# Link Layer

# Inhalt

- TCP/IP Modell
- OSI-Referenzmodell
- Leitungscodes
- Dienste der Sicherungsschicht
- MAC-Teilschicht
- Rahmenbildung
- Ethernet
- IEEE-802.11 (WiFi/WLAN)

# TCP/IP - Modell

- Link Layer (Netzzugangsschicht)
  - Methoden und Protokolle, die auf dem Link arbeiten, mit denen ein Host physikalisch verbunden ist
  - Zwischen benachbarten Knoten
  - Techniken zur Datenübertragung zwischen zwei Punkten
  - Auch Protokolle zur Untersuchung der Netzwerktopologie / Auffinden von Nachbarn
  - Beispiele: Ethernet, Wlan, PPP, ARP

- Internet Layer (Internetschicht)
  - Weiterleiten von Pakten, Routing, Bsp.: IP
- Transport Layer (Transportschicht)
  - Ende-zu-Ende-Übertragung,
  - Herstellung von Verbindungen zwischen Netzwerkknoten zum Versenden von Datenströmen
  - Bsp.: TCP
- Application Layer (Anwendungsschicht)
  - Alle Protokolle höherer Schichten
  - Zusammenarbeit mit Anwendungsprogrammen
  - Bsp.: HTTP

# OSI-Referenzmodell

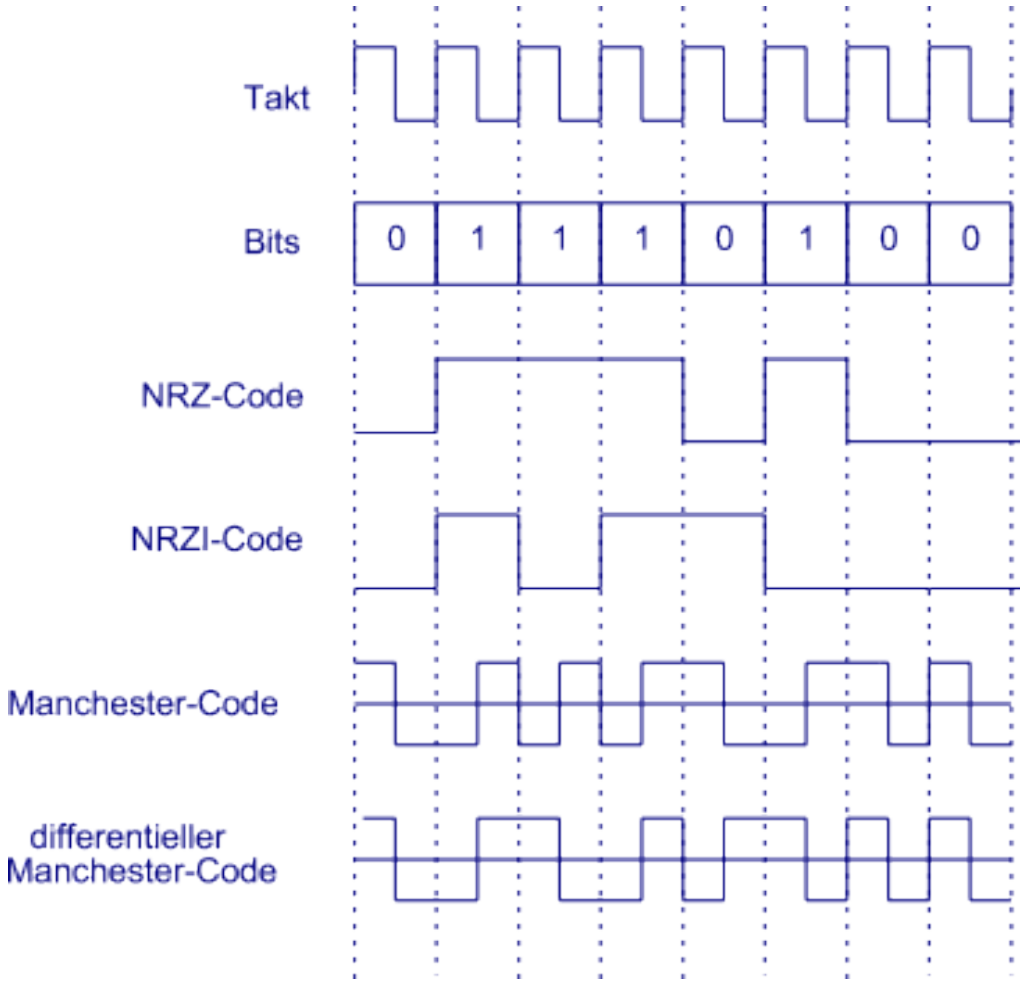
- Open Systems Interconnection Model
- Bitübertragungsschicht (physical layer)
  - Wie werden Bits durch einen Kommunikationskanal übertragen?
  - Welche elektrischen Signale?
  - Richtung (einseitig/beidseitig)?
  - Einrichten/Trennen der Verbindung
  - Entwurf mechanischer/elektrischer Schnittstellen, physikalisches Übertragungsmedium
  - Bestimmt Leistungsfähigkeit (Geschwindigkeit, Fehleranfälligkeit)

- Sicherungsschicht (data link layer)
  - Dienstschnittstelle für die Vermittlungsschicht bereitstellen
  - Übertragungsfehler verhindern/behandeln
  - Aufteilung in Datenrahmen
  - Sequentielles Senden
  - Empfangsbestätigung (Bestätigungsrahmen)
  - Vermitteln zwischen schnellen Sendern und langsamen Empfängern
- Vermittlungsschicht (network layer)
  - Weitervermittlung der Pakete im gesamten Netzwerk
  - Routing
- Transportschicht (transport layer)
  - Übernahme von Daten aus höherer Schicht und ggf. Zerlegung dieser
  - Übergabe an die Vermittlungsschicht
  - Sicherstellung, dass Einheiten korrekt ankommen

- Sitzungsschicht (session layer)
  - Verbindungssteuerung und Prozesskommunikation
  - Bereitstellen von Diensten für synchronisierten und organisiertem Datenaustausch
- Darstellungsschicht (presentation layer)
  - Umwandlung systemabhängiger Datenformate
  - Datenkompression und Verschlüsselung
- Anwendungsschicht (application layer)
  - Funktionen für die Anwendungen bereitstellen, Verbindung dieser zu den unteren Schichten
  - Daten Ein-/Ausgabe

| OSI-Schicht | TCP/IP-Schicht | Beispiel |
|---|---|---|
| **Anwendungen (7)** | Anwendungen | HTTP, UDS, FTP, SMTP, POP, Telnet, OPC UA |
| **Darstellung (6)** | | |
| **Sitzung (5)** | | |
| | | SOCKS |
| **Transport (4)** | Transport | TCP, UDP, SCTP |
| **Vermittlung (3)** | Internet | IP (IPv4, IPv6), ICMP (über IP) |
| **Sicherung (2)** | Netzzugang | Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI, IPoAC |
| **Bitübertragung (1)** | | |

# Leitungscodes



# Dienste der Sicherungsschicht

- Unbestätigter verbindungsloser Dienst
  - Senden von Rahmen ohne Bestätigung des Empfängers
  - Keine logische Verbindung aufgebaut/freigegeben
  - Kein Versuch Datenverlust zu erkennen/beheben
  - Verwendung bei niedriger Fehlerquote
  - Bsp.: Ethernet
- Bestätigter verbindungsloser Dienst
  - Keine logische Verbindung
  - Empfang der Rahmen wird bestätigt
  - Erneutes Senden bei Nichtempfang möglich
  - Empfehlenswert bei unzuverlässigeren Kanälen
  - Bsp.: IEEE 802.11 (WiFi)

- Bestätigter verbindungsorientierter Dienst
  - Sender und Empfänger bauen Verbindung auf
    - Variablen, Zähler werden initialisiert
  - Rahmen werden …
    - Nummeriert
    - Garantiert und genau einmal empfangen
    - Reihenfolge wird garantiert beibehalten
  - Verbindung wird nach Übertragung getrennt
  - Bietet zuverlässigen Bitstrom
  - Verlorene Bestätigung kann erneutes Senden/Empfangen von Rahmen bewirken

# MAC (Medium Access Control)-Teilschicht

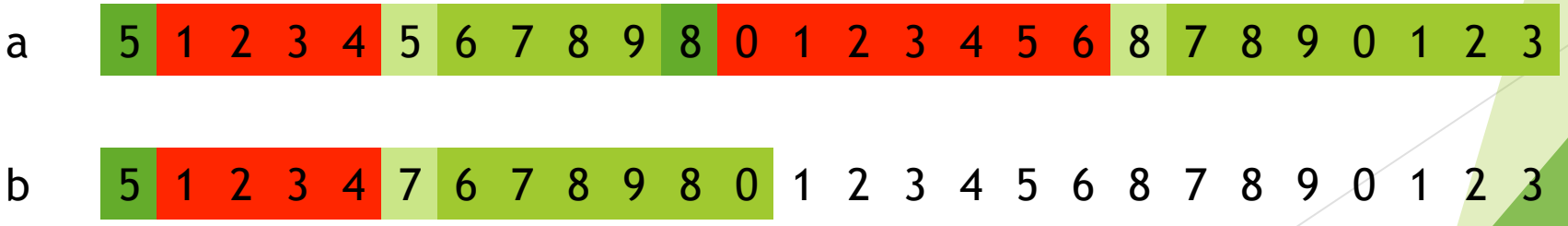
- Zugriffssteuerung in Broadcast-Kanälen (Mehrfachzugriffskanäle)
- Wer darf den Kanal benutzen, wenn mehrere Parteien gleichzeitigen Zugriff wollen?
- Besonders in (W)LANs wichtig

# Rahmenbildung

- Unterteilung des Bitstroms in Rahmen
- Prüfsumme wird berechnet und in den Rahmen eingefügt
- Anfang/Ende eines Rahmens markieren
  - Bytezahl
  - Flagbytes mit Bytestopfen
  - Flagbits mit Bitstopfen
  - Codierungsverletzungen auf der Bitübertragungsschicht

# Bytezahl

- Feld im Header gibt die Bytezahl des Rahmens an
- Bytezählfeld kann durch Übertragungsfehler verfälscht werden
- Anfang des nächsten Rahmens kann so nicht mehr gefunden werden
- Wiederholungsübertragung ebenfalls nutzlos
  - Anfang der Wiederholung kann nicht gefunden werden




Bytestrom a) ohne Fehler b) mit Fehler

# Flagbytes mit Bytestopfen

- Flagbyte am Anfang und am Ende des Rahmens
- Bei Synchronisationsfehlern kann der nächste Rahmen durch zwei aufeinanderfolgende Flagbytes gefunden werden
- Flagbyte kann im Datenstrom vorkommen → Bytestopfen
  - Zur Unterscheidung Escape-Byte (ESC) vor „zufälligen“ Flagbytes einfügen
  - ESC-Bytes ebenfalls vor „zufälligen“ ESC-Bytes

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | FLAG | B | | → | A | ESC | FLAG | B | | | |
| A | ESC | B | | → | A | ESC | ESC | B | | | |
| A | ESC | FLAG | B | → | A | ESC | ESC | ESC | FLAG | B | |
| A | ESC | ESC | B | → | A | ESC | ESC | ESC | ESC | B | |

# Flagbits mit Bitstopfen

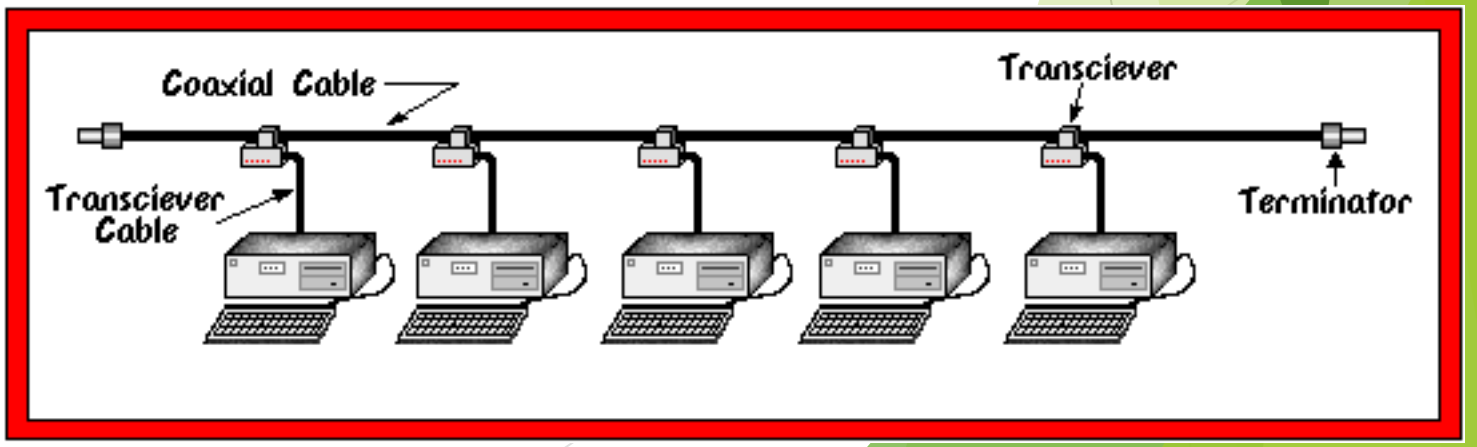
- Nicht an Verwendung von 8-Bit-Bytes gebunden
- Rahmen beginnt mit Flagbits 01111110 (0x7E)
- Bei 5 aufeinanderfolgenden 1en wird automatisch eine 0 hinzugefügt (Bitstopfen)
  - Flagmuster kann so nicht im Datenstrom enthalten sein
  - Eine minimale Dichte an Bitübergängen wird gewährleistet
- 011011111111111111110010 → 011011111011111011111010010
- Rahmenlänge beim Bitstopfen/Bytestopfen hängt vom Inhalt der Daten ab

# Codierungsverletzung

- Beim Codieren der Bits werden häufig Redundanzen eingefügt
- Einige Signale können somit im Datenstrom nicht vorkommen
- Diese „Codierungsverletzungen“ können zur Rahmenmarkierung genutzt werden

# Ethernet - Bitübertragungsschicht

- Thick Ethernet
  - 500m Segmente, alle 2,5m ein Computer
- Thin Ethernet
  - 185m pro Segment
- Verbindung mehrerer Kabel durch Repeater
  - Zwei Transceiver nicht weiter als 2,5km, nicht mehr als 4 Repeater
- Manchester-Codierung



# Ethernet - MAC - Teilschichtprotokoll

| a | Preamble | | Destination Address | Source Address | Type | Data | Pad | Checksum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| b | Preamble | SoF | Destination Address | Source Address | Length | Data | Pad | Checksum |

Rahmenformate: a) Ethernet (DIX) b) IEEE 802.3

- Preamble (8 Byte)
  - Jedes Byte 10101010 (letztes Byte 10101011)
- Destination/Source Address (je 6 Byte)
  - MAC-Adresse des Starts/Ziels
- Type/Length (2 Byte)
  - Type gibt Auskunft über verwendetes Protokoll der nächsthöheren Schicht
  - Length gibt die Länge des Rahmens an
  - Heute: Werte < 0x600 (1536) als Länge, Werte > 0x600 als Typ
- Daten (bis zu 1500 Byte)
- Pad-Feld (bis zu 46 Byte)
  - Auffüllung des Rahmens auf min. 64 Byte
  - Dient der besseren Unterscheidung von Müll und gültigen Rahmen
  - Wichtig für die Kollisionsentdeckung
- Prüfsumme (4 Byte)

# CSMA/CD mit binären exponentiellen Backoff-Algorithmus

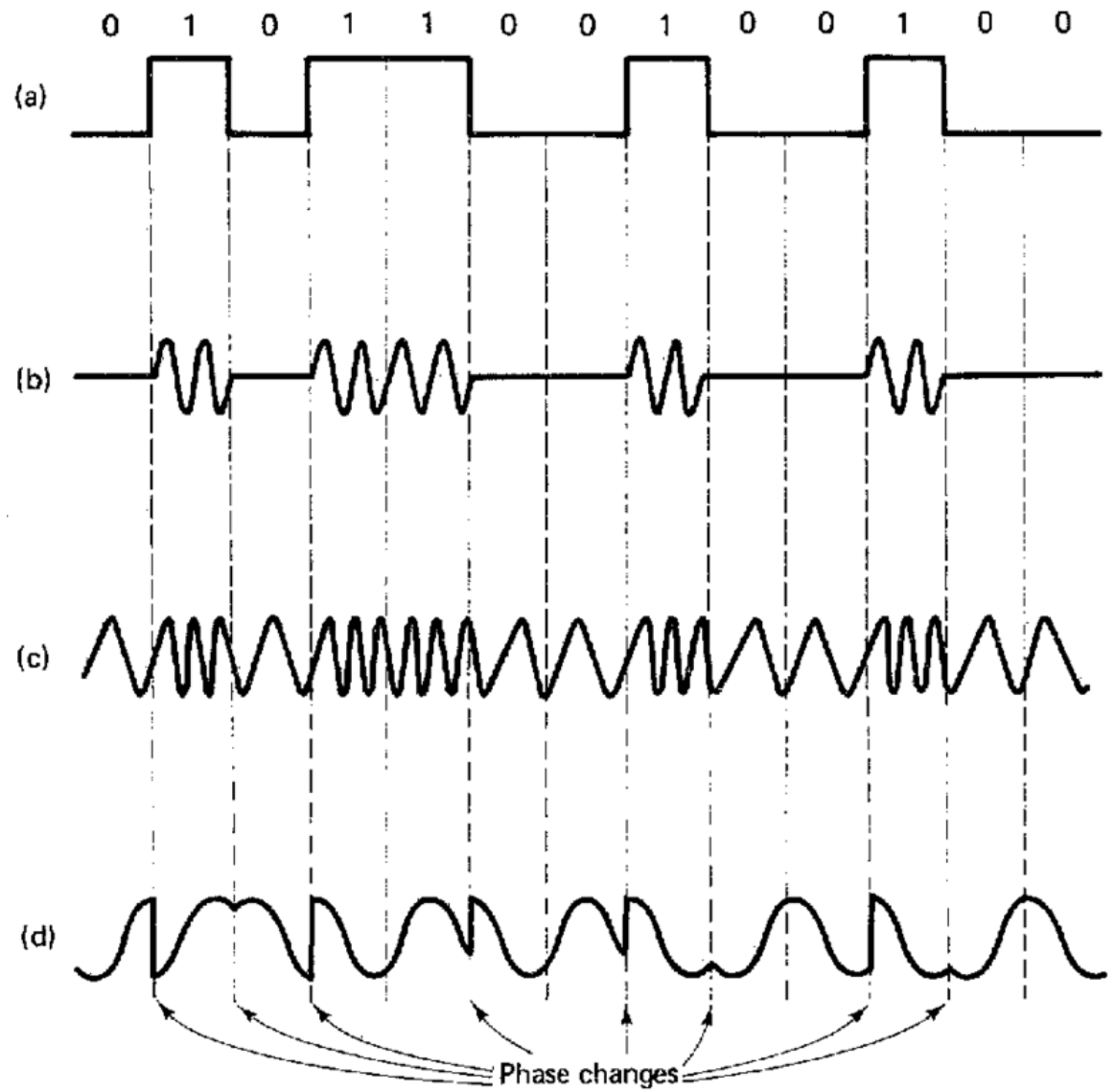
- Carrier Sense Mutliple Access with Collision Detection
- Sender überprüft Medium vor Übertragung → Verschicken nur bei freier Leitung
- Signalabbruch nach Kollision
- Warten einer zufällig bestimmten Anzahl Zeitscheiben (Zeitintervall) (512 Bitzeiten bzw. 51,2 µs)
  - Nach i Kollisionen wird zwischen 0 und $2^i - 1$ Zeitscheiben (bis max. 1023)
  - Nach 16 Kollisionen wird abgebrochen

# Switched Ethernet

- Hub verbindet alle angeschlossenen Kabel elektrisch
  - kein Performancegewinn gegenüber klassischem Ethernet
- Switch legt Rahmen nur auf den passenden Port
  - Bei Vollduplexkabeln keine Kollision möglich
  - Bei Halbduplexkabeln müssen sich Station und Port mittels CSMA/CD absprechen
  - Puffer, falls zwei Rahmen auf den selben Port gelegt werden sollen
  - Sicherheitsvorteile, da andere Rechner Existenz eines Rahmens nicht bemerken

# IEEE-802.11 (WiFi / WLAN)

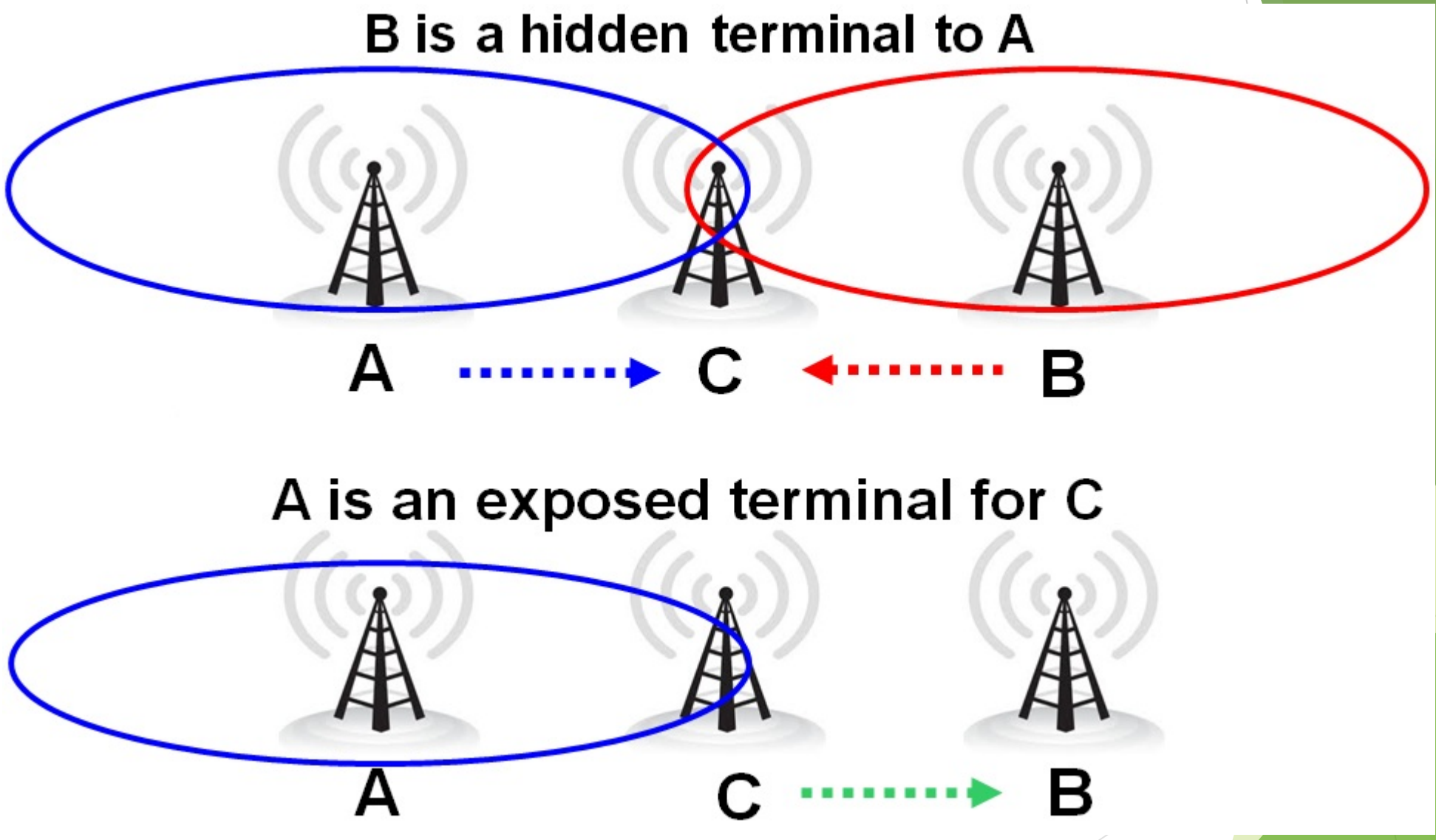
- Datenübertragung mittels elektromagnetischer Wellen (Radiowellen oder Infrarot)
  - Informationsübertragung mittels Frequenz-, Amplituden- oder Phasenmodulation
- Client ist mit einem Zugangspunkt verbunden (Infrastrukturmodus)
  - Zugangspunkte können verbunden sein
  - Empfang und Senden von Paketen über den Zugangspunkt
- Ad-hoc-Netwerk
  - Rechner direkt miteinander verbunden
  - Kein Zugangspunkt




a) Binärsignal b) Amplitudenmodulation c) Frequenzmodulation d) Phasenmodulation

# IEEE-802.11-MAC-Teilschichtprotokoll

- Übertragen und Gleichzeitiges abhören nicht möglich
- Empfangenes Signal wesentlich geringer als gesendetes Signal
- Somit kein Einsatz von CSMA/CD
- Stattdessen CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance)
  - Start mit zufälligen Backoff
  - Warten bis Kanal frei (eine kurze Zeitspanne (DIFS) wurde nichts gesendet)
  - Zeitscheiben werden rückwärts gezählt, Pause wenn der Kanal besetzt ist
  - Ziel sendet Bestätigungsrahmen
  - Bei Fehler exponentieller Backoff wie bei Ethernet


B is a hidden terminal to A
A
C
B
A is an exposed terminal for C
A
C
B

- NAV (Network Allocation Vector) in jedem Rahmen gibt an, wie lange die Übertragung (inklusive Bestätigung) dauern wird
  - Stationen die den Rahmen abhören wissen durch den NAV, dass der Kanal solange belegt ist, auch wenn sie kein physisches Signal empfangen
- Optional: RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send)
  - Sendeanfrage/Sendeerlaubnis teilt anderen Stationen mit, dass der Kanal in Kürze benutzt wird
  - Wenig praktikabel, da nutzlos bei kurzen Rahmen und dem Zugangspunkt
  - Zudem wirkt es in anderen Situationen nur verlangsamend

# IEEE-802.11-Rahmenstruktur

- 3 Klassen: Daten, Steuer und Verwaltung

| Bytes | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 | 2 | 0-2312 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frame Control | Duration | Address 1 (Empfänger) | Address 2 (Sender) | Address 3 | Sequence | Data | Check Sequence |

Bsp. Datenrahmen

| Bits | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Version | Type | Subtype | To DS | From DS | More Frag. | Retry | Pwr. Mgt. | More Data | Protected | Order |

Frame Control

- Frame Control
  - Protokollversion
  - Feldtyp (Daten, Steuerung oder Verwaltung)
  - Subtyp (z.B. RTS oder CTS)
  - To-/FromDS-Bits geben an, ob der Rahmen zum Verteilungssystem geht oder von dort kommt
  - More Fragments-Bit gibt an, ob weitere Fragmente folgen
  - Bit-Retry signalisiert eine wiederholte Übertragung an
  - Power Managment signalisiert, dass sich der Sender in den Energiesparmodus begibt
  - More Data gibt an, ob beim Sender weitere Rahmen für den Empfänger vorliegen
  - Protected Frame zeigt Verschlüsselung des Rahmens an
  - Order-Bit zeigt an, dass die genaue Reihenfolge der Rahmen für eine höhere Schicht relevant ist

- Duration: Dauer des Rahmens und der Bestätigung → für NAV
- Adressen: Sender und Empfänger
  - 3. Adresse benennt entfernten Endpunkt, da Zugangspunkt als Schaltstelle benutzt wird
- Sequence: Nummerierung der Rahmen um Duplikate zu erkennen
- Data: Nutzdaten
  - Die ersten Bytes sind im LLC-Format (Logical Link Control)
    - identifizieren die Protokolle höherer Schichten an die die Daten weitergeleitet werden sollen
- Check Sequence: Prüfsumme

# Noch Fragen?

# Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit

# Quellen


- Andrew S. Tannenbaum, David J Wetherall (2012): Computernetzwerke
- https://en.wikipedia.org/wiki/Link_layer [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/Internetprotokollfamilie [29.10.2019]
- https://en.wikipedia.org/wiki/Host_(network) [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/Topologie_(Rechnernetz) [29.10.2019]
- https://en.wikipedia.org/wiki/Neighbor_Discovery_Protocol [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/Redundanz_(Informationstheorie) [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/Ethernet [29.10.2019]
- http://www.maznets.com/tech/10base-5.htm [29.10.2019]

- https://de.wikipedia.org/wiki/MAC-Adresse [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/Welle [29.10.2019]
- http://www.idn.uni-bremen.de/cvpmm/content/wellen/show.php?modul=3&file=88&right=we_r_05_phase.html [29.10.2019]
- https://www.researchgate.net/figure/from-Tanenbaum-54-a-a-binary-signal-b-amplitude-modulation-c-frequency_fig15_265932194 [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/Phasenverschiebung [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/Carrier_Sense_Multiple_Access/Collision_Avoidance [29.10.2019]
- https://jindongpu.wordpress.com/2012/03/10/hiddenexpose-terminal-problem/ [29.10.2019]
- https://www.itwissen.info/Ende-zu-Ende-Verbindung-end-to-end-E2E.html [29.10.2019]
- https://de.wikipedia.org/wiki/OSI-Modell [29.10.2019]
- http://www.heineshof.de/wloesch/lan-bituebertragung.html [29.10.2019]
- https://www.computerhilfen.de/info/unterschied-zwischen-wi-fi-und-wlan-schnell-erklaert.html [29.10.2019]