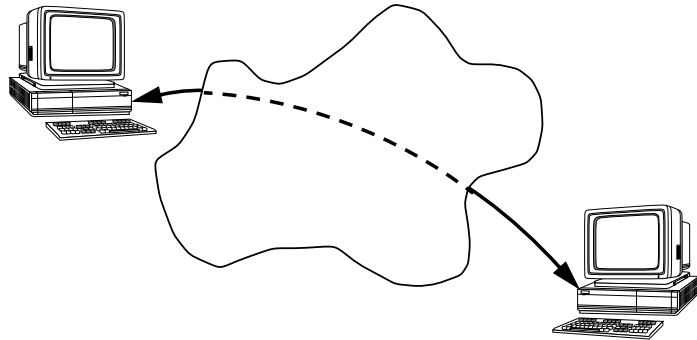


Rechnernetze

Vordergründiger Zweck:

Verbindung von autonomen Rechnern
(zum Zweck des Informationsaustauschs)



- Man unterscheidet:

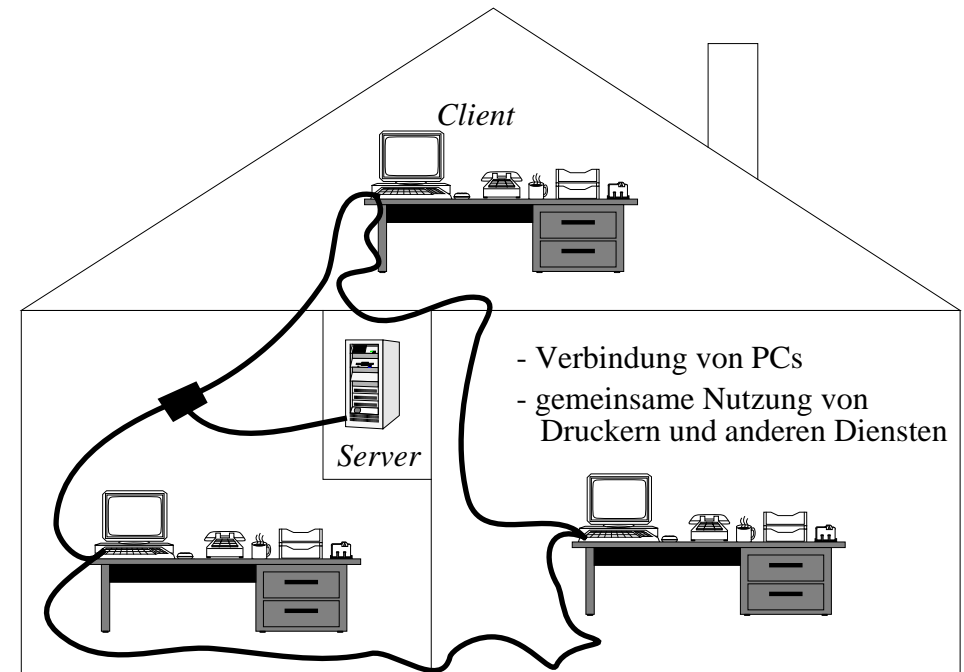
- *Lokale Netze* (LAN, local area network):

Rechner einer Abteilung oder einer Firma werden miteinander verbunden; Ausdehnung: einige 100 Meter

- *Weitverkehrsnetze* (WAN, wide area networks):

Weltweite Verbindung über Telekom-Netze (spezielle Datennetze) bzw. private oder kommerzielle Satellitenverbindungen etc.

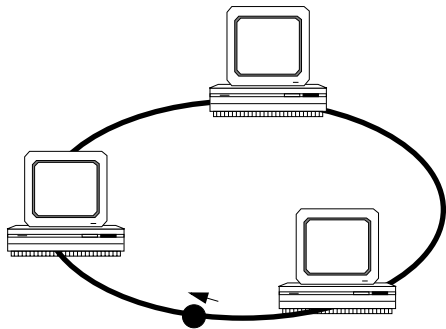
Lokale Rechnernetze



- Ausdehnung wenige 100 Meter
- Typischerweise gebäude- oder unternehmensintern
- Auf privatem Grund
 - keine Nutzungs- bzw. Übertragungsgebühren
- Hohe Übertragungsrate (typ. 10 - 1000 M Bit / s)
- Einfachere Kommunikationsprotokolle, da wenige Rechner und (zunächst) keine Vermittlungsknoten
 - oft: Möglichkeit zu Broadcast
- Typisch: Client/Server-Modell
 - z.B. Clients als Arbeitsplatzrechner
 - Server als Massenspeicher, Mailserver, Datenbankserver...

Topologien lokaler Rechnernetze

- Token-Ring



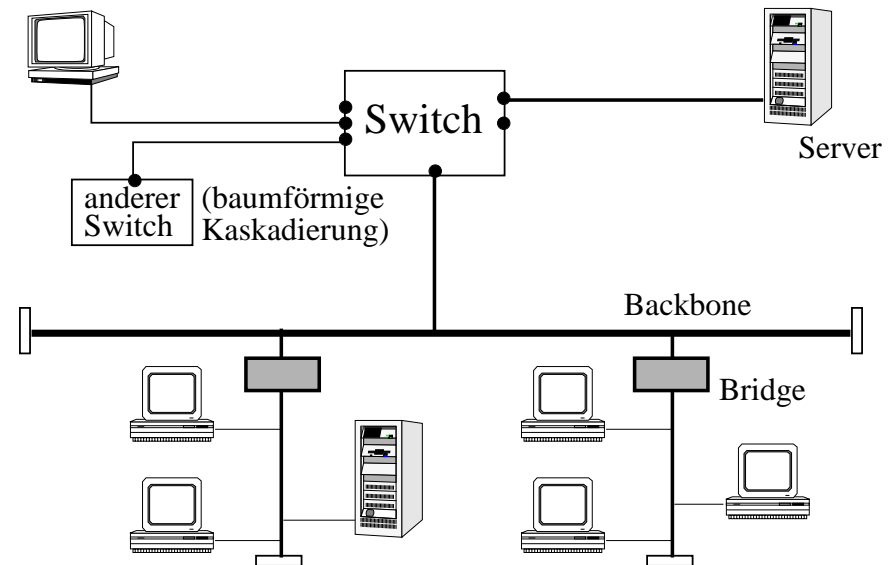
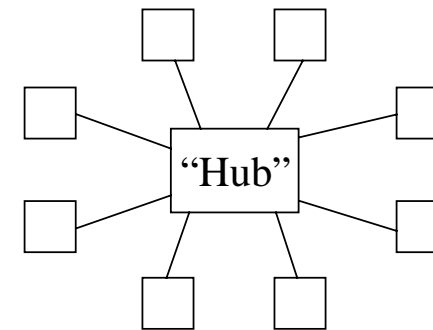
- Nachricht wird solange weitergereicht, bis die Zieladresse mit der angegebenen übereinstimmt
- Es kreist ein sogenanntes "Token" (spezielles Paket)
- Ein Rechner darf nur dann senden, wenn er das Token besitzt

- Bus-Topologie (z.B. Ethernet)



- Jeder Rechner "horcht" am Bus und empfängt die Nachrichten, die seine Adresse tragen
- Senden, wenn Bus frei
- Kollisionen von mehreren Sendern müssen behandelt werden

Stern- und baumförmige Topologien



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 Dislozieren von Netzknoten?

- Skalierbarkeit

- gestiegenen Anforderungen noch gut gewachsen?
- Erweiterbarkeit um zusätzliche Knoten?

- Aufwand für Fehlerlokalisierung

- Verkabelungsaufwand

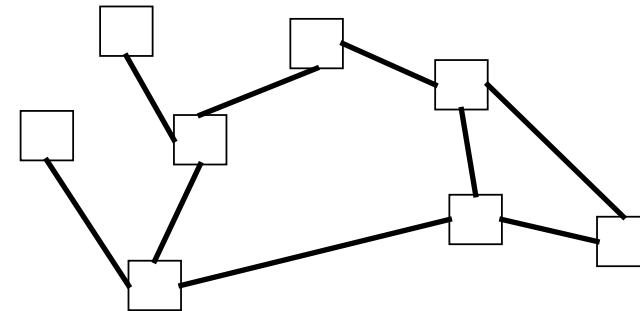
- pro Station bzw. Gesamtaufwand

- Kosten

- Sicherheit

- z.B. Einfachheit des Abhörens; Störanfälligkeit

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 sinnvoll

- Dezentral organisiert

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

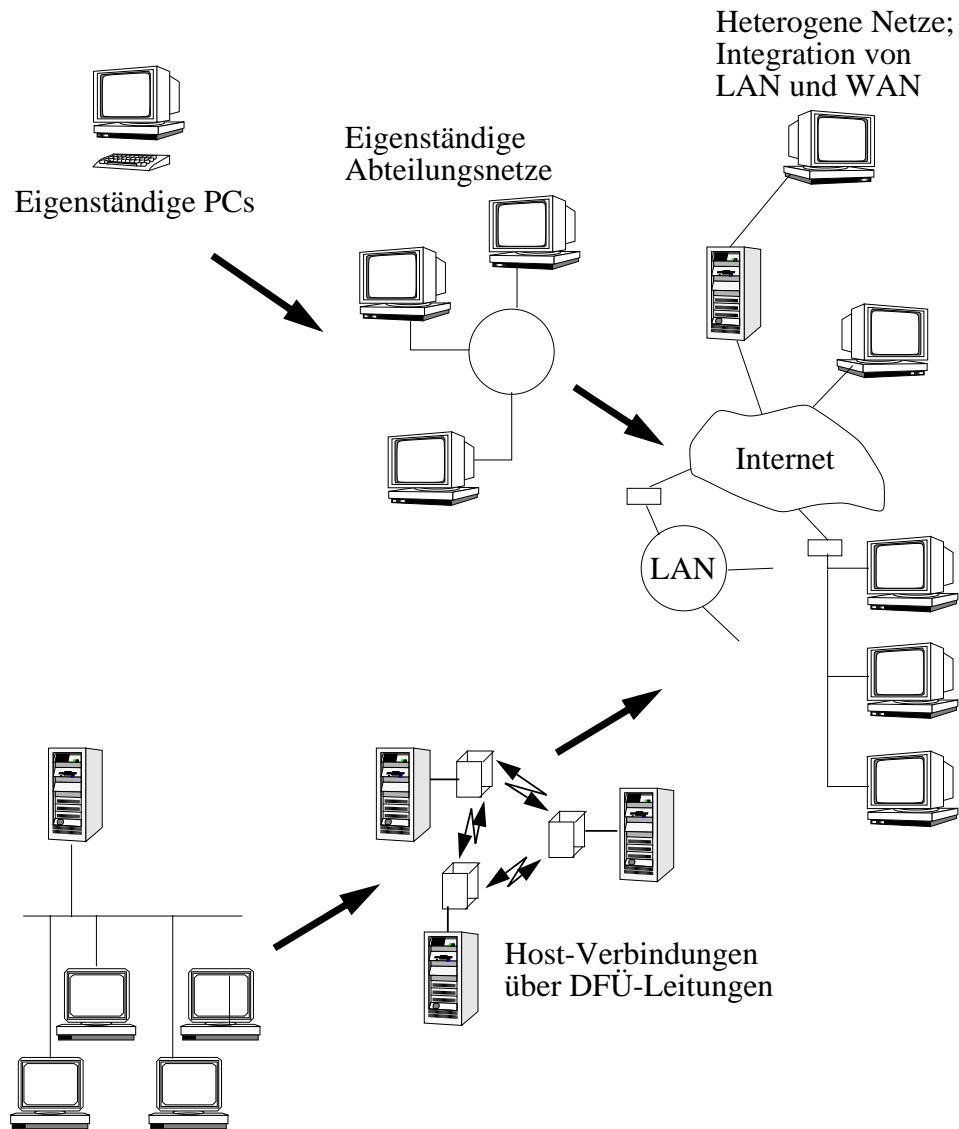
- Nachrichten werden i.a. über andere Rechner geleitet (Routing; "store and forward")

- Oft geringere Übertragungsrate als LANs

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

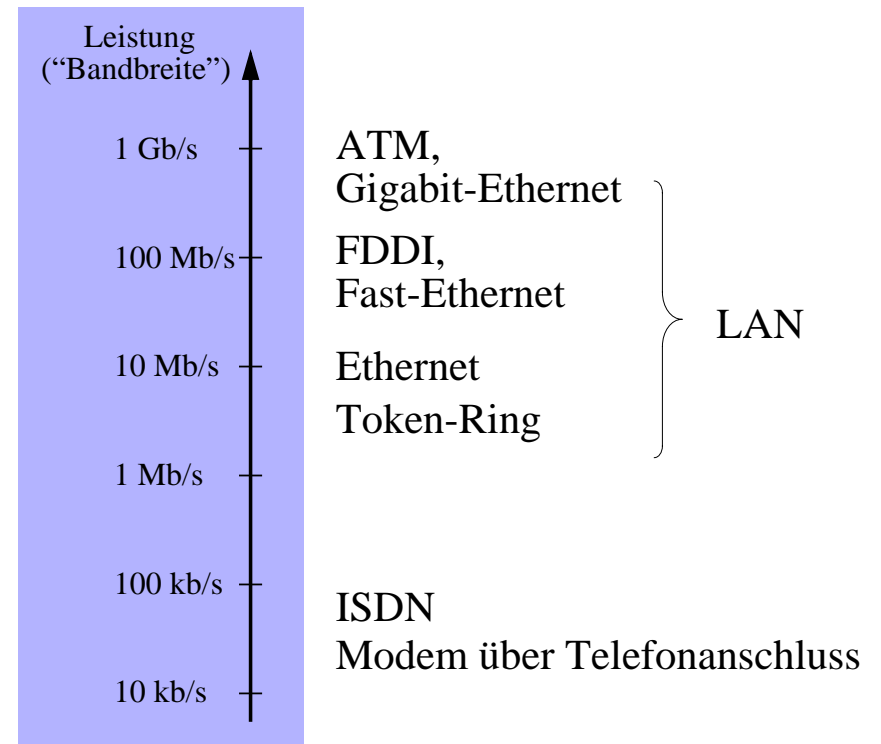
Plain Old Telephone System

Historische Entwicklung von Rechnernetzen



Host mit Terminals

Beispielnetze



- Skalierbarkeit einer einzigen Technik ist in dieser Größenordnung kaum gegeben!

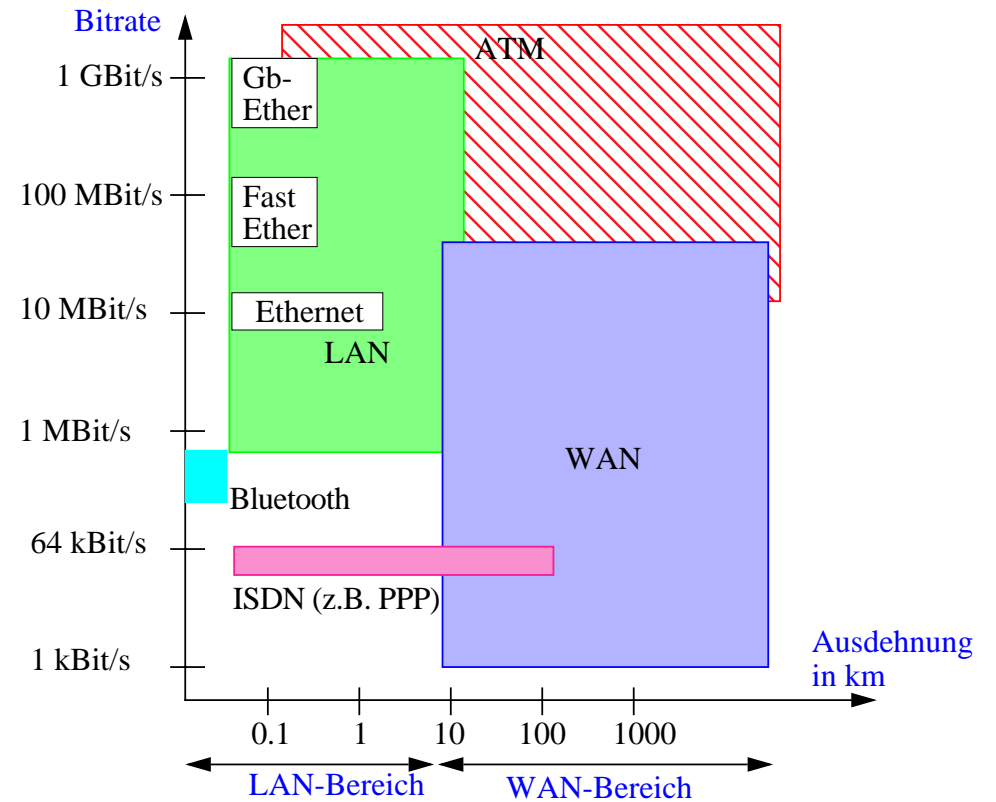
- > unterschiedliche Prinzipien für unterschiedliche Bandbreiten
- > neue Protokolle etc. für neue Hochgeschwindigkeitsnetze

Ausdehnung von Netzen

| Abstand zwischen Prozessoren | Plattform | |
|------------------------------|-----------|--|
| 1 cm | Chip | systolische Netze, Datenflussmaschinen |
| 10 cm | Platine | |
| 1 m | System | Body Area Networks |
| 10 m | Raum | Raumnetze (z.B. Bluetooth) |
| 100 m | Gebäude | LAN |
| 1 km | Campus | |
| 10 km | Stadt | Metropolitan Area Network |
| 100 km | Land | WAN |
| 1000 km | Kontinent | |
| 10000 km | Planet | Internet |

6 Größenordnungen

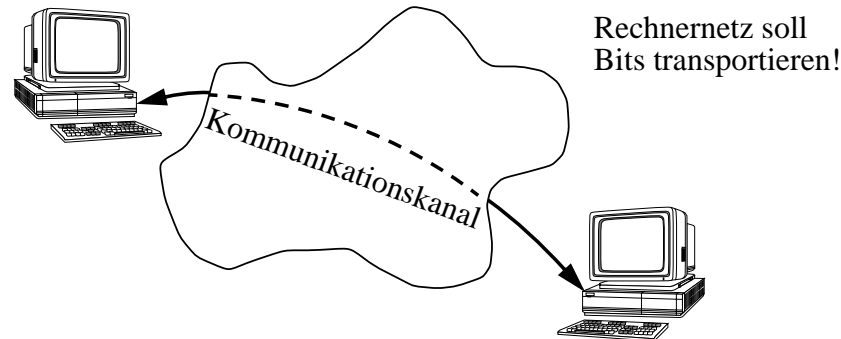
Netzdimensionen



- Skalierbarkeit ist in dieser Größenordnung kaum gegeben!

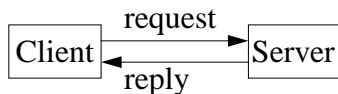
Funktionalität von Kommunikationskanälen

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



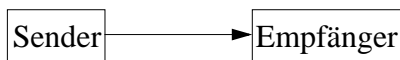
- Kommunikationskanal vermittelt zwischen den Prozessen einer verteilten Anwendung
- Verschiedene Anwendungsklassen stellen verschiedene Ansprüche an Kommunikationskanäle
- Zwei klassische Haupttypen von Kanälen:

1) Request/Reply

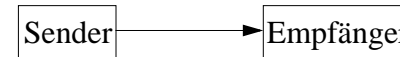


- Bidirektional (aber request oft kurz gegenüber reply)
- z.B. remote file access (ftp), Datenbankanfrage, WWW
- Typischerweise kein Datenverlust durch geeignetes Protokoll

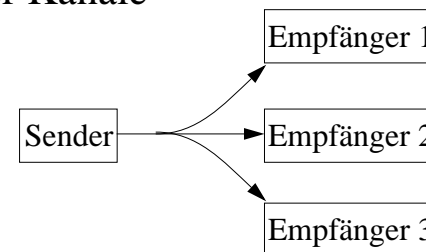
2) Datenstrom



Datenstrom-Kanäle



- Oft unidirektional
- Typische Anwendung: Video und Audio
 - Unterscheide “video on demand” und “live 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)
- 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 der Anwendung 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

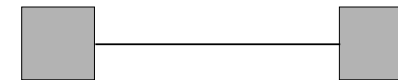
Netzstrukturen

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

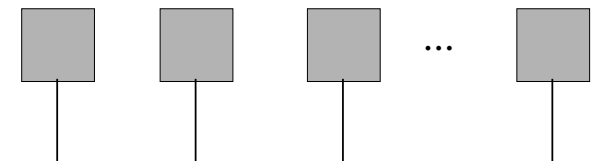
- Netze mit *direkter* Verbindung

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

1) Punkt zu Punkt-Verbindung



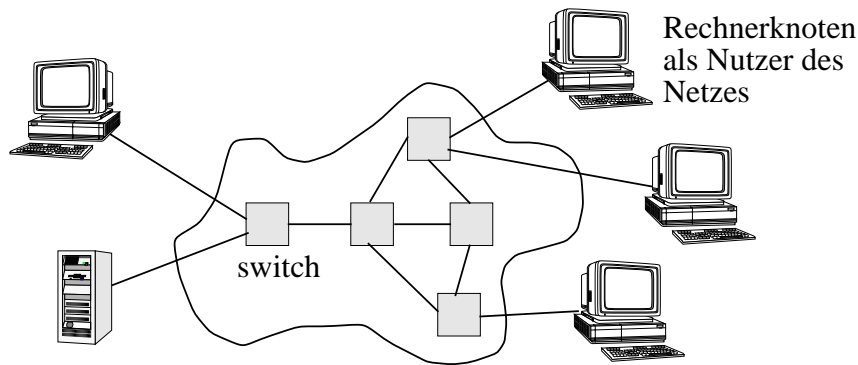
2) Bus (“Punkt zu Mehrpunkt”)



- Netze mit *indirekter* Verbindung

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

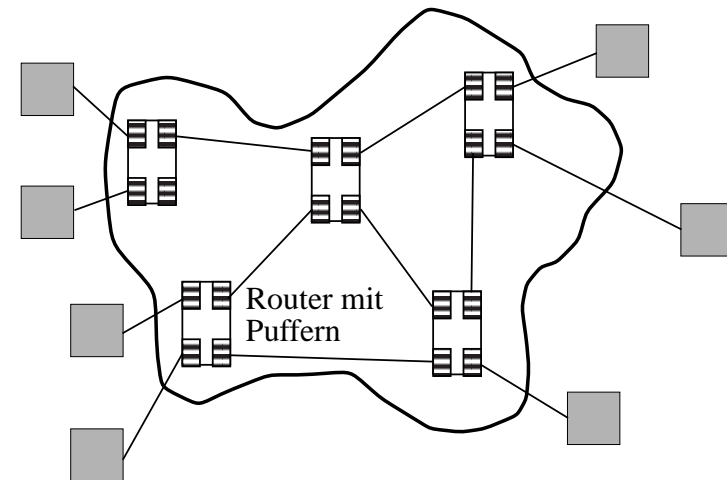
Geschaltete Netze (“switched”)



- 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
- Dagegen *packet switching*:
 - Senden und Empfangen einzelner *Datenpakete*
 - nach dem “*store and forward*”-Prinzip

Paketvermittlungsnetze

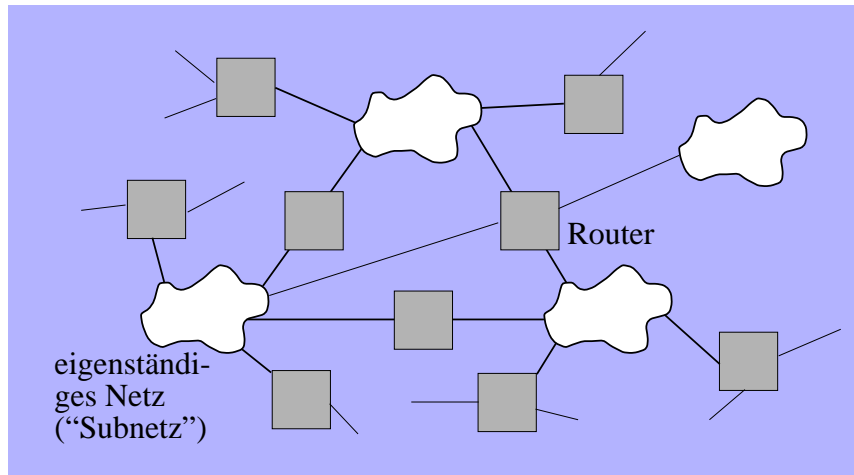
- Logische anstatt physikalische Verbindungen
- Daten paketweise übertragen (“*packet switching*”)
 - Paketkopf mit Adressen, Steuerinformationen, Prüfsumme etc.
- Mehrere logische Verbindungen (“gleichzeitig”) über eine einzelne Leitung



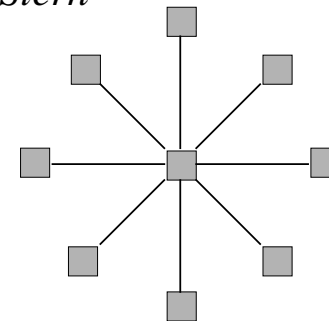
- Aufwendige Verwaltung
 - Weglenkungsfunktion (“*Routing*”) im Netzknoten (“*Router*”)
 - Verwaltung für Puffer etc.
- Paketisierung und Zusammenbau der Nachricht aus einzelnen Paketen an den Endknoten
 - bei Belastung Warteschlangen an den Routern (Zwischenspeicherung von Paketen in Puffern)
 - geeignet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

Inter-Netzwerke

Netztopologien

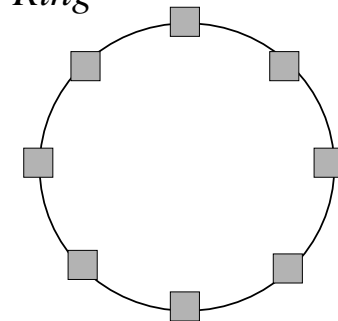


Stern



z.B. LAN mit zentralem Hub / Switch

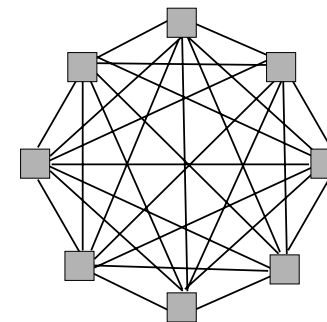
Ring



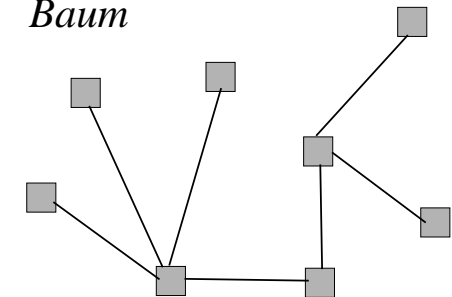
z.B. Token-Ring

- **Kopplung** von LANs, Intranets, Campusnetze, Firmennetze etc. über "Gateways"
 - ggf. mit Protokollumsetzung oder -anpassung
- "Internet": Verwendung einheitlicher Protokolle
 - basierend auf **IP = Internet Protocol**
 - Abschottung lokaler Netze durch **Firewalls**
- **Routing** ("Leitwegbestimmung")
 - Ermittlung von **Routing-Tabellen**
 - Weiterleitung einer Nachricht mittels Routing-Tabellen ("Forwarding")
 - es gibt diverse **Routing-Algorithmen** (oft: dezentral)

Vollständige Vermaschung



Baum

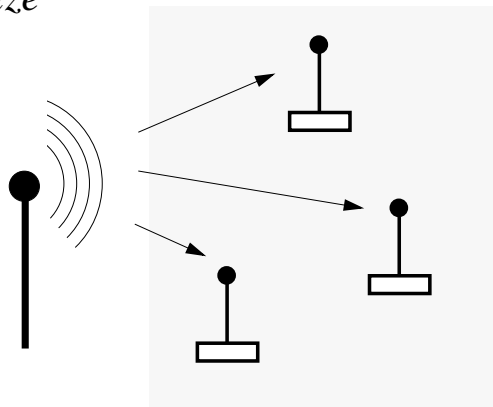


z.B. Ethernet mit Subnetzen

- Verschiedene Vor- und Nachteile!

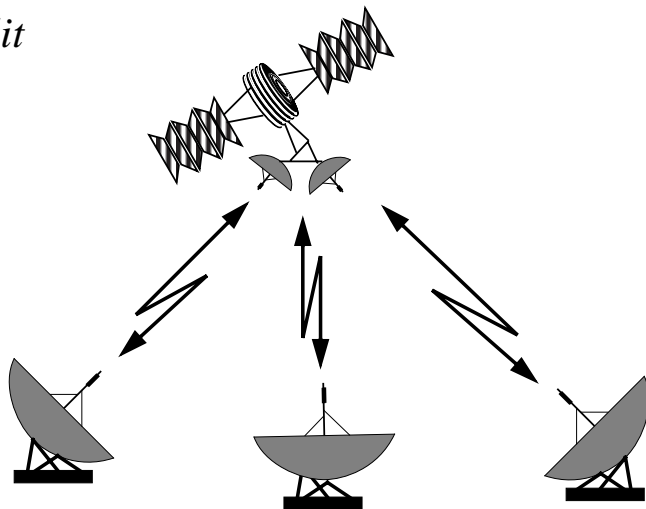
Weitere Topologien

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

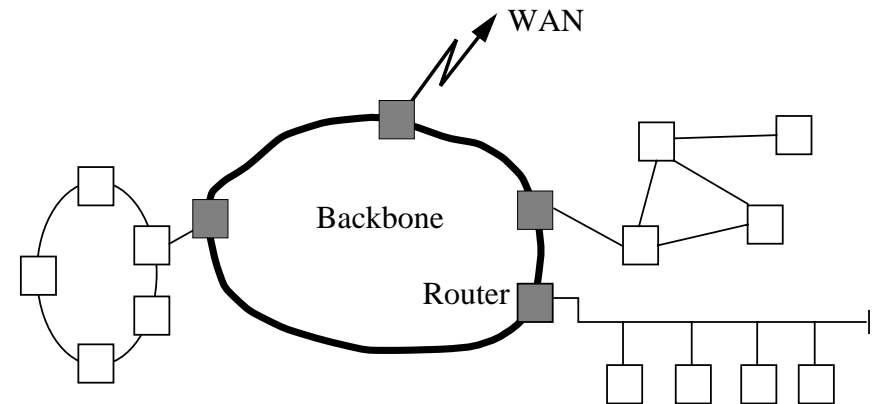


interessant für mobile Stationen ("mobile Netze")

- *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
- Unter "Internet-Backbone" werden "lange" Leitungen hoher Bandbreite (i.a. Glasfaser) zusammen mit Hochleistungsswitches und Routern etc. verstanden

“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

