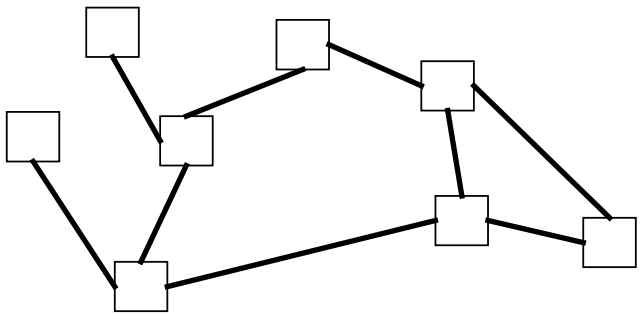
Bewertungskriterien für LANs

- Es gibt verschiedene LAN-Technologien, z.B.
  - Ringe in unterschiedlicher Ausprägung (z.B. bzgl. Datenrate)
  - Bus-Topologien in unterschiedlicher Ausprägung (z.B. bzgl. Datenrate oder Kabelmedien), z.B. Ethernet-Varianten
  - sternförmige, geschaltete Netze (mit “Switch” oder “Hub”)

- Übertragungsrate, Verzögerung
  - Überlastverhalten?
  - garantierte “Dienstgüte”?
- Verfügbarkeit
  - Beeinträchtigungsgrad durch Ausfall einer Netzkomponente?
- Flexibilität
  - z.B.: welcher Aufwand verursacht das Verschieben von Netzknoten?
- Skalierbarkeit
  - gestiegenen Anforderungen noch gut gewachsen?
  - Erweiterbarkeit um zusätzliche Knoten?
- Aufwand für Fehlerlokalisierung
- Verkabelungsaufwand
  - pro Station bzw. Gesamtaufwand
- Kosten
- Sicherheit
  - z.B. Einfachheit des Abhörens

Weitverkehrsnetze

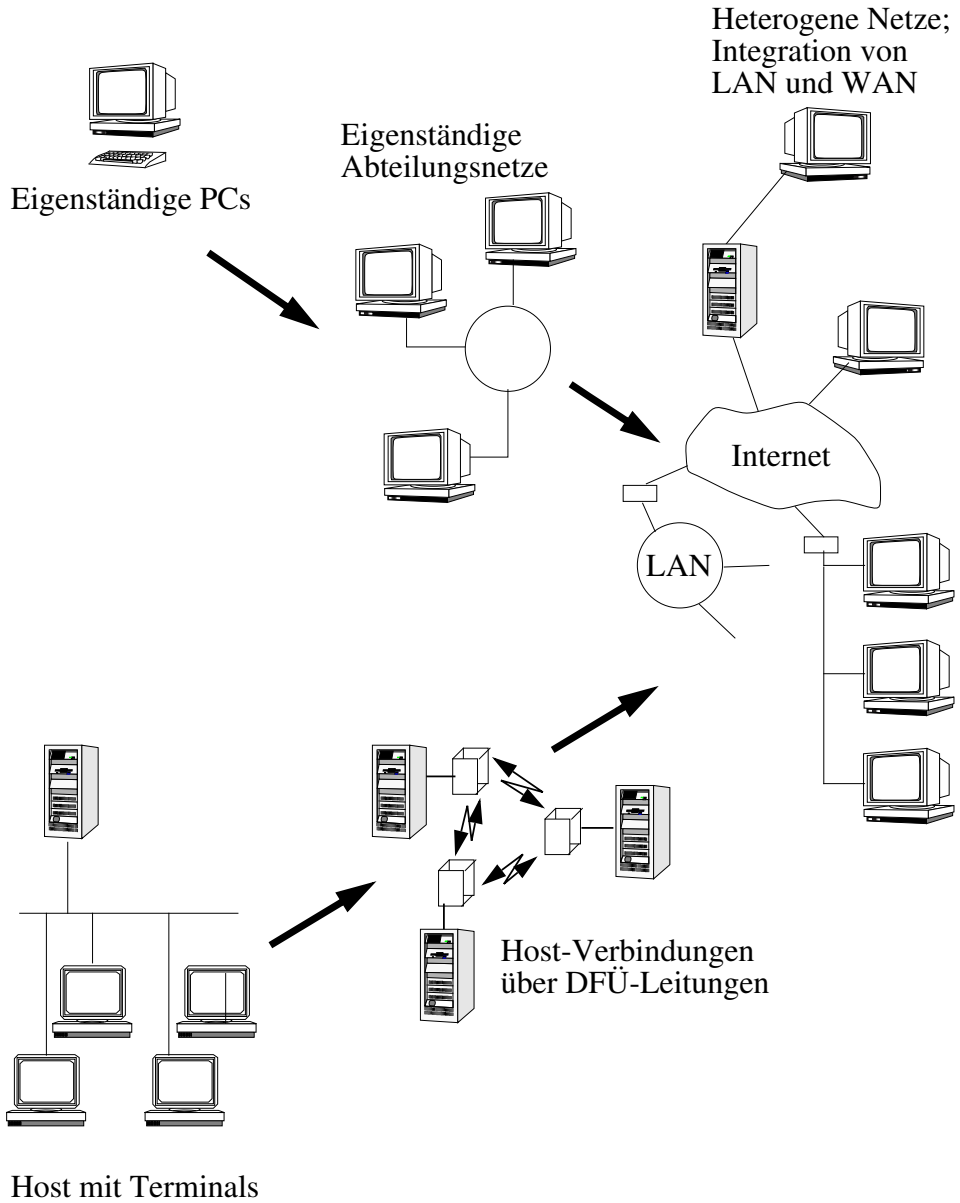


- “Flächendeckend”
  - Verbindungen (oft einige 100 oder 1000 km) über Standleitungen, Mikrowellenrichtstrahler, Tiefseekabel, Satellitenkanäle...
- Insgesamt schwach “vermascht”
  - hohe Kosten für die Übertragungskanäle (Gebühren durch Betreiber!)
  - dennoch gewisse Redundanzen
- Dezentral organisiert
  - nationale und internationale Netze
  - Beachtung von Normen, Fernmeldegesetze etc.
  - berührt allgemeine (öffentliche, private) Interessen (Gelände etc.)
- Nachrichten werden i.a. über andere Rechner geleitet (Routing; “store and forward”)
- Oft geringere Übertragungsrate als LANs
  - typisch: 50 k Bit/s (z.B. Modem) bis 2 M Bit/s (ggf. auch höher)
- Beispiele: ISDN, POTS, X.25, ATM, Internet

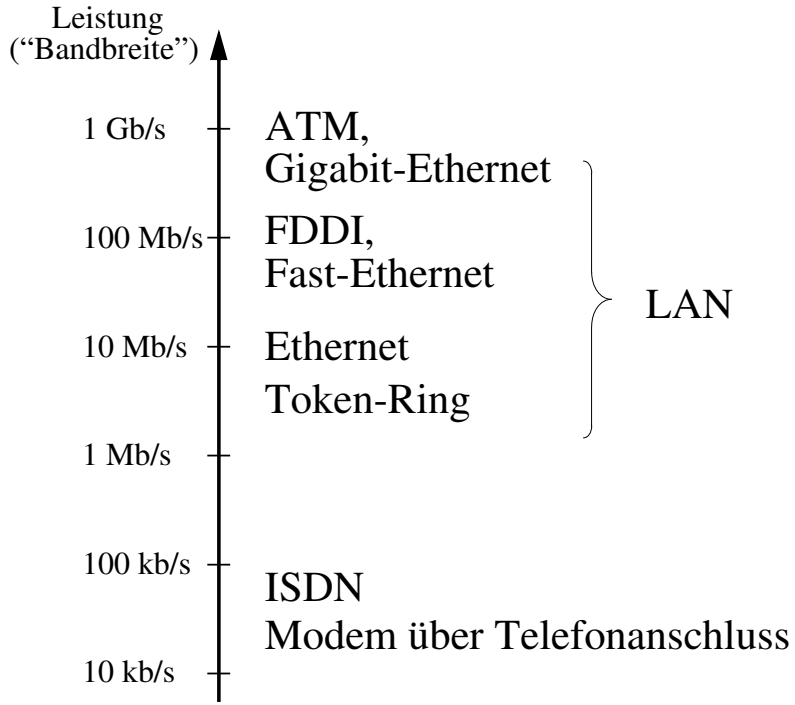
Netze und Techniken

Plain Old Telephone System

Entwicklung von Rechnernetzen



Beispielnetze



- Skalierbarkeit ist in dieser Grössenordnung kaum gegeben!

--> unterschiedliche Prinzipien für unterschiedliche Bandbreiten
--> neue Protokolle etc. für neue Hochgeschwindigkeitsnetze

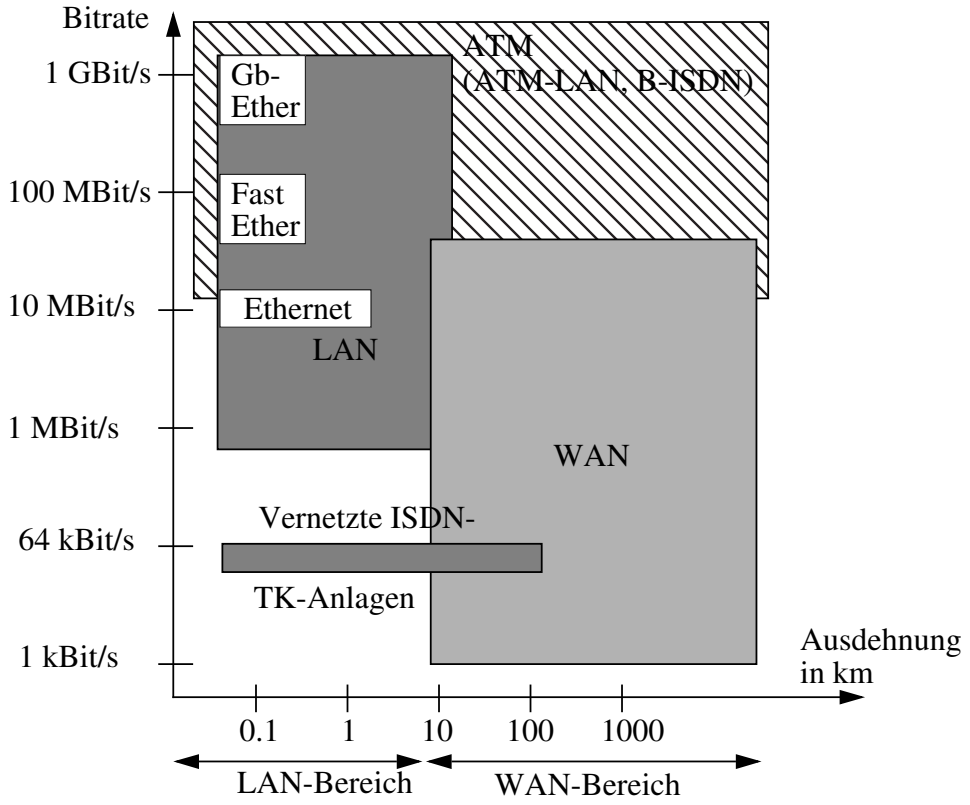
Ausdehnung von Netzen

Abstand zwischen Prozessoren	*Plattform*	*Beispiele*
1 cm	Chip	systolische Netze, Datenflussmaschinen
10 cm	Platine	
1 m	System	Multicomputer
10 m	Raum	LAN
100 m	Gebäude	
1 km	Campus	
10 km	Stadt	Metropolitan Area Network
100 km	Land	WAN
1000 km	Kontinent	
10000 km	Planet	Internet

6 Grössenordnungen

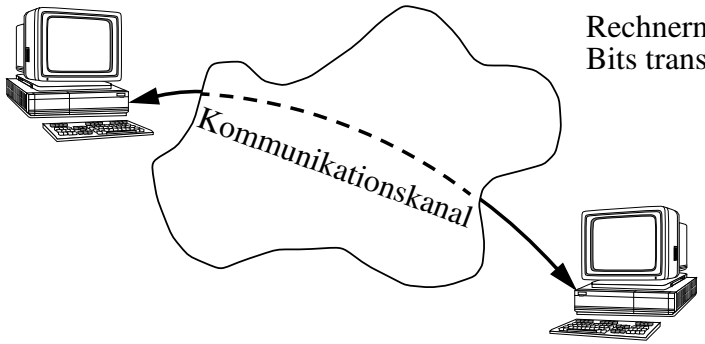
- Skalierbarkeit ist in dieser Grössenordnung kaum gegeben!

Netzdimensionen



Funktionalität von Kommunikationskanälen

- Naive Sicht: Zu einem Datenstrom zwischen zwei (oder mehr) Komponenten gehört ein Kommunikationskanal



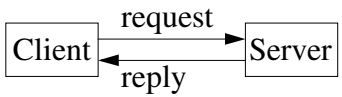
Rechnernetz soll Bits transportieren!

- Kommunikationskanal vermittelt zwischen den Prozessen einer verteilten Anwendung

- Verschiedene Anwendungsklassen stellen verschiedene Ansprüche an Kommunikationskanäle

- Beispiel: Zwei typische Haupttypen von Kanälen:

1) Request/Reply



- Bidirektional (aber request oft kurz gegenüber reply)
- z.B. remote file access (ftp), Datenbankanfrage, WWW
- Typischerweise kein Datenverlust durch geeignetes Protokoll

2) Datenstrom

Datenstrom-Kanäle

- Oft unidirektional

- Typische Anwendung: Video und Audio

  - Unterscheide “video on demand” und “life video” (Video-Konferenz etc.) hinsichtlich Realzeit-Anforderungen

  - Anforderung Video z.B. 500 × 500 Pixel mit 24 Bit Farbtiefe --> 250000 × 24 / 8 kB --> 750 kB. Bei 25 Bilder/s --> 18.75 MB/s --> 150 Mb/s (unkomprimiert)

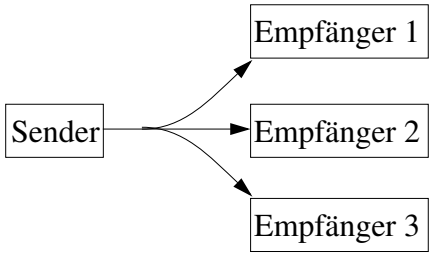
    bit

    Byte

- Bei Realzeitanwendungen: Protokoll zur Wiederholung von Datenpaketen etc. kaum geeignet (--> Jitter)

- Geringe Bitfehlerrate kann bei Video / Audio dagegen oft toleriert werden

- Sinnvoll bei solchen Anwendungen: Multicastfähigkeit solcher Kanäle



Kanaltypen

- Fehlerfreiheit und “Hochgeschwindigkeit” sind offenbar antagonistische Ziele bei Kanalrealisierungen

- Anwendungen stellen unterschiedliche Anforderungen an Kommunikationskanäle

- Sinnvoll daher: Für verschiedene Anforderungsklassen unterschiedliche Kanaltypen bereitstellen
  - Implementierung jeweils zugeschnitten auf das Anforderungsprofil unter Berücksichtigung “technischer” Beschränkungen

- Die “Kunst” eines guten Designs besteht in der
  - Definition einiger (weniger) sinnvollen Kanaltypen
  - geeigneten Überbrückung der “Lücke” zwischen technischen Gegebenheiten und den Anforderungen der Anwendungen

- Zu Kommunikationskanälen gehören im einzelnen eine Reihe von Aspekten, die umgesetzt werden müssen:
  - Einrichten, Entfernen von Kanälen ← beachte aber “verbindungslose” Kommunikation
  - Vereinbarung von Charakteristiken
  - ggf. Rückmeldung von Fehlerereignissen an die Nutzer der Kanäle
  - ...

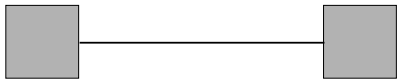
Netzstrukturen

- “Connectivity”: Netz soll Rechner (und damit Prozesse auf der Anwendungsebene) verbinden

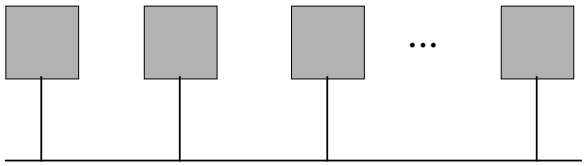
- Netz besteht (physisch) aus
  - Verbindungen (Koaxkabel, Glasfaser...)
  - Knoten (Endknoten wie z.B. Workstation oder PC bzw. Schaltknoten wie z.B. Switch oder Router als “Zwischenknoten”)

- Netze mit *direkter* Verbindung
  - keine Zwischenknoten vorhanden bzw. (ab einer gewissen Abstraktionsebene) Zwischenknoten nicht sichtbar

1) Punkt zu Punkt-Verbindung

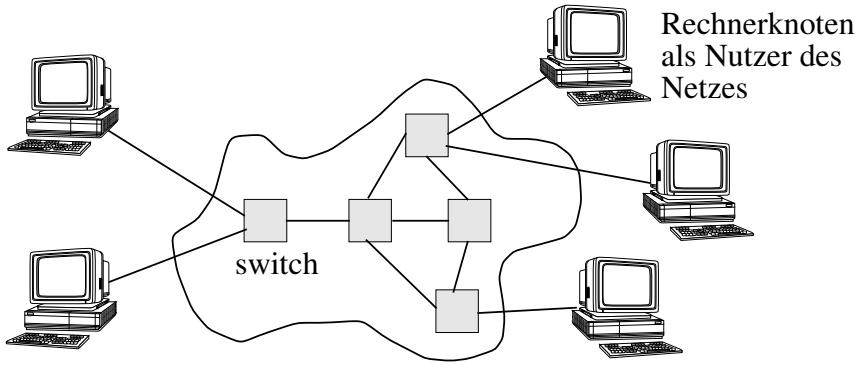


2) Bus (“Punkt zu Mehrpunkt”)



- Netze mit *indirekter* Verbindung
  - Knoten haben Adressen; Daten müssen ihren Weg vom Sender zur Zieladresse über mehrere Zwischenstationen finden (routing)

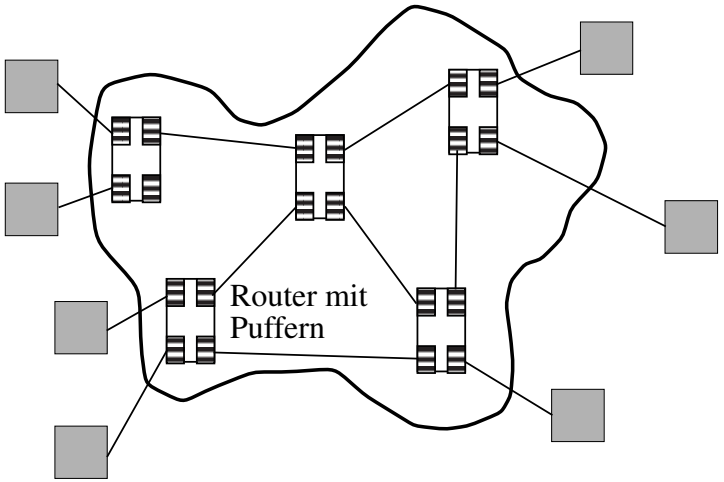
Geschaltete Netze (“switched”)



- Schaltknoten realisieren Vermittlungsfunktionen
- *Circuit switching*: dedizierte geschaltete Verbindung zwischen Rechnerknoten über interne Schaltknoten (ohne wesentliche Verzögerung)
  - Senden und Empfangen eines *Bitstroms*
  - u.U. Blockade anderer Verbindungswünsche, da Leitungen oder switche belegt
- *Packet switching*: “store and forward”
  - Senden und Empfangen von *Nachrichtenpaketen*

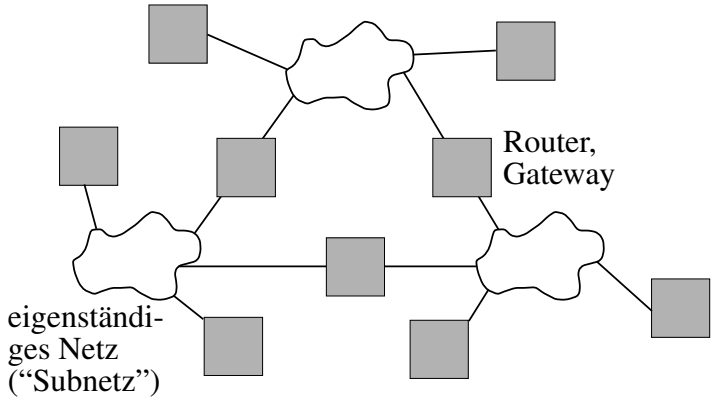
Paketvermittlungsnetze

- Logische anstatt physikalische Verbindungen
- Daten paketweise übertragen (“packet switching”)
  - Paketkopf mit Adressen, Steuerinformationen, Prüfsumme etc.
- Mehrere logische Verbindungen (“gleichzeitig”) über eine einzelne Leitung



- Aufwendige Verwaltung
  - Weglenkungsfunktion (“Routing”) im Netzknoten (“Router”)
  - Verwaltung für Puffer etc.
- Paketisierung und Zusammenbau der Nachricht aus einzelnen Paketen an den Endknoten
  - bei Belastung Warteschlangen an den Routern (Zwischenspeicherung von Paketen in Puffern)
  - geeignet für irreguläres Datenaufkommen

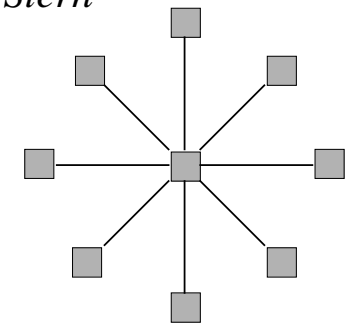
Inter-Netzwerke



- Koppelung von LANs, Intranets, Campusnetz, Firmennetz etc. über "Gateways" oder Router
  - ggf. mit Protokollumsetzung oder -anpassung
- "Internet": Verwendung einheitlicher Protokolle
  - basierend auf IP = Internet Protocol
  - Abschottung lokaler Netze durch Firewalls

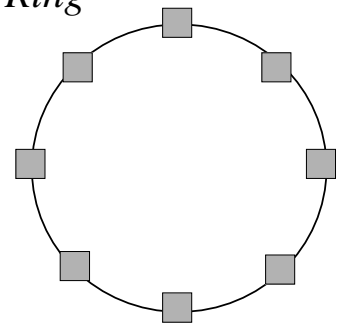
Netztopologien

Stern



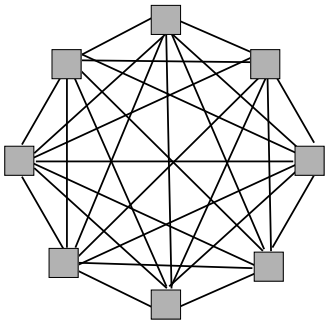
z.B. LAN mit Hub / Switch

Ring

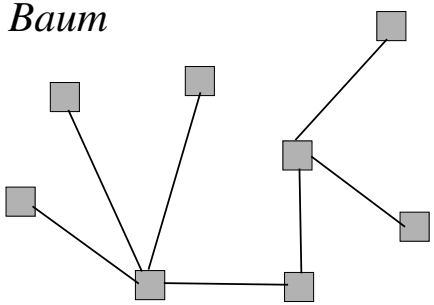


z.B. Token-Ring

Vollständige Vermaschung



Baum

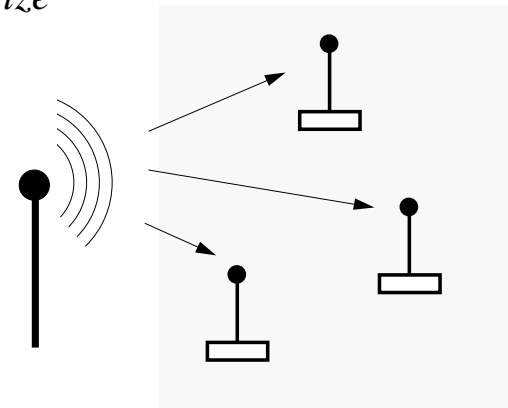


z.B. Ethernet mit Subnetzen

- Verschiedene Vor- und Nachteile!

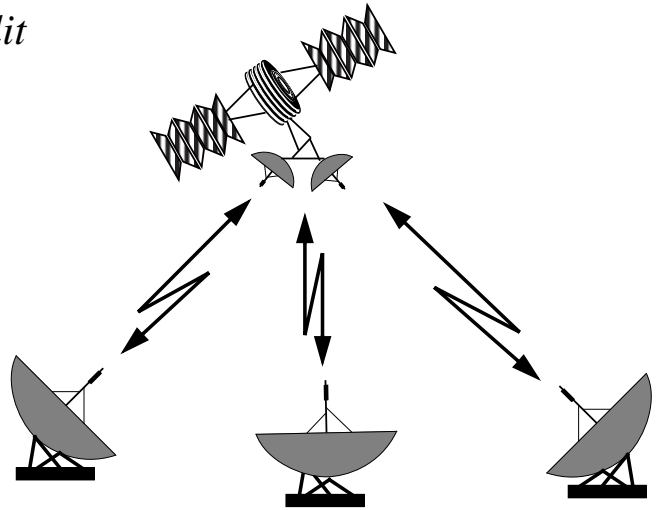
Weitere Topologien

- *Mischformen, irreguläre Netze*
  - Normalfall bei WANs
- *Hierarchisch geclusterte Netze*
  - z.B. Campusnetze oder Firmennetze
- *Funknetze*

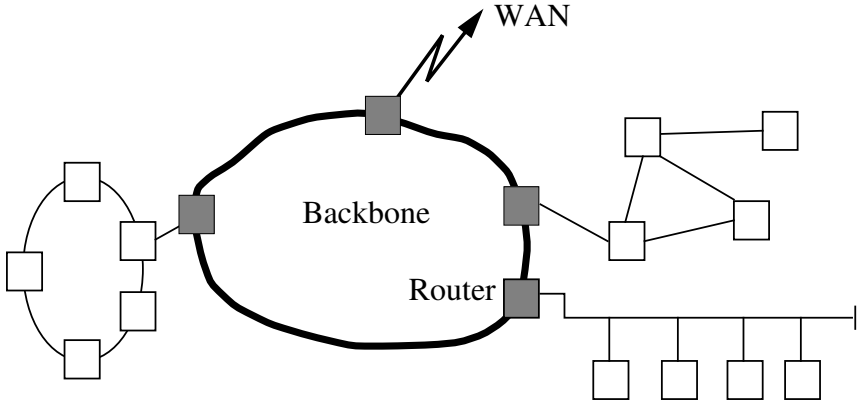


ggf. auch mit mobilen Stationen (“mobile Netze”)

- *Satellit*



Backbone-Netz



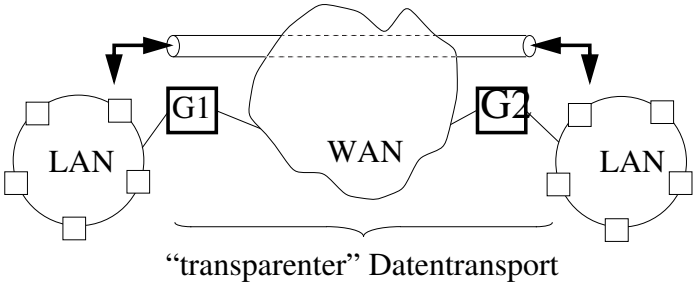
- Dient (nur) dazu, andere Netze (LANs) zu verbinden
- Leistungsfähiger als normale LANs
  - z.B. 1 Gb/s Ethernet oder ATM-Verbindung bei 10 Mb/s in den angeschlossenen LANs
- Räumliche Ausdehnung typischerweise Campus, Firma, grosses Gebäude...
- “Collapsed Backbone” in einem Gerät (“Hub” bzw. “Switch”)
  - sternförmige Koppelung einzelner (geographisch benachbarter) LAN-Inseln

“Virtuelle” Netze

- Logische Netzstruktur (bzgl. zugehörigen Knoten, Verbindungen, Adressbereichen etc.) ist unabhängig von der physischen Netzstruktur

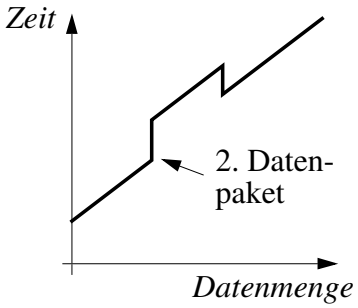
- *Virtual LANs* (VLAN): im lokalen Bereich
  - realisiert durch geeignet konfigurierbare Switche
  - geschlossene Benutzergruppe (“workgroup”) hat ihre eigenen Server, Ressourcen, Adressbereiche, Sicherheitsinfrastruktur...
  - Kommunikation (auch broadcast!) bleibt (logisch) lokal
  - Mitglieder einer Workgroup brauchen nicht in räumlicher Nähe zueinander sitzen und können bzgl. der Netzinfrastruktur problemlos umziehen oder anderen Workgroups zugeordnet werden

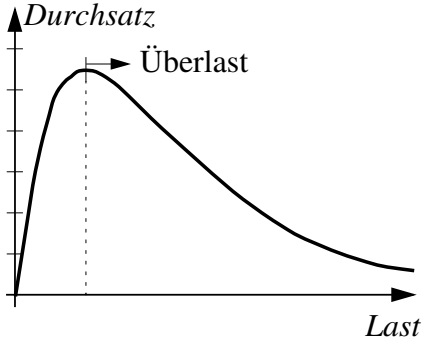
- *Virtual private networks* (VPN): im Wide-area-Bereich
  - auf einem WAN (i.a. Internet) als “Träger” wird für eine Institution ein logisches Netz gelegt, das autonom verwaltet wird und vom Rest entkoppelt ist
  - Koppelung weit auseinanderstehender Teilnetze einer Firma über ein anderes Netz, das nur als Transportnetz benutzt wird (z.B. Verbindung von Zweigstellen)
  - typische Technik: Pakete des einen Teils “tunneln” durch das Transportnetz in den anderen Netzteil



Primäre Leistungsmerkmale von Rechnernetzen

- *Durchsatz* (Bitrate oder “Bandbreite”)
- *Übertragungszeit* (“latency”, “delay”)
- Daneben spielen auch noch andere Qualitätsmerkmale eine Rolle, z.B. Fehlerrate, Ausfallsicherheit, Kosten

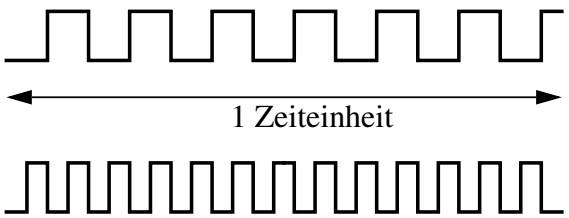





```
----www.inf.ethz.ch PING Statistics----
round-trip (ms)  min/avg/max = 0.2/0.3/1.6, 0% packet loss

----www.ethz.chPING Statistics----
round-trip (ms)  min/avg/max = 0.9/1.4/3.3, 0% packet loss

----www.inf.fu-berlin.de PING Statistics--
round-trip (ms)  min/avg/max = 57/66/96, 7% packet loss

----www.cs.berkeley.edu PING Statistics----
round-trip (ms)  min/avg/max = 297/338/406, 10% packet loss

----services.canberra.edu.au PING Statistics----
round-trip (ms)  min/avg/max = 636/990/1646, 33% packet loss
```

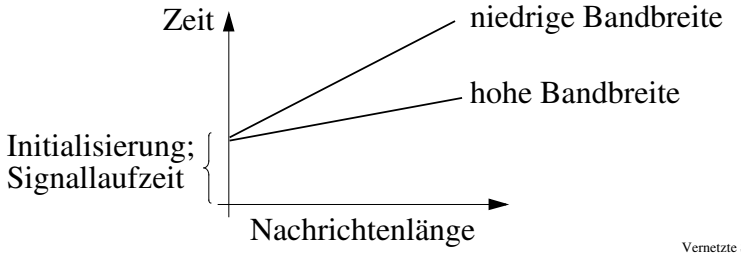
Bandbreite ("Daten- oder Bitrate")

- Datenmenge, die pro Zeiteinheit übertragen werden kann
  - Beispiel Ethernet: 10 Mb/s, Fast Ethernet 100 Mb/s
- Durchsatz = Tatsächlich übertragene Datenmenge / Zeit
  - Unterscheide Bandbreite des Mediums (technisch / physikalisch begrenzt) und Durchsatz vom Sendeprozess zum Empfangsprozess
  - Engpass oft durch Software, die auf verschiedenen Ebenen u.U. mehrfach jedes Bit anfassen (z.B. kopieren) muss
- Achtung: Begriff "Bandbreite" (in etwas anderer Bedeutung) auch bei Analogkanälen; i.a. gemessen in Hz
  - Bsp. Telefon: zwischen 300 Hz und 3400 Hz --> 3100 Hz Bandbreite
- Bandbreite veranschaulicht durch "Bitbreite":



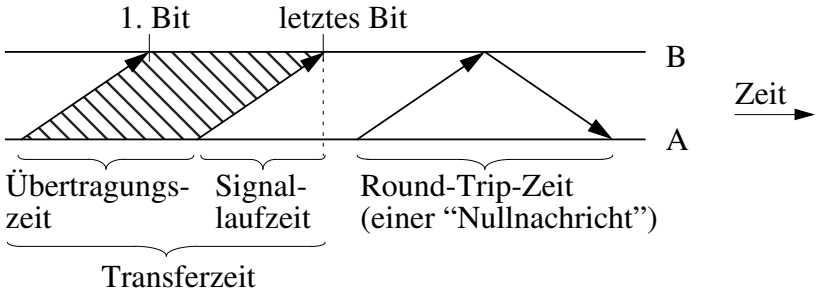
1 Mb/s
(jedes Bit eine Mikrosekunde breit)

2 Mb/s
(jedes Bit 0.5 Mikrosekunden breit)



Delay

- Synonym oft: Verzögerung; Transferzeit; Latency,...



- Zeitbedarf, um eine Nachricht von A nach B zu senden
  - Unterscheide: Ankunft des ersten / des letzten Bits einer Nachricht
  - oft bzgl. Zeit für "Round-Trip" interessiert
  - Beispiel Round-Trip-Zeit Europa-USA ca. 300 ms

Satellit oder Untersee-kabel ?

- Zusammensetzung der Verzögerung
  - + Signallaufzeit auf Medium (Entfernung / Lichtgeschwindigkeit)

- 3.0×10^8 m/s im Vakuum
- 2.3×10^8 m/s im Kupferkabel
- 2.0×10^8 m/s im Lichtwellenleiter

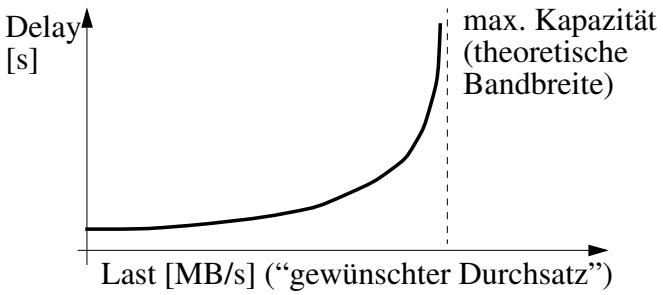
  - + Übertragungsdauer der Nachricht (Grösse / Bandbreite) (wenn es auf die Ankunft des letzten Bits einer Nachricht ankommt)
  - + Queueing-Effekte (kurzzeitige Speicherung von Datenpaketen in Puffern; contention bei den Switches etc.)
  - + Software-Overhead und Initialisierungszeiten (insbesondere bei Prozess-Prozess-Betrachtung; Einrichten einer Verbindung, Nachladen von Softwarekomponenten, Ermittlung des Routings...)
  - + ggf. Error-Recovery, Protokoll-Overhead etc.

Bandbreite <--> Delay

- Für kurze Nachrichten ("Null-Message") ist Delay entscheidend; Bandbreite ist vernachlässigbar
  - z.B. Echo eines Tastendrucks bei remote login
  - Bsp.: Europa-USA mindestens 100 ms. Pro Byte sind es bei 1Mb/s zusätzlich 8 µs; bei 100 Mb/s zusätzlich 0.08 µs --> irrelevant!

- Für grossvolumige Daten (z.B. Bilder) ist die Bandbreite der dominierende Faktor
  - Bsp.: Bei 20s Übertragungszeit für ein Bild spielt Verzögerung von 1 ms oder 100 ms praktisch keine Rolle
  - Frage: Kann die *Bandbreitenerhöhung* einer stark belasteten Leitung, über die viele logische Verbindungen gemultiplext werden, den *Delay* der logischen Verbindungen merklich verringern? (Bsp.: Transatlantik-Verbindung im Internet für WWW)

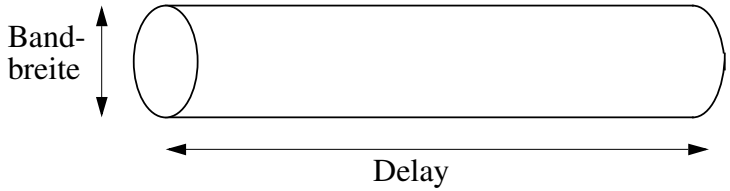
- Delay hängt oft von der in Anspruch genommenen Bandbreite ("Last") ab; typische Situation in LANs:



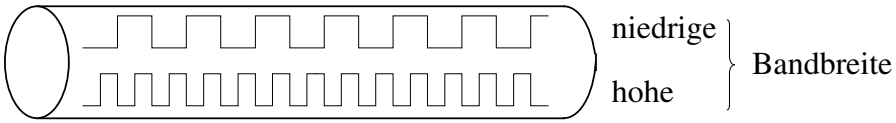
  - Beachte: Grössere Verzögerung kann den effektiven Durchsatz auf höherer Ebene vermindern (z.B. Warten auf acknowledgements vor dem Senden des nächsten Blocks)!

Bandbreite × Delay

- Bandbreite-Delay-Produkt



- Beispiel: 100 ms Delay und 45 Mb/s Bandbreite --> 562 KB Daten, die unterwegs sind
  - entspricht Anzahl der Bits in der Röhre
  - Anzahl der Bits, die der Sender sendet, bevor der Empfänger das erste Bit erhält
  - Acknowledge oder "Stop, Puffer voll!" kommt erst nach vielen bereits gesendeten Bits
  - Implikationen für Protokolle (Paketgrössen, Acknowledgements, Window-Grösse etc.)



- Typische Anwendungsanforderungen:
  - Mindestbandbreite (burst rate <--> peak rate)
  - Varianz des Delay ("Jitter"): Stört bei Video und Audio (Ursache: Queueing bei Switches; asynchrones Multiplexen)