

Ganz unten: Link Layer (IEEE 802.3 und 802.11x)

Thomas Schmidt

28.10.2014

Table of Contents

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-Referenzmodell

TCP/IP vs OSI

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3 (Ethernet)

Allgemein

CSMA/CD

Ethernet Frames

IEEE 802.3 (Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Allgemein

Bandbreite / Kanäle

CSMA/CA

Wi-Fi Frames

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

TCP/IP-Referenzmodell

Allgemein

- ▶ Familie von Netzwerkprotokollen
- ▶ Basis für Netzworkkommunikation
- ▶ Ursprünglich DoD-Schichtenmodell (Ende 1960er)

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

TCP/IP-Referenzmodell

Aufteilung in Schichten

1. Application Layer

- ▶ Enthält alle Protokolle von Anwendungsprogrammen
- ▶ User Protokolle: HTTP, FTP, SMTP
- ▶ Support Protokolle: SNMP, BOOTP, DNS

2. Transport Layer

- ▶ Zuständig für Ende-zu-Ende Verbindung, sicherer Transport
- ▶ Wichtigste Vertreter: TCP, UDP

3. Network Layer

- ▶ Sendung / Weitervermittlung von Daten (Routing)
- ▶ IP (IPv4, IPv6), ICMP

4. Link Layer

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

TCP/IP-Referenzmodell

Link Layer

- ▶ Verbindungen zwischen Hosts werden “Links”, Pakete werden “Frames” genannt
- ▶ Link Layer definiert Kommunikation innerhalb eines lokalen Netzwerks, über Links
- ▶ Link Layer Protokolle und Methoden können nur auf den Links operieren, mit denen der Host physisch verbunden ist
- ▶ Analogie: Fahrzeug, Briefumschlag
- ▶ Verpackt Daten in Frames mit Header und Trailer
- ▶ Im Trailer befinden sich Bits zur Fehlererkennung (z.B. CRC)
- ▶ Im Header stehen die MAC-Adressen von Absender und Empfänger

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

TCP/IP-Referenzmodell

Link Layer

Was sind MAC-Adressen?

- ▶ **MAC-Adresse $\neq$ IP-Adresse!**
- ▶ Steht für Media Access Control
- ▶ Wird innerhalb eines Netzwerks benutzt, um Hosts direkt anzusprechen
- ▶ Jede Netzwerkschnittstelle hat eine eindeutige MAC-Adresse
- ▶ In Ethernet und Wi-Fi Netzwerken werden 48-bit MAC-Adressen benutzt
- ▶ Mehr zur Adressierung: (Reverse) Address Resolution Protocol

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

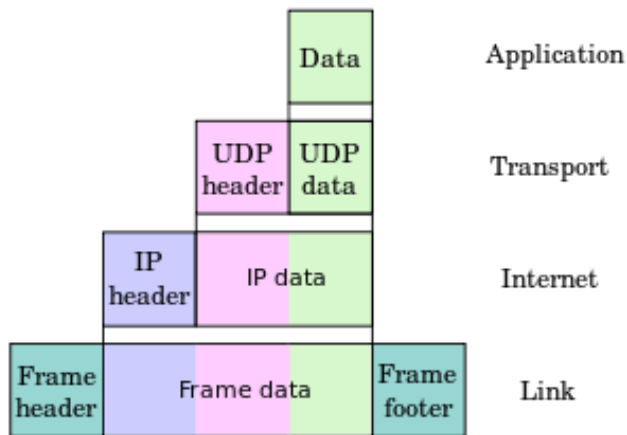
IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

TCP/IP-Referenzmodell

Aufteilung in Schichten



Quelle:

http://en.wikipedia.org/wiki/File:UDP_encapsulation.svg

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

TCP/IP vs OSI

- ▶ OSI-Modell ist ein anderes Modell zur Kategorisierung von Protokollen in 7 Schichten
- ▶ Strengeres Schichtenmodell als TCP/IP
- ▶ Legt genau fest, welche Dienste von welcher Ebene erfüllt werden
- ▶ In TCP/IP sind dies eher "Richtlinien"

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

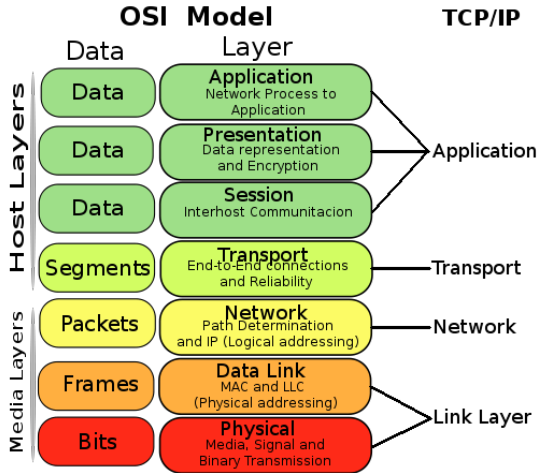
Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

TCP/IP vs OSI



Quelle:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Osi-model-jb.svg>

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

Was gehört alles dazu?

- ▶ Physical Layer:
 - ▶ IEEE 802.3 und 802.11
 - ▶ Fiber Distributed Data Interface (FDDI)
 - ▶ Attached Resource Computer NETwork (ARCNET)
- ▶ Data Link Layer:
 - ▶ Token Ring
 - ▶ (Reverse) Address Resolution Protocol ([R]ARP)
 - ▶ Point-to-Point Protocol (PPP)

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

Table of Contents

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-Referenzmodell

TCP/IP vs OSI

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3 (Ethernet)

Allgemein

CSMA/CD

Ethernet Frames

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Allgemein

Bandbreite / Kanäle

CSMA/CA

Wi-Fi Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

IEEE 802.3 (Ethernet)

Allgemein

- ▶ Netzwerktechnologie zur Kommunikation in Local Area Networks (LANs)
- ▶ Zur Verbindung von Hosts werden Kupfer- oder Glasfaserkabel benutzt
- ▶ Der Standard IEEE 802.3 entstand 1983
- ▶ Heute noch viele weitere Variationen (bis IEEE 802.3bp)
- ▶ Übertragungsraten von 10 Mbit/s bis 100 Gbit/s
- ▶ Neben IEEE 802.11 meistverwendete LAN-Technik

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

IEEE 802.3 (Ethernet)

Geschichte

- ▶ 1973: Experimental Ethernet (2,94 Mbit/s, Koaxialkabel-Busnetzwerk)
- ▶ 1982: Ethernet II (10 Mbit/s, Frames mit Typ-Feld)
- ▶ 1983: IEEE 802.3 (10 Mbit/s, Typ-Feld durch Längen-Feld ersetzt, CSMA/CD)
- ▶ 1990: IEEE 802.3i (10BASE-T 10 Mbit/s, verdrehtes Kupferkabel)
- ▶ 1995: IEEE 802.3u (100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-FX, 100 Mbit/s)
- ▶ 1999: IEEE 802.3ab (1000BASE-T 1 Gbit/s)
- ▶ 2014: IEEE 802.3bm (100G/40G, 100/40 Gbit/s, Glasfaserkabel)

IEEE 802.3 (Ethernet)

CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection:

- ▶ Methode des Media Access Control
- ▶ Bestimmt, “wer senden darf”
- ▶ Anwendung in alten Ethernet-Netzen und bei Halbduplex-Leitungen
- ▶ Aus Kompatibilitätsgründen noch heute unterstützt
- ▶ Funktionsweise:
 1. Falls keiner sendet, fange an zu senden
 2. Falls eine Kollision erkannt wird, trete für zufällige Zeit zurück und sende dann wieder

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

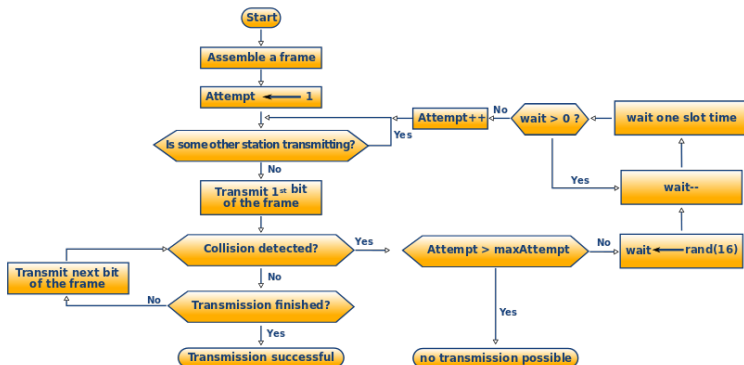
IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

IEEE 802.3 (Ethernet)

CSMA/CD



Quelle: en.wikipedia.org/wiki/File:CSMACD-Algorithm.svg

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

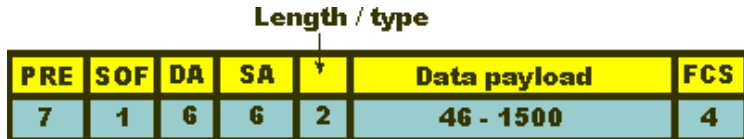
IEEE 802.3 (Ethernet)

Aufbau eines Ethernet Frames

- ▶ Präambel und “Start of frame delimiter” (SFD):
 $7 \times 10101010B + 10101011B$
- ▶ MAC-Adressen von Absender und Empfänger (6 + 6 Bytes)
- ▶ Optional: IEEE 802.1Q-Tag, eine virtual LAN (VLAN) Markierung (4 Bytes)
- ▶ Ethertype (Ethernet II, Wert ≥ 1536) oder Länge der Daten (IEEE 802.3, Wert ≤ 1500) (2 Bytes)
- ▶ Transportierte Daten (“Payload”) (42/46-1500 Bytes)
- ▶ Frame Check Sequence (CRC32) (4 Bytes)
- ▶ 12 Byte Lücke zwischen zwei Frames

IEEE 802.3 (Ethernet)

Aufbau eines Ethernet Frames



Quelle: radio-

electronics.com/info/telecommunications_networks/ethernet/ethernet-frame.gif

- ▶ Besonderheit der Übertragung: Höherwertige Bytes zuerst, aber innerhalb eines Bytes niederwertige Bits zuerst
- ▶ Beispiel (Präambel): $7 \times 01010101 + 11010101$

Table of Contents

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-Referenzmodell

TCP/IP vs OSI

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3 (Ethernet)

Allgemein

CSMA/CD

Ethernet Frames

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Allgemein

Bandbreite / Kanäle

CSMA/CA

Wi-Fi Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Allgemein

- ▶ Netzwerktechnologie zur Kommunikation in LANs
- ▶ Verbindung über Funk (wireless), daher auch die Bezeichnung Wi-Fi
- ▶ Wird meist als WLAN bezeichnet (Vorsicht!)
- ▶ Standardisiert seit 1997
- ▶ Wie bei IEEE 802.3, Buchstaben als Versionsnummern

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Versionen

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

Table 1: IEEE 802.11 Standards

Standard	Frequency band	Bandwidth	Modulation	Maximum data rate
802.11	2.4 GHz	20 MHz	DSSS, FHSS	2 Mb/s
802.11b	2.4 GHz	20 MHz	DSSS	11 Mb/s
802.11a	5 GHz	20 MHz	OFDM	54 Mb/s
802.11g	2.4 GHz	20 MHz	DSSS, OFDM	54 Mb/s
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz	20 MHz, 40 MHz	OFDM	600 Mb/s
802.11ac	5 GHz	20, 40, 80, 80 + 80, 160 MHz	OFDM	6.93 Gb/s
802.11ad	60 GHz	2.16 GHz	SC, OFDM	6.76 Gb/s

Quelle:

mpdigest.com/issue/Articles/2012/Aug/Aeroflex/table1.jpg

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Bandbreite / Kanäle

- ▶ 802.11b/g/n benutzen den freien 2,4GHz Frequenzbereich
- ▶ Aufteilung in verschiedene Kanäle, um Störungen zu vermeiden
- ▶ Bereich dieser Kanäle wird Bandbreite genannt
- ▶ Europa: Kanäle (1, 5, 9, 13); USA: Kanäle (1, 6, 11) üblicherweise
- ▶ 5GHz Band: In Deutschland 19 nicht überlappende Kanäle

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

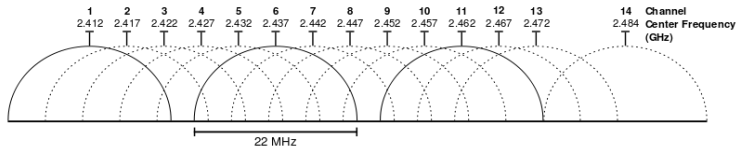
IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Bandbreite / Kanäle



Quelle: [en.wikipedia.org/wiki/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_\(802.11b,g_WLAN\).svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_(802.11b,g_WLAN).svg)

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-

Referenzmodell

TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3

(Ethernet)

Allgemein

CSMA/CD

Ethernet Frames

IEEE 802.11x

(Wi-Fi)

Allgemein

Bandbreite / Kanäle

CSMA/CA

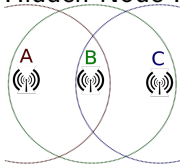
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

IEEE 802.11x (Wi-Fi)

Hidden-Node Problem

- ▶ Vollduplex schwierig bei Funknetzen
- ▶ Alle Teilnehmer kommunizieren über das selbe Mittel
- ▶ Problem: “Wer darf senden?”
- ▶ Idee: CSMA/CD, senden und schauen ob Kollision passiert
- ▶ Hidden-Node Problem:



Quelle:

en.wikipedia.org/wiki/File:Wifi_hidden_station_problem.svg

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

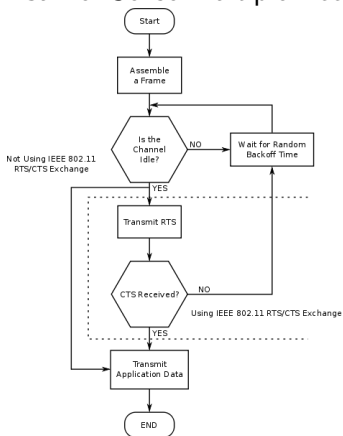
IEEE 802.11x (Wi-Fi)

CSMA/CA

Link Layer

T. Schmidt

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance



RTS = Request To Send
CTS = Clear To Send

Quelle: en.wikipedia.org/wiki/File:Csma_ca.svg

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis

- ▶ Viele verschiedene Frames für verschiedene Dienste
- ▶ Alle Frames haben MAC Header, Payload und FCS
- ▶ Form und Funktion des Frames stehen im MAC Header
- ▶ Drei große Kategorien:
 1. **Management Frames:**
Beacon Frame, Authentication Frame, Deauthentication Frame
 2. **Control Frames:**
Acknowledgement (ACK) Frame, RTS, CTS
 3. **Data Frames:**
"Gewöhnliche" Frames, senden Daten

- ▶ de.wikipedia.org/wiki/Internetprotokollfamilie
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/Link_layer
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/Media_access_control
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/Ethernet
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/CSMA/CD
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- ▶ de.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/CSMA/CA
- ▶ en.wikipedia.org/wiki/Hidden_node_problem
- ▶ web.cs.ucdavis.edu/~prasant/ECS152A/NOTES/LinkLayer.pdf
- ▶ tools.ietf.org/html/rfc1122

The End

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Link Layer

T. Schmidt

Link Layer

TCP/IP-
Referenzmodell
TCP/IP vs OSI

IEEE 802.3
(Ethernet)

Allgemein
CSMA/CD
Ethernet Frames

IEEE 802.11x
(Wi-Fi)

Allgemein
Bandbreite / Kanäle
CSMA/CA
Wi-Fi Frames

Quellenverzeichnis