

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

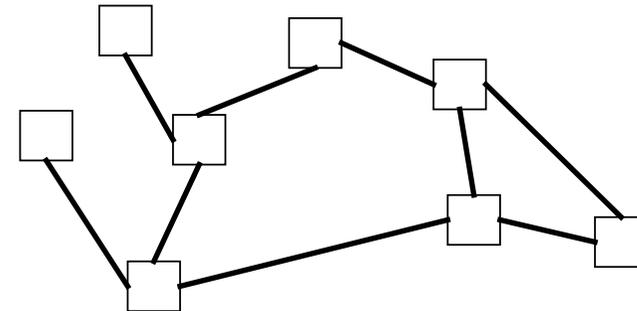
- pro Station bzw. Gesamtaufwand

- 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

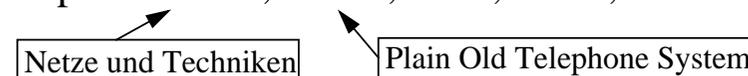
- nationale und internationale Netze
- Beachtung von Normen, Fernmeldegesetze etc.
- berührt allgemeine (öffentliche, private) Interessen (Gelände etc.)

- Nachrichten werden i.a. über andere Rechner geleitet (Routing; "store and forward")

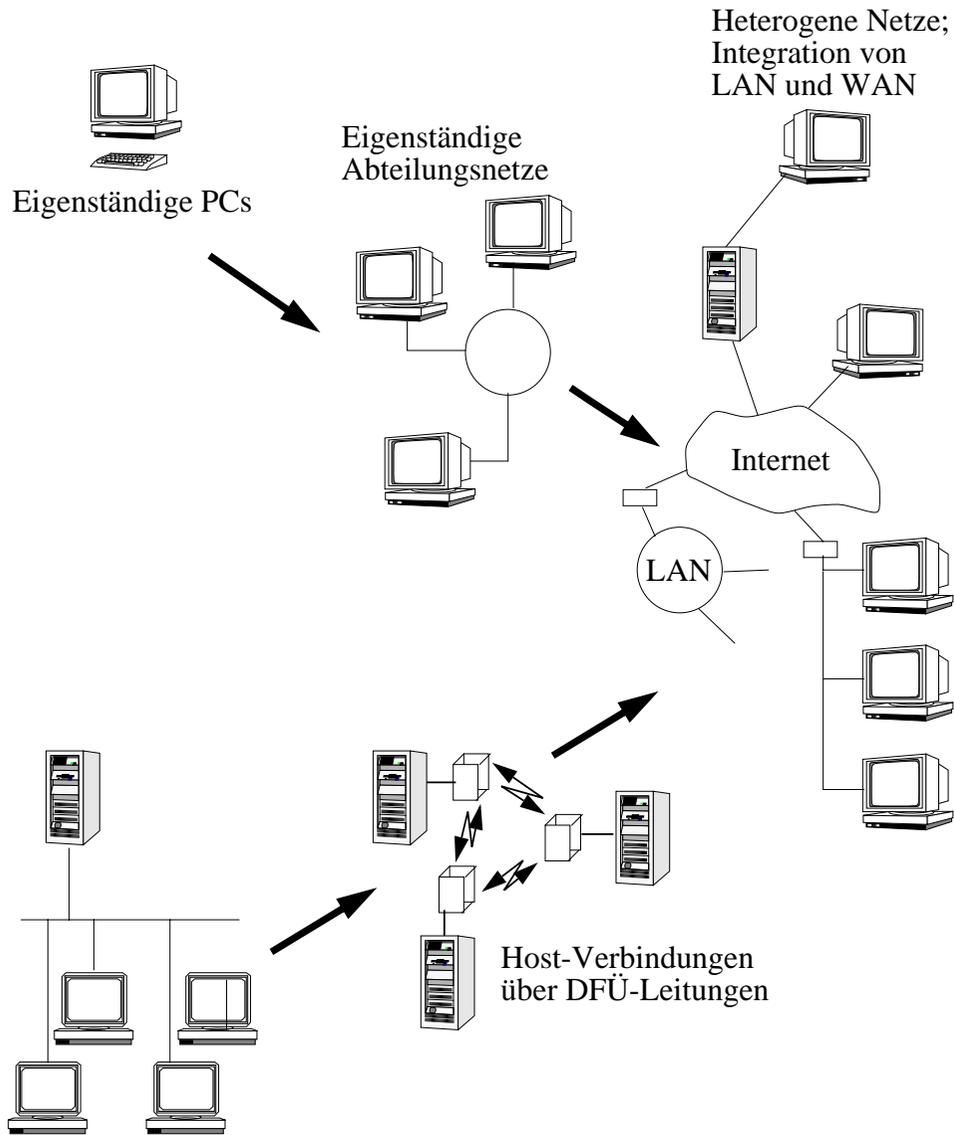
- Oft geringere Übertragungsrate als LANs

- typisch: 50 k Bit/s (z.B. Modem) bis 2 M Bit/s (ggf. auch höher)

- Beispiele: ISDN, POTS, X.25, ATM, Internet

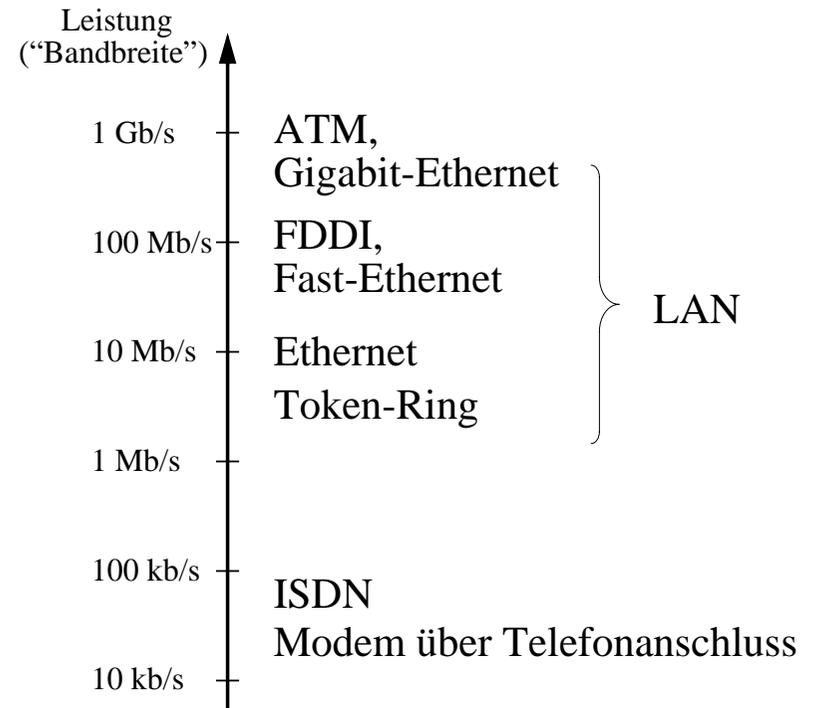


Entwicklung von Rechnernetzen



Host mit Terminals

Beispielnetze



- Skalierbarkeit ist in dieser Grössenordnung kaum gegeben!

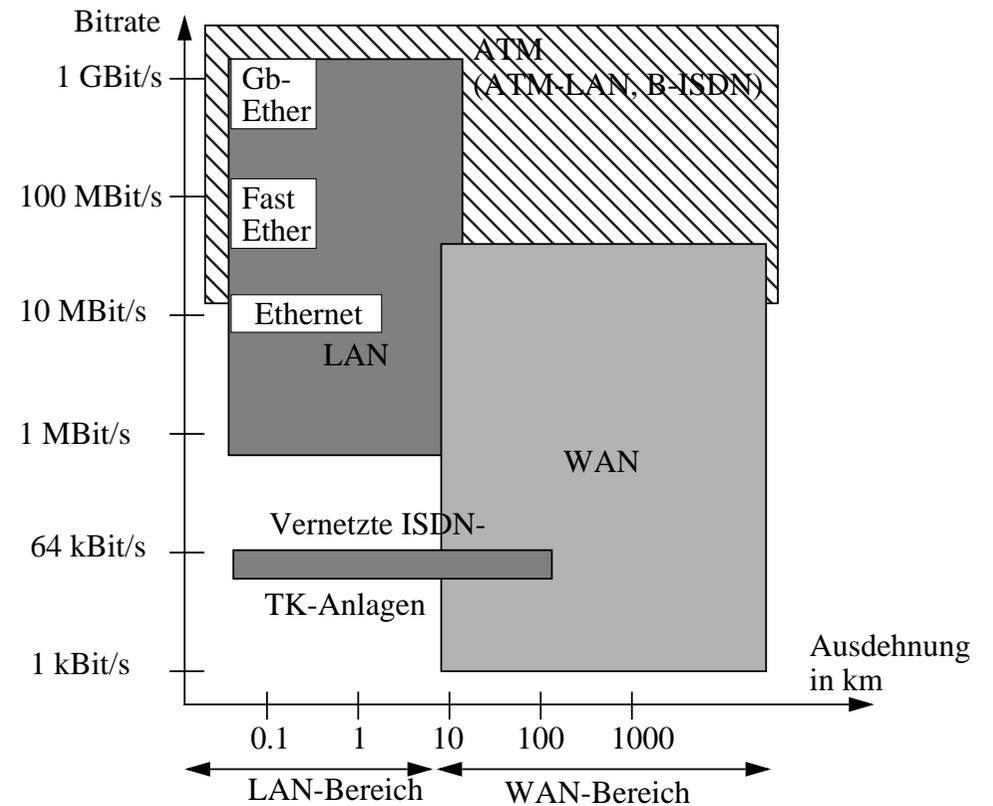
- > unterschiedliche Prinzipien für unterschiedliche Bandbreiten
- > neue Protokolle etc. für neue Hochgeschwindigkeitsnetze

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	

6 Größenordnungen

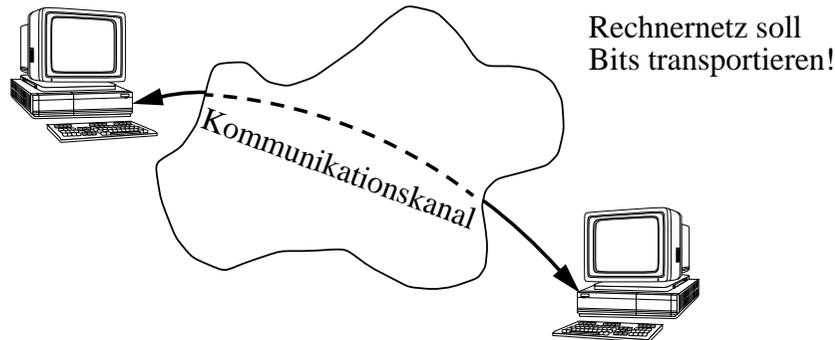
Netzdimensionen



- Skalierbarkeit ist in dieser Grössenordnung kaum gegeben!

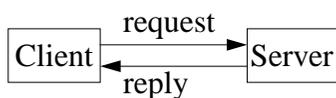
Funktionalität von Kommunikationskanälen

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



- 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), Datenbankabfrage, WWW
- Typischerweise kein Datenverlust durch geeignetes Protokoll

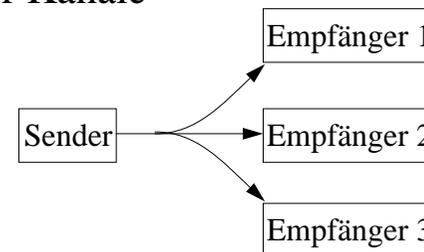
2) Datenstrom



Datenstrom-Kanäle



- Oft unidirektional
- Typische Anwendung: Video und Audio
 - Unterscheide "video on demand" und "live video" (Video-Konferenz etc.) hinsichtlich Realzeit-Anforderungen
 - Anforderung Video z.B. 500 × 500 Pixel mit 24 Bit Farbtiefe --> $250000 \times 24 / 8 \text{ kB} \rightarrow 750 \text{ kB}$. Bei 25 Bilder/s --> 18.75 MB/s --> 150 Mb/s (unkomprimiert)
- 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
 - Vereinbarung von Charakteristiken
 - ggf. Rückmeldung von Fehlerereignissen an die Nutzer der Kanäle
 - ...

beachte aber “verbindungslose” Kommunikation

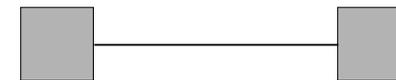
Netzstrukturen

- “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”)

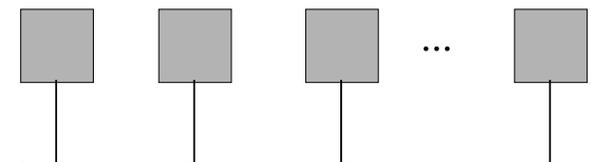
- Netze mit *direkter* Verbindung

- keine Zwischenknoten vorhanden bzw. (ab einer gewissen Abstraktionsebene) Zwischenknoten nicht sichtbar

1) Punkt zu Punkt-Verbindung



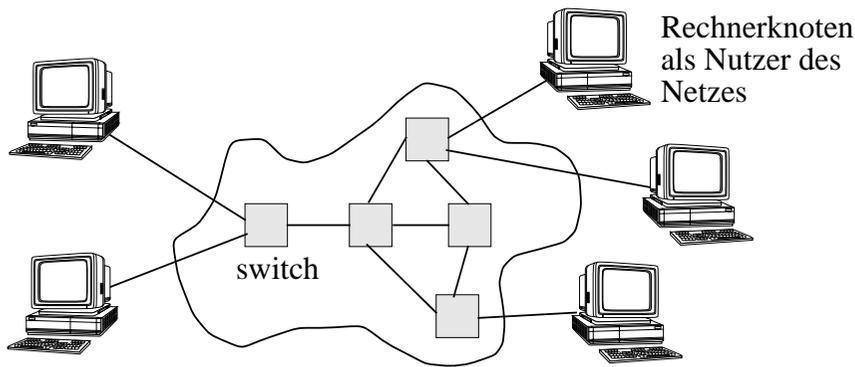
2) Bus (“Punkt zu Mehrpunkt”)



- Netze mit *indirekter* Verbindung

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

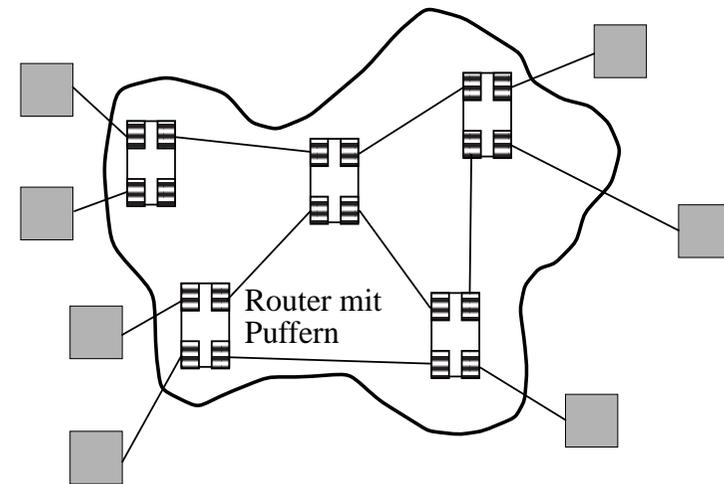
Geschaltete Netze (“switched”)



- 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 *Nachrichtepaket*en

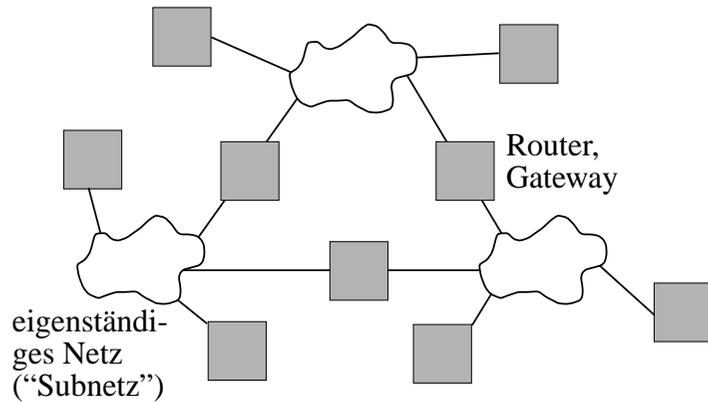
Paketvermittlungsnetze

- 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

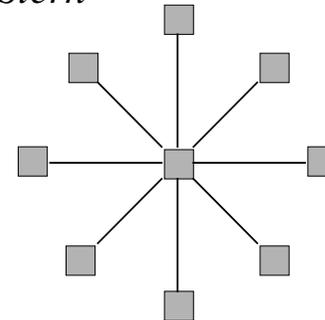
Inter-Netzwerke



- 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

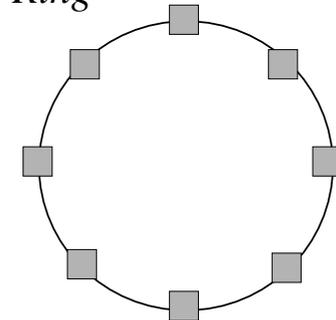
Netztopologien

Stern



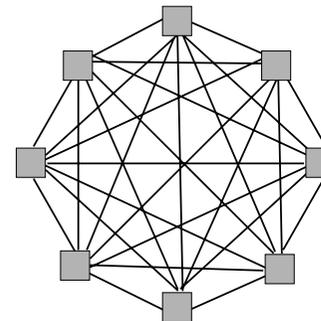
z.B. LAN mit Hub / Switch

Ring

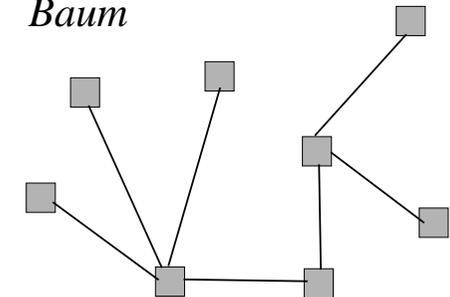


z.B. Token-Ring

Vollständige Vermaschung



Baum

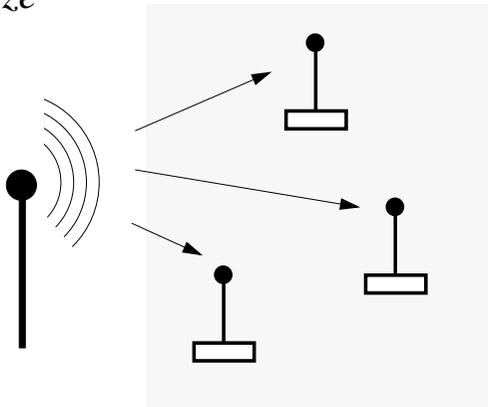


z.B. Ethernet mit Subnetzen

- Verschiedene Vor- und Nachteile!

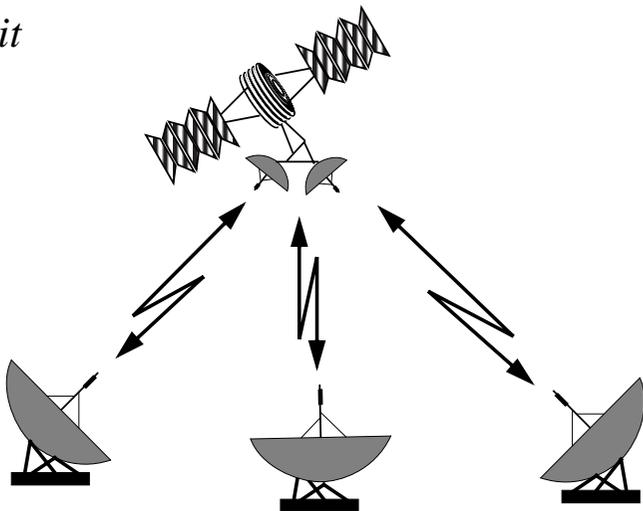
Weitere Topologien

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

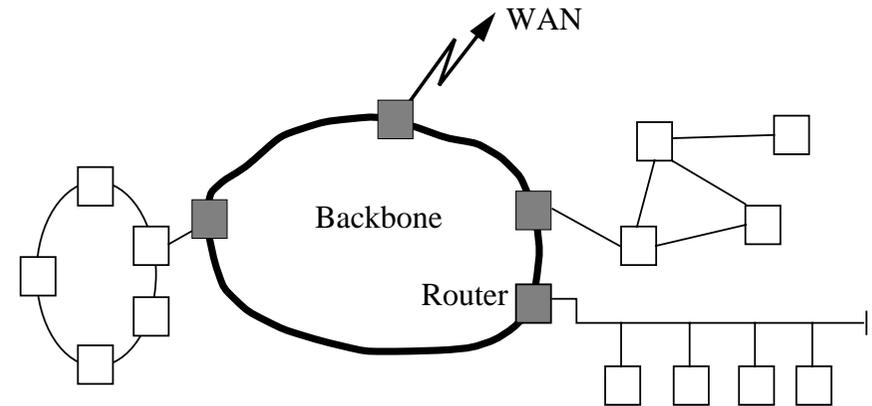


ggf. auch mit
mobilen Stationen
("mobile Netze")

- *Satellit*



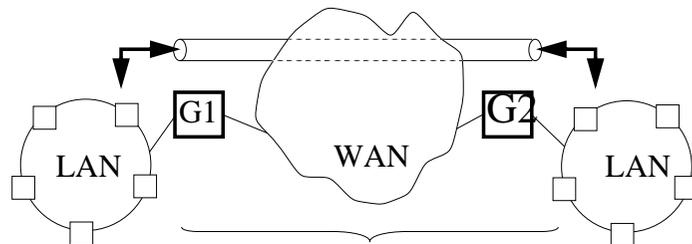
Backbone-Netz



- 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

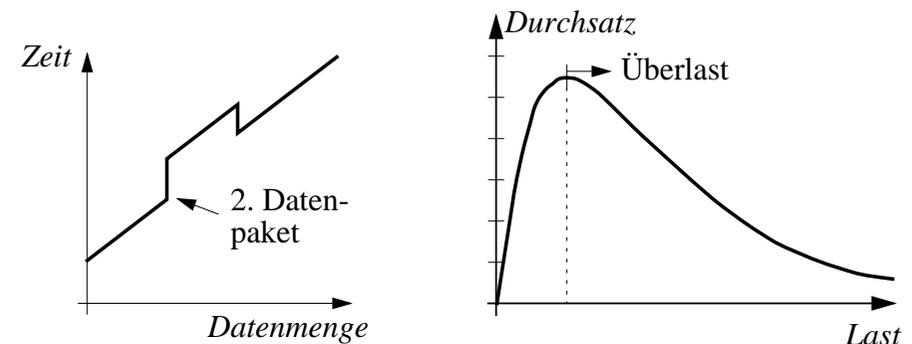
- Logische Netzstruktur (bzgl. zugehörigen Knoten, Verbindungen, Adressbereichen etc.) ist unabhängig von der physischen Netzstruktur
- *Virtual LANs (VLAN)*: im lokalen Bereich
 - realisiert durch geeignet konfigurierbare Switches
 - geschlossene Benutzergruppe (“workgroup”) hat ihre eigenen Server, 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



“transparenter” Datentransport

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.ch PING 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

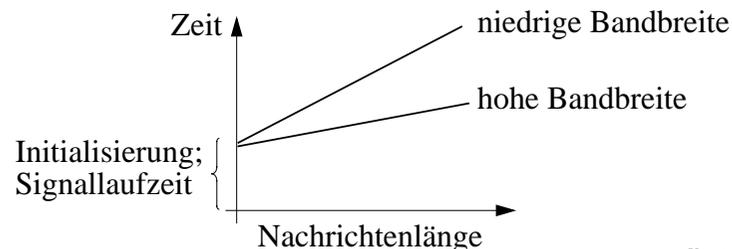
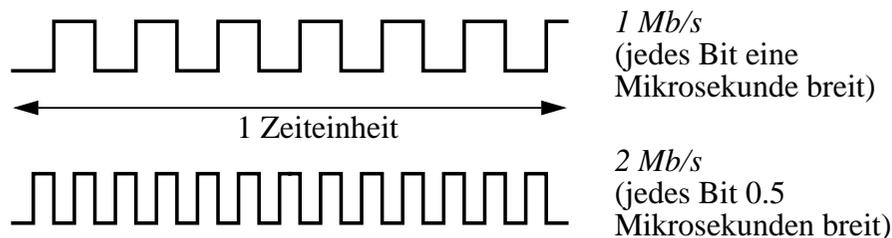
----www.cs.berkeley.edu PING Statistics----
 round-trip (ms) min/avg/max = 297/338/406, 10% packet loss

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

Bandbreite (“Daten- oder Bitrate”)

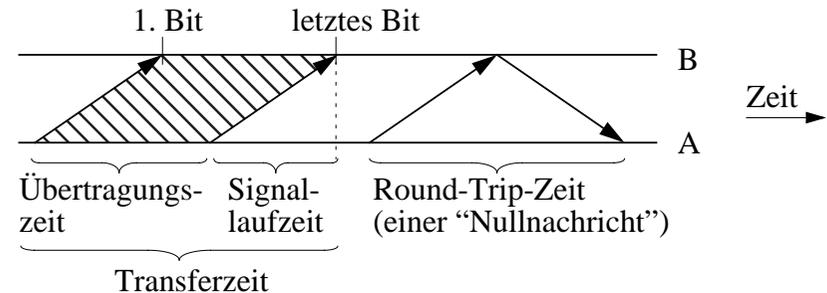
- Datenmenge, die pro Zeiteinheit übertragen werden kann
 - Beispiel Ethernet: 10 Mb/s, Fast Ethernet 100 Mb/s
- Durchsatz = Tatsächlich übertragene Datenmenge / Zeit
 - Unterscheide Bandbreite des Mediums (technisch / physikalisch begrenzt) und Durchsatz vom Sendeprozess zum Empfangsprozess
 - Engpass 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”:



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 Unterseekabel ?

- Zusammensetzung der Verzögerung

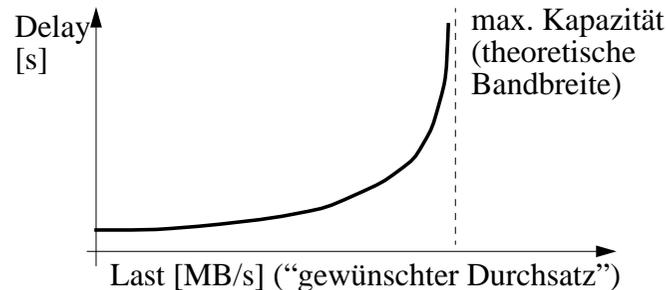
+ Signallaufzeit auf Medium (Entfernung / Lichtgeschwindigkeit)

- 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

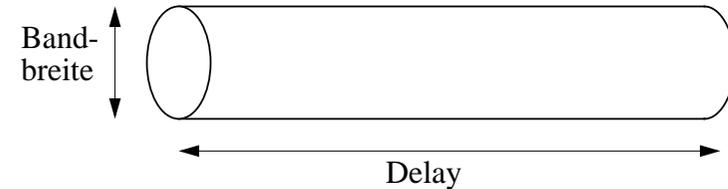
- Für kurze Nachrichten (“Null-Message”) ist Delay entscheidend; Bandbreite ist vernachlässigbar
 - z.B. Echo eines Tastendrucks bei remote login
 - Bsp.: Europa-USA mindestens 100 ms. Pro Byte sind es bei 1Mb/s zusätzlich 8 μ s; bei 100 Mb/s zusätzlich 0.08 μ s --> irrelevant!
- Für grossvolumige Daten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

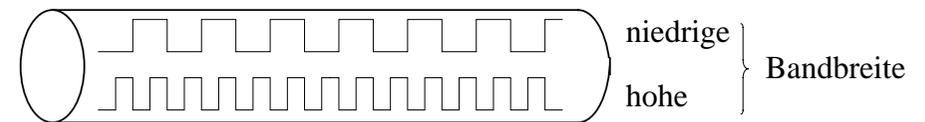
Bandbreite \times Delay

- 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)