
Netze

Modul 3: Ethernet und WLAN

 Prof. Dr. Michael Rademacher



16. Oktober 2025

Modul	Dozent	Datum	Thema
1	Rademacher	2. Oktober 2025	Einführung, OSI-Referenzmodell und Topologien
2	Rademacher	9. Oktober 2025	Übertragungsmedien und Verkabelung
3	Rademacher	16. Oktober 2025	Ethernet und WLAN
4	Tschofenig	23. Oktober 2025	IPv4, Subnetze, ARP, ICMP
5	Tschofenig	30. Oktober 2025	IPv6 und Autokonfiguration
6	Tschofenig	6. November 2025	Netzwerksegmentierung
7	Tschofenig	13. November 2025	Routing
8	Rademacher	20. November 2025	Transportschicht und UDP
9	Rademacher	27. November 2025	TCP
10	Rademacher	4. Dezember 2025	DNS und HTTP 1
11	Tschofenig	11. Dezember 2025	HTTP 2 und QUIC
12	Tschofenig	18. Dezember 2025	TLS und VPN
/	/	8. Januar 2026	Bei Bedarf / TBA
13	Tschofenig	15. Januar 2026	Messaging
14	Rademacher	22. Januar 2026	Moderne Netzstrukturen

Semesterplanung — Übungen und Praktika

ID	KW	Art	Thema
	40	/	/
UE-1	41	Übung	Topologien und OSI
UE-2	42	Übung	Übertragungen bspw. Kabel
P-1	43	Praktikum	Laboreinführung, Netzwerktools und Adressierung
S-1	44	Video	IPv4
P-2a	45	Praktikum	Praktikum IPv4 und Autokonfiguration
P-2b	46	Praktikum	Praktikum IPv6 und Autokonfiguration
P-2c	47	Praktikum	IPv4 und IPv6 Diskussion
P-3	48	Praktikum	Routing
P-4	49	Praktikum	VLANs
P-5	50	Praktikum	Transportprotokolle
S-2	51	Experiment	VPN
S-2	52	Experiment	VPN
	2	/	/
P-6	3	Praktikum	DNS
P-7	4	Praktikum	Webkommunikation

UE - Übung laut Stundenplan in den Seminarräumen

P - Praktikum in C055

S - Selbststudium KEINE Präsenz

Modul 3: Ethernet und WLAN

Sicherungsschicht

Bitdatenstrom in feste Rahmen

Kommunikationstypen der (Mehrfach)-Zugriff

Medienzugriff - TDMA/FDMA

Medienzugriff - (Slotted) ALOHA

Ethernet und CSMA/CD

WLAN und CSMA/CA

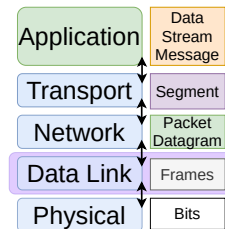
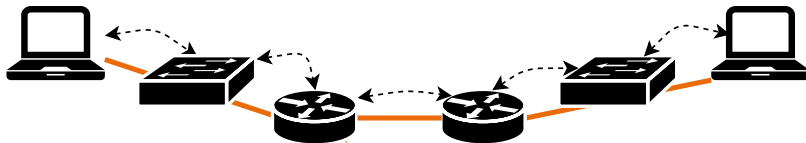
Fehlererkennung/Korrektur

Lokale Adressierung — MAC-Adressen

Quellen

Wo sind wir?

- Lokale Zustellung von Rahmen (engl. Frames) zwischen Nodes im **gleichen** Netzwerk.
- Knoten (hier Switches) leiten Rahmen zwischen Nodes weiter.
- Gewährleistung einer weitestgehend fehlerfreien Übertragung auf dem physikalischen Medium (häufig).
- Zugriff auf das Übertragungsmedium regeln.
- Die Adressierung ist eine MAC-Adresse des NIC.

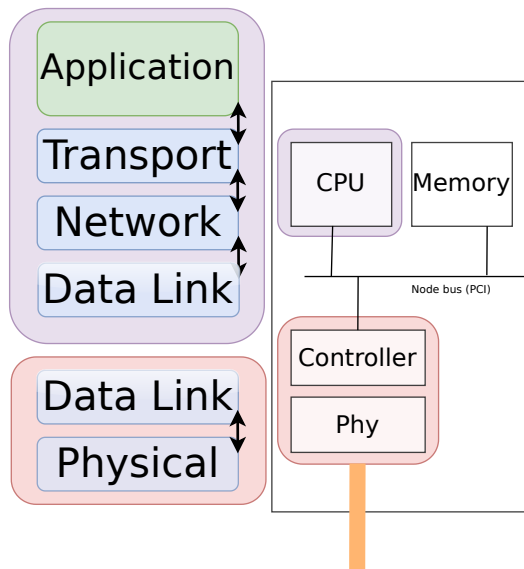


Protokolle (bspw.):

- Ethernet
- PPP
- WLAN (802.11)

Wo ist die Sicherungsschicht implementiert?

- Die Sicherungsschicht ist in jedem Knoten implementiert.
- Die Hauptlogik der Sicherungsschicht ist in den NIC implementiert.
 - Achtung: Aktuelle Entwicklungen bspw Software Defined Networking (SDN)
- Immer gleiche Aufgaben werden von Application-Specific Integrated Circuits (ASICs) übernommen.
- Diese ASICs sind über ein Bus-System (PCI) mit der CPU verbunden.
 - Achtung: Aktuelle Entwicklungen PCIe



Modul 3: Ethernet und WLAN

Sicherungsschicht

Bitdatenstrom in feste Rahmen

Kommunikationstypen der (Mehrfach)-Zugriff

Medienzugriff - TDMA/FDMA

Medienzugriff - (Slotted) ALOHA

Ethernet und CSMA/CD

WLAN und CSMA/CA

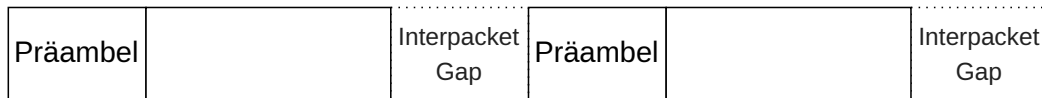
Fehlererkennung/Korrektur

Lokale Adressierung — MAC-Adressen

Quellen

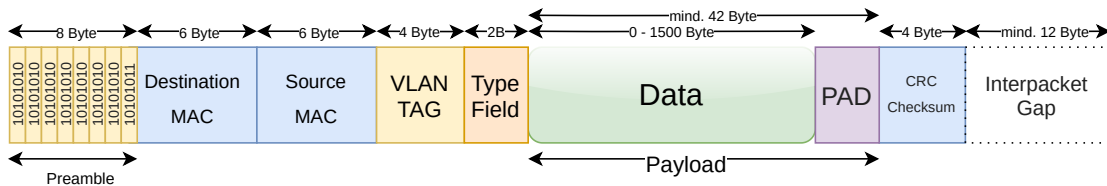
Von Bitströmen zu Sequenzen von Rahmen

- Eine lokale Datenübertragung braucht zwei verschiedene Arten von Synchronisation:
 1. **Bit Synchronisation auf der physikalischen Schicht.**
 - Wann hört ein Bit auf, wann fängt ein anderes an?
 2. **Rahmen/Paket/Segment Synchronisation auf oberen Schichten.**
 - Wann fängt ein **Rahmen**/Paket/Segment an?
 - Was sind die eigentlichen Daten und was sind Steuerungsinformationen?
- Mögliche Strategie (unter vielen, hier Ethernet):
 - Um den Beginn zu signalisieren, wird ein bestimmtes **Bitmuster** benutzt.
 - Um das Ende zu signalisieren, wird für eine gewisse Zeit nichts übertragen.



Beispiel Präambel: 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101011

- Rahmen haben eine feste Struktur.
- Die sogenannten “Felder” sind anhand einer Bitposition definiert.
- Es existieren verschiedene **Kontrollfelder**, die eine bestimmte Funktion erfüllen.
- Daten werden von oberen Schichten übergeben.
- Diese Daten können wiederum Kontrollfelder enthalten, welche jedoch für die aktuelle Schicht (hier Sicherungsschicht), keine Rolle spielen.



Modul 3: Ethernet und WLAN

Sicherungsschicht

Bitdatenstrom in feste Rahmen

Kommunikationstypen der (Mehrfach)-Zugriff

Medienzugriff - TDMA/FDMA

Medienzugriff - (Slotted) ALOHA

Ethernet und CSMA/CD

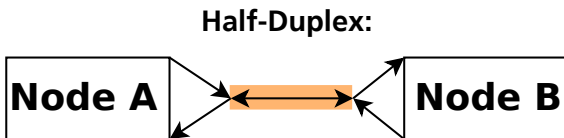
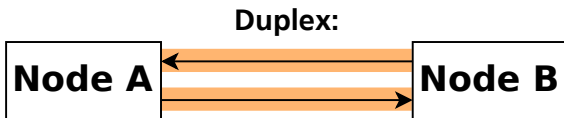
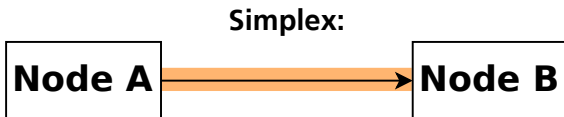
WLAN und CSMA/CA

Fehlererkennung/Korrektur

Lokale Adressierung — MAC-Adressen

Quellen

Simplex, Full-Duplex, Half-Duplex



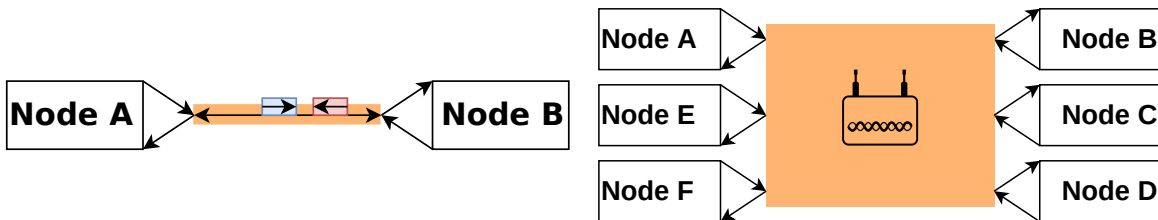
- **Simplex:** Daten können in nur eine Richtung übertragen werden, diese Technik ermöglicht keine Antwort.
- **Duplex:** Daten können in beide Richtungen **gleichzeitig** übertragen werden.
- **Half-Duplex:** Daten können **abwechselnd**, aber **nicht gleichzeitig**, in beide Richtungen fließen.

Quelle: [12]

- Half-Duplex ist der mit Abstand interessanteste Fall.

Herausforderung: Mediumzugriff bei Half-Duplex

- Wenn zwei Nodes versuchen, ein Half-Duplex Medium **gleichzeitig** zu verwenden, kommt es zu **Kollisionen** zwischen zwei Rahmen.
- Wie sollte mit einer solchen Kollision umgegangen werden?
- Sollten solche Kollisionen vermeiden werden?
- Wie lassen sich Kollisionen vermeiden?
- **Wer darf wann senden?**
- Es können auch mehr als zwei Nodes an ein Half-Duplex Medium angeschlossen sein (bspw. Wireless Local Area Network (WLAN)).



Verfahren für den Mehrfachzugriff

- Benötigt werden **Regeln**, die bestimmen, wie sich die Nodes die **Kapazität des Mediums** teilen.
- Sollten für diese Regeln eine Abstimmung zwischen den Nodes notwendig werden, muss diese ebenfalls über das gleiche Medium erfolgen.
- Drei verschiedene Arten von Verfahren.

Aufteilen des Mediums:

- Die Kapazität des Mediums wird in kleine Einheiten zerlegt.
- Jedem Knoten wird eine Einheit **exklusiv** zur Verfügung gestellt.
- In der Regel keine Kollisionen.
- Bspw. **TDMA, FDMA**

Abwechselnder Zugriff:

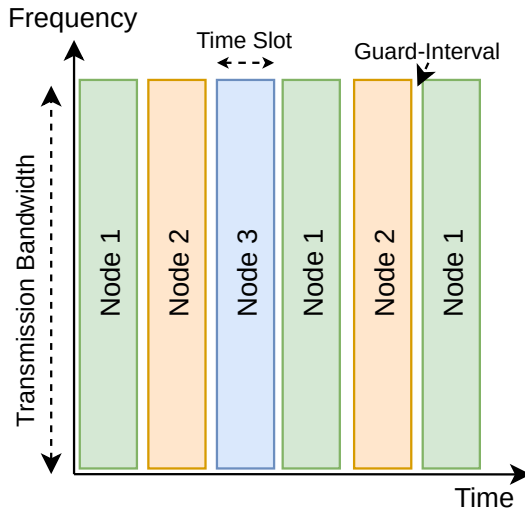
- Nodes werden abwechselnd gefragt, ob sie auf das Medium zugreifen wollen.
- Herumreichen eines Redestab.
- In der Regel keine Kollisionen.
- Bspw. **Token**-basiert

Wahlfreier Zugriff:

- "Random Access"
- Kapazität wird nicht aufgeteilt.
- Nodes können bei **Bedarf** selbstständig auf das Medium zugreifen.
- Es kommt zu Kollisionen, welche geeignet behandelt werden müssen (Protokolle).
- Bspw. **(Slotted) Aloha, CSMA/CA, CSMA/CD**

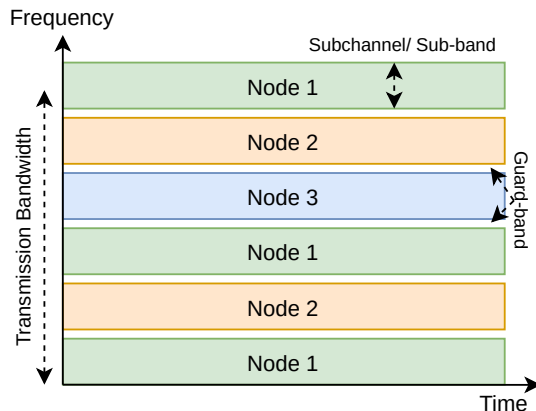
Time Division Multiple Access (TDMA)

- Das Medium wird in Zeitschlitzze (engl. Time Slot) aufgeteilt.
- Verschiedene Nodes bekommen verschiedene Zeitschlitzze.
- Wenn ein Node an der Reihe ist, nutzt er die **gesamte Bandbreite**.
- Alle Nodes müssen sehr genau **synchronisiert** sein
- Es existiert eine Schutz-Intervall, um asynchronität und verschiedene Signallaufzeiten auszugleichen.
- Die Verteilung, welcher Node wann an der Reihe ist, ist eine komplexe Aufgabe.
- Typische Anwendungen: GSM Mobilfunk



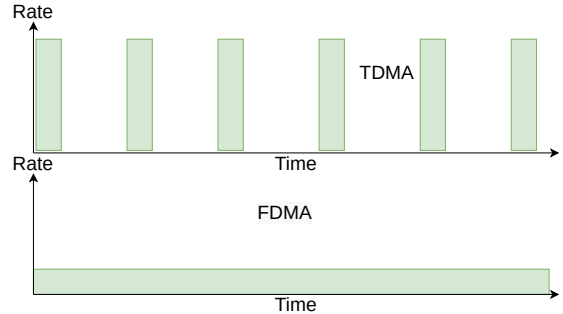
Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- Das Medium wird in Frequenzblöcke (engl. Subchannel/Sub-band) aufgeteilt.
- Verschiedene Nodes bekommen verschiedene Frequenzblöcke.
- Ein Node kann seine Bandbreite die gesamte Zeit nutzen.
- Da reale Frequenzfilter nicht perfekt sind, existiert ein Schutz-Band zwischen den Frequenzblöcken.
- Typische Anwendungen: **Glasfaser** übertragen mit verschiedenen Wellenlängen (Farben), Rundfunk und Satellitenfernsehen



TDMA vs. FDMA

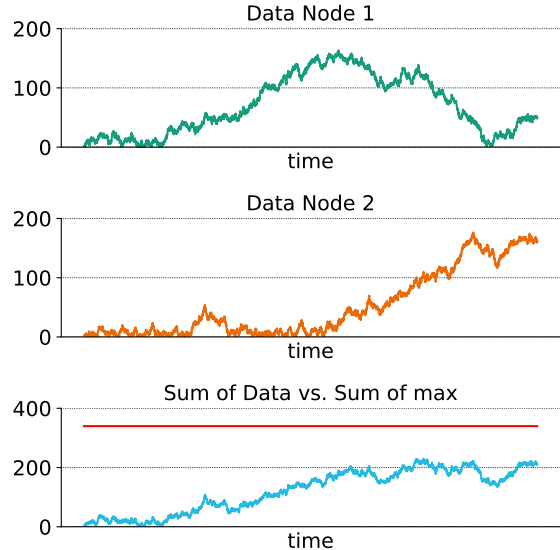
- **TDMA:** hohe Datenrate, geringes Zeitintervall.
- **FDMA:** geringe Datenrate, konstant.



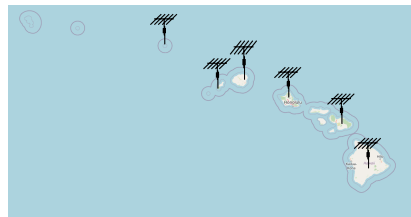
- Für beide Verfahren gilt: Das Medium (die **Ressource**) wird statisch aufgeteilt.
- Gut geeignet für eine feste Anzahl an Nutzern mit kontinuierlichen Daten (TV und Radio nutzen bspw. FDMA)

Netzwerkverkehr ist in der Regel stoßweise (engl. Bursty)

- Daten kommen von Quellen mit ON/OFF Charakter (Pakete)
- Die Datenmenge variiert über die Zeit
- Bedarf: Verfahren die Nutzern Ressourcen nach ihren derzeitigen Anforderungen zuordnen
- Keine statische Allokation weniger ungenutzt Kapazitäten.
- Jedoch: **Wer darf wann senden?**



- ALOHA Protokoll, entwickelt in den 70er Jahren an den Universitäten von Hawaii [1].
- Sehr einfaches Prinzip:
 - Ein Node sendet einen Rahmen, sobald er bereitsteht.
 - Es wird auf eine **Bestätigung** gewartet (ACK für Acknowledgment).
 - Sollte der Node kein ACK empfangen, sendet dieser das Paket nochmal.
 - Bevor das Paket nochmal gesendet wird, wartet der Node eine **zufällige Zeit** um direkte nochmalige **Kollisionen** zu vermeiden.
- Das wars.

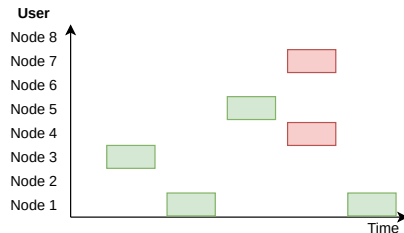
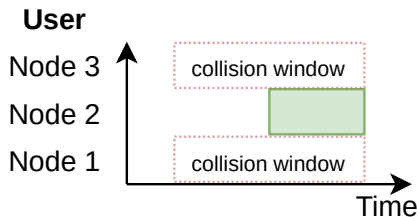


Quelle: [8]

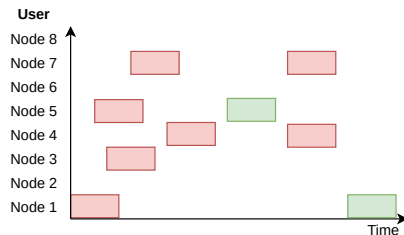


Quelle: [5]

- Sehr **einfaches, dezentrales** Protokoll, welches sehr gut funktioniert, wenn wenige Daten übertragen werden.
- Es kommt jedoch sehr schnell zu einer hohen Anzahl an Kollisionen, wenn viele Nodes viele Daten übertragen wollen.
- Das Protokoll wird sehr schnell ineffizient.
- Es ist einfach zu zeigen, dass im besten Fall 18% der Kapazität des Mediums genutzt werden können [9].



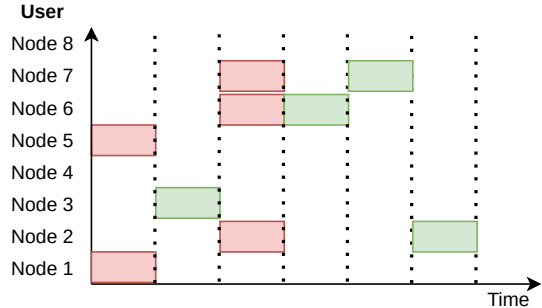
Aloha mit wenigen Daten



Aloha mit vielen Daten

Slotted ALOHA

- Die Übertragung eines Rahmens kann nur zu einem **bestimmten Zeitpunkt** erfolgen.
- Dadurch wird das Medium in Zeitslots aufgeteilt, welche genau der maximalen Dauer einer Übertragung entsprechen.
- Das "Kollisions-Fenster" verringert sich.
- Es ist einfach zu zeigen, dass im besten Fall 37% der Kapazität des Mediums genutzt werden können [9].
- Jedoch müssen die Nodes nun **synchronisiert** werden!



Modul 3: Ethernet und WLAN

- Sicherungsschicht

- Bitdatenstrom in feste Rahmen

- Kommunikationstypen der (Mehrfach)-Zugriff

 - Medienzugriff - TDMA/FDMA

 - Medienzugriff - (Slotted) ALOHA

- Ethernet und CSMA/CD

- WLAN und CSMA/CA

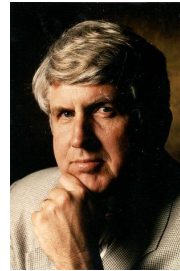
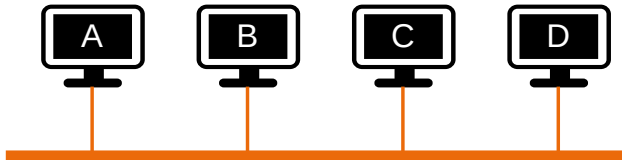
- Fehlererkennung/Korrektur

- Lokale Adressierung — MAC-Adressen

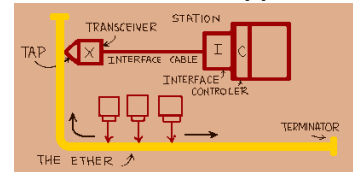
Quellen

Klassisches Ethernet

- Während seiner Doktorarbeit arbeitete Bob Metcalfe bei Xerox PARC und wurde mit der Aufgabe betraut, die Firmenrechner miteinander zu vernetzen. [13]
- Auf der Basis des funkbasierten ALOHA Protokolls entwickelte er das drahtgebundene **Ethernet**.
- "The Ether is a logically passive medium for the propagation of digital signals and can be constructed using any number of media including coaxial cables, twisted pairs, and optical fibers." [7]



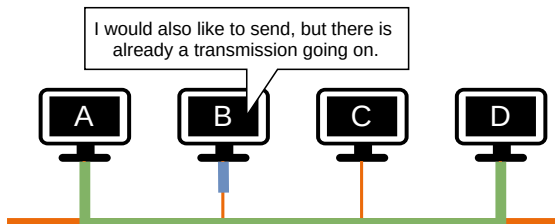
Robert Metcalfe [4]



Frühe Zeichnung des Äther [3]

Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

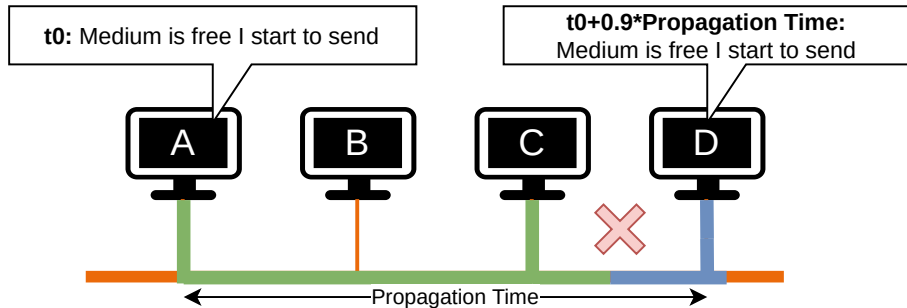
- Im Vergleich zu ALOHA sendet ein Node nicht “einfach darauf los”.
- Der Node überwacht das Medium, ob gerade ein anderer Node sendet.
- Falls ja, wartet der Node mit der Übertragung bis das Medium frei ist.
- **“Listen before Talk”** — wie in einem normalen Gespräch auch.



- **Es kann jedoch trotzdem noch zu Kollisionen kommen! Warum?**

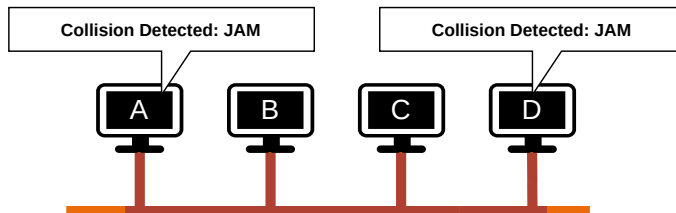
Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)

- Es besteht weiterhin die Möglichkeit, dass ein Node (hier D), das Medium als frei ansieht, obwohl ein anderer Node (hier A) sendet.
- Dies liegt an der **Ausbreitungsverzögerung** (AV).
- Beide Nodes senden und es kommt zu einer Kollision (Überlagerung von Pegeln, Bitfehler).
- Auf einem Kabel können solche Kollisionen frühzeitig erkannt werden — **Collision Detection**.

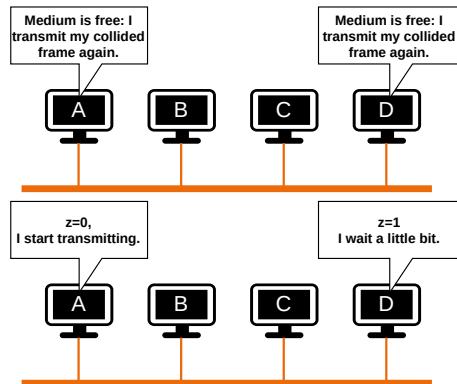


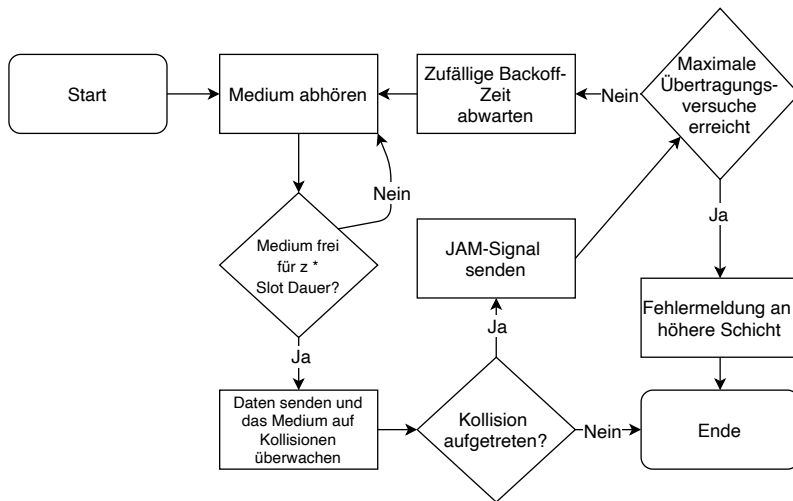
CSMA/CD — Schadensbegrenzung bei einer Kollision

- Sobald, eine **Kollision** vom **Sender** erkannt wird, bricht dieser die Übertragung des Rahmens ab.
- Der Sender beginnt damit, ein "**JAM**"-Signal zu senden.
- Dieses "**JAM**"-Signal dient dazu alle Nodes (insb. alle Sender) über die Kollision zu informieren.
- Rahmen können so als kollidiert **gekennzeichnet** werden und von den Sendern im Anschluss an das "**JAM**"-Signal **wiederholt** werden.
- Dauer des "**JAM**"-Signal:
 - ist möglichst **kurz**: Es wird frühzeitig auf eine Kollision reagiert und es muss nicht der gesamte Rahmen bis zuletzt gesendet werden. Schadensbegrenzung!



- Direkt nach einer Kollision haben typischerweise mind. zwei Nodes Rahmen, welche Sie übertragen möchten.
- Fangen Nodes direkt an zu senden, kommt es erneut zu einer Kollision. Lösung: **Backoff**-Verfahren
- Die Sender mit einer vorangegangenen Kollision wählen eine **zufällige** Zahl **z** aus dem Intervall: $[0; (2^i) - 1]$, wobei i für die Anzahl der bereits in Folge aufgetretenen Konflikte steht [11].
- Die Sender warten nun ($z * \text{Slot Dauer}$) bevor sie mit der Übertragung beginnen.
- Bei vielen Kollisionen steigt z exponentiell an.



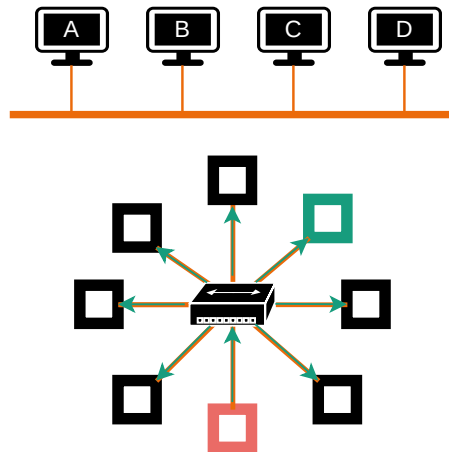


Ethernet Klassik:

- Übertragung über ein Koaxialkabel
- Immer nur ein Sender gleichzeitig
- Für jede Übertragung gibt es viele konkurrierende Nodes
- CSMA/CD

Ethernet Hub:

- Übertragung mit einem Hub
- Immer nur ein Sender gleichzeitig
- Für jede Übertragung gibt es viele konkurrierende Nodes
- CSMA/CD

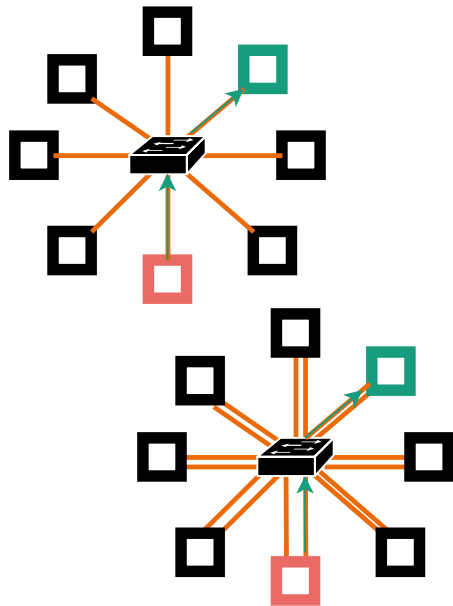


Switched Ethernet:

- Übertragung von Node zu Switch
- Viele Punkt-zu-Punkt Verbindungen
- Für jede Übertragung gibt es nur einen Konkurrenten
- CSMA/CD

Full-duplex Ethernet

- Übertragung zwischen zwei Nodes (bspw. Host und Switch)
- Medium wird in zwei Teile aufgeteilt (RX und TX)
- Keine Kollisionen, kein CSMA/CD
- Heute der Standard



Modul 3: Ethernet und WLAN

- Sicherungsschicht

- Bitdatenstrom in feste Rahmen

- Kommunikationstypen der (Mehrfach)-Zugriff

 - Medienzugriff - TDMA/FDMA

 - Medienzugriff - (Slotted) ALOHA

- Ethernet und CSMA/CD

- WLAN und CSMA/CA

- Fehlererkennung/Korrektur

- Lokale Adressierung — MAC-Adressen

Quellen

Funkbasierte vs. Kabelbasierte Links

- Wie bei der kabelbasierten Kommunikation erfolgt eine Übertragung in funkbasierten Systemen zwischen benachbarten Nodes auf dem gemeinsamen Medium.
- Ein Link in funkbasierten Systemen verhält sich jedoch völlig anders als in kabelbasierten Systemen.

Kabelbasierte Links:

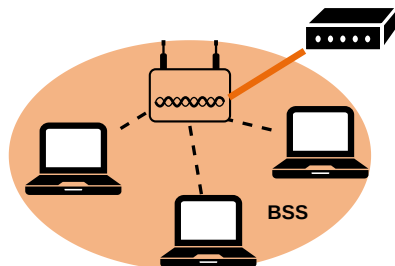
- Geringe Bit Error Rate (BER).
- Die Charakteristik des Mediums ist konstant.
- Klare Abgrenzung eines funktionalen Links (gleiches Kabel).
- Sende- und Empfangspegel sind in einer ähnlichen Größenordnung.

- **CSMA/CD funktioniert nicht auf funkbasierten Links.**

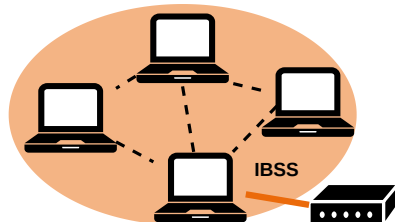
Funkbasierte Links:

- Hohe Bit Error Rate (BER).
- Die Charakteristik des Mediums ist hochdynamisch.
- Keine binäre Abgrenzung eines funktionalen Links (Ausbreitungsbedingungen).
- Der Sendepiegel ist deutlich höher als der Empfangspegel.

Die wichtigsten Begriffe eines Wireless LANs (IEEE802.11/WiFi)



Infrastruktur Netzwerk



Ad-hoc Netzwerk

- Nodes in einem WLAN heißen **Station (STA)**. Jede Station implementiert die nach IEEE802.11 spezifizierte Bitübertragungsschicht und Sicherungsschicht.
- Eine logische Gruppierung von **Station (STA)** erfolgt durch ein **Basic Service Set (BSS)**.
 - Hinreichende Erklärung: Die Fläche in der STA miteinander kommunizieren.
- **Infrastruktur**: Ein zentraler Knoten — der **Access Point (AP)**.
- **Ad-hoc**: Alle STA sind gleich.
- Mehrere Infrastruktur Netze können als **Distribution System** verbunden werden.

■ Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

- WLAN NICs horchen auf dem Medium, bevor sie senden ("listen before talk").
- Gleichzeitiges Senden und Empfangen ist (derzeit [10]) nicht möglich.
- Das Sende-Signal hat viel mehr Leistung im Vergleich zum empfangenen Signal.
 - $P_{TX} = 20\text{dBm}|0.1\text{W}$, $P_{RX} = -70\text{dBm}|0.1\text{nW}$

■ Statt **Collision Detection (CD)** -> **Collision Avoidance (CA)**

- Alle empfangenen Unicast Rahmen werden durch ein **ACK** (Acknowledgment) bestätigt.
- Ein Rahmen wird neu gesendet, wenn kein ACK empfangen wird.
- Kollisionen werden vermieden (engl. avoided) durch ein zufälliges **Backoff** nachdem das Medium als belegt erkannt wurde.
- Die Funktion, welche Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) für WLAN implementiert: Distributed Coordination Function (DCF).

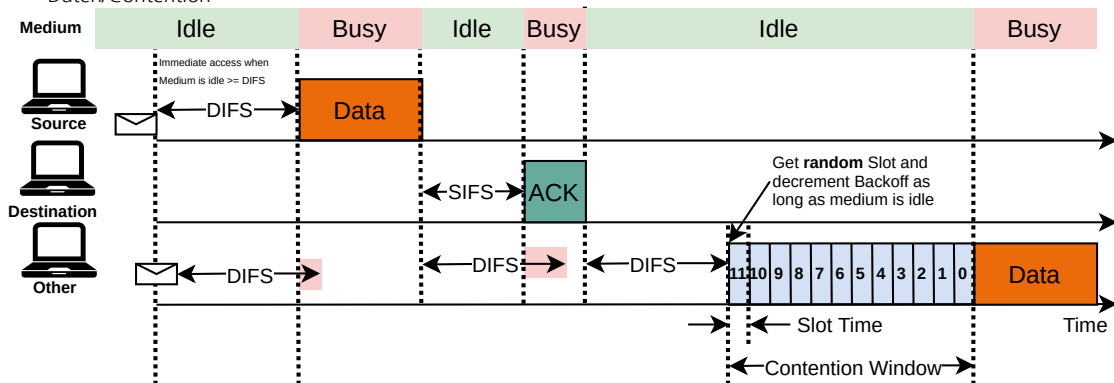
Distributed Coordination Function (DCF)

- Short Interframe Space (SIFS): Vor ACK

- DCF Interframe Space (DIFS): Vor Daten/Contention

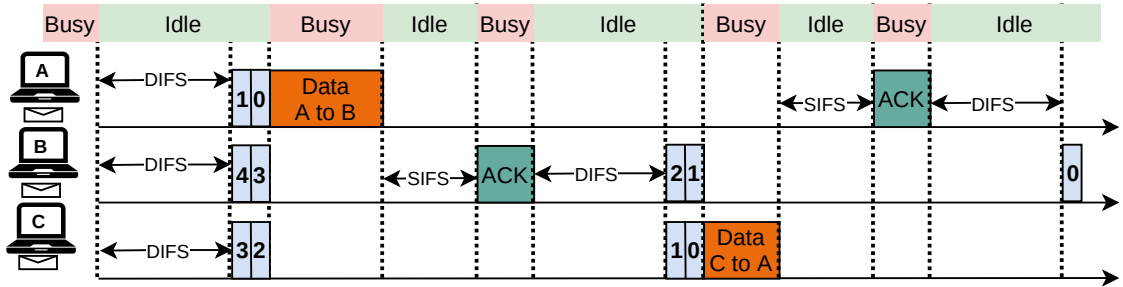
- Rahmen bereit und Medium frei > DIFS: Starte Übertragung

- Rahmen bereit und Medium frei < DIFS: Warte auf ein freies DIFS + eine randomisierte Zeit (Backoff)



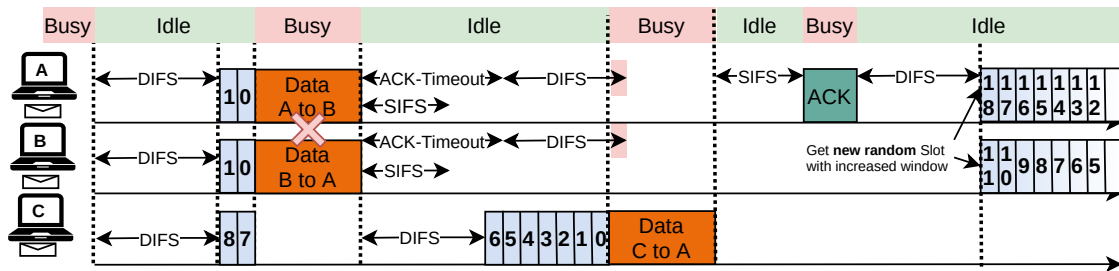
Distributed Coordination Function (DCF) — Backoff

- Wenn eine andere STA das Medium während des Contention Windows belegt, wird die aktuelle randomisierte Zeit der STA eingefroren und gespeichert.
- Im nächsten Contention Window, muss die STA keine neue Zufallszeit generieren, sondern dekrementiert weiter ihre alte Zeit (**fairness**).



Distributed Coordination Function (DCF) — Backoff II

- WLAN nutzt ein exponentielles Backoff. Im Falle einer Kollision verdoppelt sich der Zufallszahlenraum $[0; (2^{4+i} - 1)] | 0 \leq i \leq 6$
- Umso mehr Stationen sich in einem BSS (oder in Hörweite) befinden, umso größer ist die Chance für eine Kollision.
- Umso größer das durchschnittliche Backoff, umso ineffizienter ist der Zugang auf das Medium (Overhead).
 - Hauptgrund für langsames WLAN trotz guter Signalstärke.



Modul 3: Ethernet und WLAN

Sicherungsschicht

Bitdatenstrom in feste Rahmen

Kommunikationstypen der (Mehrfach)-Zugriff

Medienzugriff - TDMA/FDMA

Medienzugriff - (Slotted) ALOHA

Ethernet und CSMA/CD

WLAN und CSMA/CA

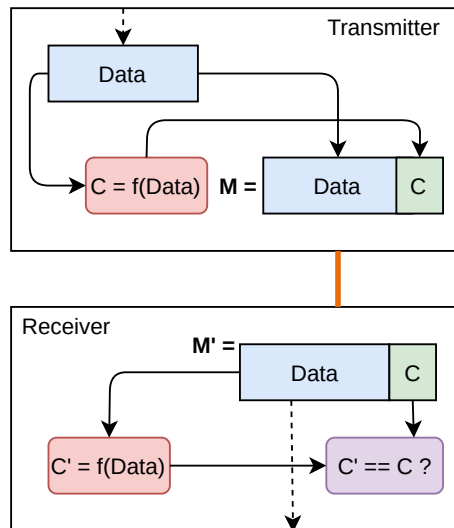
Fehlererkennung/Korrektur

Lokale Adressierung — MAC-Adressen

Quellen

Fehlererkennung — Grundidee

- An eine Daten-Bitfolge, werden zusätzliche Bits durch den Sender angehängen und anschließend gemeinsam übertragen.
- Die zusätzlichen Bits werden durch eine **Funktion** berechnet, welche die Daten-Bitfolge als Eingabe hat.
- Die Funktion ist so gewählt, dass möglichst viele (oder bestimmte Arten) von **Übertragungsfehlern detektiert** werden können.
- Der Empfänger der Daten-Bitfolge führt die gleiche Funktion aus und **vergleicht die Ergebnisse**.
- Falls die Ergebnisse abweichen, wurde ein Übertragungsfehler detektiert.
- **Fehlerkorrektur machen wir nicht in der Grundlagenvorlesung.**



Fehlererkennung — Paritätsbit

- Die einfachste Fehlererkennungsfunktion
- An eine Daten-Bitfolge wird ein Paritätsbit angehängen.
- Füge ein Bit hinzu, sodass die Anzahl aller Bits mit dem Wert 1 gerade ist (Even-Parity).
- Problem: Wenn zwei (oder jedes vielfache von zwei) Bits invertiert werden, kann der Übertragungsfehler nicht detektiert werden.

D = 100100101010, C = 1

M = 100100101010 1

M' = 100100111010 0

$C! = C'$

- Übertragungsfehler treten häufig in Bursts auf.
- M' = 1001 111111 10 1 C == C', trotz Fehler.
- Die Chance einen solchen Burstsfehler mit einem Paritätsbit zu detektieren ist \approx **50%**.

Fehlererkennung — Paritätsbits

- Ein Paritätsbit pro Block
- Die Paritätsbits werden über eine alternative Reihenfolge berechnet
- Die Paritätsbits-Reihenfolge ist **nicht** die Übertragungsreihenfolge.

M =

1	0	0	1	1	1	0
1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	1	1	0

Übertragungsreihen-
folge

Übertragung

M' =

1	0	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0	0

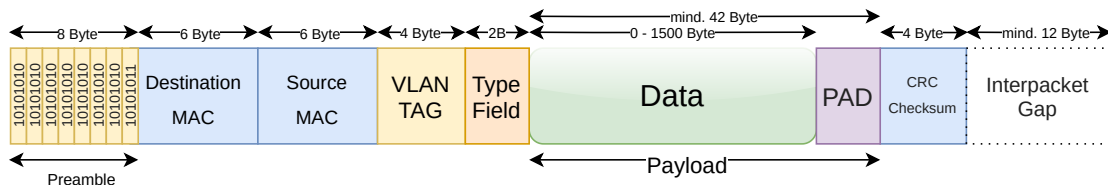
- Bei einem Burstfehler werden nicht alle Bits invertiert, diese lassen sich jedoch einfach gruppieren.
- $n = 7$ Spalten.
- Im schlechtesten Fall, hat jede Spalte eine Chance von $\frac{1}{2}$, einen Fehler zu detektieren.
- Die Chance, dass Fehler in allen Spalten nicht erkannt werden ist $\frac{1}{2}^n$

- Burstfehler verteilen sich auf mehrere Paritätsbits.

Cyclic redundancy check (CRC)

Der Cyclic redundancy check (CRC) ist gekennzeichnet durch die Definition eines **Generatorpolynoms (G)**, das als **Divisor** in einer **Polynomdivision** über ein **endliches Feld** verwendet wird. Die **Eingabedaten** sind in dieser Polynomdivision der **Dividend** und der **Rest** wird zum **CRC-Wert**.

- Alles klar? Das machen wir nicht in der Grundlagenvorlesung...
- Es lässt sich mathematisch zeigen, dass mit wohl gewählten Generatorpolynomen, viele verschiedene Übertragungsfehler detektierbar sind [6]:
- Ethernet nutzt eine CRC-32 (G: 1 0000 0100 1100 0001 0001 1101 1011 0111) über alle Felder (außer der Preamble) [2].



Modul 3: Ethernet und WLAN

Sicherungsschicht

Bitdatenstrom in feste Rahmen

Kommunikationstypen der (Mehrfach)-Zugriff

Medienzugriff - TDMA/FDMA

Medienzugriff - (Slotted) ALOHA

Ethernet und CSMA/CD

WLAN und CSMA/CA

Fehlererkennung/Korrektur

Lokale Adressierung — MAC-Adressen

Quellen

MAC-Adressen

- MAC-Adressen sind eine **eindeutige** Identifikation einer Network Interface Card (NIC).
- MAC-Adressen werden verwendet, um Rahmen im lokalen Netzwerk weiterzuleiten.
- MAC-Adressen sind in der Firmware der NIC definiert.
- Die Zuordnung von MAC-Adressen wird von der IEEE überwacht.
 - **Hersteller** kaufen einen bestimmten Teil des Adressraums, um die **Eindeutigkeit** der Adressen sicherzustellen.

3C-11-B2 (hex)
3C11B2 (base 16)

Fraunhofer FIT
Fraunhofer FIT
Schloss Birlinghoven
Sankt Augustin 53754
DE

10-4B-46 (hex)
104B46 (base 16)

Mitsubishi Electric Corporation
Mitsubishi Electric Corporation
2-7-3
Chiyoda-ku Tokyo 100-8310
JP

<http://standards-oui.ieee.org/oui.txt>

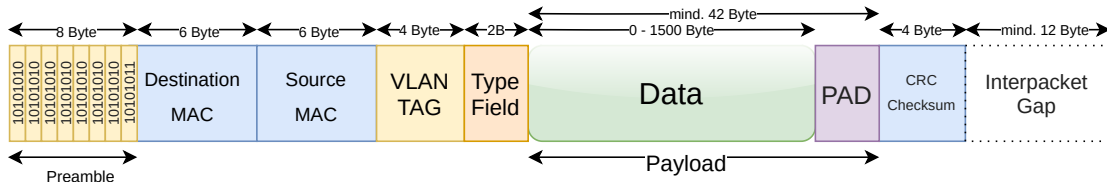
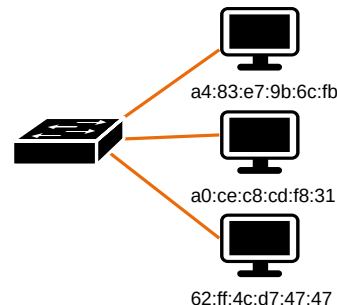
MAC-Adressen:

- Flacher Adressraum (**Portabilität**).
- Ein NIC kann von einem LAN in ein anderes LAN bewegt werden.

IP-Adressen:

- Hierarchischer Adressraum (**keine Portabilität**).
- Die Adresse hängt vom Subnetz ab.

- MAC-Adressen sind 48 Bits lang (6 Bytes).
 - Theoretisch: $(2^{48}) - 1 \approx 280$ Billionen Adressen.
 - Aber: MAC-Adressen benutzen 2-stufige Struktur (□ nächste Folie)
- Die Adressen werden (in der Regel) in hexadezimal Notation angegeben.
- Broadcast-Adresse: ff:ff:ff:ff:ff:ff (alle Bits auf 1)



Syntax / Struktur der MAC-Adresse

3c : e1 : a1 : c1 : 86 : 8c

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

0011 1100 1110 0001 1010 0001 1100 0001 1000 0110 1000 1100

Bezeichnung	Bit(s)	Funktion
I/G	1.	Empfängergruppe: Unicast oder Multicast
U/L	2.	Vergabe: IEEE oder Lokal
OUI	3.-24.	Herstellerkennung
OUA	25.-48.	Kennung des Netzwerkadapters

Quellen I

- [1] Abramson, N.
The aloha system: another alternative for computer communications.
In *Proceedings of the November 17-19, 1970, fall joint computer conference* (1970), pp. 281–285.
- [2] Borrelli, C.
IEEE 802.3 cyclic redundancy check.
application note: Virtex Series and Virtex-II Family, XAPP209 (v1. 0) (2001).
- [3] EK, C.
Napatech blog: History of ethernet - new 'rules' and the ongoing evolution.
<https://www.napatech.com/history-of-ethernet-new-rules-and-the-ongoing-evolution/>.
(Accessed on 11/03/2020).
- [4] Engineering, and Wiki, T. H.
Oral-history:robert metcalfe - engineering and technology history wiki.
https://ethw.org/Oral-History:Robert_Metcalfe.
(Accessed on 11/03/2020).
- [5] Grossert, E.
Reisetipps hawaii: Strände, natur und wandern – travellers insight.
<https://www.travellers-insight.com/amerika/usa/hawaii-natur-reisetipps/>.
(Accessed on 11/03/2020).
- [6] Koopman, P.
32-bit cyclic redundancy codes for internet applications.
In *Proceedings International Conference on Dependable Systems and Networks* (2002), IEEE, pp. 459–468.
- [7] Metcalfe, R. M., and Boggs, D. R.
Ethernet: Distributed packet switching for local computer networks.
Communications of the ACM 19, 7 (1976), 395–404.
- [8] OpenStreetMap.
Openstreetmap.
<https://www.openstreetmap.org/#map=7/21.489/-160.087>.
(Accessed on 11/03/2020).

- [9] Roberts, L. G.
Aloha packet system with and without slots and capture.
ACM SIGCOMM Computer Communication Review 5, 2 (1975), 28–42.
- [10] Sabharwal, A., Schniter, P., Guo, D., Bliss, D. W., Rangarajan, S., and Wichman, R.
In-band full-duplex wireless: Challenges and opportunities.
IEEE Journal on selected areas in communications 32, 9 (2014), 1637–1652.
- [11] Wikipedia.
Carrier sense multiple access/collision detection – wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Carrier_Sense_Multiple_Access/Collision_Detection#Das_Backoff-Verfahren_bei_Ethernet.
(Accessed on 11/04/2020).
- [12] Wikipedia.
Duplex (nachrichtentechnik) – wikipedia.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Duplex_\(Nachrichtentechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Duplex_(Nachrichtentechnik)).
(Accessed on 10/15/2020).
- [13] Wikipedia.
Robert metcalfe – wikipedia.
https://de.wikipedia.org/wiki/Robert_Metcalfe.
(Accessed on 11/03/2020).