- Damit in einem Rechnernetz Nachrichten ausgetauscht werden können, braucht jeder Teilnehmer eine im Netzwerk eindeutige **Netzwerkadresse**
- Um allen Teilnehmern einen fairen Zugriff auf gemeinsame Netzwerkinfrastruktur zu bieten, sind Rechnernetze nach dem Prinzip der **Paketvermittlung** organisiert
- Bei Paketvermittlung werden die Nachrichten in kurze Datenpakete zerlegt (**Fragmentierung**), die dann im Netzwerk einzeln und unabhängig voneinander übertragen und beim Empfänger wieder zur eigentlichen Nachricht zusammengesetzt (**Defragmentierung**) werden
- Transportweg „Route“ der einzelnen Pakete durch ein Internet ist nicht von vornherein festgelegt, Absender muss nur den Wegabschnitt zur nächsten Vermittlungsstation kennen
- Optimale Wege durch ein Internet werden durch spezielle Routing-Algorithmen bestimmt
- Datenpakete werden mit einem **Paketheader** ausgestattet, der alle zum Transport nötigen Informationen enthält, z.B. die Netzwerkadresse des Adressaten des Datenpakets
- Paketvermittelte Netze nutzen „**statistisches Multiplexen**“ um den Datenverkehr vieler Nutzer gleichzeitig verarbeiten zu können
- Die **Dimensionierung** von Paketnetzen erfolgt über Berechnungen zu **Verzögerung** und **Durchsatz**
- **Verkehrsmanagement** und **Dienstklassen** werden über Scheduling-Algorithmen realisiert
- Physikalische Übertragungsmedien arbeiten nie fehlerfrei – zusätzliche Mechanismen zur **Fehlererkennung** bzw. **Fehlerkorrektur** sind erforderlich

Rechnernetze lassen sich nach verschiedenen Aspekten klassifizieren, z.B. in Bezug auf

## räumliche Ausdehnung...:

- |               |                 |                                 |
|---------------|-----------------|---------------------------------|
| • 0,1 m       | Platine         | Multiprozessorsystem            |
| • 1 m         | System          | Multiprozessor-Cluster          |
| • 10 m        | Raum            | PAN - Personal Area Network     |
| • 1 km        | Gebäude, Campus | LAN - Lokal Area Network        |
| • 10 km       | Stadt           | MAN - Metropolitan Area Network |
| • 100-1000 km | Land, Kontinent | WAN – Wide Area Network         |
| • 10.000 km   | Planet          | Internet                        |

## ... oder Funktion

- **Funktionsverbund:** verbindet Spezialrechner oder Rechner mit Spezialperipherieausstattung oder Spezialdatenbeständen
- **Lastverbund:** zwischen verbundenen Rechnern findet Lastausgleich statt
- **Sicherheitsverbund:** bei Ausfall eines Systems übernimmt anderes System dessen Funktion
- **Homogenes / inhomogenes Rechnernetz:** alle Rechner sind vom gleichen / verschiedenen Typ
- **Öffentliches / privates Rechnernetz:** öffentlicher Zugang / Zugang nur für begrenzten Nutzerkreis
- **VPN – Virtual Private Network:** internetbasiertes, dem Verhalten nach privates Netzwerk

# Leitungs - und Paketvermittlung



STUDIERN  
AUF HÖCHSTEM  
NIVEAU

Prof. Dr. Jürgen Anders, Hochschule Furtwangen  
Fakultät Digitale Medien

Je nach **Nutzungsszenario** gibt es verschiedene Arten von Kommunikationsverbindungen wie

- **Festverbindung**/Standleitung/Leased Line Übertragungstechnik
- **Leitungsvermittelt** / Circuit Switched – Klassische Wählverbindung (PSTN=Public Switched Telephone Networks)
- **Paketvermittelte** Netze – Datagramnetze und Virtuelle Leitungen (PDN= Public Data Networks)
- **Zellvermittelte** Netze
- **Drahtlose** Netze



Für diesen Beruf waren eine gute Schulbildung, beste Umgangsformen und, wenn möglich, Fremdsprachenkenntnisse erforderlich. Für die Aufnahme wurden lediglich einige Einstellungstests durchgeführt. Die Damen mussten jung, ledig und aus gutem Hause sein. Die Ausbildung bzw. die Anlernzeit finanzierte die Post. Das Gehalt war ähnlich wie beispielsweise das der Sekretärin. Es reichte aus, um eine unverheiratete Frau zu versorgen.

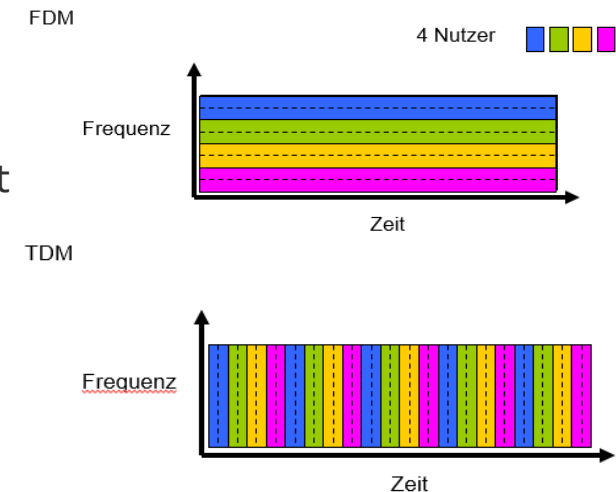
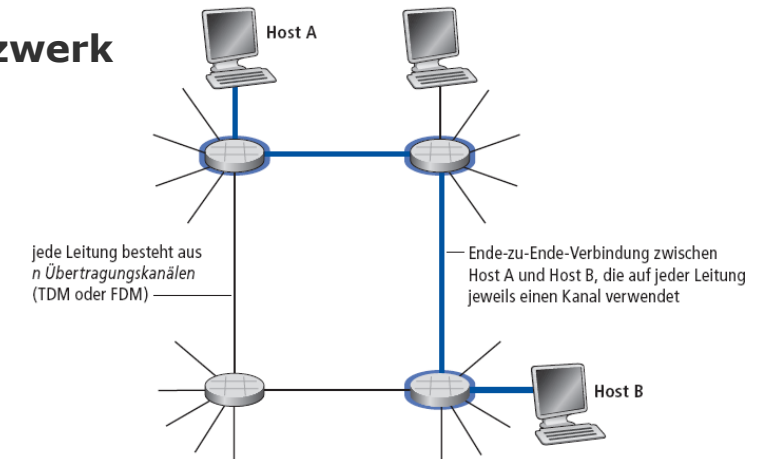


# Leitungsvermittlung, FDM und TDM

Telekommunikationsnetze sind traditionell leitungsvermittelt

**Leitungsvermittelte Netze** – Switching Networks, z.B. ursprüngliches **Telefonnetzwerk**

- Kommunikationspartnern wird **stehende Verbindung** zur Verfügung gestellt, die nicht von anderen Kommunikationsteilnehmern mitgenutzt oder unterbrochen werden kann
- Verbindung wird über viele verschiedene **Vermittlungsstationen** geschaltet
- Beim **Verbindungsaufbau** entsteht Wartezeit
- Übertragung selbst erfolgt mit **minimaler konstanter Verzögerung**
- Kommunikationsteilnehmern wird **feste Datenübertragungsrate** geboten
- **Kommunikationskosten** sind **proportional** zur **Verbindungsdauer**
- Bereits Ausfall nur einer Vermittlungsstation zerstört Verbindung
- Netzwerkressourcen (z.B. Bandbreite) werden in **Einheiten** aufgeteilt
- Einheiten werden **Rufen** zugewiesen, **bleiben ungenutzt**, wenn sie von ihrem Ruf nicht (keine gemeinsame Nutzung von Ressourcen)
- Wie teilt man die Bandbreite einer Leitung in Einheiten auf?
  - **Frequenzmultiplex** (Frequency Division Multiplex, FDM)
  - **zeitmultiplex** (Time Division Multiplex, TDM)

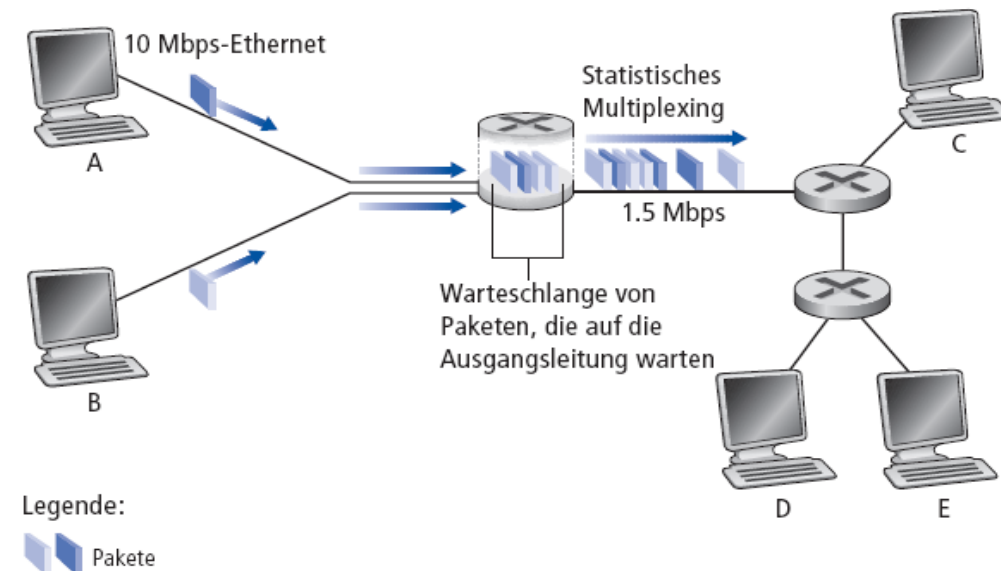


# Paketvermittlung

- Bei Computerkommunikation beobachtet man im Datenaufkommen sehr starke Schwankungen – es treten Zeitintervalle – „**Bursts**“ – mit maximaler Aktivität auf
- Um ausfallsicheren und fairen Zugriff für alle Kommunikationsteilnehmer auf die gemeinsame Netzwerkinfrastruktur zu gewährleisten, werden Rechnernetze **nicht** nach dem Prinzip der Leitungsvermittlung organisiert, sondern nach dem Prinzip der **Paketvermittlung**
- Paketvermittlung ist auch das Grundprinzip der Kommunikation im Internet
- Die Folge von Paketen auf der Leitung hat kein festes Muster, die Bandbreite wird nach Bedarf verteilt -> **statistisches Multiplexing**
- TDM: Jede Verbindung erhält immer den gleichen Zeitrahmen in einem sich wiederholenden Muster



**Leonhard Kleinrock:** Erfinder der Paketvermittlung





## Jeder Ende-zu-Ende-Datenstrom wird in Pakete aufgeteilt

- Die Pakete aller Nutzer teilen sich die Netzwerkressourcen
- Jedes Paket nutzt die volle Bandbreite der Leitung
- Ressourcen werden nach Bedarf verwendet

## Wettbewerb um Ressourcen:

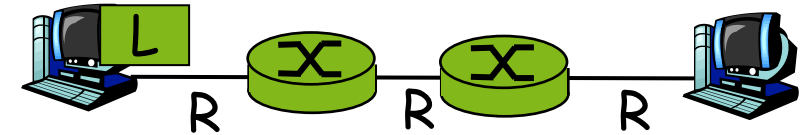
- Die Nachfrage nach Ressourcen kann das Angebot übersteigen
- Überlast: Pakete werden zwischengespeichert und warten darauf, eine Leitung benutzen zu können
- Store and Forward: Pakete durchqueren eine Leitung nach der anderen
  - Knoten (z.B. Router) empfangen ein komplettes Paket, bevor sie es weiterleiten

## Paketvermittlung unterstützt NICHT:

Aufteilung der Bandbreite in Einheiten  
Dedizierte Zuweisung  
Reservierung von Ressourcen

## Store and Forward

- Es dauert  $L/R$  Sekunden, um ein Paket von  $L$  Bits auf einer Leitung mit der Rate  $R$  bps zu übertragen
- Store and Forward: Das gesamte Paket muss bei einem Router angekommen sein, bevor es auf der nächsten Leitung übertragen werden kann
- Verzögerung =  $3L/R$  (wenn die Ausbreitungsverzögerung vernachlässigt wird)
- **Beispiel:**  
 $L = 7,5$  Mbit,  $R = 1,5$  Mbit/s, Übertragungsverzögerung = 15 s



## Verzögerung

Die Gesamtverzögerung eines Datenpaketes entlang einer Kommunikationslinie setzt sich aus folgenden Einzelkomponenten zusammen:

- Verarbeitungsverzögerung
- **Warteschlangenverzögerung**
- Übertragungsverzögerung
- Ausbreitungsverzögerung

**Verkehrswert:  $L \cdot a / R$**   
**Der Verkehrswert muss  $< 1$  sein!**

$$d_{\text{Knoten}} = d_{\text{verarbeitung}} + d_{\text{warten}} + d_{\text{übertragung}} + d_{\text{ausbreitung}}$$

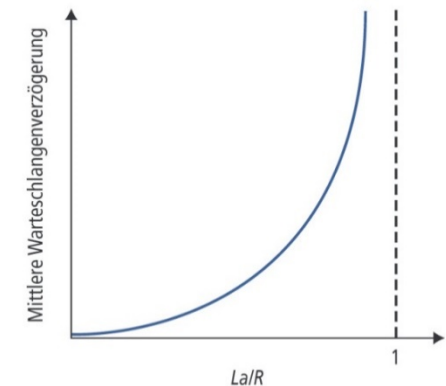


Abbildung 1.14: Abhängigkeit der mittleren Warteschlangen-Verzögerung vom Verkehrswert

$d$ : Verzögerung  
 $L$ : Länge der Pakete  
 $a$ : mittlere Paketrate  
 $R$ : Übertragungsgeschwindigkeit

### First in First Out (FIFO)

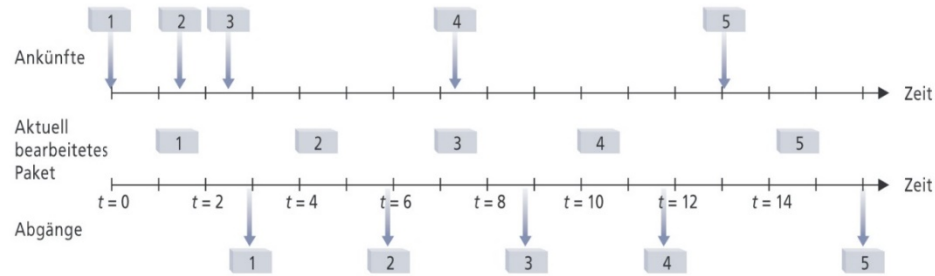


Abbildung 7.22: Arbeitsweise einer FIFO-Warteschlange

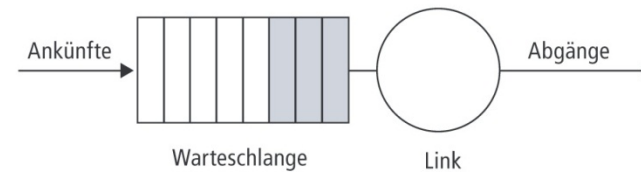


Abbildung 7.21: Abstraktion der FIFO-Warteschlange

### Prioritätswarteschlangen

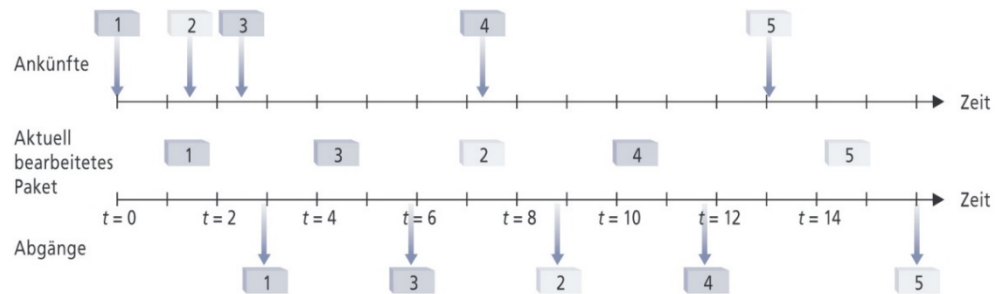


Abbildung 7.24: Arbeitsweise einer Prioritätswarteschlange

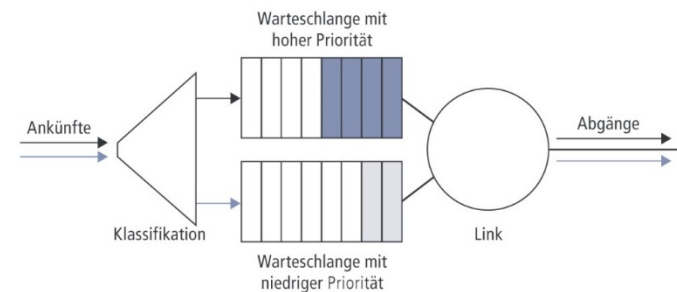


Abbildung 7.23: Modell einer Prioritätswarteschlange

### Round Robin und Weighted Fair Queueing

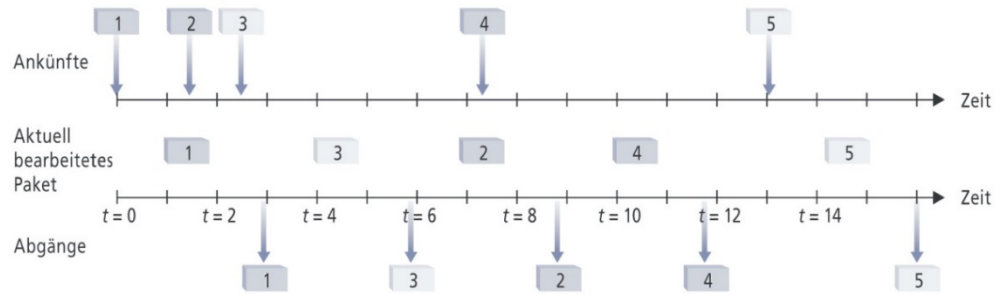


Abbildung 7.25: Arbeitsweise einer Round-Robin-Warteschlange mit zwei Klassen

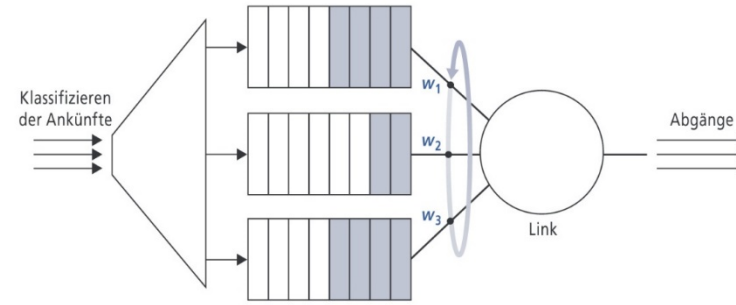


Abbildung 7.26: Weighted Fair Queueing (WFQ)

### Leaky Bucket Mechanismus:

### Einhalten einer durchschnittlichen Übertragungsrate



Abbildung 7.27: Leaky-Bucket-Mechanismus