

Skriptum zur Vorlesung

# RECHNERNETZE 1

Thilo Kielmann

Fachbereich Elektrotechnik und Informatik

Universität Siegen 



## Inhaltsverzeichnis

Dieses Skriptum besteht aus 11 Kapiteln:

Kürzel	Titel
EIN	Einführung
PKA	Protokollarchitekturen
PHY	Physikalische Netzwerkverbindungen
SIC	Sicherung der Übertragung
LAN	LAN-Technologien
WLA	Drahtlose Netzwerke
PAK	Packet-Switching
INW	Internetworking
ROU	Routing
INT	Das Globale Internet
IP6	IP Version 6, IP Multicast

## Empfehlenswerte Literatur

Dieses Skriptum basiert auf (Kapitel 1-4 aus) dem folgenden Lehrbuch:

Larry L. Peterson & Bruce S. Davie

**Computer Networks: A Systems Approach**

Second Edition

Morgan Kaufmann, 2000

ISBN: 1-55860-577-0

Dies ist auch in Deutscher Übersetzung erhältlich:

Larry L. Peterson & Bruce S. Davie

**Computernetze: Ein modernes Lehrbuch**

dpunkt.verlag, Heidelberg, 2000

ISBN: 3-932588-69-X

Ebenfalls empfehlenswert sind die beiden folgenden (neuen) Bücher:

1. Andrew S. Tanenbaum

**Computer Networks, fourth Edition**

Prentice Hall, 2003

ISBN: 0-13-066102-3

Auf diesem Buch basiert das Kapitel über drahtlose Netzwerke.

2. Larry L. Peterson & Bruce S. Davie

**Computer Networks: A Systems Approach**

Third Edition

Morgan Kaufmann, erscheint im Juni 2003

ISBN: 1-55860-833-8

## Copyright

Das Copyright © für dieses Skriptum liegt bei Thilo Kielmann, 2000–2003. Ausnahmen gelten für Teile der Abbildungen sowie wörtliche Zitate. Für letztere liegt das Copyright bei den zitierten Autoren.

Teile der Abbildungen stammen aus *Peterson/Davie, Computer Networks, Second Ed.*, Copyright ©, 2000, bei Morgan Kaufmann Publishers. Weitere Teile der Abbildungen stammen aus *Tanenbaum, Computer Networks, Third Ed.*, Copyright ©, 1996, bei Prentice Hall, PTR, sowie *Tanenbaum, Computer Networks, Fourth Ed.*, Copyright ©, 2003, 1996 bei Pearson Education, Inc.

# EINFÜHRUNG

## Problemstellung:

Wie und woraus ist ein Netzwerk aufgebaut?

## Lernziele:

- Die Teilnehmer sollen die prinzipielle Struktur von Netzwerken erklären können.
- Die Grundkonzepte der Netzwerkkommunikation (Netzwerkaufbau, Vermittlungsverfahren, Kommunikationsmuster sowie Performance-Begriffe) sollen verstanden werden.

## Inhalt:

- Anforderungen
- Verbindungsstruktur
- SANs, LANs, MANs und WANs
- Vermittlungsverfahren
- Kommunikationsmuster
- Performance

# Anforderungen

Rechnernetze verbinden miteinander nicht nur stets mehr Computer, aber auch Organisationen, Firmen und nicht zuletzt Menschen. Die meisten Benutzer “sehen” von ihrem Netzwerk nicht viel mehr als ein Kabel, das in der Wand verschwindet. Andere (z.B. Systemadministratoren) sind täglich umgeben von größeren Menge technischen Geräts und können im Einzelfall kaum unterscheiden, welche Komponenten (z.B. Server-Maschinen, Drucker) nun eigentlich zum Netzwerk gehören und welche nicht. Der Slogan der Firma Sun bringt es auf den Punkt: “The network is the computer.” Erst die Netzwerkverbindung (und die darüber erreichbaren Services) machen den Gebrauchswert eines heutigen Computers aus. Was wäre denn heute noch eine Workstation ohne Anschluß an diverse Server, ein Home-PC ohne Modem zum Internet-Provider und ein Laptop ohne drahtloses Ethernet?

Netzwerke sind somit essentielle Bestandteile unserer Rechner geworden, genau wie CPU, Hauptspeicher und Festplatte. Was Netze von anderen Komponenten unterscheidet ist die Tatsache, daß sie immer mehrere Rechner miteinander verbinden und somit der überschaubare und kontrollierbare Rahmen schnell verloren geht. Dieses Skriptum versucht daher etwas Licht in’s Dunkel zu bringen, indem der Schwerpunkt auf dem *wie* und *warum* der Funktionsweise von Netzwerken gelegt wird.

Bevor wir uns den technischen Konzepten zuwenden sollte jedoch noch bedacht werden, daß Rechnernetze aus vielerlei Perspektiven beurteilt werden können (und müssen). Von der jeweiligen Perspektive hängt dann natürlich ganz stark die Beurteilung der im Laufe der Veranstaltung vorgestellten Technologien ab. Typische Perspektiven sind z.B.:

- Applikations-Programmierer,  
beschreibt Service-Anforderungen der Applikationen, z.B. die Garantie daß alle Nachrichten eines Programms unverfälscht und in einem gewissen (endlichen) Zeitraum zugestellt werden.
- Netzwerk-Designer,  
beschreibt Anforderungen für kosteneffizientes Design wie z.B. die gute Ausnutzung von Ressourcen und faire Aufteilung unter verschiedenen Benutzern.
- Netzwerk-Anbieter,  
beschreibt Anforderungen an einfache Administration wie z.B. Fehler-Isolation oder Abrechnung mit den Anwendern (Accounting).

## Verbindungsstruktur

### Direkte Verbindungen

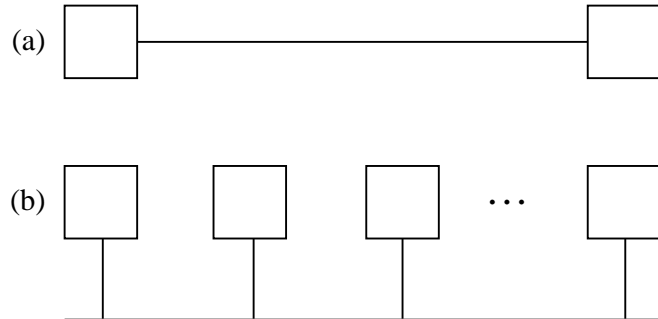


Abb. EIN-1

Direkte Verbindungen  
(a) point-to-point  
(b) multiple-access

Im einfachsten Fall (Abb. EIN-1) sind alle angeschlossenen Geräte (sog. Knoten) direkt miteinander verbunden. Wir unterscheiden zwischen:

#### (a) Point-to-Point Verbindungen

Hier werden genau zwei Knoten verbunden.

#### (b) Multiple-Access Verbindungen

Dabei entstehen sofort die Probleme

- ◊ Adressierung, Identifikation der Kommunikationspartner  
"Für wen ist eine Nachricht bestimmt?"
- ◊ Zugriffskontrolle, "Wer darf wann senden?"

Direktverbindungs-Netzwerke sind in ihren Möglichkeiten begrenzt, sowohl durch physikalische Grenzen wie z.B. Leitungslängen als auch durch die Anzahl anschließbarer Geräte.

### Switch-basierte Netzwerke

Die Limitationen der Direktverbindungs-Netzwerke werden bei Switch-basierten Netzen aufgehoben.

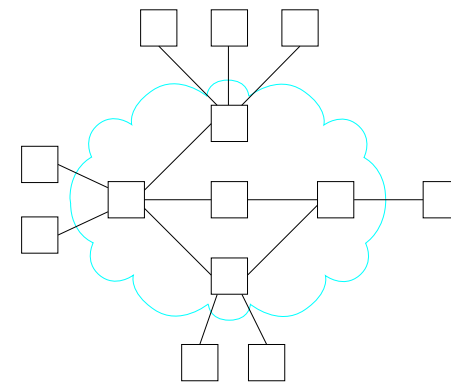


Abb. EIN-2

Ein Netzwerk mit Switches

Hierbei sind die Rechner nicht direkt miteinander verbunden, sondern über eine andere Art von Netzwerkknoten, den sog. Switches (engl.: Schalter). Je nach der verwendeten Vermittlungstechnik (s.u.) unterscheiden wir zwischen *Circuit Switching* und *Packet Switching*.

Da die Grundfunktion von Switches das Weiterleiten von Informationen ist, ist das Adressierungsproblem zentral: "Wohin wird diese Nachricht weitergeleitet: direkt an den Empfänger oder doch erst an einen anderen Switch?" Dieser Vorgang des Weiterleitens wird *Forwarding* genannt; mehr dazu in den Kapiteln über Switching und Routing.

### Internetworking

Bei der Verwendung mehrerer Switches verschwimmt die Grenze zwischen den einzelnen Netzwerken. Generell betrachtet man mehrere Teilnetzwerke (die Wolken in Abb. EIN-3) als elementare Bestandteile eines größeren Rechnerverbundes. Bei der Kommunikation zwischen mehreren Netzen spricht man dann von *Internetworking*.

Peterson/Davie (2000) fassen das Thema "Verbindungsstruktur" zu folgender Definition des Begriffs *Netzwerk* zusammen:

"The main idea to take away from this discussion is that we can define a *network* recursively as consisting of two or more nodes connected by a physical link, or as two or more networks connected by one or more nodes. In other words, a network can be constructed from a nesting of networks, where at the bottom level, the network is implemented by some physical medium. One of the key challenges in providing network connectivity is to define an address for each node that is reachable on the network (including support for broadcast and multicast connectivity), and to be able to use this address to route messages toward the appropriate destination node(s)."

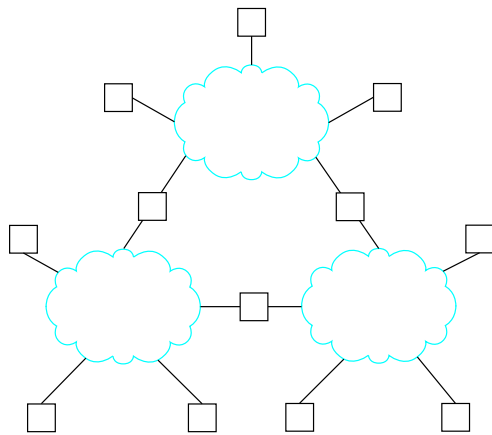


Abb. EIN-3 Verbindung mehrerer Netzwerke

### SANs, LANs, MANs und WANs

Eine Möglichkeit zur Charakterisierung von Netzen ist, deren räumliche Ausbreitung zu betrachten. Dabei ist vor allem von Interesse welche Technologien verwendet werden und welche (Performance-)Eigenschaften die Anwender vom jeweiligen Netzwerk erwarten dürfen. Allerdings sollte man bei dieser Charakterisierung nicht vergessen, daß die Grenzen zwischen den Kategorien fließend verlaufen.

#### Local Area Networks (LANs)

Lokale Netze (LANs) haben eine Ausdehnung von bis zu 1km. Eine bessere Beschreibung sagt, daß ein LAN sich innerhalb eines Gebäudes ausbreitet. LANs sind typischerweise zentral administriert; deshalb und weil relativ wenige Koppellemente (Switches, Router) eingesetzt werden, sind LANs normalerweise recht zuverlässig. Die vorhandene Netzwerkkapazität wird unter wenigen Benutzern (bis zu einigen hundert) aufgeteilt. Anwender können daher relativ hohe Übertragungsraten ohne allzuvielen Schwankungen erwarten.

#### Metropolitan Area Networks (MANs)

Ein MAN breitet sich in etwa in den Grenzen einer Stadt aus (ca. 10km Durchmesser). Der Begriff MAN definiert eine Zwischenstufe zwischen den Charakteristika von LAN und WAN. Seine Bedeutung hat in letzter Zeit abgenommen.

#### Wide Area Networks (WANs)

WANs breiten sich zwischen Städten, Ländern aus Kontinenten aus. Notgedungen werden WANs von einer Vielzahl von Organisationen und Firmen administriert. WANs unterliegen ständigen Veränderungen, sowohl was die verwendete Technologie als auch die Benutzerlast betrifft. Von daher kommt es in WANs immer wieder zu sporadischen (Teil-)Ausfällen und zu starken Schwankungen der erzielbaren Übertragungsraten.

#### System Area Networks (SANs)

SANs sind typischerweise auf einen einzelnen Raum beschränkt. Sie werden als Hochgeschwindigkeitsnetze für Parallelrechner eingesetzt. (Weit verbreitete Technologien sind z.B. HiPPI (High Performance Parallel Interface) und Myrinet. SANs sind von Interesse, weil sie den technologisch aktuellen Stand der Hochgeschwindigkeitsnetze implementieren.

## Vermittlungsverfahren

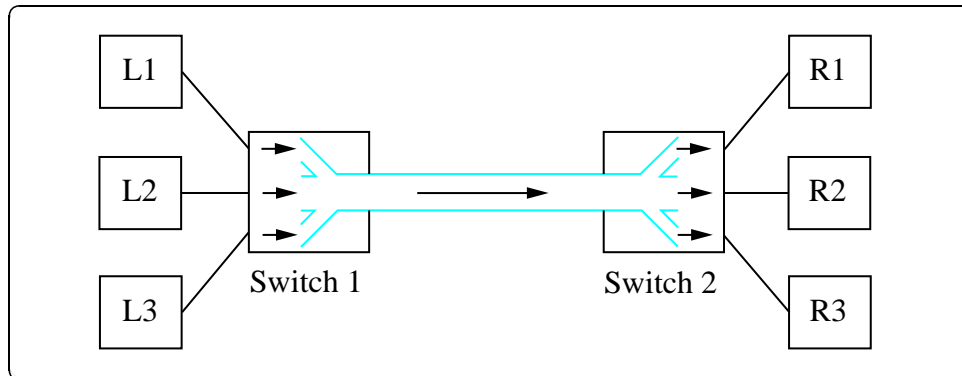


Abb. EIN-4 Multiplexing mehrerer Datenströme über eine Verbindung

Wie oben beschrieben bestehen Netzwerke aus den daran angeschlossenen Rechnern, aus Zwischenknoten (Switches, Router, etc.) und aus Verbindungsleitungen zwischen diesen Knoten. Die Leitungen und Switches stehen allen angeschlossenen Rechnern (mehr oder weniger) gleichermaßen zur Verfügung. Demzufolge muß ein Multiplexing mehrerer gleichzeitiger (=konkurrierender) Datenströme erfolgen. Wie dies geschehen kann, kann anhand der möglichen Vermittlungsverfahren erklärt werden.

### Vermittlungsarten

- Leitungsvermittlung (*Circuit Switching*)
- Nachrichtenvermittlung (*Message Switching*)
- Paketvermittlung (*Packet Switching*)

### Leitungsvermittlung

- Einsatzgebiet: Sprachübertragung
  - weitgehend gleichmäßige Ausnutzung der Leitung während der gesamten Gesprächsdauer
  - verhältnismäßig geringe Übertragungsbandbreite erforderlich

- Kommunikationsstruktur
  - Aufbau eines festen Leitungsweges zwischen den Kommunikationspartnern (siehe Abb. EIN-5)
  - Reservierung für die gesamte Gesprächsdauer
  - exklusive Nutzung durch die beiden Kommunikationspartner

### Kommunikationsablauf

- Verbindungsaufbau
- Datenübertragung (analog oder digital)
- Verbindungsabbau

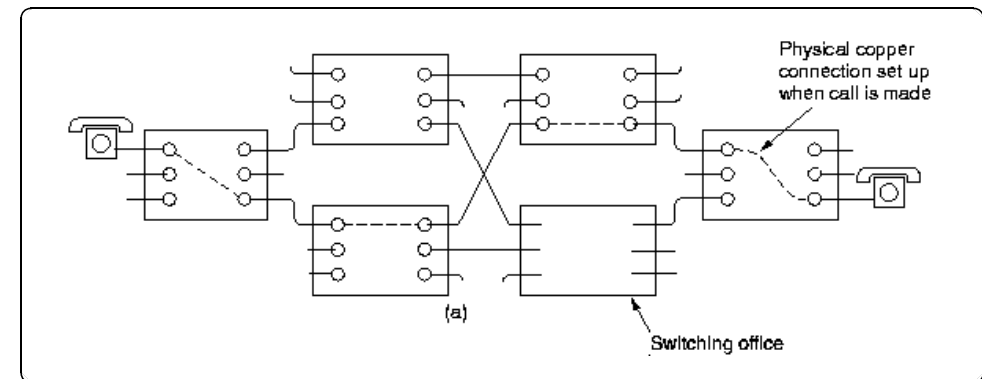


Abb. EIN-5 Leitungsvermittlung

- Eigenschaften der Leitungsvermittlung
  - Vorteile
    - ◊ Verzögerungen bei der Datenübertragung nur durch die Übertragungsgeschwindigkeit
    - ◊ Transparenz des Kommunikationssystems nach dem Verbindungsaufbau
  - Nachteile
    - ◊ zeitaufwendiger Verbindungsaufbau
    - ◊ Erfolg bzw. Mißerfolg eines Verbindungsaufbaus hängt von den aktuell vorhandenen Verbindungen ab → Blockierungsproblematik
    - ◊ Ausfallproblematik: für die gesamte Dauer der Kommunikation müssen alle beteiligten Datenstationen und Kommunikationsrechner verfügbar sein
    - ◊ Leerzeiten auf einer Verbindung sind nicht anderweitig verwendbar  
⇒ schlechte Ausnutzung der Leitungskapazitäten  
siehe Tab. EIN-1 (Kompressionsfaktor: Faktor, um den sich die Übertragungszeit durch Elimination der Leerzeiten verkürzt)

Form der Datenübertragung	Kompressionsfaktor
Sprachübertragung (Telefon)	ca. 3
Datenübertragung	ca. 15

Tab. EIN-1 Kompressionsfaktoren für Sprach- und Datenübertragung

### Nachrichtenvermittlung

- Nachricht: logische Dateneinheit, z. B.
  - Telegramm
  - Datei
  - Anfrage an Datenbanksystem
  - elektronischer Brief
- kein dedizierter Verbindungsaufbau
- Übertragung der Nachricht im **Store-and-Forward** Verfahren
  - Protokoll auf jedem Kommunikationsrechner, der auf dem Weg zwischen Nachrichtenquelle und -ziel liegt:
    - ◇ Empfang der Nachricht
    - ◇ Zwischenspeichern der Nachricht
    - ◇ Quittieren der Nachricht an den Vorgängerknoten
    - ◇ Weiterleiten der Nachricht auf **geeigneter** Verbindung zum nächsten Kommunikationsrechner bzw. Empfänger der Nachricht → Realisierung einer **Routing-Funktion**
      - ▷ Nachrichtenkopf enthält Informationen über Ziel (Empfänger) und (eventuell) bisherigen Weg der Nachricht
      - ▷ Routing-Verfahren verwendet diese Information zur Auswahl des nächsten Knotens
    - ◇ Aufbewahren der Nachrichtenkopie, bis Quittung vom Nachfolgerknoten eingetroffen ist
- Eigenschaften der Nachrichtenvermittlung
  - Vorteile
    - ◇ hohe Auslastung der Übertragungswege erreichbar
      - ▷ keine Blockierung von Leitungskapazitäten durch Leerphasen innerhalb einer Kommunikation
    - ◇ kein Verbindungsauf- und -abbau
    - ◇ Sender und Empfänger müssen nicht gleichzeitig verfügbar sein

- ◇ kein Zurückweisen von Übertragungsaufträgen
- ◇ Broadcast-Übertragungen sind möglich
- ◇ Konkurrierende Übertragungen können durch Prioritätsvorgaben geregelt werden
- ◇ Quittungsmechanismus verwendbar für Übertragungsfehlerprüfung
- ◇ Durchführung von Code-Umwandlungen und Geschwindigkeitsumsetzungen in Übertragungsknoten
- Nachteile
  - ◇ unterschiedliche Übertragungsverzögerungen in Abhängigkeit von der Netzbelastung
    - ▷ Verzögerungen beim Bearbeiten des Vermittlungsauftrags im Kommunikationsrechner
    - ▷ Wartezeiten, wenn zunächst andere Nachrichten im Kommunikationsrechner verarbeitet werden müssen
    - ▷ Verzögerungen durch Nachrichtenwiederholungen
      - Übertragungsfehler
      - Empfänger nimmt Nachricht z. B. wegen Pufferüberlauf nicht an
  - ◇ Nachrichtenvermittlung wegen der unvorhersehbaren Verzögerungen für bestimmte Dienste ungeeignet
    - ▷ Realzeitbetrieb
    - ▷ Dialogbetrieb
    - ▷ Sprachübertragung

### Paketvermittlung

- Nachrichtenübermittlung
  - Nachrichten besitzen variable Länge
  - kurze Nachrichten können durch lange, bereits in Bearbeitung befindliche Nachrichten extrem verzögert werden
- Konzept der Paketvermittlung (siehe Abb. EIN-6)
  - Nachricht in Einheiten fester Länge zerlegt: **Pakete**
  - Paket stellt Übertragungseinheit dar
- Auswirkung auf die Nachrichtenübertragung
  - Pakete aus kurzen Nachrichten können zwischen die Pakete längerer Nachrichten geschoben werden
  - Voraussetzung: kein Benutzer monopolisiert eine Übertragungsleitung
- Zusammenhang zwischen Paketgröße und Übertragungszeit (vergl. Abb. EIN-7)
  - zunächst führt Reduzierung der Paketgröße zur Verbesserung der Übertragungszeit

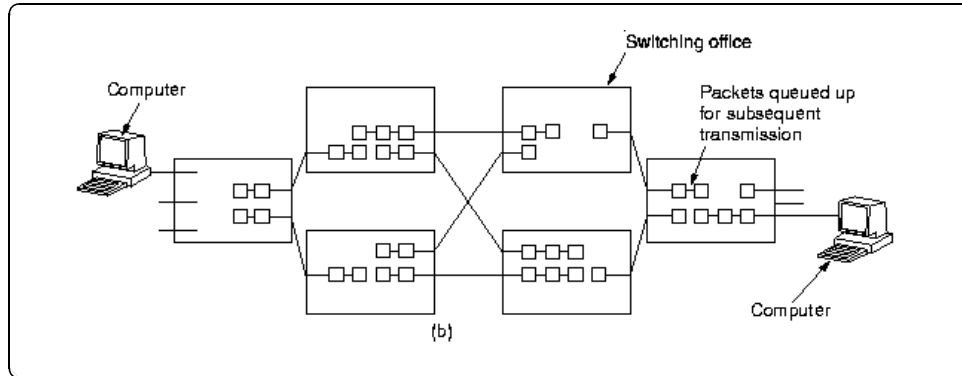


Abb. EIN-6 Paketvermittlung

- Umkehrung dieses Verhaltens bei zu geringer Paketgröße → Dominanz der Verwaltungsinformationen
- Probleme bei der Paketvermittlung
  - Aufrechterhaltung der Paketreihenfolge
    - ◊ schwierig, wenn durch das verwendete Fehlerbehandlungsprotokoll Paketduplikate erzeugt werden
  - Reassembly Deadlocks können auftreten
    - ◊ alle Pufferplätze beim Empfänger sind mit unvollständigen Nachrichten belegt  
⇒ keine Nachricht kann komplettiert werden
- Organisation des zu einer Nachricht gehörenden Paketstroms
  - **Datagrammverkehr** (*Datagram Service; verbindungslos; verbindungsunabhängig; connectionless*)
    - ◊ Paket stellt in sich abgeschlossene Einheit dar
    - ◊ Übertragung unabhängig von den anderen Paketen der Nachricht
    - ◊ Pakete einer Nachricht können unterschiedliche Wege verwenden
  - **virtuelle Verbindung** (*Virtual Circuit; verbindungsorientiert; connection-oriented*)
    - ◊ Aufbau einer **logischen** Verbindung zwischen Sender und Empfänger vor dem Senden des ersten Paketes der Nachricht
    - ◊ alle Pakete einer Nachricht verwenden denselben Weg  
beachte: es wird **kein** physikalischer Übertragungsweg mit einer festen Übertragungskapazität reserviert wie bei der Leitungsvermittlung
- Vorteile des Datagrammverkehrs gegenüber virtuellen Verbindungen
  - schnellere Übertragung kurzer Nachrichten (d. h. wenige Pakete)
  - Pakete können stark belastete Netzteile umgehen, da kein fester Weg vorgeschrieben ist

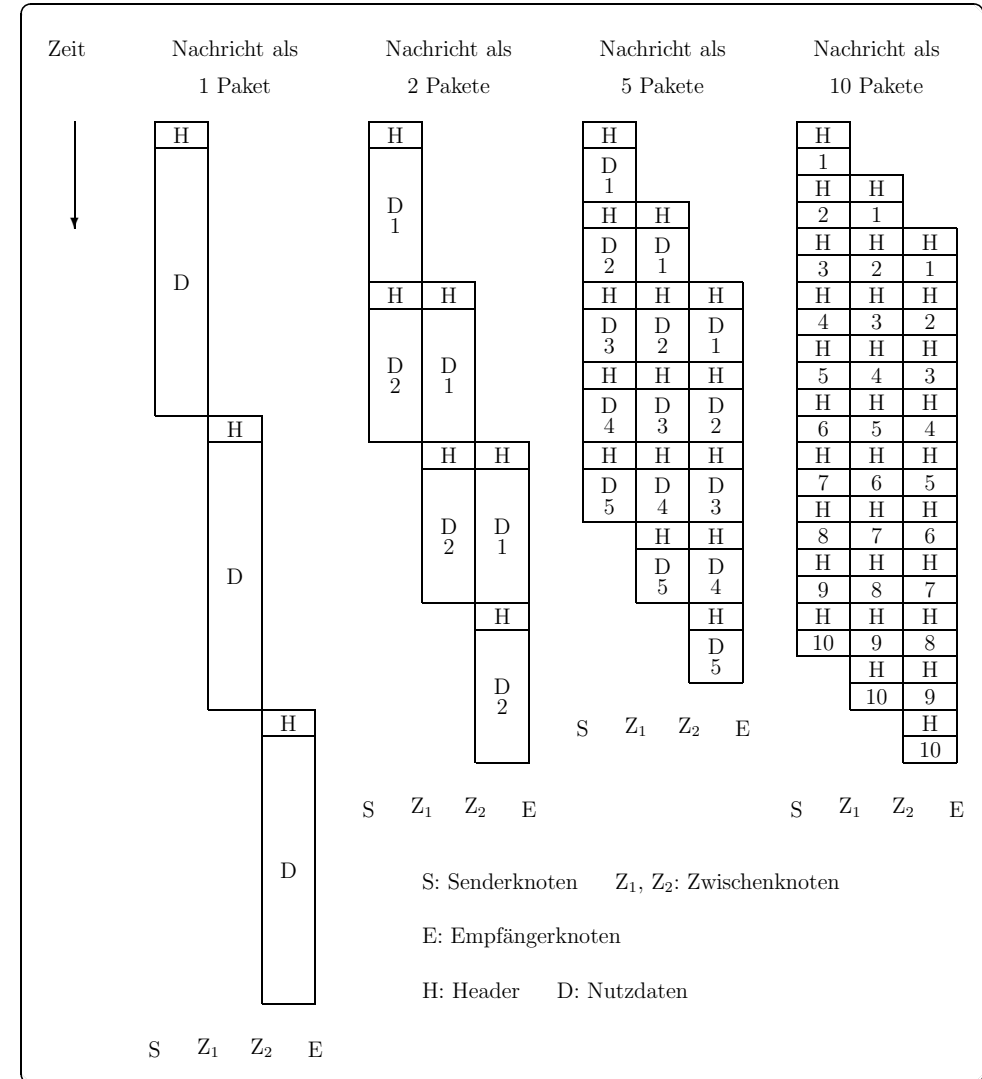


Abb. EIN-7

Auswirkung der Paketgröße auf die Nachrichtenübertragungszeit

- höhere Betriebssicherheit; beim Ausfall eines Kommunikationsrechners gehen nur die Pakete verloren, die dort aktuell bearbeitet wurden  
bei einer Speicherung von Paketkopien beim Absender können diese dann einfach einen anderen



## Weg wählen

- Vorteile virtueller Verbindungen gegenüber dem Datagrammverkehr
  - Übertragungsweg wird nur einmal ermittelt  $\Rightarrow$  schnellere Übertragung langer Nachrichten
  - Pakete treffen in der Reihenfolge beim Empfänger ein, in der sie der Sender abgeschickt hat
  - frühzeitige Fehlererkennung durch sequentiellen Charakter der Paketübertragung (fehlendes Paket sofort erkannt)

## Vergleich der Vermittlungsverfahren

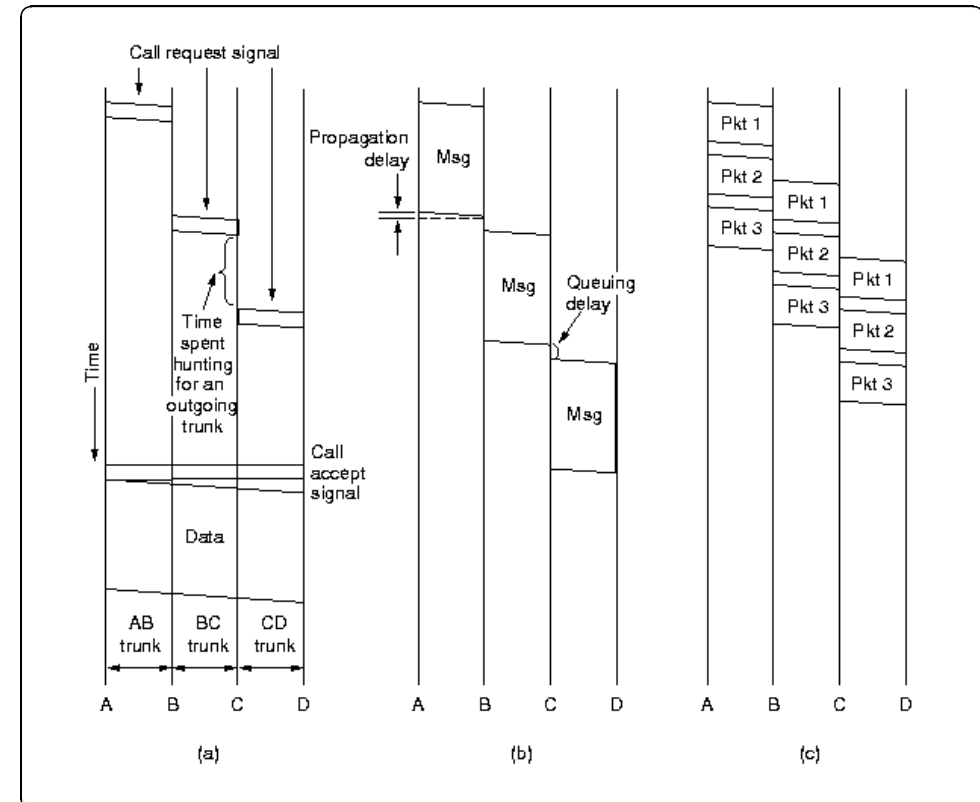


Abb. EIN-8

Vergleich der Vermittlungsverfahren

- (a) Leitungsvermittlung
- (b) Nachrichtenvermittlung
- (c) Paketvermittlung

Leitungsvermittlung	Nachrichtenvermittlung	Paketvermittlung (Datagramm)	Paketvermittlung (virtuelle Verb.)
dedizierter Pfad	kein dedizierter Pfad	kein dedizierter Pfad	dedizierter Pfad
kontinuierliche Datenübertragung	Nachrichtenübertragung	Paketübertragung	Paketübertragung
dialoggeeignet	dialogungeeignet	dialoggeeignet	dialoggeeignet
Verbindung für gesamte Sitzung	Weg für jede Nachricht	Weg für jedes Paket	Weg für gesamte Sitzung
Verzögerung durch Verbindungsaufbau	Verzögerung bei Nachrichtenübertragung	Verzögerung bei Paketübertragung	Verzögerung durch Verbindungsaufbau und bei Paketübertragung
Besetzzeichen	kein Besetzzeichen	Mitteilung möglich, wenn kein Empfang	Mitteilung, wenn Empfang verweigert
Überlastung kann Blockierung verursachen	Überlastung erhöht die Verzögerungszeit	Überlastung erhöht die Verzögerungszeit	Überlastung führt zu Blockierung und erhöht die Verzögerungszeit
Verlustüberwachung ist in der Verantwortung des Benutzers	Verlustüberwachung durch die Kommunikationsrechner	Verlustüberwachung für Pakete kann über Kommunikationsrechner erfolgen	Kommunikationsrechner kann Reihenfolgeüberprüfung vornehmen
keine Codeumsetzung und Geschwindigkeitsanpassung	Codeumsetzung und Geschwindigkeitsanpassung möglich	Codeumsetzung und Geschwindigkeitsanpassung möglich	Codeumsetzung und Geschwindigkeitsanpassung möglich
keine Verwaltungsdaten	Verwaltungsdaten pro Nachricht	Verwaltungsdaten pro Paket	Verwaltungsdaten pro Paket

Tab. EIN-2      Gegenüberstellung der Vermittlungstechniken

Multiplexverfahren

In der Netzwerke-Literatur ist üblicherweise von Multiplexing die Rede. Deshalb seien hier noch einmal die wichtigsten Multiplexing-Verfahren erwähnt.

- Frequency Division Multiplexing (FDM)
  - Auf einer Leitung wird jeder Verbindung ein Frequenzkanal zugeteilt.  
Beispiel: Kabel-TV
- Synchronous Time Division Multiplexing (STDM)
  - Jeder Verbindung wird die Leitung für kleine Zeitintervalle fest zugeordnet. Die einzelnen Verbindungen können somit reihum abwechselnd senden.
- Statistisches Multiplexing
  - Aufteilung der Leitungskapazität in kleine Zeitintervalle. Diese werden aber “nach Bedarf” zugeteilt.
- Gängige Methode für Paketvermittlung
- Vorteil: optimale Leitungsausnutzung
- Nachteil: keine garantierte Kapazität für die einzelnen Verbindungen
  - Siehe “Überlastkontrolle”

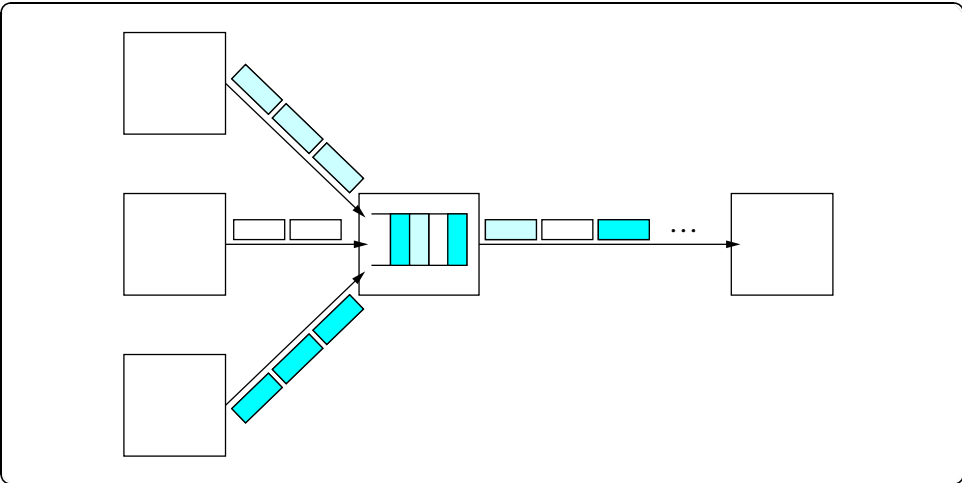


Abb. EIN-9      Statistisches Multiplexing  
Die Pakete der einzelnen Sender werden bei deren Ankunft weitergeleitet. (keine festgelegte Reihenfolge)

Peterson/Davie (2000) fassen das Thema “Vermittlungsverfahren” zu folgender Definition des Begriffs *Statistical Multiplexing* zusammen:

“The bottom line is that statistical multiplexing defines a cost-effective way for multiple users (e.g., host-to-host flows of data) to share network resources (links and nodes) in a fine-grained manner. It defines the packet as the granularity with which the links of the network are allocated to different flows, with each switch able to schedule the use of the physical links it is connected to on a per-packet basis. Fairly allocating link capacity to different flows and dealing with congestion when it occurs are the key challenges of statistical multiplexing.”

## Kommunikationsmuster

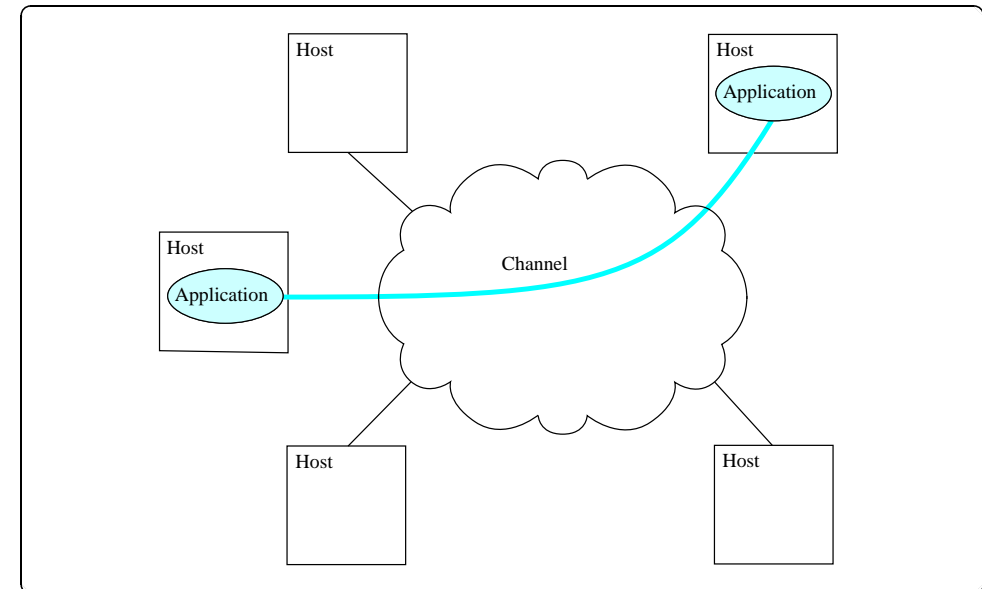


Abb. EIN-10 Prozesse kommunizieren über abstrakte Kanäle

Auch wenn die technische Realisierung dies nahelegt ist es keinesfalls ausreichend, einzelne Pakete von Rechner zu Rechner zu versenden. Aus der Sicht der Anwendungsprogramme ist es vielmehr notwendig, Daten von Programm zu Programm zu versenden. Dabei werden als Abstraktionseinheit meist abstrakte (virtuelle) Kanäle zwischen den Kommunikationspartnern verwendet. Innerhalb eines Kanals wird dann u.a. auch die Reihenfolge der gesendeten Informationen festgelegt. (Information kann z.B. in genau der Reihenfolge einem Empfängerprogramm zugestellt werden, in der sie abgesendet wurde.) Es gibt dabei mehrere weit verbreitete Szenarien (Kommunikationsmuster), die ganz unterschiedliche Anforderungen an Netzwerke stellen.

**Client/Server-Kommunikation**

Typische Beispiele sind Dateiübertragung (*Network File System* (NFS) oder *File Transfer Protocol* (FTP)) oder das WWW. Hier kommunizieren ein (oder mehrere) Clients mit Servern wobei im wesentlichen Dateiinhalte transferiert werden.

Wichtig hierbei ist vor allem daß ein Dateiinhalt vollständig und in der richtigen Reihenfolge beim Empfänger ankommt. Es kann hingegen toleriert werden, wenn einzelne Pakete mit Dateifragmenten in unterschiedlichen Abständen eintreffen oder gar verloren gehen und später wiederholt werden müssen.

**Audio-/Video-Übertragung**

Die Übertragung von Audio- und Videoströmen kommt vor allem bei Videokonferenzen, Internet-Telefonie, oder Video-on-Demand Services vor. Diese sogenannten *isochronen* Datenströme bestehen aus regelmäßig auftretenden Datenmengen. Ziel ist es dabei, beim Empfänger das menschliche Ohr bzw. Auge soweit zufrieden zu stellen, daß die Wahrnehmung von Bild und/oder Ton nicht als “gestört” empfunden wird. Wesentlichstes Ziel ist es daher, Informationen in gleichmäßiger Geschwindigkeit beim Empfänger abzuspielen. Z.B. bei Video sollten zwischen 15 und 30 Bilder pro Sekunde in gleichmäßigen Abständen beim Empfänger ankommen. Sollten einzelne Fragmente verloren gehen, so werden diese besser ausgelassen, da eine wiederholte Übertragung sehr wahrscheinlich zu spät für den Zeitpunkt innerhalb einer Audio- oder Videosequenz ankommt. Wenn Audio und Video kombiniert werden, ist die Synchronisation der beiden Datenströme ein zusätzliches Problem.

**Performance**

**Peterson/Davie (1996):**

“Like any computer system, computer networks are expected to exhibit high performance. . . Computations distributed over multiple machines use networks to exchange data. The effectiveness of these computations often depends directly on the efficiency with which the network delivers that data. While the old programming adage “*first get it right and then make it fast*” is valid in many settings, in networking it is usually necessary to *design for performance*.”

**Begriffsbestimmungen**

Die nachfolgenden Begriffe charakterisieren Netzwerk-Performance. Sie werden angewendet für verschiedene Aspekte wie die Netzwerk-Hardware oder die Kommunikation zwischen Prozessen auf verschiedenen Rechnern. Beispiele:

- “Ethernet erlaubt eine Übertragungsrate von 10MBit/s.”
- “Die Latenz zwischen Europa und den USA beträgt zwischen 50 und 100 ms.”

Bei Verwendung dieser Begriffe ist es deshalb notwendig, immer genau klarzustellen, was gemeint ist: Kommunikations-Endpunkte, Art der Übertragung, . . .

**Bandbreite**

- Bandwidth
- Menge von Daten (Bits) die von einer Verbindung in gegebener Zeit übertragen werden kann.
- Beispiel: 10Mbps
- Bandbreite wird bei Analog-Kanälen in Hz gemessen.
  - Z.B. kann ein Telefon Frequenzen zwischen 300Hz und 3300Hz übertragen; Bandbreite = 3000 Hz

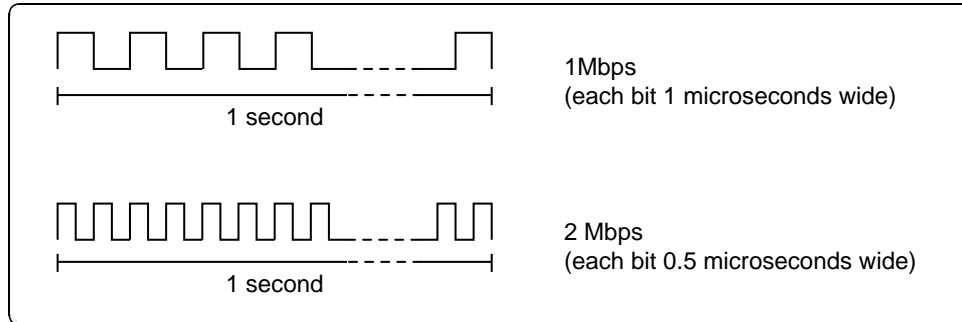


Abb. EIN-11

Bandbreite als "Bit-Breite"

**Durchsatz**

- Throughput
- Tatsächlich erreichbare/erreichte Bandbreite einer Verbindung
- mögliche Verluste durch:
  - Zugriffskonflikte auf die Leitung
  - Software-Overhead
  - Rechenleistung/Netzwerk-Adapter

**Wieviel ist ein "Mega"?**

- Viele Einheiten werden verwendet: MB, Mbps, KB, Kbps
- 'B' bezeichnet ein Byte, 'b' ein Bit
- Bandbreite wird nach der Taktrate (in Hz) berechnet.
  - Eine Übertragung, bei der mit einem Takt von 10MHz jeweils ein Bit pro Takt gesendet wird, hat eine Bandbreite von 10Mbps.
  - Somit gilt:
 
$$1\text{Mbps} = 10^6\text{bps}$$

$$1\text{Kbps} = 10^3\text{bps}$$
- Speicher wird in Größeneinheiten von Zweier-Potenzen verwendet.
  - Somit gilt:
 
$$1\text{MB} = 2^{20}\text{B} = 1048576\text{B}$$

$$1\text{KB} = 2^{10}\text{B} = 1024\text{B}$$

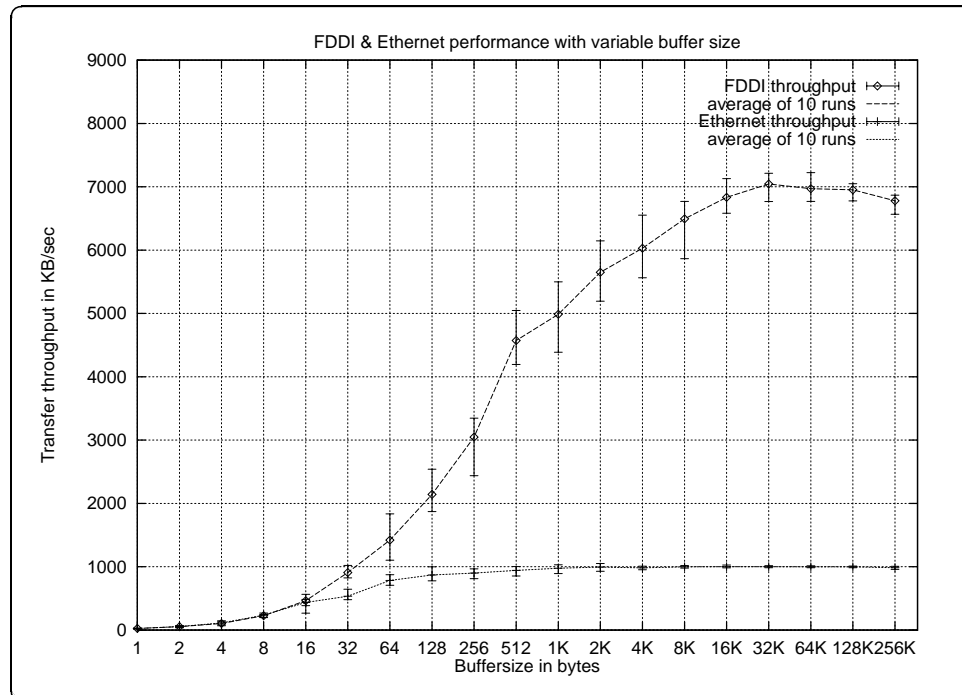
Präsenzübung: *Durchsatz-Bestimmung*

Abb. EIN-12

Gemessener Durchsatz einer TCP-Verbindung  
über Ethernet (10Mbps) und FDDI (100Mbps)  
DEC Alpha 3000/300X (175MHz) mit Digital UNIX  
Informatik, Uni Siegen, 1996

Die Abb. EIN-12 zeigt den gemessenen Durchsatz zwischen zwei Rechnern über zwei verschiedene Netzwerk-Typen.

- Rechnen Sie die im Diagramm angegebenen Werte für den maximal erreichten Durchsatz in die Einheit **Mbps** um.
- Berechnen Sie, wieviel % der jeweiligen Bandbreite der Leitungen tatsächlich maximal ausgenutzt werden konnten.

## Latenz

- Latency
- Zeit, die benötigt wird um ein Bit vom Sender-Endpunkt zum Empfänger-Endpunkt zu transferieren.
  - Dabei kann auch zwischen der Latenz einer Leitung und der einer Verbindung zweier Prozesse etc. unterschieden werden.
- Signallaufzeiten:
  - $3.0 \times 10^8 m/s$  im Vakuum
  - $2.3 \times 10^8 m/s$  im Kupferkabel
  - $2.0 \times 10^8 m/s$  im Lichtwellenleiter
- Weitere Faktoren:
  - Software-Overhead
  - Queueing-Zeiten in Zwischenknoten
  - Initialisierung – z.B. Verbindungsaufbau
  - Fehlerbehandlung, Protokoll-Overhead

## Transferzeit

- Transmit-Time
- Gesamtzeit zur Übertragung einer Nachricht (eines Pakets)
- Zusammengesetzt aus:
  - Latenz
  - Übertragungsdauer, abhängig von der Nachrichtengröße

## Round-Trip-Time (RTT)

- Zeit, die eine Übertragung über eine Verbindung hin und zurück benötigt.
- Die RTT kann für verschiedene Nachrichtenlängen angegeben werden.

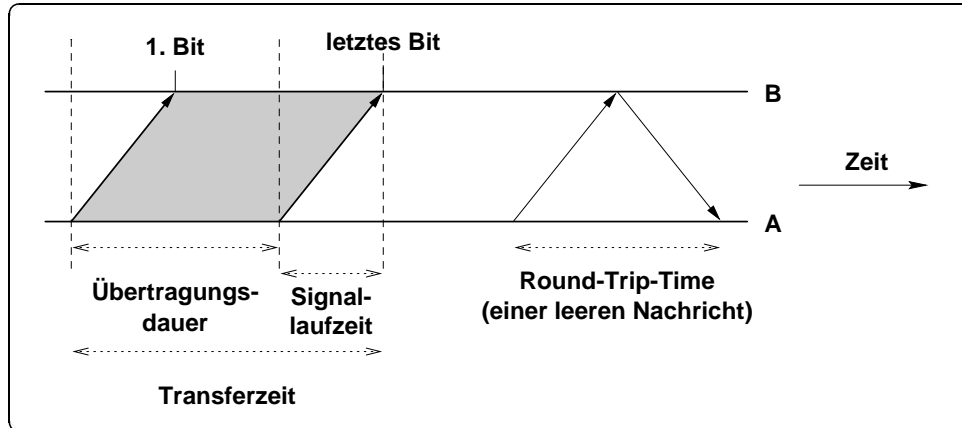


Abb. EIN-13 Zusammenhang der Übertragungszeiten

- Latenz = Signallaufzeit + Übertragungsdauer + Queueing
- Signallaufzeit = Entfernung / Lichtgeschwindigkeit
- Übertragungsdauer = Nachrichtengröße / Bandbreite

```

----aretha PING Statistics----
12 packets transmitted, 12 packets received, 0% packet loss
round-trip (ms)  min/avg/max = 0/0/1 ms

----vespa.unix-ag.uni-siegen.de PING Statistics----
12 packets transmitted, 12 packets received, 0% packet loss
round-trip (ms)  min/avg/max = 2/3/13 ms

----proxyl-8.hrz.th-darmstadt.de PING Statistics----
13 packets transmitted, 12 packets received, 7% packet loss
round-trip (ms)  min/avg/max = 11/19/26 ms

----wuarchive.wustl.edu PING Statistics----
13 packets transmitted, 11 packets received, 15% packet loss
round-trip (ms)  min/avg/max = 172/176/182 ms

----services.canberra.edu.au PING Statistics----
16 packets transmitted, 14 packets received, 12% packet loss
round-trip (ms)  min/avg/max = 764/1663/3032 ms
  
```

Round-Trip-Times im Internet, ausgehend vom Informatik-Cluster der Uni Siegen.

- Abb. EIN-14 zeigt den Einfluß von Bandbreite und Latenz bei verschiedenen Nachrichtengrößen. (Die Latenz wird hier über die RTT ausgedrückt.)

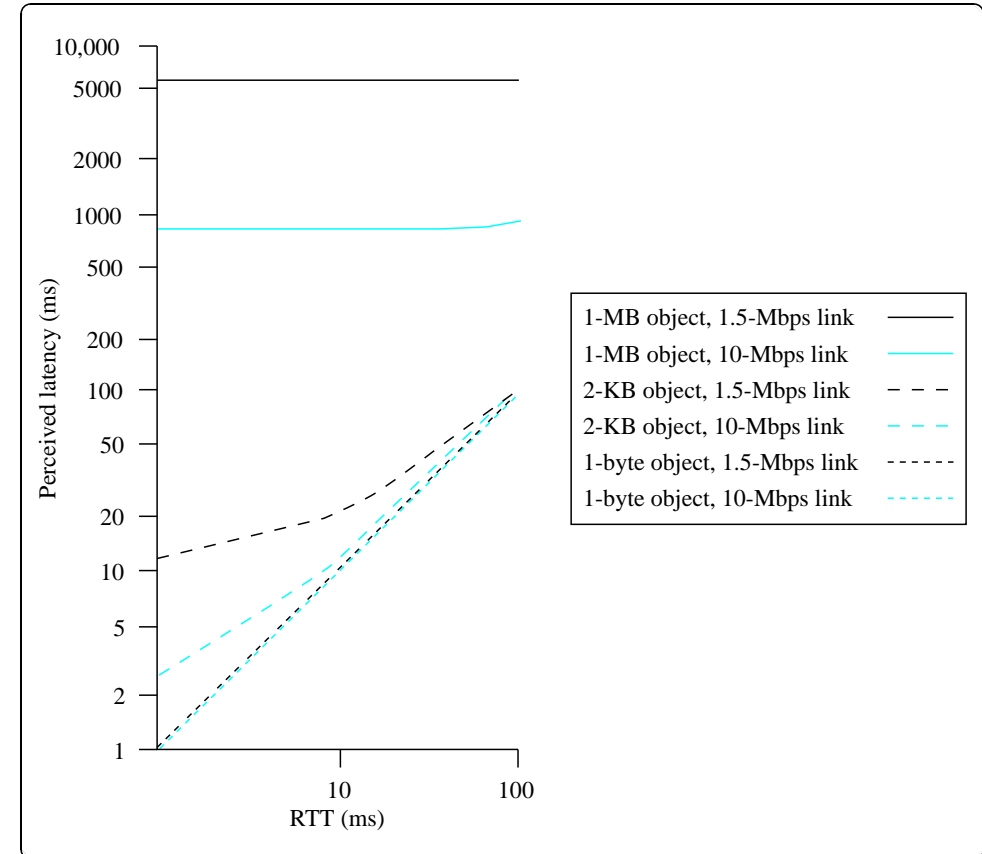


Abb. EIN-14 Einfluß von Bandbreite und Latenz auf die Transferzeit

- Bei kleinen Nachrichten hängt die Transferzeit direkt von der Latenz ab.
- Bei sehr großen Nachrichten hängt die Transferzeit nur von der Bandbreite ab.
- Dazwischen gibt es Bereiche, in denen die Transferzeit bei kleiner Latenz zunächst die Bandbreite dominiert, bevor ein Verhalten wie bei sehr kleinen Nachrichten erreicht wird.

## Bandbreite × Latenz

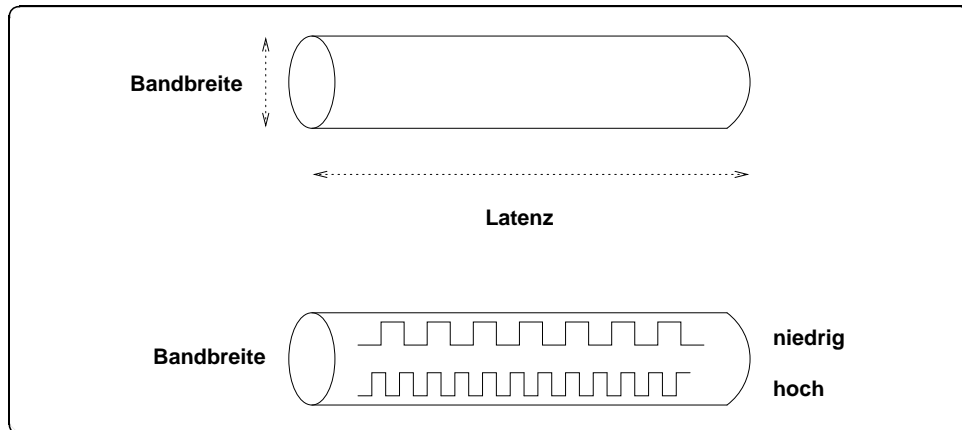


Abb. EIN-15

Das Produkt von Bandbreite und Latenz bestimmt die "Kapazität" einer Leitung.

- Eine Leitung kann mit einer Röhre (oder auch einem Gartenschlauch) verglichen werden.
- Dabei bestimmt das Produkt aus Bandbreite und Latenz, wieviele Bits gleichzeitig in einer Leitung unterwegs sein können.
- Beispiel: Eine Transkontinental-Leitung habe eine (Einweg-)Latenz von 50ms und eine Bandbreite von 45Mbps.
  - Somit kann sie enthalten:  $50 \times 10^{-3} \text{sec} \times 45 \times 10^6 \text{bits/sec} = 2,25 \times 10^6 \text{bits} \approx 280 \text{KB}$
- Die Leitungskapazität bedeutet die Menge der Bits, die zu senden sind, bevor das erste Bit beim Empfänger ankommt.
- Dies hat z.B. direkten Einfluß auf Netzwerk-Protokolle.
  - Beispiel: Ein Empfänger will einem Sender signalisieren, daß er keine weiteren Daten mehr abspeichern kann.
  - Bis seine Nachricht beim Sender ankommt, können in obigem Beispiel bereits mindestens  $2 \times 2,25 \times 10^6 \text{bits} \approx 560 \text{KB}$  unterwegs sein.

## Jitter

- Varianz der Latenz
- Verursacht durch:
  - Unterschiedliches Datenaufkommen beim Sender
    - ◊ Z.B. komprimierte Video-Sequenz benötigt nur die "Differenz" zum jeweils vorigen Bild.
  - Verzögerungen durch Queueing in Zwischen-Knoten
- Unterscheidung zwischen:
  - Kontinuierlicher Datenrate / Constant Bit Rate (CBR)
  - Mittlerer Datenrate / Average Bit Rate (ABR)

## Bit-Rate vs. Baud-Rate

- Baud-Rate = Anzahl der Signaländerungen/s [Bd]
- Bit-Rate = Anzahl der übertragenen Bits/s [b/s]
- Bei genau zwei Signalstufen ("0" und "1") gilt:
  - Bit-Rate = Baud-Rate
- Ein Beispiel für Bit-Rate  $\neq$  Baud-Rate ist die beim Ethernet verwendete Manchester-Codierung.

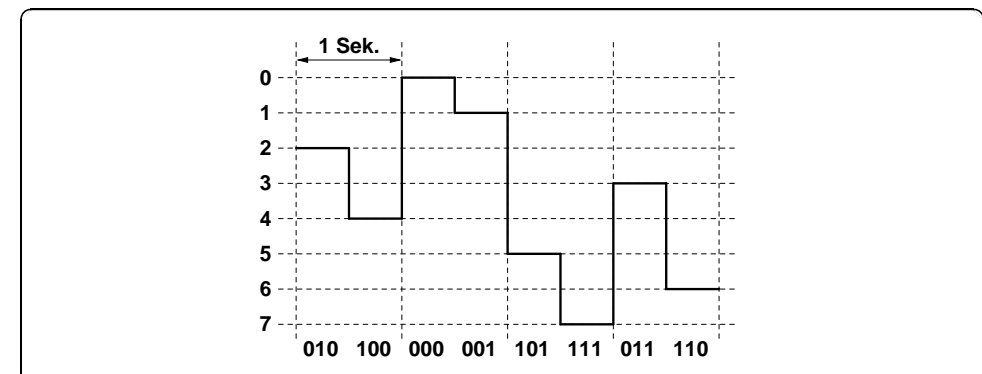


Abb. EIN-16

Beispiel: 2Bd, aber 6 b/s (da 3 Bits pro Signal)