

Vorlesung Kommunikationssysteme Wintersemester 2024/25

LAN und Medienzugriff

Christoph Lindemann

Comer Buch, Kapitel 13, 14

Zeitplan

Nr.	Datum	Thema
01	18.10.24	Organisation und Internet Trends
02	25.10.24	Programmierung mobiler Anwendungen mit Android
	01.11.24	Keine Vorlesung
03	08.11.24	Protokolldesign und das Internet
04	15.11.24	Anwendungen und Netzwerkprogrammierung
05	22.11.24	LAN und Medienzugriff
06	29.11.24	Ethernet und drahtlose Netze
07	06.12.24	LAN Komponenten und WAN Technologien
08	13.12.24	Internetworking und Adressierung mit IP
09	20.12.24	IP Datagramme
10	10.01.25	Zusätzliche Protokolle und Technologien
11	17.01.25	User Datagram Protocol und Transmission Control Protocol
12	24.01.25	TCP Überlastkontrolle / Internet Routing und Routingprotokolle
13	31.01.25	Ausblick: TCP für Hochgeschwindigkeitsnetze
14	07.02.25	Review der Vorlesung

Überblick

Ziele:

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

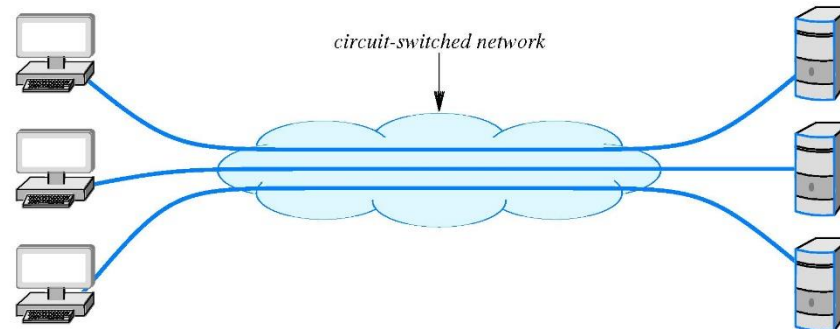
Themen:

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

Paketvermittelte Netze

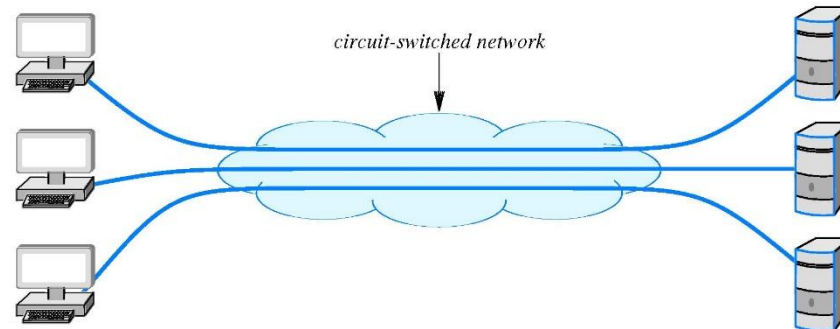
Leitungsvermittelte Netze (1)

- ❑ 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



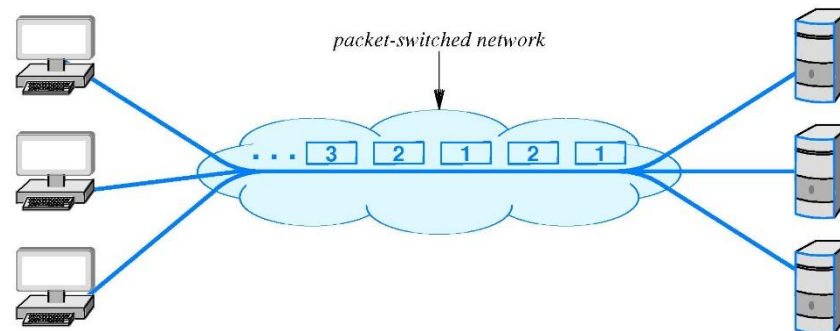
Leitungsvermittelte Netze (2)

- 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



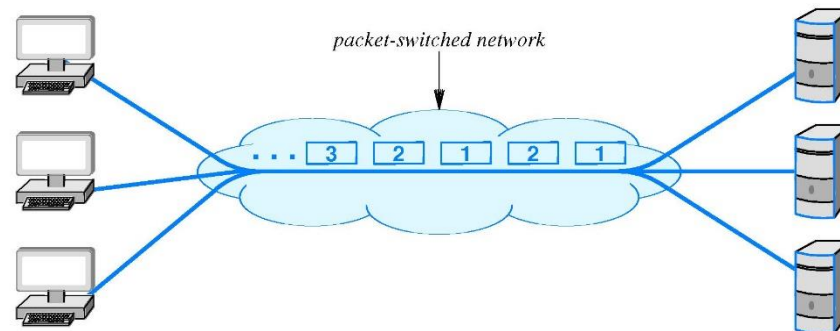
Paketvermittelte Netze (1)

- ❑ 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 beliebigen 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

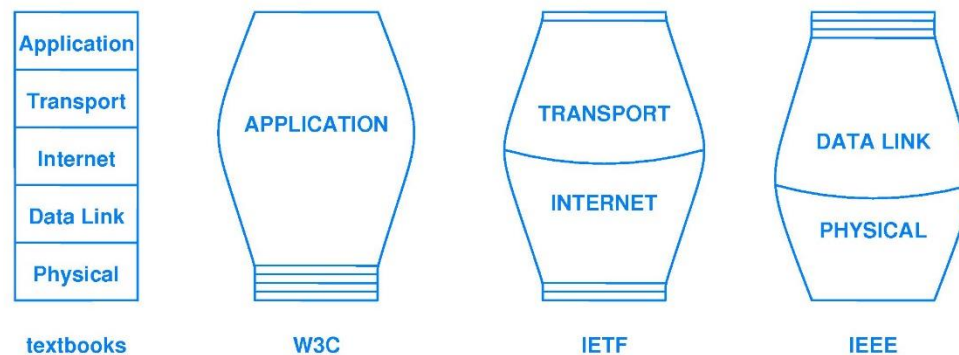


Figure 13.4 A humorous illustration of a protocol stack as depicted by various standards organizations.

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 802.15.1 (Bluetooth) 802.15.4 (ZigBee)
802.16	Broadband Wireless Access 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

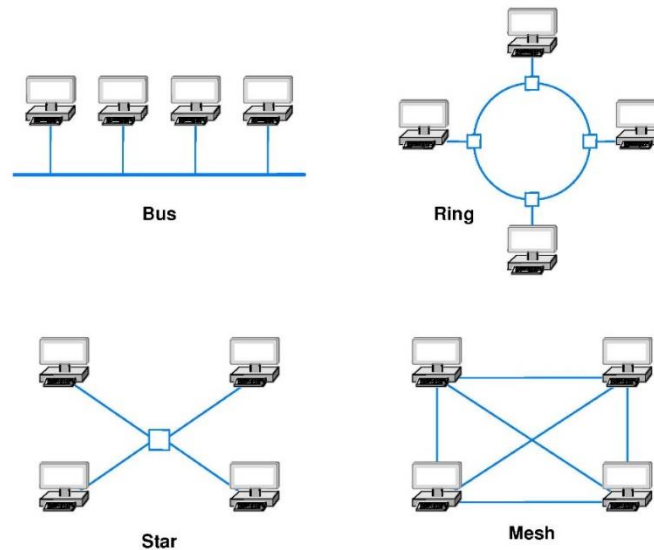


Figure 13.7 Four network topologies used with LANs.

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

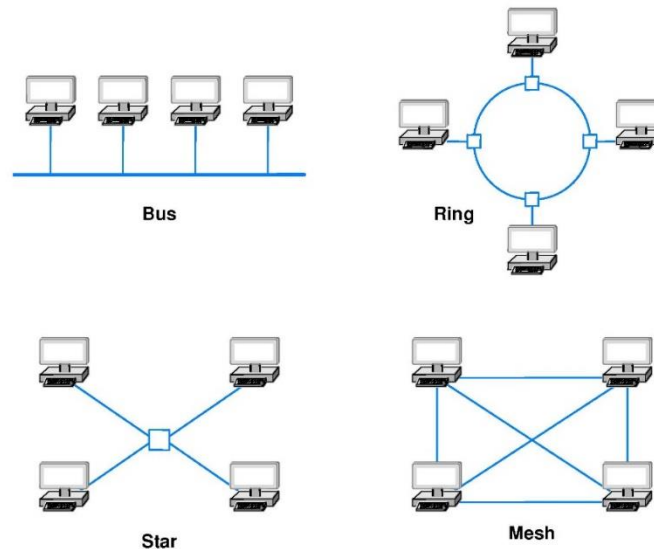


Figure 13.7 Four network topologies used with LANs.

Ring Topologie

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

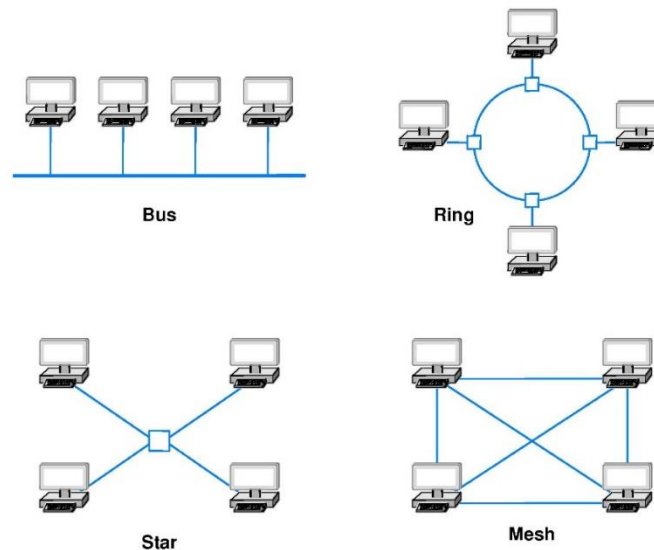


Figure 13.7 Four network topologies used with LANs.

Mesh Topologie

- Eigene physikalische Leitung für jedes Paar an Kommunikationspartnern
- Teuer, da viele Leitungen: $\frac{n!}{(n-2)! 2!} = \frac{n^2 - n}{2}$

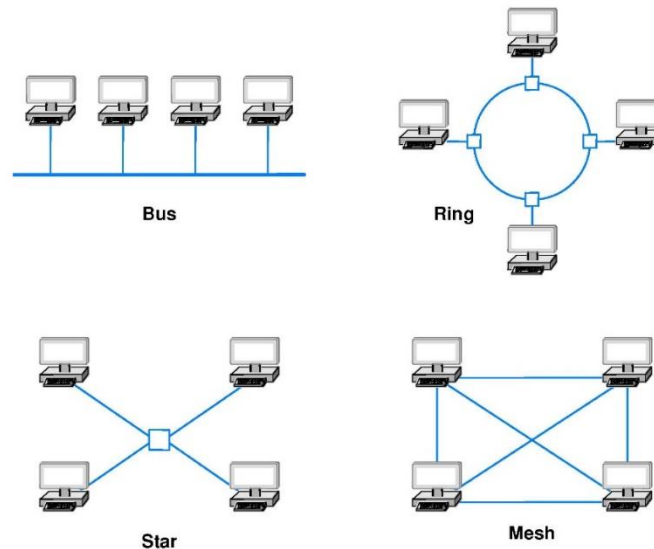


Figure 13.7 Four network topologies used with LANs.

Star Topologie

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

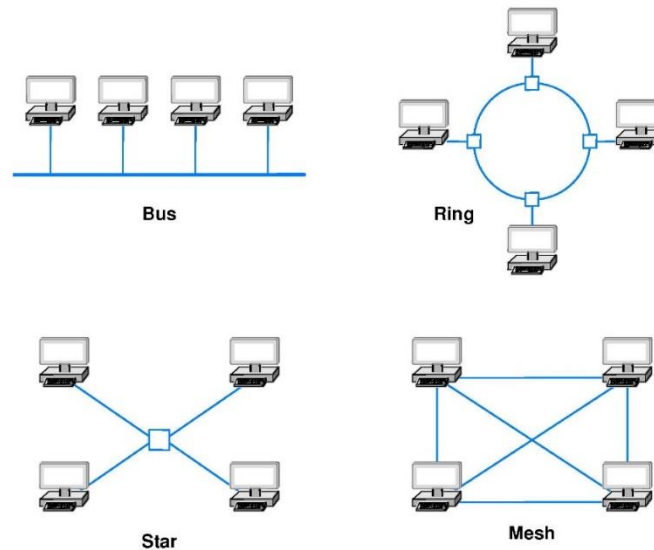


Figure 13.7 Four network topologies used with LANs.

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 Controller 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

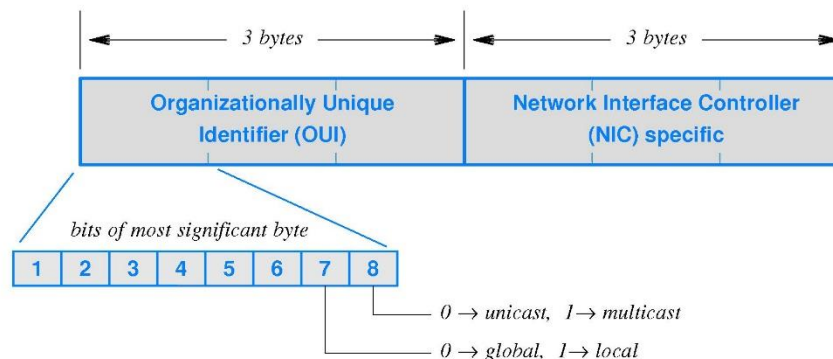


Figure 13.8 The division of a 48-bit IEEE MAC address.

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

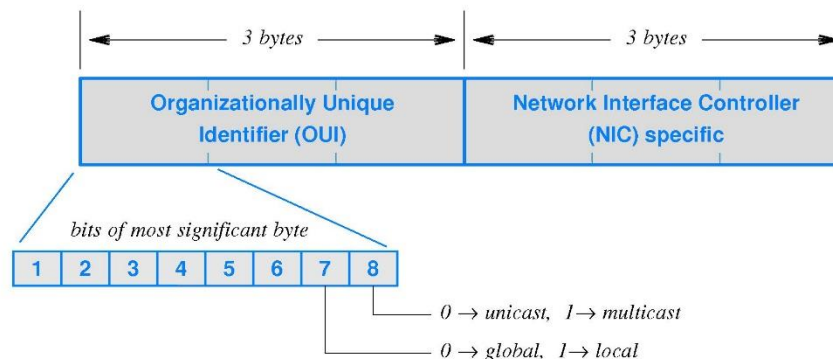


Figure 13.8 The division of a 48-bit IEEE MAC address.

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 eindeutig mit Escape Sequenzen
 - Empfänger wandelt die Escape Sequenzen wieder in die ursprünglichen Bytes um

Byte Stuffing (2)

- ❑ Beispiel für Byte Stuffing
- ❑ Ersetzungstabelle:

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

- ❑ Ergebnis:

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

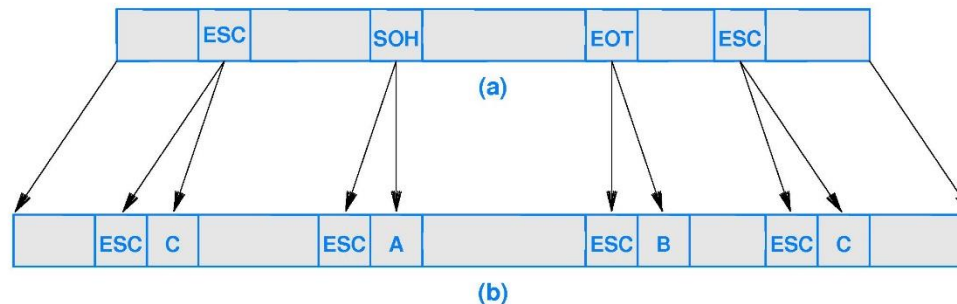


Figure 13.13 Illustration of (a) original data, and (b) a version after byte-stuffing has been performed.

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)

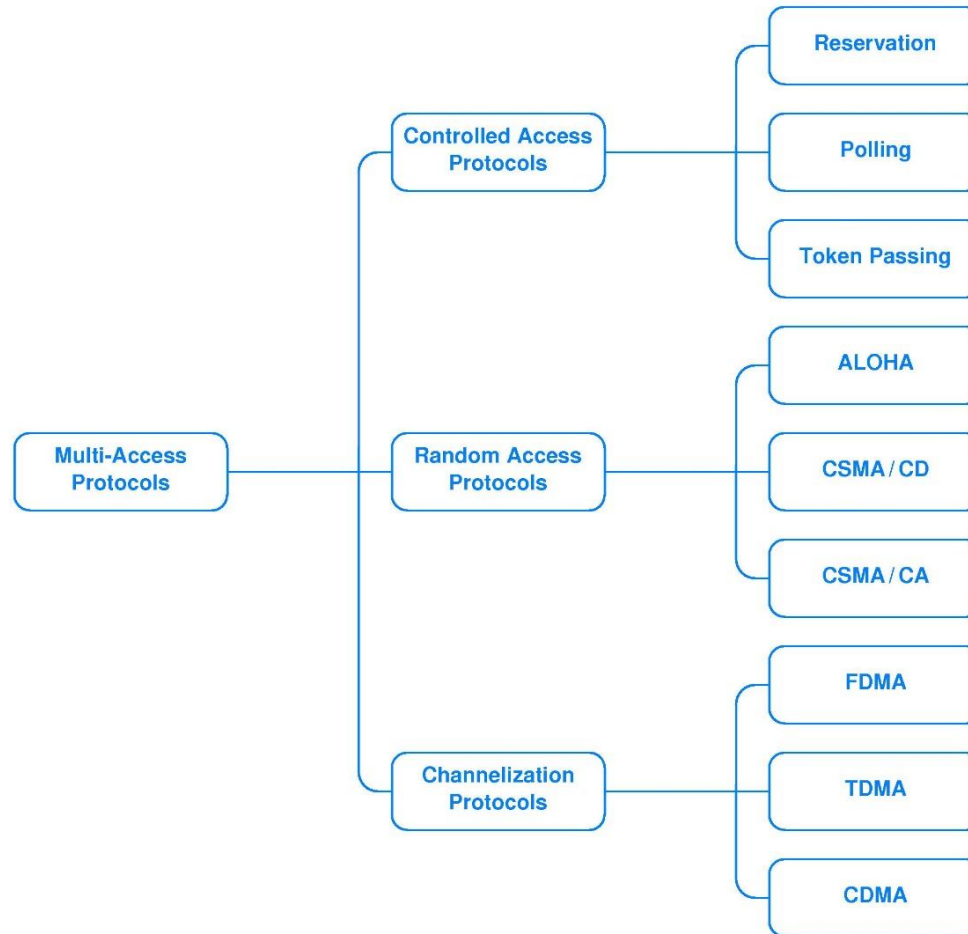


Figure 14.1 A taxonomy of protocols that control access to a shared medium.

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

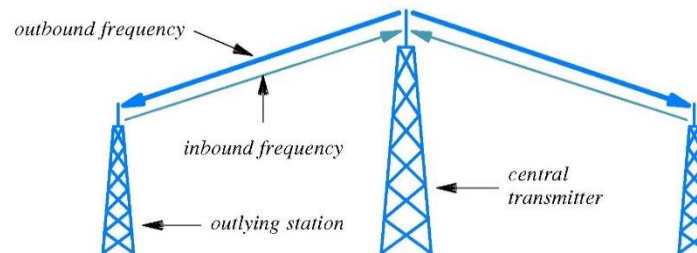
- Wer den Token besitzt darf senden
- Ein Token im Netz (rein virtuell, über Nachrichten geregelt)
- Token wird herum gereicht (daher häufig bei Ring Topologie)

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)

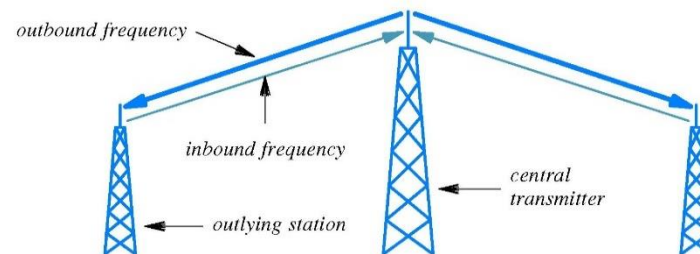
ALOHA (1)

- ❑ 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 407,305 MHz



ALOHA (2)

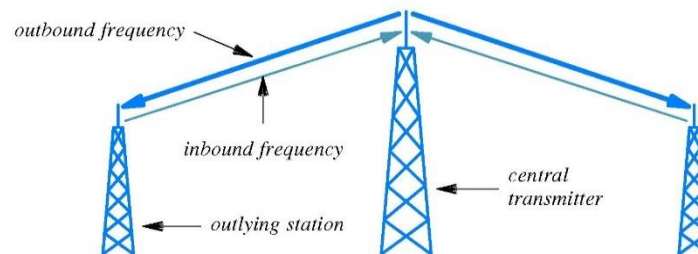
- ❑ Nachrichten von einem Teilnehmer zum nächsten werden von der zentralen Einheit **relayed**
- ❑ **Implizites Acknowledgement (Paket Bestätigung):**
Empfängt der Sender des ursprünglichen Paketes die Kopie auf dem Outbound Channel, geht er vom Erfolg der Übertragung aus



ALOHA (3)

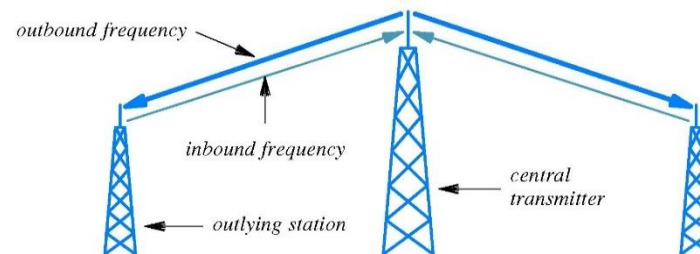
❑ Kollisionen: Zwei Teilnehmer senden gleichzeitig auf dem Inbound Channel

- 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)
- ❑ Bekannter 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)
- ❑ Bekannter 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

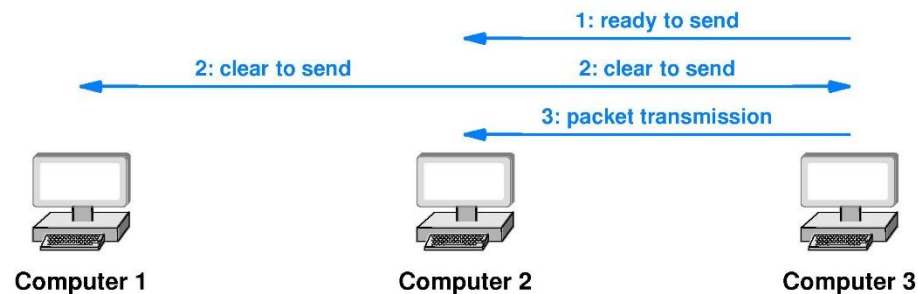
CSMA/CA (1)

- ❑ CSMA/CD funktioniert leider nicht in drahtlosen Netzen
- ❑ Viel stärkerer Signalabfall erzeugt Problem des **Hidden Terminal**
- ❑ Annahme: δ 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)

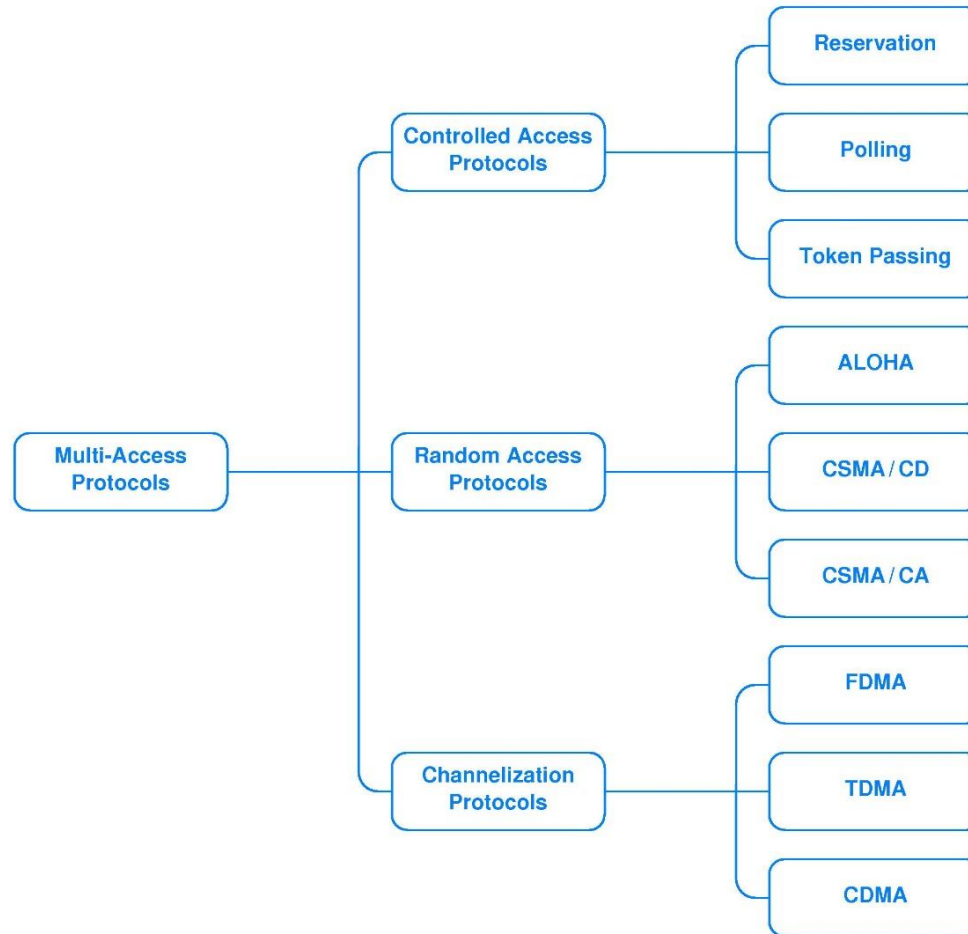


Figure 14.1 A taxonomy of protocols that control access to a shared medium.