# Vorlesung Kommunikationssysteme
# Wintersemester 2026/27

# LAN und Medienzugriff

Christoph Lindemann

# Zeitplan

| Nr. | Datum | Thema |
|---|---|---|
| 01 | 16.10.26 | Organisation, Internet Trends und Grundlagen von Android |
| 02 | 23.10.26 | Protokolldesign und das Internet |
| 03 | 30.10.26 | Anwendungen und Netzwerkprogrammierung |
| 04 | 06.11.26 | LAN und Medienzugriff |
| 05 | 13.11.26 | Ethernet und drahtlose Netze |
| 06 | 20.11.26 | LAN Komponenten und WAN Technologien |
| 07 | 27.11.26 | Routingverfahren und Protokolle |
| 08 | 04.12.26 | Internetworking und Adressierung mit IP |
| 09 | 11.12.26 | IP Datagramme |
| 10 | 18.12.26 | Zusätzliche Protokolle und Technologien |
| 11 | 08.01.27 | User Datagram Protocol und Transmission Control Protocol |
| 12 | 15.01.27 | TCP Überlastkontrolle / Internet Routing und Routingprotokolle |
| 13 | 22.01.27 | TCP für Hochgeschwindigkeitsnetze |
| 14 | 29.01.27 | Review der Vorlesung |

# Überblick

## Ziele:

- Grundverständnis für den Medienzugriff und die Paketübertragung in der Network Interface Schicht

## Themen:

- Netzwerk-Klassen
- LAN-Topologien
- Adressierung und Framing
- Ethernet und WLAN MAC

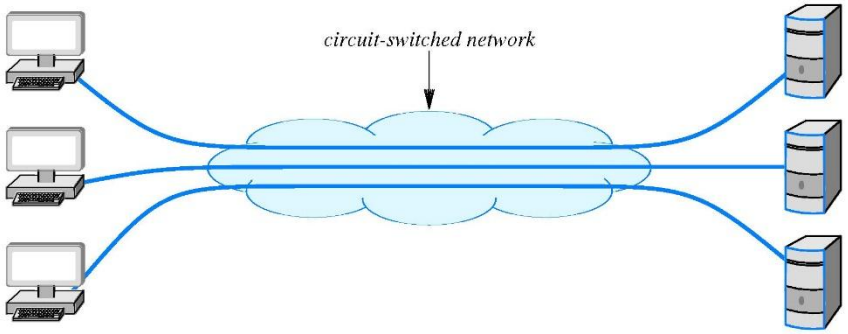
# Paketvermittelte Netze

# Leitungsvermittelte Netze (1)

- Erste Telekommunikationsverbindungen wurden als physikalische Leitungen aufgebaut → „Verbindung“ durch Umstecken von Kabeln in der Vermittlungsstelle

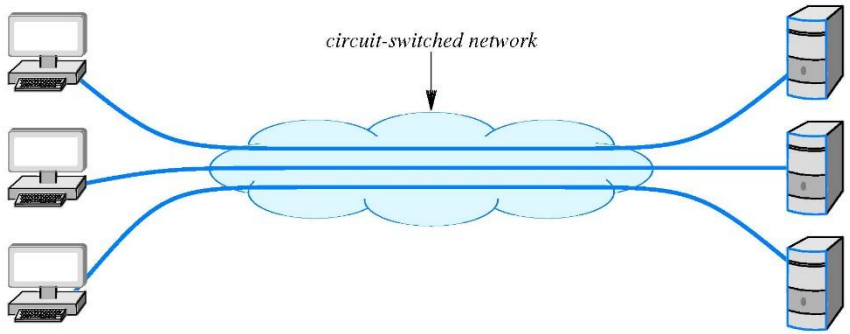
- Heute: **Virtuelle Leitungen**

  - Mehrere Leitungen über einen physikalischen Kanal multiplexed
  - Geteiltes Medium → Resource Sharing



# Leitungsvermittelte Netze (2)

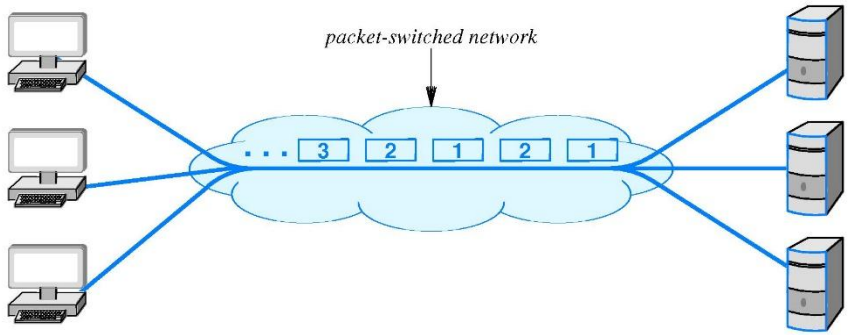
- Eigenschaften der Leitungsvermittlung (Circuit Switching):
  - **Point-to-Point Kommunikation**
  - **Verbindungsaufbau und Verbindungsabbau**
    - Virtuelle Leitungen sind temporär
  - Kein Performanceunterschied zu physikalischen Leitungen
    - **Isolation** verschiedener Virtueller Leitungen voneinander



# Paketvermittelte Netze (1)

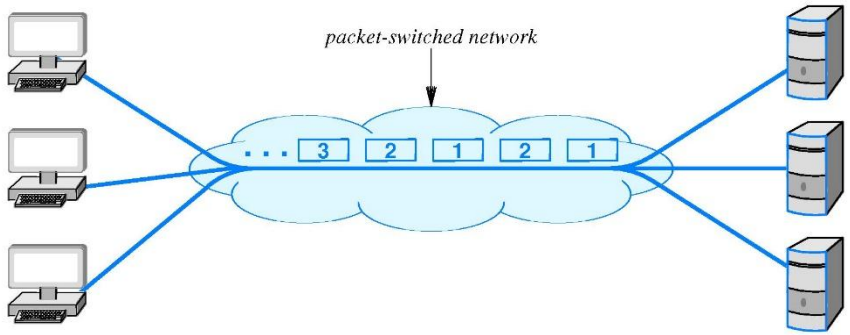
- Basis des Internets: Daten werden in kleine Pakete aufgeteilt; Pakete werden im Netzwerk geroutet

- Im Gegensatz zur Leitungsvermittlung konkurrieren die Datenflüsse miteinander um den physikalischen Kanal → **Statistical Multiplexing**



# Paketvermittelte Netze (2)

- Eigenschaften Packet Switching:
  - **Beliebige, asynchrone Kommunikation**
    - Kommunikation mit beliebig vielen Kommunikationspartner ohne Zeitbeschränkungen
  - **Kein Verbindungsaufbau**
    - Ad-hoc Paket-Weiterleitung zu jedem belieben Ziel
  - Schwankende Performance durch Statistical Multiplexing



# Netzwerk Klassifikation

- Packet Switching Technologien werden nach Übertragungsdistanz in drei Klassen eingeteilt
  - **Local Area Networks (LAN)**
    - Netzwerk eines Gebäudes
  - **Metropolitan Area Networks (MAN)**
    - Netzwerk innerhalb einer Stadt
    - Praktisch keine Relevanz
  - **Wide Area Networks (WAN)**
    - Netzwerk verbindet Städte

# Standards

- Alle Netzteilnehmer müssen übertragende Pakete gleich interpretieren um z.B. den Empfänger des Paketes eindeutig identifizieren zu können
- **Institute for Electrical und Electronics Engineers (IEEE)** erarbeitet LAN Protokolle im **Projekt 802**
- Andere Standardisierungsorganisationen fokussieren auf die Internet- und Anwendungsschicht

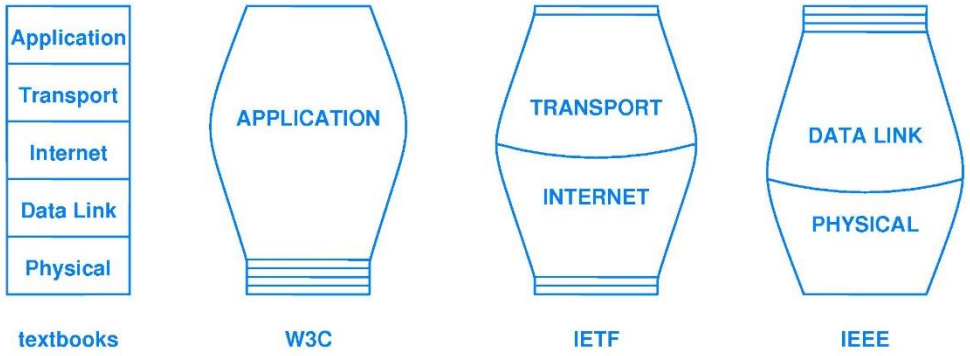



**Figure 13.4** A humorous illustration of a protocol stack as depicted by various standards organizations.

# IEEE 802

- Aufteilung des Network Interface Layers (Layer 2) in zwei Unterschichten
  - **Logical Link Control (LLC)**
    - Adressierung und Demultiplexing
  - **Media Access Control (MAC)**
    - Zugriff auf das geteilte Medium

# Übersicht 802 Teilprojekte

| ID | Topic |
|---|---|
| 802.1 | Higher layer LAN protocols |
| 802.2 | Logical link control |
| 802.3 | Ethernet |
| 802.4 | Token bus (disbanded) |
| 802.5 | Token Ring |
| 802.6 | Metropolitan Area Networks (disbanded) |
| 802.7 | Broadband LAN using Coaxial Cable (disbanded) |
| 802.9 | Integrated Services LAN (disbanded) |
| 802.10 | Interoperable LAN Security (disbanded) |
| 802.11 | Wireless LAN (Wi-Fi) |
| 802.12 | Demand priority |
| 802.13 | Category 6 - 10Gb LAN |
| 802.14 | Cable modems (disbanded) |
| 802.15 | Wireless PAN<br>802.15.1 (Bluetooth)<br>802.15.4 (ZigBee) |
| 802.16 | Broadband Wireless Access<br>802.16e (Mobile) Broadband Wireless |
| 802.17 | Resilient packet ring |
| 802.18 | Radio Regulatory TAG |
| 802.19 | Coexistence TAG |
| 802.20 | Mobile Broadband Wireless Access |
| 802.21 | Media Independent Handoff |
| 802.22 | Wireless Regional Area Network |

**Figure 13.6** Examples of the identifiers IEEE has assigned to various LAN standards.

# LAN Topologien

- LANs sind **Multi Access Networks** (und nicht Point-to-Point)
  - Geteiltes Medium
  - Jeder angeschlossene Computer kann mit jedem anderen kommunizieren
- Verschiedenste LAN Technologien wurden dafür entwickelt, die sich zuallererst in ihrer Topologie unterscheiden

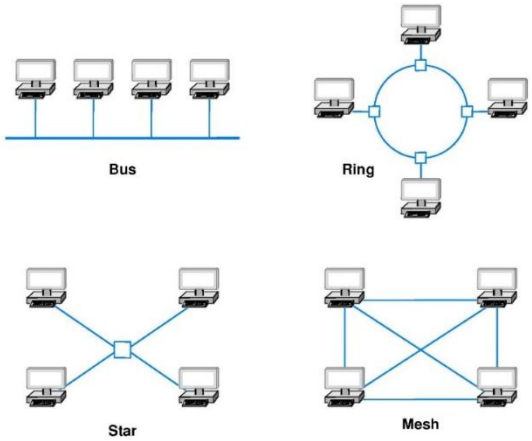



**Figure 13.7** Four network topologies used with LANs.

# Bus Topologie

- Wurde von der ersten Ethernet Version implementiert

- Alle Rechner sind an ein langes Kabel angeschlossen
  - Offensichtlich erreichen alle ausgesendeten Signale alle Computer am Kabel
  - Koordinierung des Zugriffs auf das Kabel notwendig

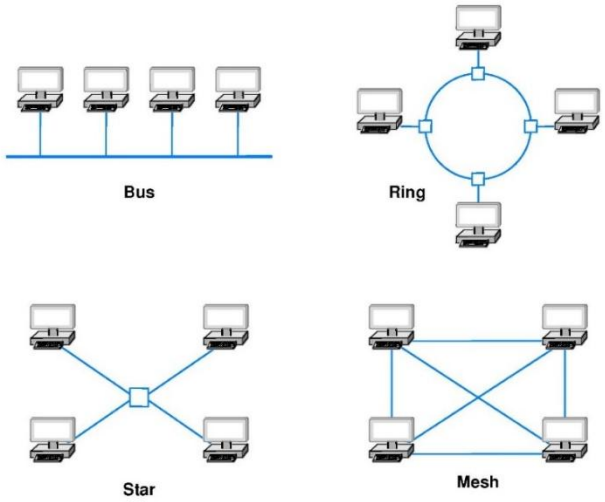



**Figure 13.7** Four network topologies used with LANs.

# Ring Topologie

- Ähnlich Bus → Geteiltes Kabel

- **Fehlertoleranter als der Bus:** Kommunikation mit allen angeschlossenen Rechnern trotz Ausfall eines Verbindungsstückes

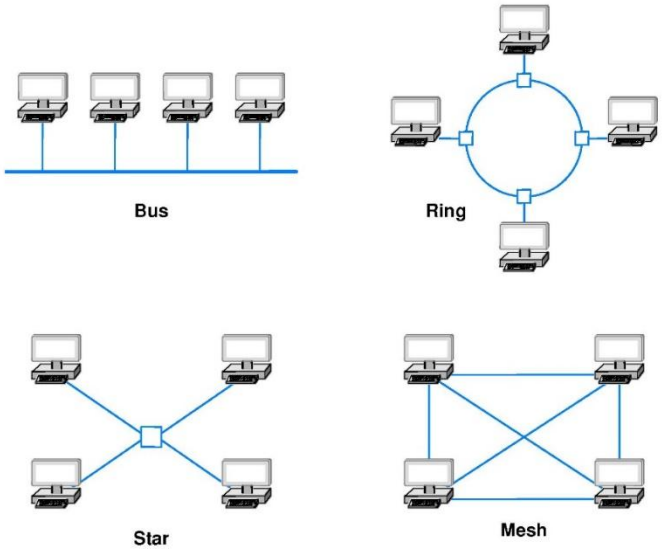



**Figure 13.7** Four network topologies used with LANs.

# Mesh Topologie

- Eigene physikalische Leitung für jedes Paar an Kommunikationspartnern

- Teuer, da viele Leitungen: $\frac{n!}{(n-2)!\,2!} = \frac{n^2-n}{2}$

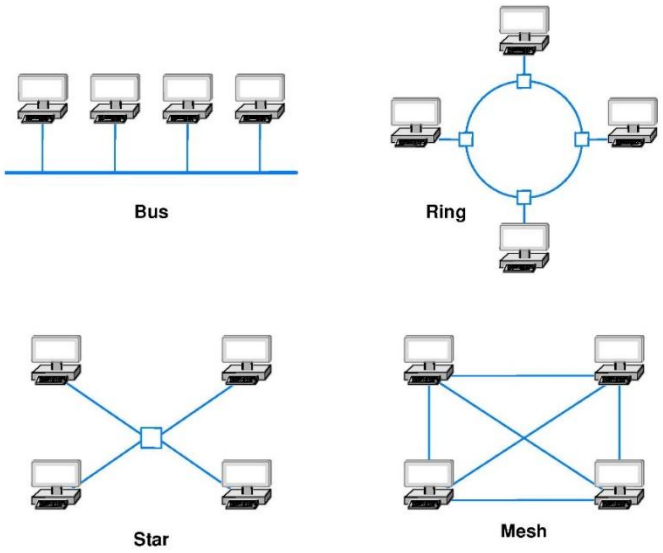



**Figure 13.7** Four network topologies used with LANs.

# Star Topologie

- Alle Rechner sind zu einem zentralen Punkt verbunden: der **HUB**
- **Heutiger Standard**
- Daten vom Sender über Hub zum spezifischen Empfänger

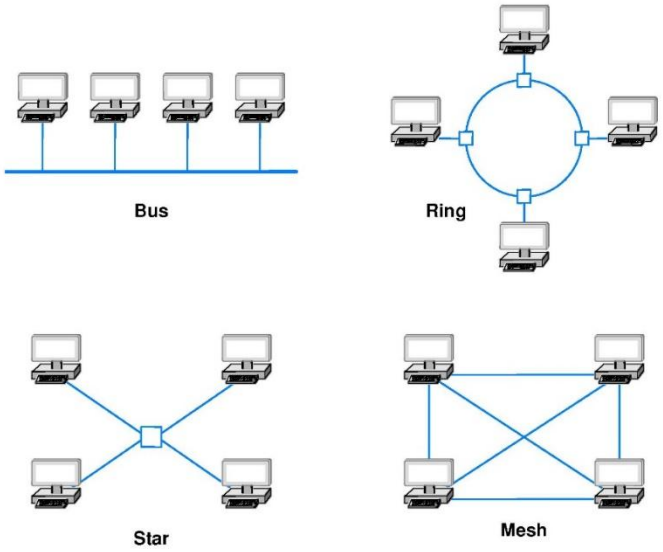



**Figure 13.7** Four network topologies used with LANs.

# Adressierung (1)

- In Packet Switched Networks benötigen die Pakete einen Identifier für das Ziel des Paketes: die **Zieladresse**
  - **Jeder Rechner besitzt eine eindeutige Adresse**
- **IEEE 802** definiert Adressen in einem 48-bit Binärformat
  - Auch als **Ethernet- bzw. MAC-Adresse** bekannt
  - **IEEE ist zentrale Vergabestelle für diese Adressen**
  - **Weltweit eine eindeutige MAC-Adresse pro Netzwerkkarte**

# Adressierung (2)

- Zentrale Vergabe für jede einzelne Netzwerkkarte (Network Controler Interface, NIC) wäre zu aufwendig

- IEEE weist jedem Hersteller einen 3 Byte Block (24 Bit) zu
  → **Organizationally Unique Identifier (OUI)**

- Hersteller für die letzten 3 Byte zuständig

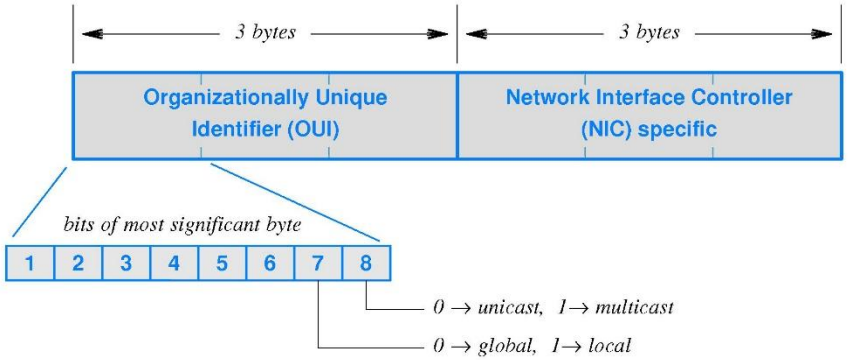



**Figure 13.8** The division of a 48-bit IEEE MAC address.

# Adressierung (3)

- Zwei besondere Bits:
  - Unicast oder Multicast: Multicast-Adressen ermöglichen 1:N Übertragungen
  - Global oder Local: Globale Adressen werden von der IEEE vergeben, lokale können für Experimente selbst gesetzt werden

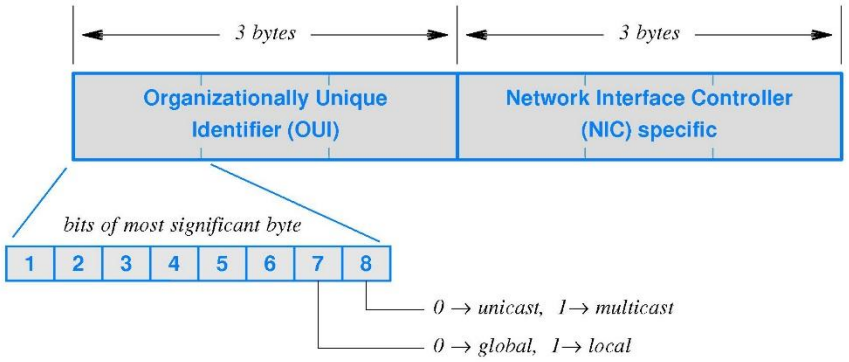



**Figure 13.8** The division of a 48-bit IEEE MAC address.

# Adresstypen

- **Unicast**: Die Adresse wird eindeutig einer NIC zugeordnet
- **Broadcast**: Spezielle Adresse, mit der Pakete an alle NICs im LAN geschickt werden können
- **Multicast**: Adresse, die mehreren NICs zugeordnet ist → ein Paket kann an mehrere Rechner geschickt werden
- IEEE verwendet als Broadcast Adresse FF:FF:FF:FF:FF:FF → alles 1, und somit auch das Multicast-Bit gesetzt → Broadcast ist ein Sonderfall vom Multicast
- **Multicast und Broadcast sind sehr effizient**

# Framing (1)

- Zu übertragende Daten werden durch Meta-Daten ergänzt → Zieladresse, Optionen, …
- **Framing** bezeichnet die Struktur dieser Metadaten und wie diese Metadaten den zu übertragenden Daten beigefügt werden
- Sendern und Empfänger verwenden das gleiche Framing-Protokoll und können die Daten interpretieren
- In Packet Switched Networks entspricht jedes Frame einem Paket

# Framing (2)

- Jedes Frame besteht aus zwei Teilen
  - **Header** mit den Metadaten
  - **Payload**, die eigentlich zu übertragenden Daten
    - Beliebige Daten
    - Vom Netzwerk nicht interpretiert
- Frame beginnt meist mit Header: Verarbeitung der Meta-Informationen bevor das ganze Frame empfangen wurde

- Teilweise werden zur Erkennung von Beginn und Ende besondere **Preludes** eingesetzt → feste Bit-Folgen

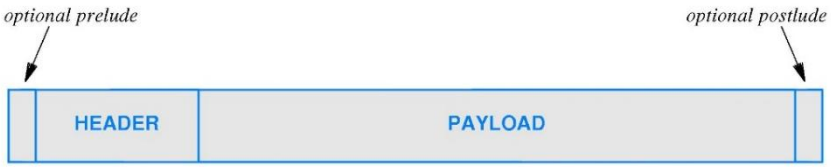



**Figure 13.10** Typical structure of a frame in a packet-switched network.

# Framing (3)

- **Start of Header (SOH)** und **End of Transmission (EOT)** sind spezielle Bytes, die als Preludes eingesetzt werden

- Verhindern Probleme bei Verbindungsfehlern:
  - Wird ein SOH empfangen bevor das EOT des vorherigen Frames gelesen wurde, so ist das vorherige Frame fehlerhaft und muss verworfen werden




**Figure 13.11** An example frame format that uses SOH and EOT characters to delineate a frame.

# Byte Stuffing (1)

- SOH und EOT können natürlich auch im Payload enthalten sein
  - Erinnerung: Payload darf beliebige Daten enthalten
  - Würden das Framing zerstören, falls diese Fälle nicht gesondert behandelt werden

- Solche reservierten Bytes im Payload werden bei der Übertragung **maskiert → Byte Stuffing**
  - Sender manipuliert den Payload und ersetzt reservierte Bytes eineindeutig mit Escape Sequenzen
  - Empfänger wandelt die Escape Sequenzen wieder in die ursprünglichen Bytes um

# Byte Stuffing (2)

- Beispiel für Byte Stuffing
- Ersetzungstablelle:

| Byte In Payload | Sequence Sent |
|---|---|
| SOH | ESC A |
| EOT | ESC B |
| ESC | ESC C |

**Figure 13.12** An example of byte stuffing that maps each special character into a 2-character sequence.

- Ergebnis:

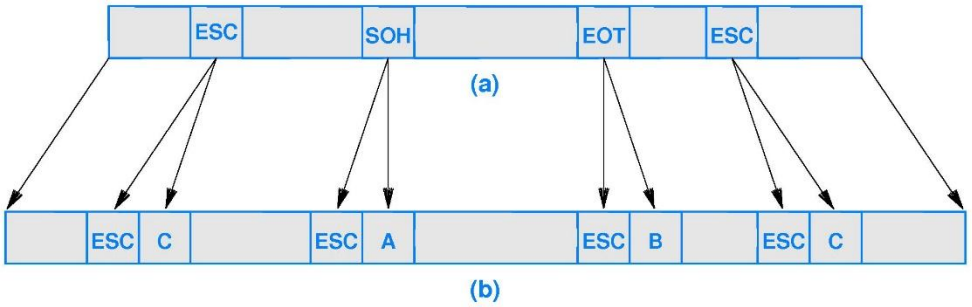



**Figure 13.13** Illustration of (a) original data, and (b) a version after byte-stuffing has been performed.

# IEEE 802 MAC

# Medienzugriff (1)

- Protokoll-Klassen zur Steuerung des Zugriffs auf das geteilte Medium (z.B. Kupferkabel)
  - **Controlled Access Protokolle**
    - Global gesteuerter Zugriff z.B. über ein Token, dass herumgereicht wird, und die Zugriff auf das Medium gestattet
  - **Random Access Protokolle**
    - Jeder Netzteilnehmer kann zu jedem Zeitpunkt senden
    - Um Kollisionen zu vermeiden wird auf dem Kanal gelauscht und nach laufenden Übertragungen gesucht
    - Ethernet, WLAN
  - **Channelization Protokolle**
    - Aufteilung des Kanals z.B. nach Zeit (TDMA) oder Frequenz (FDMA)

# Medienzugriff (2)

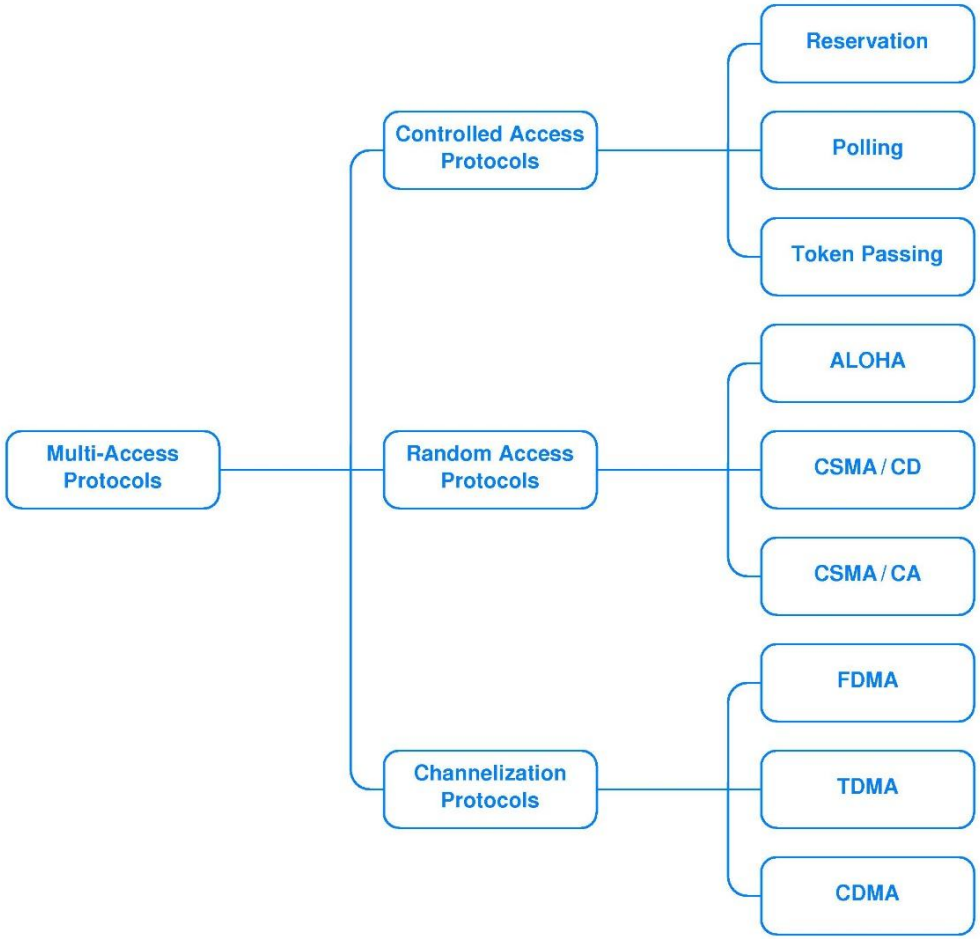



**Figure 14.1** A taxonomy of protocols that control access to a shared medium.

# Channelization (1)

- Multiplexing Techniken: Welcher Teil des geteilten Mediums wird für eine spezielle Verbindung reserviert
- **Static Channel Allocation**: Feste Zuordnung von Frequenzen, Codes, Zeitabschnitten
- **Dynamic Channel Allocation**: On Demand Zuweisung von Ressourcen zu einer Verbindung
  - Rechner betreten und verlassen das Netz
  - Z.B. Mobilfunk

# Channelization (2)

- **Frequency Division Multiple Access (FDMA)**
  - Üblicherweise zentral gesteuert
  - Jede Netzteilnehmer erhält seine eigene Frequenz
  - Reservierter Kontrollkanal zur Aushandlung der Frequenz
- **Time Division Multiple Access (TDMA)**
  - Aufteilung des Kanals in Zeitblöcke fester Größe
  - Jeder Teilnehmer darf nur in seinem Block senden
  - Z.B. 4 Teilnehmer senden in der Reihenfolge 1 2 3 4 1 2 3 4 …
  - Überträgt ein Teilnehmer nichts bleibt der Zeitblock leer
- **Code Division Multiple Access (CDMA)**
  - Umcodierung der Nutzdaten mittels **Chipping Codes**
  - Ein Code pro Teilnehmer
  - Gleichzeitige Übertragung ohne Interferenz möglich

# Controlled Access

- **Polling**
  - Zentrale Einheit kontaktiert immer wieder Netzteilnehmer und bieten ihnen ein Übertragungsfenster an um Daten zu übertragen
  - Reihenfolge nach Round Robin oder Priorität

- **Reservation**
  - Netzteilnehmer senden einen Request zur zentralen Einheit und reservieren damit Übertragungsfensters
  - Zentrale Einheit teilt per Broadcast die Sendereihenfolge mit

- **Token Passing**
  - Wer den Token besitzt darf senden
  - Ein Token im Netz (rein virtuell, über Nachrichten geregelt)
  - Token wird herum gereicht (daher häufig bei Ring Topologie)

# Random Access

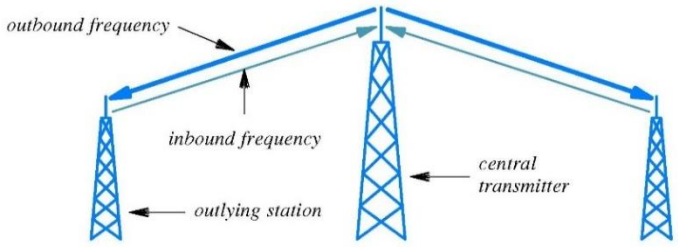
- Keine zentrale Einheit zur Steuerung des Zugriffs
  - Scheinbar unkoordiniert
- LANs verwenden meist Random Access
- Der Kanal wird nur dann genutzt, wenn ein Netzteilnehmer tatsächlich ein Paket übertragen möchte
  → **Random**
- Zufällige Wartezeiten lösen Kollisionen auf (keine garantierte Auflösung, aber praktisch sehr effektiv)

# ALOHA (1)

- Sehr frühes Netz in Hawaii
  - Vorreiter für Random Access Protokolle

- **Zentraler, leistungsstarker Transceiver erreicht alle Teilnehmer**
- **Netzteilnehmer besitzen schwächere Transceiver, können aber alle die zentrale Einheit erreichen**

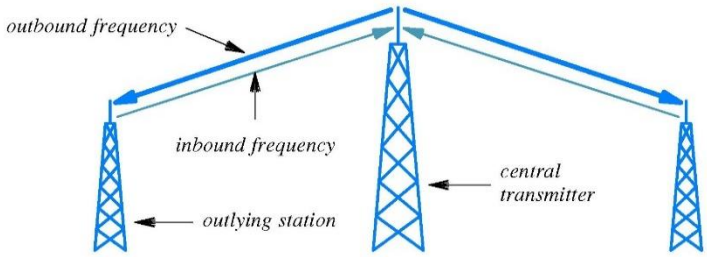
- Outbound Nachrichten auf Frequenz 413,475 MHz, Inbound auf 407,350 MHz



# ALOHA (2)

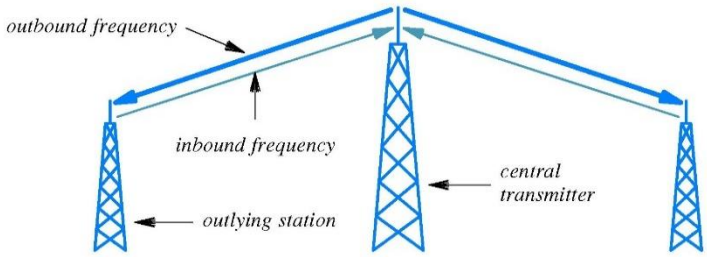
- Nachrichten von einem Teilnehmer zum nächsten werden von der zentralen Einheit **relayed**

- **Implizites Acknowledgement (Paket Bestätigung):** Empfängt der Sender des ursprünglichen Paketes die Kopie auf dem Outbound Channel, geht er vom Erfolg der Übertragung aus



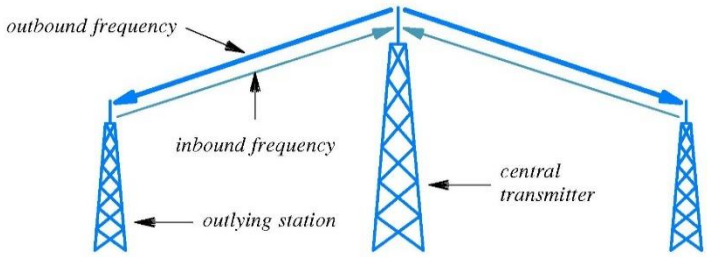
# ALOHA (3)

- **Kollisionen: Zwei Teilnehmer senden gleichzeitig auf dem Inbound Channel**
  - Alle gleichzeitig gesendeten Pakete gehen verloren
  - Keiner der Teilnehmer erhält damit ein Acknowledgement → Erneute Übertragung nach einem Timeout
  - Zufällige Wahl des erneuten Übertragungszeitpunkt minimiert erneute Kollision



# ALOHA (4)

- Protokoll erwies sich als nicht effizient genug
  - Bei hoher Auslastung viele Kollisionen
  - Nur 18% der Kapazität konnte wirklich genutzt werden



# CSMA/CD (1)

- 1973 am Xerox PARC entwickelt
- 1978 von Digital Equipment Corporation, Intel und Xerox standardisiert (DIX Standard)
- Bekannterer Name: **Ethernet**
- **Kabel dienen als geteiltes Medium: Alle Netzteilnehmer an ein Kabel angeschlossen**
- **Problem: Medienzugriff auf das Kabel**

# CSMA/CD (1)

- 1973 am Xerox PARC entwickelt
- 1978 von Digital Equipment Corporation, Intel und Xerox standardisiert (DIX Standard)
- Bekannterer Name: **Ethernet**
- **Kabel dienen als geteiltes Medium: Alle Netzteilnehmer an ein Kabel angeschlossen**
- **Problem: Medienzugriff auf das Kabel**
- **Lösung: CSMA/CD**

# CSMA/CD (2)

- **Bedeutendste Eigenschaften von CSMA/CD:**
  - **Carrier Sense**
    - Übertragungen auf dem Kabel werden überwacht
    - Es wird nur übertragen, wenn nicht bereits eine Übertragung läuft
  - **Collision Detection:**
    - Trotz Carrier Sense sind Kollisionen möglich, wenn zwei Teilnehmer nahezu gleichzeitig beginnen zu senden bei freiem Kanal
    - Während des Sendes wird gleichzeitig auf dem Kabel gelauscht → Kollision, wenn das Signal auf dem Kabel nicht dem gesendeten entspricht

# CSMA/CD (3)

- **Bedeutendste Eigenschaften CSMA/CD :**

  - **Binary Exponential Backoff**:

    - Nach Kollision wird auf freien Kanal gewartet
    - Zusätzlich wird eine Wartezeit zufällig aus dem Intervall [0,d] gewählt
    - Ist der Kanal frei, warten alle Beteiligten der Kollision darauf, dass ihre Wartezeit abläuft → anschließend erneute Übertragung
    - Wiederholte Kollisionen möglich → Intervall wird pro wiederholter Kollision verdoppelt: 1. [0,d] 2. [0,2d] 3. [0,4d] …
    - Vergrößertes Intervall verringert die Wahrscheinlichkeit von erneuten Kollisionen

    - d ist im Standard definiert

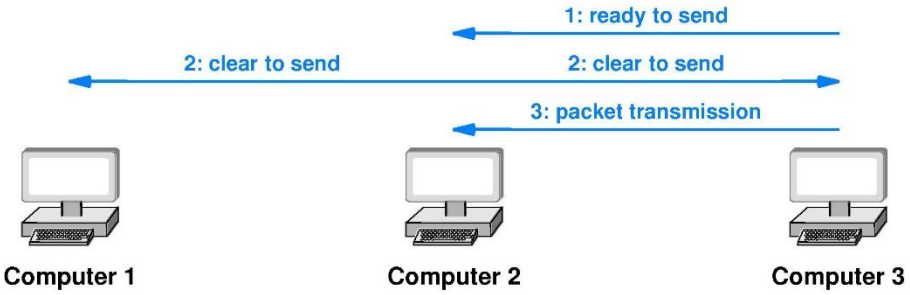
# CSMA/CA (1)

- CSMA/CD funktioniert leider nicht in drahtlosen Netzen
- Viel stärkerer Signalabfall erzeugt Problem des **Hidden Terminal**
- Annahme: $\delta$ bezeichnet die maximale Distanz die ein Signal zurück legen kann
  - Computer 1 und Computer 3 senden trotz Carrier Sense gleichzeitig zu Computer 2, da sie sich gegenseitig nicht hören → Carrier Sense verhindert weniger Kollisionen als bei Ethernet



# CSMA/CA (2)

- Statt Collision Detection wird **Collision Avoidance** (CA) eingesetzt
  - Vor der eigentlichen Übertragung der Nutzdaten, werden Kontrollnachrichten ausgesandt, die alle zuhörenden Stationen von der baldigen Übertragung informiert → **Network Allocation Vector (NAV)** jeder Station speichert die Netzbelegung
  - Sender schickt **Request to Send (RTS)**, Empfänger antwortet mit **Clear to Send (CTS)**
  - **Hidden Terminal Problem wird gelöst**, da nun auch alle Rechner in Sendereichweite vom Empfänger von der Übertragung informiert werden



# Zusammenfassung (1)

- Mehrere Klassifikationen für Rechnernetze
  - Circuit Switched vs Packet Switched
  - LAN, MAN, WAN
- Vier Topologien für LANs: Bus, Star, Ring, Mesh
- Adressierung von Rechnern mittels 48-Bit MAC Adressen
- Broadcast, Multicast und Unicast Adressen
- Framing beschreibt das Protokoll zur Kapselung von Nutzdaten in das zu übertragende Paket

# Zusammenfassung (2)

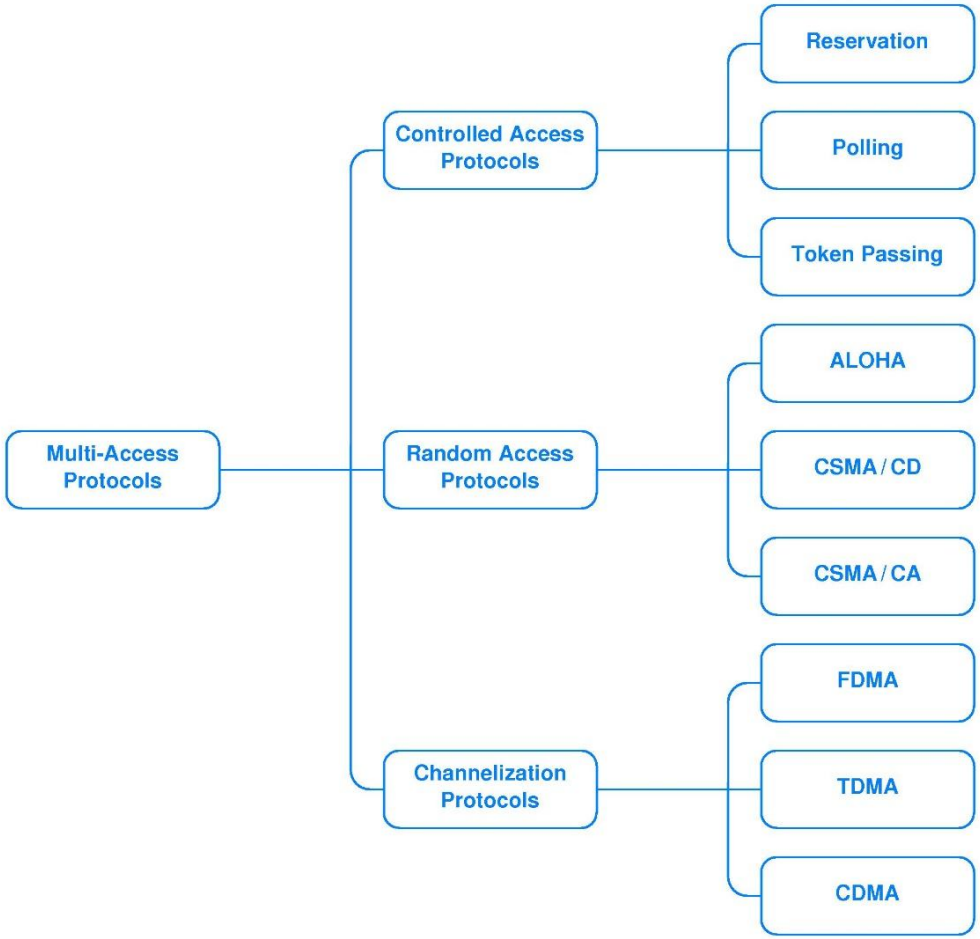



**Figure 14.1** A taxonomy of protocols that control access to a shared medium.