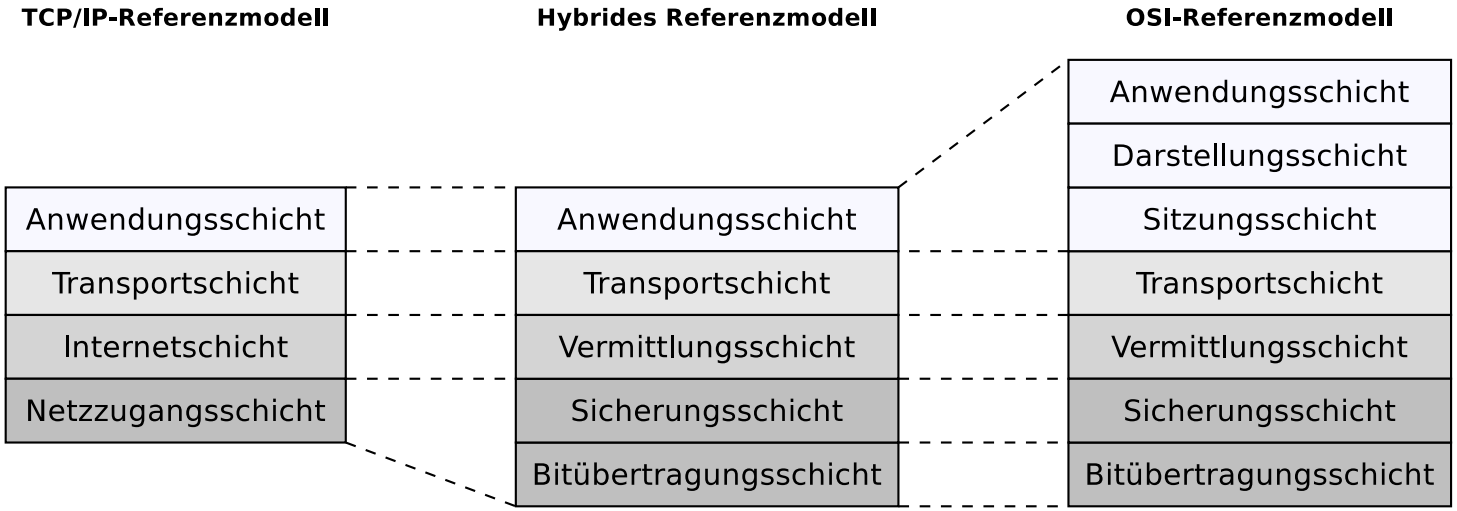
2. Foliensatz Computernetze

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences
(1971–2014: Fachhochschule Frankfurt am Main)
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften
christianbaun@fb2.fra-uas.de

Bitübertragungsschicht

- Aufgaben der Bitübertragungsschicht (Physical Layer):
  - Bitübertragung auf leitungsgebundenen oder leitungslosen Übertragungsstrecken
  - Bereitstellung von Vernetzungstechnologien und Übertragungsmedien
  - Rahmen der Sicherungsschicht mit Leitungscodes in Signale kodieren



Übungsblatt 2 wiederholt die für die Lernziele relevanten Inhalte dieses Foliensatzes

- Geräte: Repeater, Hub (Multiport-Repeater)
- Protokolle: Ethernet, Token Ring, WLAN, Bluetooth,...

Lernziele dieses Foliensatzes

- Bitübertragungsschicht (Teil 1)
  - Vernetzungstechnologien
    - Ethernet
    - Token Ring
    - Wireless LAN (WLAN)
    - Bluetooth
  - Übertragungsmedien
    - Koaxialkabel
    - Twisted-Pair-Kabel
    - Lichtwellenleiter

Ethernet (IEEE 802.3)

- In den 1970er Jahren u.a. von Robert Metcalfe am Xerox Palo Alto Research Center entwickelt
  - Diese erste Version des Ethernet arbeitete mit 2,94 Mbit/s
- 1983: IEEE-Standard mit 10 Mbit/s
- Seit den 1990er Jahren die meistverwendete (leitungsgebundene) LAN-Technik
  - Durch Ethernet wurden andere Standards wie Token Ring komplett verdrängt oder wie FDDI zu Nischenprodukten für Spezialanwendungen
- Es existieren zahlreiche Ethernet-Standards
  - Diese unterscheiden sich u.a. in der **Übertragungsrate** und dem **Übertragungsmedium**
    - Es existieren Versionen für Koaxialkabel, Twisted-Pair-Kabel und Glasfaser-Kabel bis maximal 40 Gbit/s
- Die **Anschlussart** an das Medium ist **passiv**
  - Das heißt das Netzwerkgeräte nur dann aktiv sind, wenn Sie selbst senden

Einige Ethernet-Varianten

- Alle diese Varianten sind Erweiterungen von Thick Ethernet (10BASE5)

Standard	MBit/s	Übertragungsmedium
10BASE2/5	10	Koaxialkabel (50 Ohm Wellenwiderstand)
10BROAD36	10	Koaxialkabel (75 Ohm Wellenwiderstand)
10BASE-F	10	Glasfaserkabel
10BASE-T	10	Twisted-Pair-Kabel
100BASE-FX	100	Glasfaserkabel
100BASE-T4	100	Twisted-Pair-Kabel (Cat 3)
100BASE-TX	100	Twisted-Pair-Kabel (Cat 5)
1000BASE-LX	1.000	Glasfaserkabel
1000BASE-SX	1.000	Glasfaserkabel (Multimode-Fasern)
1000BASE-ZX	1.000	Glasfaserkabel (Singlemode-Fasern)
1000BASE-T	1.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 5)
1000BASE-TX	1.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 6)
2.5GBASE-T	2.500	Twisted-Pair-Kabel (Cat 5e)
5GBASE-T	5.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 6)
10GBASE-SR	10.000	Glasfaserkabel (Multimode-Fasern)
10GBASE-LR	10.000	Glasfaserkabel (Singlemode-Fasern)
10GBASE-T	10.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 6A)
40GBASE-T	40.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 8.1)

- 2 Übertragungsverfahren existieren:
  1. **Basisband** (BASE)
  2. **Breitband** (BROAD)

Namensschema

- 1.Teil: Übertragungsrate
- 2.Teil: Übertragungsverfahren (Basisband oder Breitband)
- 3.Teil: 100facher Faktor der maximalen Segmentlänge oder das Medium

10BASE5 z.B. bedeutet. . .

- Übertragungsrate: 10 MBit/s
- Übertragungsverfahren: Basisband
- Maximale Segmentlänge: $5 * 100\text{m} = 500\text{m}$

Ethernet-Varianten – Basisband (BASE)

- Fast alle Ethernet-Standards verwenden das Basisband-Übertragungsverfahren (BASE)
  - Einzige Ausnahme: 10BROAD36
- Basisbandsysteme haben **keine Trägerfrequenzen**
  - Das heißt die **Daten werden direkt (im Basisband) auf dem Übertragungsmedium übertragen**
- Digitale Signale werden direkt als Impulse in das Kabel oder den Lichtwellenleiter eingespeist und belegen die komplette Bandbreite des Kabels oder einen Teil davon
  - Ungenutzte Bandbreite kann nicht für andere Dienste genutzt werden

Kurz gesagt...

Basisbandsysteme bieten nur **einen Kanal**

Ethernet-Varianten – Breitband (BROAD)

Bildquelle: AVM

- Die Daten werden auf eine **Trägerfrequenz aufmoduliert**
  - Dadurch können mehrere Signale gleichzeitig in **unterschiedlichen Frequenzbereichen** (Trägern) übertragen werden
- Ausschließlich 10BROAD36 verwendet das Breitbandverfahren
  - Wegen hoher Hardwarekosten für die Modulation war das System wirtschaftlich kein Erfolg

- Das Breitbandkonzept konnte sich bei Ethernet nicht durchsetzen, wird aber heute in viele Bereichen der Nachrichtenübermittlung und Telekommunik. verwendet

Beispiele für Anwendungsbereiche des Breitbandkonzepts

- Das Kabelfernsehnetz, in dem verschiedene Fernsehkanäle, und mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen auch Radiokanäle, Telefon und Internet zur Verfügung stehen
- Das Elektrizitätsnetz, über das auch Netzwerkverbindungen aufgebaut werden können ($\Longrightarrow$ Powerline Communication)

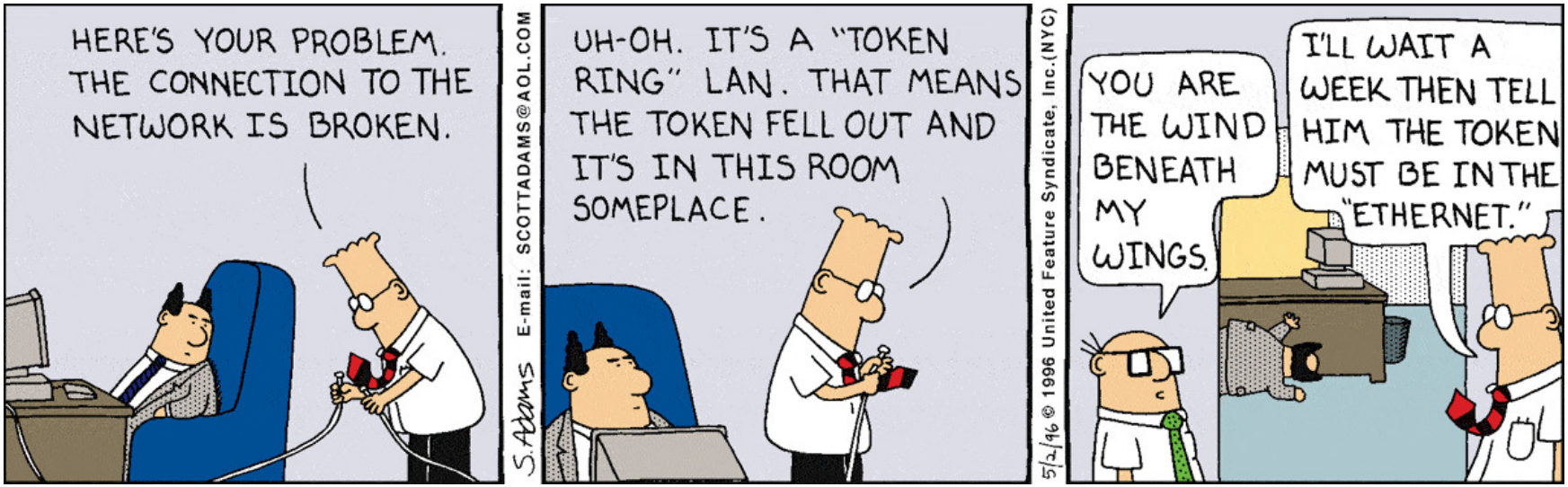
Token Ring (IEEE 802.5)

- Standard für LANs, in dem die Endgeräte logisch zu einem Ring verbunden sind
- Geschwindigkeit: 4 Mbit/s oder 16 Mbit/s
- Über den Ring kreist ein **Token**
  - Es wird von einem einem Teilnehmer zum nächsten weitergereicht
- Die **Anschlussart** an das Übertragungsmedium ist **aktiv**
  - Das heißt, die Netzwerkstationen beteiligen sich aktiv an der Weitergabe des Tokens
- 1981: Entwicklung durch die englische Firma Procom
- Ab Mitte der 1980er Jahre: Weiterentwicklung durch IBM
  - 1985: Mit 4 Mbit/s für den original IBM PC vorgestllt
  - 1989: 16 Mbit/s
  - 1998: 100 Mbit/s
- Bis Mitte der 1990er Jahre: Die von IBM bevorzugte Vernetzungstechnologie
  - Veraltet, seit IBM Vermarktung und Vertrieb von Token Ring 2004 beendet hat

Arbeitsweise von Token Ring

Bildquelle: Scott Adams (`http://dilbert.com`)

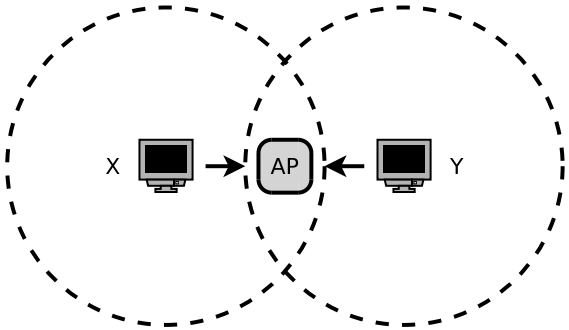
- Die Teilnehmer reichen den Token-Rahmen immer weiter
  - Möchte ein Endgerät Daten senden, wartet es auf den Token-Rahmen
    - Dann hängt das Endgerät seine **Nutzdaten** an das Token an
    - Es ergänzt das Token um die nötigen **Steuersignale**
    - Es setzt das **Token-Bit** von 0 (*Freies Token*) auf 1 (*Datenrahmen*)
  - Erreicht ein Datenrahmen-Token sein Ziel, kopiert der Empfänger die Nutzdaten und **quittiert den Datenempfang**
    - Der Sender empfängt die Quittung und sendet das Token mit den nächsten Nutzdaten oder setzt ein Frei-Token auf den Ring



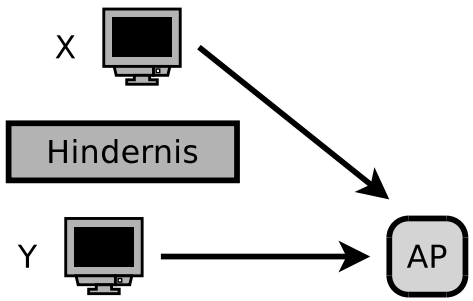
Herausforderungen beim Funknetzen (1/2)

- WLAN ist die bekannteste Technologie für drahtlose Computernetze
  - Das Übertragungsmedium hat einige spezielle Eigenschaften
    - Diese sind der Grund für folgende Herausforderungen

1. **Fading** (abnehmende Signalstärke)
   - Elektromagnetische Wellen werden durch Hindernisse (z.B. Wände) und im freien Raum allmählich abgeschwächt



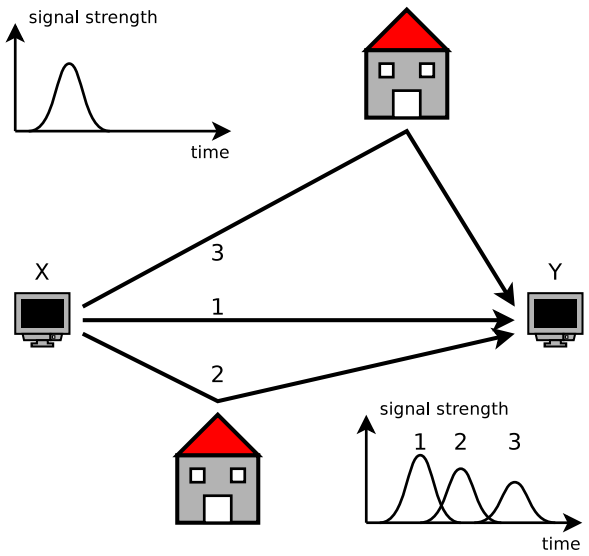
2. **Hidden-Terminal** (unsichtbare bzw. versteckte Endgeräte)
   - Endgeräte, die mit dem gleichen Gerät (z.B. einer Basisstation) kommunizieren, erkennen einander nicht und stören sich gegenseitig
     - Grund: Hindernisse



Quelle: Computernetzwerke, *James F. Kurose, Keith W. Ross*, Pearson (2008)

Herausforderungen beim Funknetzen (2/2)

3. **Mehrwegeausbreitung**
   - Teile der elektromagnetischen Wellen werden reflektiert und legen darum unterschiedlich lange Wege vom Absender zum Ziel zurück
     - Resultat: Unscharfes Signal beim Empfänger weil die Reflektionen beeinflussen nachfolgende Übertragungen
   - Ähnliches Problem: Bewegen sich Objekte zwischen Sender und Empfänger, können sich die Ausbreitungswege ändern

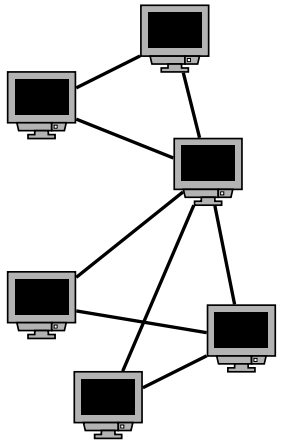


4. **Interferenzen mit anderen Quellen**
   - Beispiele: WLAN und Bluetooth
     - Beide Netzwerktechnologien arbeiten auf dem gleichen Frequenzband und können darum interferieren
   - Auch elektromagnetisches Rauschen durch Motoren oder Mikrowellengeräte können zu Interferenzen führen

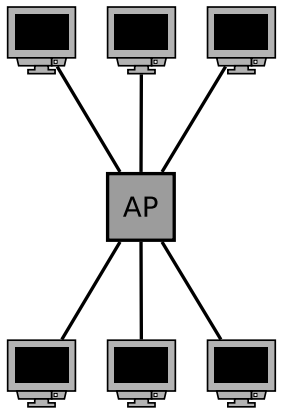
Quelle: Computernetzwerke, *James F. Kurose, Keith W. Ross*, Pearson (2008)

Ad-hoc-Modus und Infrastruktur-Modus

- Kommunikation zwischen WLAN-Geräten ist möglich im...
- **Ad-hoc-Modus**: Endgeräte bilden ein **vermaschtes Netz**
  - Die Endgeräte kommunizieren direkt miteinander
    - Jedes Endgerät kann mit mehreren anderen Geräten verbunden sein
  - Bei allen Endgeräten müssen der gleiche Netzwerkname – Service Set Identifier (SSID) und dieselben Verschlüsselungsparameter eingestellt sein



- **Infrastruktur-Modus**: Endgeräte melden sich jeweils mit ihrer MAC-Adresse an der Basisstation an
  - Die Basisstation sendet in einstellbaren Intervallen (z.B. 10x pro Sekunde) kleine „Leuchtfeuer-Rahmen“ (*Beacons*), an alle Endgeräte im Empfangsbereich
    - Die Beacons enthalten u.a. den Netzwerknamen (SSID), die Liste der unterstützten Übertragungsraten und die Art der Verschlüsselung



Datenübertragungsraten bei WLAN

- **Alle Stationen teilen sich die Bandbreite für Up- und Download**
  - Darum liegt die erreichbare Nettoübertragungsrate selbst unter optimalen Bedingungen nur wenig über der Hälfte der Bruttowerte

Wi-Fi	IEEE-Standard	Verab-schiedet	Frequenzen 2,4 GHz	5 GHz	6 Ghz	Maximale (Brutto) Übertragungsrate		Realistische (Netto) Übertragungsrate	
–	802.11	1997	X			2	Mbit/s	1	Mbit/s
–	802.11b	1999	X			11	Mbit/s[1]	5-6	Mbit/s
–	802.11a	1999		X		54	Mbit/s[2]	20-22	Mbit/s
–	802.11h	2003		X		54	Mbit/s[2]	20-22	Mbit/s
–	802.11g	2003	X			54	Mbit/s	20-22	Mbit/s
4	802.11n	2009	X	X		600	Mbit/s[3]	50-60	Mbit/s
5	802.11ac	2013		X		6930	Mbit/s[4]	400-500	Mbit/s
6	802.11ax	2021	X	X		9600	Mbit/s[4]	500-600	Mbit/s
6E	802.11ax	2021	X	X	X	9600	Mbit/s[5]	500-600	Mbit/s
7	802.11be	2024	X	X	X	40000	Mbit/s	noch unklar	

[1] Herstellerabhängig auch 22 Mbit/s bei 40 MHz Kanalbreite
[2] Herstellerabhängig auch 108 Mbit/s bei 40 MHz Kanalbreite
[3] Bei 4x4 MIMO und 80 MHz Kanalbreite
[4] Bei 8x8 MIMO und 160 MHz Kanalbreite. In der Praxis unübliche Werte
[5] Pro Antenne in der Station bzw. im Endgerät

Sendeleistung bei WLAN

Bildquelle: Google Bildersuche

- WLAN wurde für den Einsatz innerhalb Gebäuden entwickelt
  - Aus diesem Grund sendet es nur mit einer niedrigen Leistung (maximal 100 mW bei 2,4 GHz, 1 W bei 5 GHz und 200 mW bei 6 GHz)
    - Solche Sendeleistungen gelten als gesundheitlich unbedenklich
    - Zum Vergleich: Die Sendeleistung von GSM-Telefonen, die im Frequenzbereich 880-960 MHz senden, ist ca. 2 W
  - Es existieren auch WLAN-Geräte für 2,4 GHz mit höherer Sendeleistung
    - Der Betrieb solcher Geräte ist in vielen Ländern illegal $\Longrightarrow$ Folie 15

Messfahrzeug der Bundesnetzagentur

Gesehen in Ludwigshafen-Oggersheim (26. November 2018)

WLAN-Standards, Frequenzen und Kanäle

- Die meisten WLAN-Standards verwenden die Frequenzblöcke 2,4000-2,4835 GHz und 5,150-5,725 GHz im Mikrowellenbereich
  - Unterschiede gibt es u.a. bei Frequenzblöcken, Datenübertragungsraten, Modulationsverfahren und den resultierenden Kanalbandbreiten

Wi-Fi	IEEE-Standard	Verab-schiedet	Frequenzen 2,4 GHz	5 GHz	6 Ghz	Maximale (Brutto) Übertragungsrate	Realistische (Netto) Übertragungsrate
–	802.11	1997	X			2 Mbit/s	1 Mbit/s
–	802.11b	1999	X			11 Mbit/s[1]	5-6 Mbit/s
–	802.11a	1999		X		54 Mbit/s[2]	20-22 Mbit/s
–	802.11h	2003		X		54 Mbit/s[2]	20-22 Mbit/s
–	802.11g	2003	X			54 Mbit/s	20-22 Mbit/s
4	802.11n	2009	X	X		600 Mbit/s[3]	50-60 Mbit/s
5	802.11ac	2013		X		6930 Mbit/s[4]	400-500 Mbit/s
6	802.11ax	2021	X	X		9600 Mbit/s[4]	500-600 Mbit/s
6E	802.11ax	2021	X	X	X	9600 Mbit/s[5]	500-600 Mbit/s
7	802.11be	2024	X	X	X	40000 Mbit/s	noch unklar

IEEE 802.11h ist eine Anpassung von IEEE 802.11a um militärische Radarsysteme und Satellitenfunk in Europa nicht zu stören

Einzige Unterschiede zu IEEE 802.11a: Zusätzliche Fähigkeiten Dynamic Frequency Selection (*Dynamisches Frequenzwahlverfahren*) und Transmission Power Control (*Übertragungssendeleistungs-Steuerung*)

Obwohl WLAN weltweit verwendet wird, gibt es rechtliche Unterschiede

Beispiel: In Deutschland darf 5,15-5,35 GHz nur innerhalb geschlossener Räume mit maximal 200 mW Senddeleistung genutzt werden

Erlaubte Nutzung der WLAN-Frequenzen im 2,4-GHz-Band

- Die Frequenzblöcke sind in Kanäle unterteilt
  - Das Prinzip ist vergleichbar mit Fernseh- oder Radioübertragungen
  - Der Frequenzblock 2,4 GHz ist in 13 Kanäle unterteilt
    - Bandbreite jedes Kanals: 5 MHz
  - In Japan existiert noch ein zusätzlicher 14. Kanal
    - Er ist nur für das Modulationsverfahren DSSS freigegeben
    - Er liegt 12 MHz über dem 13. Kanal

Kanal	Frequenz [GHz]	EU	USA	Japan
1	2,412	X	X	X
2	2,417	X	X	X
3	2,422	X	X	X
4	2,427	X	X	X
5	2,432	X	X	X
6	2,437	X	X	X
7	2,442	X	X	X
8	2,447	X	X	X
9	2,452	X	X	X
10	2,457	X	X	X
11	2,462	X	X	X
12	2,467	X	X	X
13	2,472	X	X	X
14	2,484			X

Modulationsverfahren der WLAN-Standards

- Die WLAN-Standards verwenden unterschiedliche Modulationsverfahren

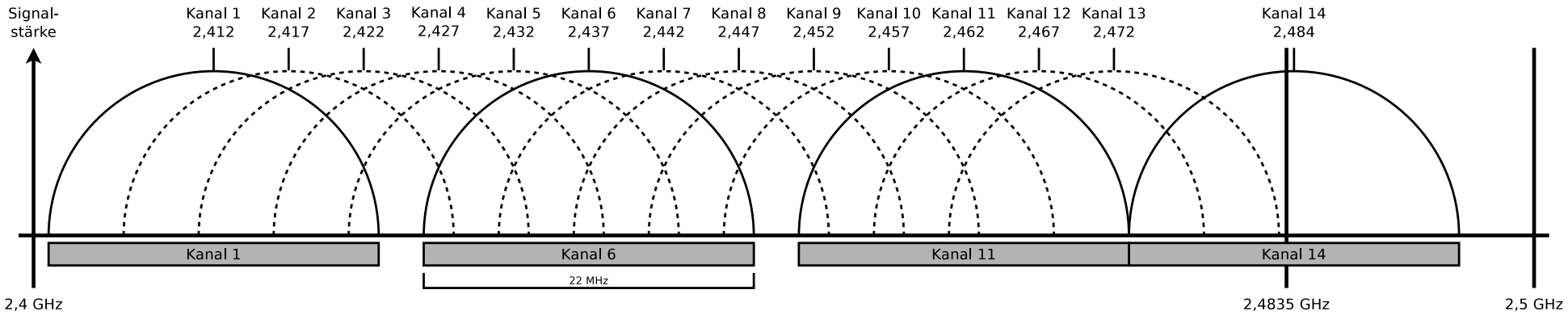
IEEE-Standard	Modulationsverfahren	Kanalbreite
802.11	FHSS[1] oder DSSS[2]	22 MHz
802.11a	OFDM[3]	20 MHz
802.11b	DSSS[2]	22 MHz
802.11g	OFDM[3]	20 MHz
802.11h	OFDM[3]	20 MHz
802.11n	OFDM[3]	20 oder 40 MHz
802.11ac	OFDM[3]	20, 40, 80 oder 160 MHz
802.11ax	OFDMA[4]	20, 40, 80 oder 160 MHz
802.11be	Enhanced OFDMA	20, 40, 80, 160 oder 320 MHz

[1] Frequency Hopping Spread Spectrum (Frequenzsprungverfahren)
[2] Direct Sequence Spread Spectrum (Frequenzspreizverfahren)
[3] Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (orthogonales Frequenzmultiplexverfahren)
[4] Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Warum ist das Modulationsverfahren relevant?

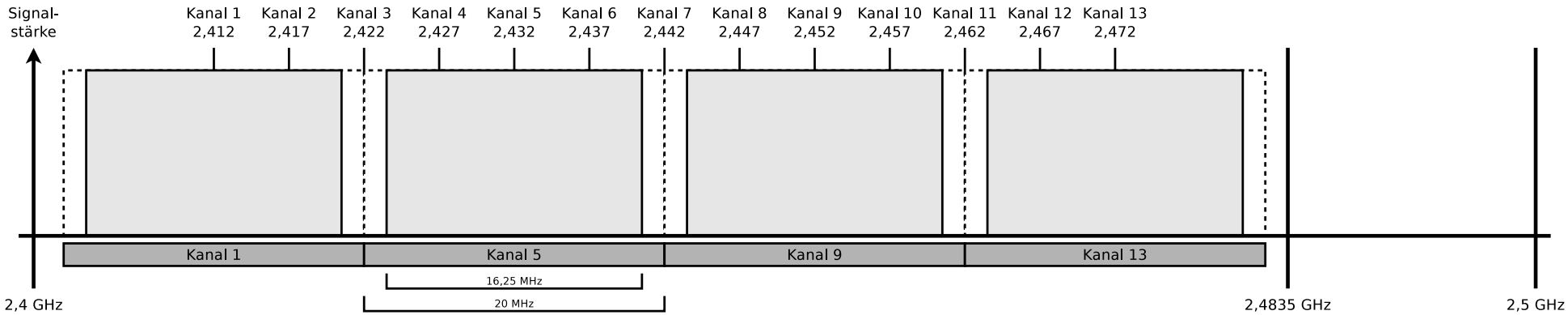
- Es legt die Kanalbreite fest
- Die Kanalbreite legt fest, wie viele Kanäle in den jeweiligen Frequenzbereichen nutzbar sind

Überlappungsfreie Kanäle bei IEEE 802.11b



- IEEE 802.11b verwendet das Modulationsverfahren **DSSS** mit **22 MHz breiten Kanälen** und einem **5 MHz Kanalrasterabstand**
  - Darum existieren nur 3 (EU und USA) bzw. 4 (Japan) Kanäle, deren Signale sich nicht überlappen
    - Das sind die Kanäle 1, 6, 11 und 14 (nur in Japan)
- DSSS ist ein **Frequenzspreizverfahren**
  - Es verteilt die Nutzdaten über einen breiten Frequenzbereich
  - Das macht es weitgehend unempfindlich gegenüber schmalbandigen Störungen (z.B. Bluetooth)

Überlappungsfreie Kanäle bei 802.11g und 802.11n

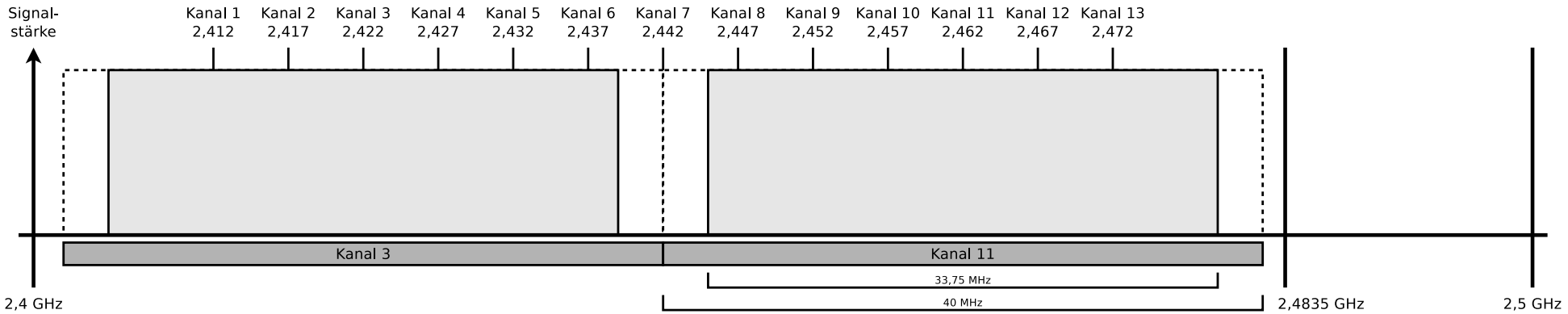


- 802.11g und 802.11n verwenden das Modulationsverfahren **OFDM**
  - Bei diesem handelt es sich um ein **Mehrträgerverfahren**
    - Jeder Kanal ist 20 MHz breit und besteht aus 64 Zwischenträgern zu je 0,3125 MHz, von denen aber nur 52 verwendet werden
    - Die **Nutzbandbreite pro Kanal** ist also nur **16,25 MHz**
    - Es gibt also nur 4 überlappungsfreie Kanäle: 1, 5, 9 und 13

Endgeräte nach 802.11a verwenden auch das Modulationsverfahren OFDM mit 20 MHz breiten Kanälen...

arbeiten aber ausschließlich im Frequenzblock 5,150-5,725 GHz

Überlappungsfreie Kanäle bei IEEE 802.11n



- Bei 802.11n ist wahlweise ein Betrieb mit 40 MHz Kanalbreite möglich
- Bei 40 MHz breiten Kanälen existieren im Frequenzblock 2,4000-2,4835 GHz nur 2 Kanäle, nämlich Kanal 3 und 11, deren Signale sich nicht überlappen
  - Jeder Kanal besteht aus 128 Zwischenträgern zu je 0,3125 MHz, von denen aber nur 108 verwendet werden
  - Die Nutzbandbreite pro Kanal ist also nur 33,75 MHz

Hochwertige Endgeräte, die 802.11n unterstützten, können zusätzlich den Frequenzblock 5,150-5,725 GHz nutzen

Überlappungsfreie Kanäle in der Stadt...

```
Datei  Bearbeiten  Ansicht  Suchen  Terminal  Hilfe

CH 11 ][ Elapsed: 1 hour 10 mins ][ 2011-09-08 19:25 ][ WPA handshake: C0:C1:C0:36:74:10

BSSID              PWR  Beacons    #Data, #/s  CH  MB   ENC  CIPHER AUTH ESSID

00:C0:A8:CD:CA:DC   -1        0        0    0 133  -1                  <length:  0>
02:18:8B:B6:0E:E9   -1    36691        0    0  11  11   OPN             print server 2F53F0
C0:C1:C0:36:74:10  -65    39725     4724    0  11  54   WPA2 CCMP   PSK  Neverland
1C:AF:F7:82:FC:54  -70       36        0    0   6  54e. WPA  TKIP   PSK  PRIVAT-PC Netzwerk
00:04:0E:D3:C5:69  -77    31403        0    0  11  54e  WPA  TKIP   PSK  WLAN-00040ED3C569
00:19:CB:9F:41:BC  -77        6        0    0   1  54 . WEP  WEP         o2DSL
BC:05:43:A8:B0:D1  -79    38409     1444    0  11  54e. WPA2 CCMP   PSK  FRITZ!Box 6360 Cable
00:26:4D:05:35:19  -79       18        1    0   1  54e. WPA2 CCMP   PSK  WLAN-053553
00:04:0E:64:4D:77  -81        2        0    0   7  54   WPA  TKIP   PSK  MUECKES FUNK
00:23:08:2F:70:BC  -82       16        0    0  13  54e  WPA2 CCMP   PSK  WLAN-2F7071
F0:7D:68:80:58:CC  -83        4        0    0   5  54e. WPA2 TKIP   PSK  Lasse
00:1A:2B:26:1C:4D  -84       20       15    0   3  54e  WPA2 CCMP   PSK  WLAN-261C24
00:23:08:AD:F0:84  -85       13        4    0  13  54e  WPA2 CCMP   PSK  ete
00:1C:28:50:93:C5  -85        0        0    0   9  54e. WPA2 CCMP   PSK  BUDIMIR
00:26:4D:E9:FA:20  -85        5        0    0   1  54e  WPA2 CCMP   PSK  EasyBox-E9FA62
00:1B:11:FA:43:8C  -86        2        0    0   6  54 . WPA  TKIP   PSK  W-LAN PWW
00:1F:3F:75:F8:B1  -86     2733        2    0  10  54e. WPA2 CCMP   PSK  Atlanta
00:1A:4F:97:D5:0F  -89     2929        0    0  11  54e  WPA  TKIP   PSK  BF610
00:1A:4F:44:97:AF  -90      222        4    0  11  54e  WPA2 CCMP   PSK  WLAN-001A4F4497AF
00:1F:3F:62:50:67  -90        2        0    0   1  54e. WPA2 CCMP   PSK  troester
00:1A:4F:19:06:ED  -90      765        0    0  11  54e  WPA2 CCMP   PSK  WLAN-001A4F1906ED
00:1A:70:5D:A1:D6  -91       69        2    0  11  54 . WPA  TKIP   PSK  Funk
00:12:BF:4F:0C:B8  -93     2742        6    0  11  54 . WEP  WEP         Heidelore
00:22:6B:8E:01:82  -89     1206       24    0  11  54   WPA2 CCMP   PSK  linksys
00:1D:19:D9:F0:94  -90       31        3    0  11  54e  WPA2 CCMP   PSK  Speedport303V

BSSID              STATION            PWR   Rate    Lost  Packets  Probes

00:C0:A8:CD:CA:DC  00:26:C7:7E:08:40  -89    0 - 1     13        2
(not associated)   00:C0:A8:AF:64:11  -83    0 - 1     97     4280  Yosi_1,EW_WAN
(not associated)   00:22:58:10:90:9D  -82    0 - 1      0      171  WLAN-CE8034
(not associated)   00:1F:CF:52:82:FF  -87    0 - 1      0      103  Lasse
(not associated)   00:24:9F:53:02:21  -88    0 - 2      0        2  EasyBox C33E15
(not associated)   00:18:DE:86:E1:DF  -90    0 - 1      0       19  Intel 802.11 Default SSID,FRITZ!Box WLAN 3050
(not associated)   40:A6:D9:A6:02:44  -90    0 - 1      0       10  Fneu
(not associated)   00:15:AF:D9:AF:7D  -92    0 - 1      0      132  audi,De Dijk 49,ALICE-WLAN36,FRITZ!Box Fon WLAN
02:18:8B:B6:0E:E9  00:20:00:2F:53:F0  -77    0 - 1      0    37341
C0:C1:C0:36:74:10  00:05:4E:49:75:56    0   36 - 1      0     4623  Neverland
C0:C1:C0:36:74:10  38:E7:D8:15:E2:BC  -63   48 -54      0      275  Neverland,linksys
BC:05:43:A8:B0:D1  7C:6D:62:52:33:7E   -1   36e- 0      0      707
00:26:4D:05:35:19  00:0E:35:81:A7:CB  -60    0 - 1e     0      192  WLAN-053553
```

sind schwierig zu finden

Einfach mal schauen was in der Nachbarschaft los ist...

WLAN-Interface-Status abfragen:

```
# airmon-ng
```

Monitor-Mode des Interface aktivieren:

```
# airmon-ng start <device>
```

WLAN-Interface-Status kontrollieren:

```
# airmon-ng
```

WLAN-Rahmen sammeln:

```
# airodump-ng <device>
```

Nur für 2,4-GHz-Band:

```
# airodump-ng -band bg <device>
```

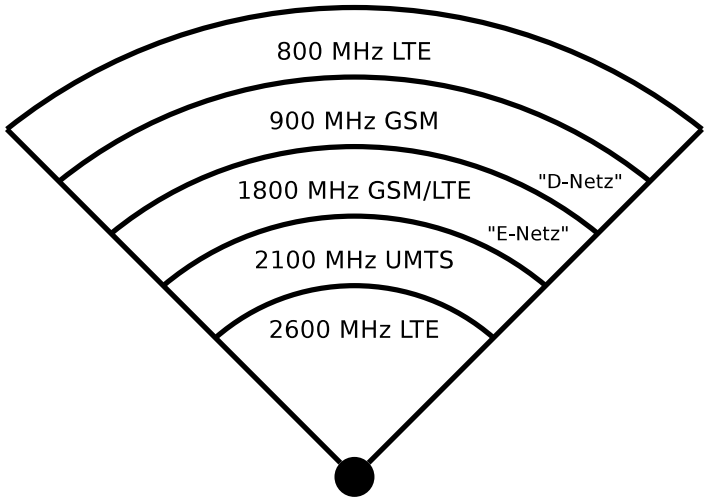
Nur für 5-GHz-Band:

```
# airodump-ng -band a <device>
```

Kanal	Frequenz	EU	USA	Japan
36	5,180 GHz	X[1]	X	X[1]
40	5,200 GHz	X[1]	X	X[1]
44	5,220 GHz	X[1]	X	X[1]
48	5,240 GHz	X[1]	X	X[1]
52	5,260 GHz	X[1,2,3]	X[2]	X[1,2,3]
56	5,280 GHz	X[1,2,3]	X[2]	X[1,2,3]
60	5,300 GHz	X[1,2,3]	X[2]	X[1,2,3]
64	5,320 GHz	X[1,2,3]	X[2]	X[1,2,3]
100	5,500 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
104	5,520 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
108	5,540 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
112	5,560 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
116	5,580 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
120	5,600 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
124	5,620 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
128	5,640 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
132	5,660 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
136	5,680 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
140	5,700 GHz	X[2,3]	X[2]	X[2,3]
144	5,720 GHz	X[2,4]	X[2]	—
149	5,745 GHz	X[2,4]	X	—
153	5,765 GHz	X[2,4]	X	—
157	5,785 GHz	X[2,4]	X	—
161	5,805 GHz	X[2,4]	X	—
165	5,825 GHz	X[2,4]	X	—

[1] Nutzung nur innerhalb geschlossener Räume erlaubt
[2] Dynamic Frequency Selection (DFS)
[3] Transmit Power Control (TPC)
[4] Short Range Devices (SRD) = 25 mW max.

- **Erlaubte Nutzung der WLAN-Frequenzen 5-GHz-Band**
- Je höher die Frequenz ist, desto stärker wirkt sich die Dämpfung durch das Übertragungsmedium aus
  - Darum erreicht WLAN bei 2,4 GHz bei gleicher Sendeleistung größere Reichweiten als WLAN bei 5 GHz



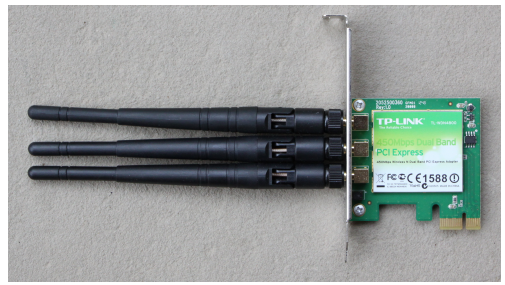
- Hindernisse machen bei 5 GHz mehr Schwierigkeiten als bei 2,4 GHz

IEEE 802.11n – Multiple Input Multiple Output (MIMO)

- Die maximale Bruttodatenrate bei IEEE 802.11n liegt je nach Anzahl der Antennen in den Stationen bei 150, 300, 450 oder 600 Mbit/s
  - Der Grund für diese Leistungssteigerung gegenüber IEEE 802.11a/b/g/h ist, dass 802.11n **MIMO** verwendet
- Zusätzlich zur Verbreiterung der Kanäle auf 40 MHz kommen bei MIMO bis zu 4 Antennen zum Einsatz
  - Diese ermöglichen gleichzeitiges Arbeiten in den Frequenzbereichen 2,4 GHz und 5 GHz
- Pro parallelem Datenstrom (pro Antenne) sind maximal 150 Mbit/s Datendurchsatz (brutto) möglich und bis zu 4 Datenströme können gebündelt werden
  - Die entsprechende Anzahl Antennen (bis zu 4) ist jeweils auf beiden Seiten nötig

Bildquelle: `pixabay.com` (CC0)

Bildquelle: `pxhere.com` (CC0)



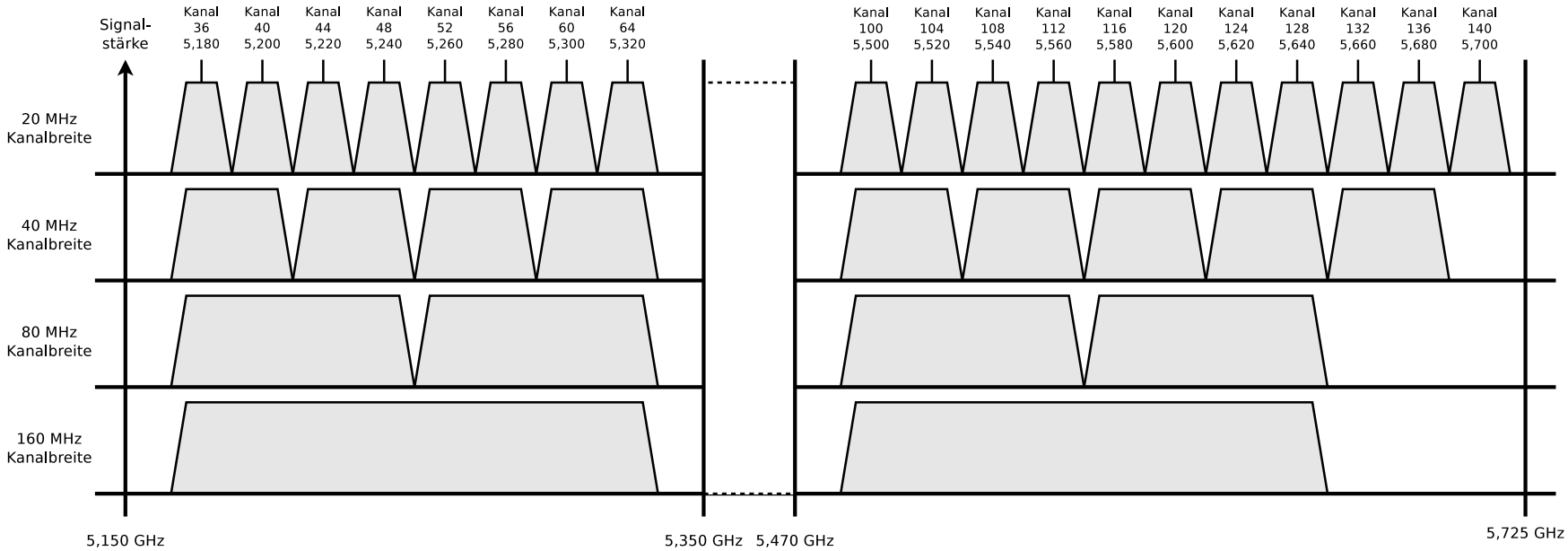
Bildquelle: Eigenes Werk

IEEE 802.11ac

- Auch IEEE 802.11ac verwendet **MIMO**
  - Maximal 8 parallel nutzbare Antennen möglich
  - Ermöglicht breitere Kanäle: 40/80/160 MHz
  - Arbeitet nur im 5-GHz-Band
  - Max. (brutto) Übertragungsrate: 6,936 GBit/s
    - Bei 8×MIMO und 160 MHz Kanalbreite

Bildquelle: Cookiemonster1979. Wikimedia (CC-BY-SA-4.0)

Solche Werte sind in der Praxis unüblich. Ein realistisches Szenario ist z.B. MIMO mit 4 Antennen im Access Point und 80 MHz Kanalbreite. Hier wäre die maximale (Brutto-)Übertragungsrate bei 802.11ac 1733 Mbit/s



Sicherheit bei WLAN – WEP

- WLAN gemäß 802.11 enthält den Sicherheitsstandard **Wired Equivalent Privacy (WEP)**, der auf dem RC4-Algorithmus basiert
  - XOR-Verknüpfung des Bitstroms der Nutzdaten mit einem aus dem RC4-Algorithmus generierten, pseudozufälligen Bitstrom
  - Arbeitet mit 40 Bit bzw. 104 Bit langen **statischen Schlüsseln**
  - Kann durch Known-Plaintext-Angriffe geknackt werden, weil die Header des 802.11-Protokolls vorhersagbar sind
    - Die Berechnung des WEP-Schlüssels mit Hilfe von einigen Minuten aufgezeichneter Daten dauert mit Werkzeugen wie Aircrack nur wenige Sekunden

WEP-Verschlüsselung von WLANs in unter einer Minute geknackt

Forschern der Technischen Universität Darmstadt ist ein weiterer Durchbruch beim Knacken WEP-verschlüsselter Funknetzwerke gelungen. Wie Erik Tews, Andrei Pychkine und Ralf-Philipp Weinmann in einem Paper beschreiben, konnten sie die Menge der für einen erfolgreichen Angriff notwendigen mitgeschnittenen Pakete auf weniger als ein Zehntel reduzieren. Ein mit einem 128-Bit-WEP-Schlüssel gesichertes Funknetz ließe sich nach Angaben der Forscher mit ihrem Angriff in unter einer Minute knacken. . .

Nachricht vom 4. April 2007. Quelle: `http://heise.de/-164971`

Sicherheit bei WLAN – WPA und WPA2

- Besserer Sicherheitsstandard: **Wi-Fi Protected Access** (WPA)
  - Basiert auch auf dem RC4-Algorithmus, enthält jedoch zusätzlichen Schutz durch **dynamische Schlüssel**
    - Verschlüsselt jedes Datenpaket mit einem anderen Schlüssel
  - Kann mit der Brute-Force-Methode oder mit Wörterbuchangriffen auf das benutzte Passwort geknackt werden
- Deutliche Verbesserung: **Wi-Fi Protected Access 2 (WPA2)**
  - Basiert auf dem Advanced Encryption Standard (AES)
  - Ein mit einem ausreichend langen Passwort geschütztes WLAN mit WPA2-Verschlüsselung gilt aktuell als sicher
- Bester Standard aktuell: **Wi-Fi Protected Access 3 (WPA3)**
  - Implementiert ein verbessertes Schlüsselverhandlungs- und -austauschverfahren (kryptografischer Handshake), das auf dem Diffie-Hellman-Algorithmus zur Schlüsselverteilung basiert

Mehr Informationen über RC4, AES, Diffie-Hellman-Algorithmus... $\Longrightarrow$ Foliensätze 11 + 12

Bluetooth

- Funksystem zur Datenübertragung auf kurzen Distanzen
  - Wurde entwickelt, um kurze Kabelverbindungen zwischen verschiedenen Geräten zu ersetzen
- Die Entwicklung wurde von der schwedischen Firma Ericsson 1994 begonnen
  - Die Weiterentwicklung erfolgt durch die Interessengemeinschaft Bluetooth Special Interest Group (BSIG)

Bluetooth wurde nach dem dänischen Wikingerkönig Harald Blauzahn benannt

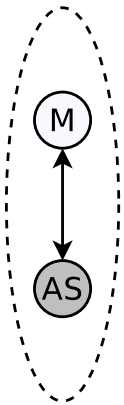
Der war u.a. für seine Kommunikationsfähigkeit bekannt

- Bluetooth-Geräte senden im Frequenzblock 2,402-2,480 GHz
  - WLANs, schnurlose Telefone oder Mikrowellenherde können Störungen verursachen, wenn Sie im gleichen Frequenzband arbeiten
  - Um Störungen zu vermeiden, verwendet Bluetooth ein Frequenzsprungverfahren, bei dem das Frequenzband in 79 verschiedene Frequenzstufen im Abstand von je 1 MHz eingeteilt wird
    - Die Frequenzstufen werden bis zu 1.600 Mal pro Sekunde gewechselt

Netzwerk-Topologien bei Bluetooth (1/2)

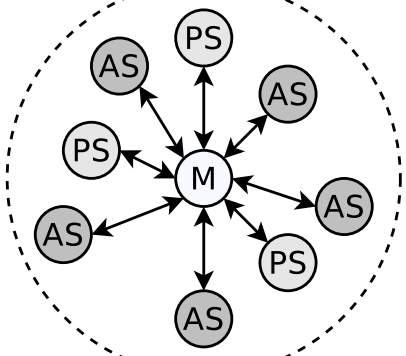
- Bluetooth-Geräte organisieren sich in sogenannten **Piconetzen**
  - Ein Piconetz besteht aus ≤ 255 Teilnehmern (≤ 8 mit Status aktiv)
    - Der Master kann Teilnehmer aktivieren und deaktivieren
  - 1 aktiver Teilnehmer ist der **Master**
    - Die restlichen 7 sind **Slaves**

Piconetz



1 Master
1 Slave

Piconetz



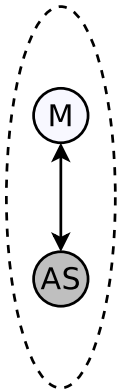
1 Master
5 Active Slaves
3 Parked Slaves

- Der Master koordiniert den Medienzugriff
  - Er teilt das Übertragungsmedium (die Luft) auf die Teilnehmer auf, indem er Sendeslots an die Slaves vergibt
    - Diese Vorgehensweise heißt: Zeitmultiplexverfahren
- Alle Teilnehmer müssen sich die Bandbreite des Netzes teilen

Netzwerk-Topologien bei Bluetooth (2/2)

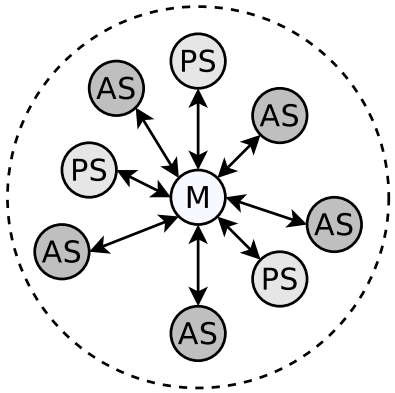
- Ein Bluetooth-Gerät kann in mehreren Piconetzen angemeldet sein
  - Es kann aber nur in einem Netz der Master sein
- Ist ein Teilnehmer im Empfangsbereich zweier Piconetze, kann er diese zu einem **Scatternetz** zusammenschließen
  - Bis zu 10 Piconetze bilden ein Scatternet
  - Jedes Piconet wird durch die unterschiedlichen Wechselfolgen im Frequenzsprungverfahren identifiziert
  - Die Datentransferraten in Scatternets sind meist gering

Piconetz



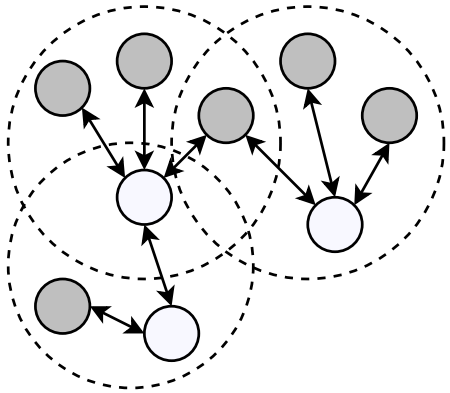
1 Master
1 Slave

Piconetz



1 Master
5 Active Slaves
3 Parked Slaves

Scatternetz



3 Piconetze

Versionen des Bluetooth-Standards

- Es gibt verschiedene Versionen des Bluetooth-Standards
- Maximale Datentransferrate:
  - Bluetooth bis Version 1.2: 1 MBit/s (davon 721 kBit Nutzdaten)
  - Bluetooth 2.0: 3 MBit/s (davon 2,1 Mbit/s Nutzdaten)
- Bluetooth 3.0 + HS (High Speed) verwendet WLAN zur Steigerung der Datentransferrate
  - Eine 3 MBit/s Bluetooth-Verbindung wird zur Übertragung der Steuerdaten und Sitzungsschlüssel verwendet
  - Wollen 2 Endgeräte große Datenmengen austauschen, schalten diese in den Highspeed-Modus und bauen eine **Ad-hoc-Verbindung via WLAN 802.11g** mit einer Datentransferrate von 54 MBit/s auf
    $\Longrightarrow$ Bluetooth 3.0 + HS **kombiniert Bluetooth mit WLAN**
  - Die erreichbare (Netto) Datentransferrate ist ca. 24 Mbit/s
- Bluetooth 4 bietet u.a. reduzierten Stromverbrauch
- Bluetooth 5 verbessert u.a. die Reichweite (max. 200 m)

Pairing von Bluetooth-Geräten

- Bevor 2 Endgeräte via Bluetooth miteinander kommunizieren können, müssen sie sich kennen
  - Der Vorgang des *Kennenlernens* heißt **Pairing**
- Bis einschließlich Bluetooth 2.0 ist das Pairing aufwendig
  - Beide Benutzer müssen eine identische PIN eingeben
  - Die PIN ist der gemeinsame Schlüssel für Verschlüsselung und Authentifizierung
    - Das garantiert, dass kein drittes Gerät die Verbindung mithört bzw. einen **Man-in-the-Middle-Angriff** ausübt
- Bluetooth 2.1 führte **Secure Simple Pairing** ein
  - Das Verfahren verwendet den Diffie-Hellmann-Algorithmus ($\Longrightarrow$ Foliensatz 12) zur Schlüsselverteilung anstatt einer PIN
  - Die Sicherheit dieses Pairing-Verfahrens hängt davon ab, ob die Endgeräte ein Display haben
    - Haben beide Endgeräte ein Display, müssen die Benutzer jeweils einen gemeinsamen Code durch Tastendruck bestätigen

Hat ein Gerät kein Display zum Anzeigen des Codes, ist keine Bestätigung möglich

Dann ist ein Man-in-the-Middle-Angriff ist dann nach wie vor möglich

Übertragungsmedien

- Es existieren verschiedene Übertragungsmedien für Computernetze

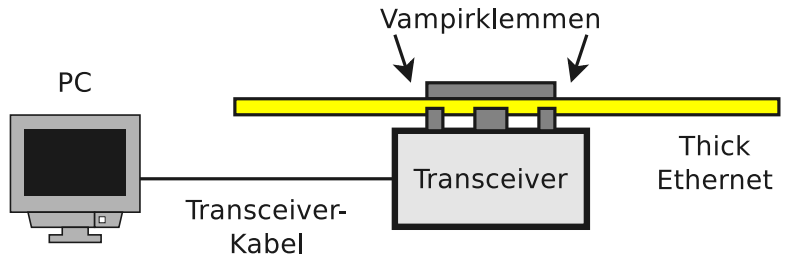
1. **Leitungsgebundene Übertragungsmedien**
   - **Elektrischer Leiter** aus Kupfer: Daten werden über Twisted-Pair-Kabel (verdrillte Kabel) oder Koaxialkabel als elektrische Impulse übertragen
   - **Lichtwellenleiter**: Daten werden als Lichtimpulse übertragen
2. **Nicht-leitungsgebundene Übertragung** (drahtlose Übertragung)
   - **Gerichtet**:
     - **Funktechnik**: Daten werden als elektromagnetische Wellen (Radiowellen) im Radiofrequenzbereich übertragen. Beispiele sind WLAN und Satelliten-Direktfunk
     - **Infrarot**: Daten werden als elektromagnetische Wellen im Bereich des unsichtbaren Spektrums übertragen. Ein Beispiel ist IrDA
     - **Laser**: Daten werden via Laser-Bridge als Lichtimpulse übertragen
   - **Ungerichtet**:
     - Ungerichtete Übertragung basiert immer auf Funktechnik. Anwendungsbeispiele sind Mobilfunk, LTE, terrestrischer Rundfunk und Satelliten-Rundfunk

Koaxialkabel (*Koaxkabel*)

- Zweipolige Kabel mit konzentrischem (koaxialem) Aufbau
- Der innere Leiter (**Seele**) führt das Signal
- Der äußere Leiter liegt auf Masse (Grundpotential) und umhüllt den inneren vollständig
  - Die Abschirmung des signalführenden Leiters durch die Umhüllung mit der Masse reduziert elektromagnetische Störungen

Koaxialkabel bei 10BASE5 – Thick Ethernet

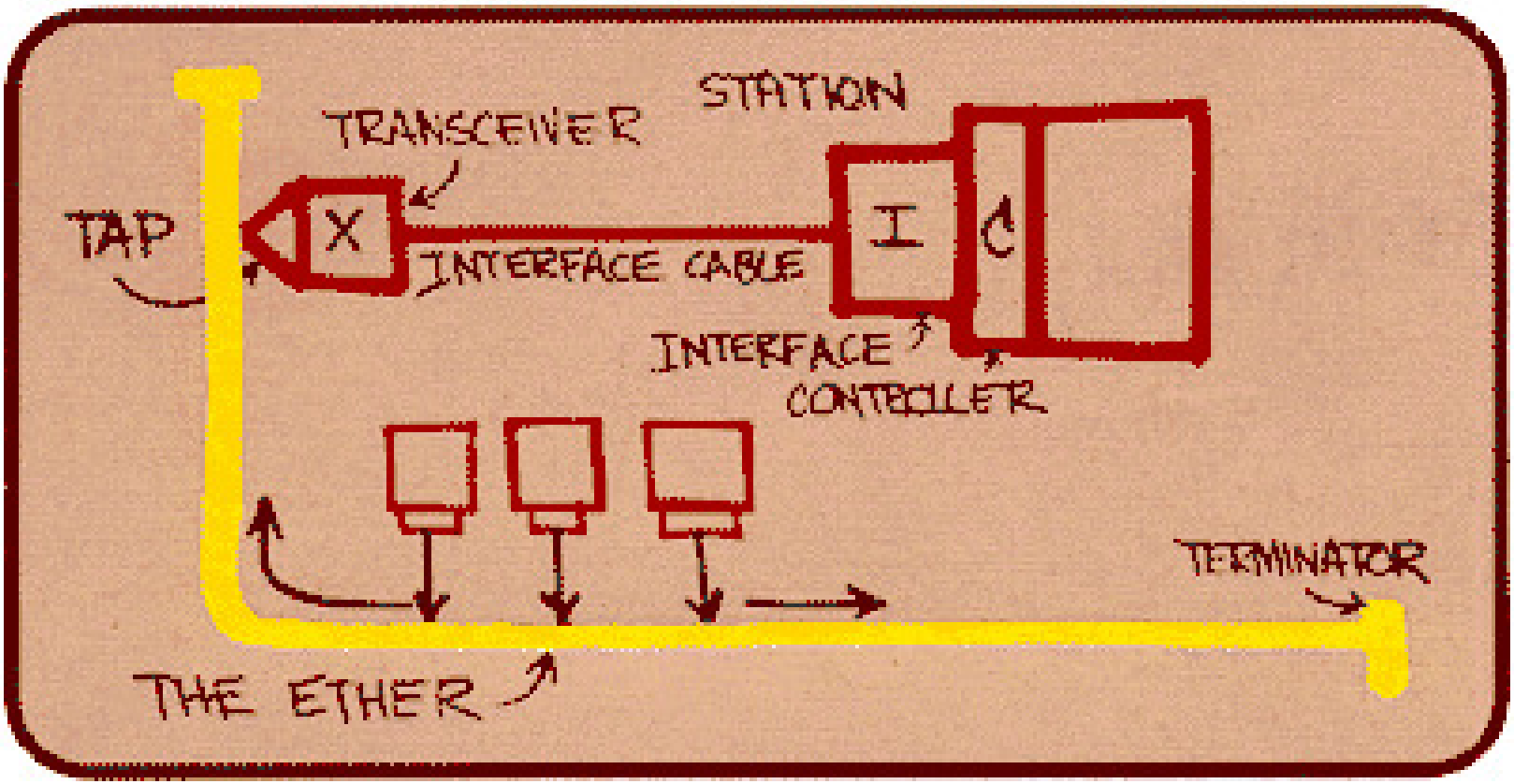
- 10BASE5 (*Yellow Cable* oder *Thick Ethernet*)



- 10 mm dicke Koaxialkabel (RG-8) mit 50 Ohm Wellenwiderstand
- Zum Anschluss von Endgeräten wird ein Loch in das Kabel gebohrt (!)
- Durch das Loch wird über eine *Vampirklemme* der *Transceiver* mit der Seele verbunden
- Das Endgerät wird über ein Transceiver Kabel (DB15) – auch AUI (Attachment Unit Interface) genannt – mit dem Transceiver verbunden

Prinzip des Ethernet von Robert Metcalfe (1976)

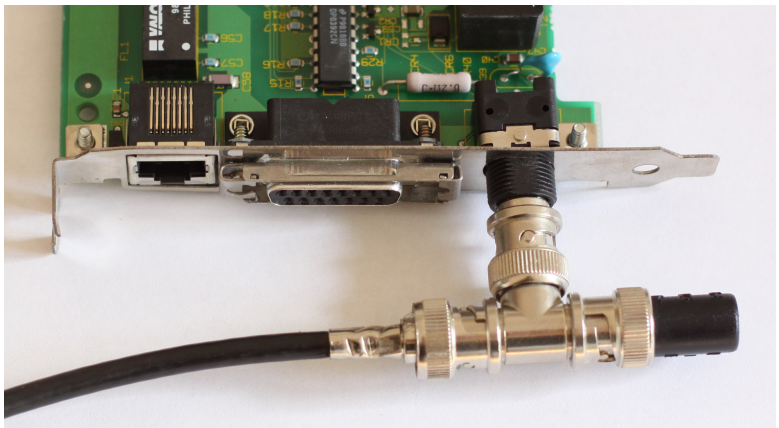
- Mit dieser Zeichnung demonstrierte Robert Metcalfe im Juni 1976 des Funktionsprinzip von Ethernet auf der National Computer Conference



Bildquelle: Robert M. Metcalfe (1976)

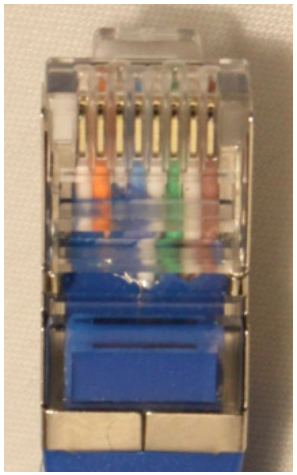
Koaxialkabel bei 10BASE2 – Thin Ethernet

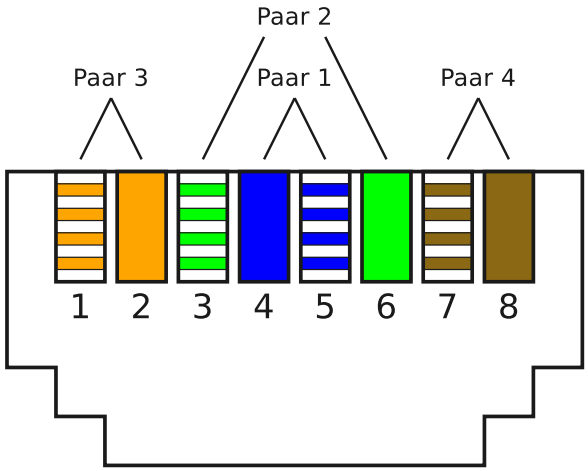
- Der Hardwareaufwand bei Thick Ethernet ist kostenintensiv
- Eine preisgünstigere Lösung ist 10BASE2 (*Thin Ethernet* bzw. *ThinWire* bzw. *Cheapernet*)
- 6 mm dicke Koaxialkabel (RG-58) mit 50 Ohm Wellenwiderstand
  - Die Kabel sind dünner und flexibler und dadurch einfacher zu verlegen
- Kabel und Geräte haben BNC-Anschlüsse (Bayonet Neill Concelman)
- Verbindungsstecker (T-Stücke) verbinden Geräte mit dem Medium
- Abschlusswiderstände (50 Ohm) verhindern Reflexionen

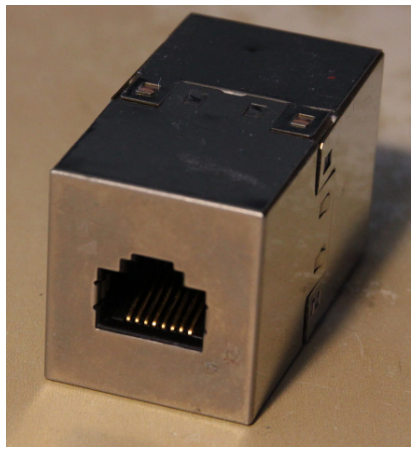


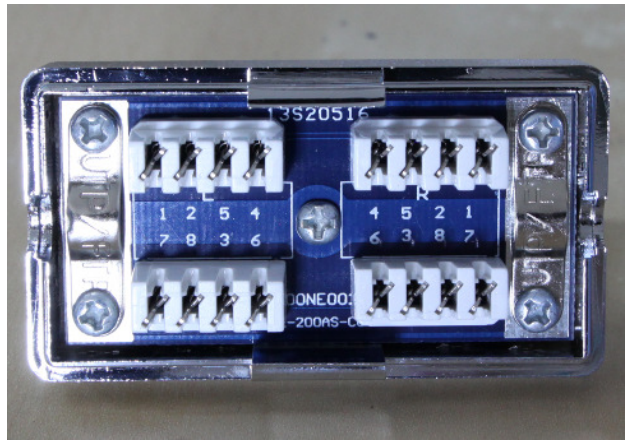
Twisted-Pair-Kabel – *verdrillte Kabel* (1/2)

- Die Adern von Twisted-Pair-Kabeln sind paarweise miteinander verdrillt
- Verdrillte Adernpaare bieten besseren Schutz gegen magnetischen Wechselfelder und elektrostatische Beeinflussungen von außen als Adern, die nur parallel geführt sind
- Alle Varianten des Ethernet-Standards, bei denen Twisted-Pair-Kabel das Übertragungsmedium sind, verwenden Stecker und Buchsen nach dem Standard 8P8C, die meist RJ45 genannt werden



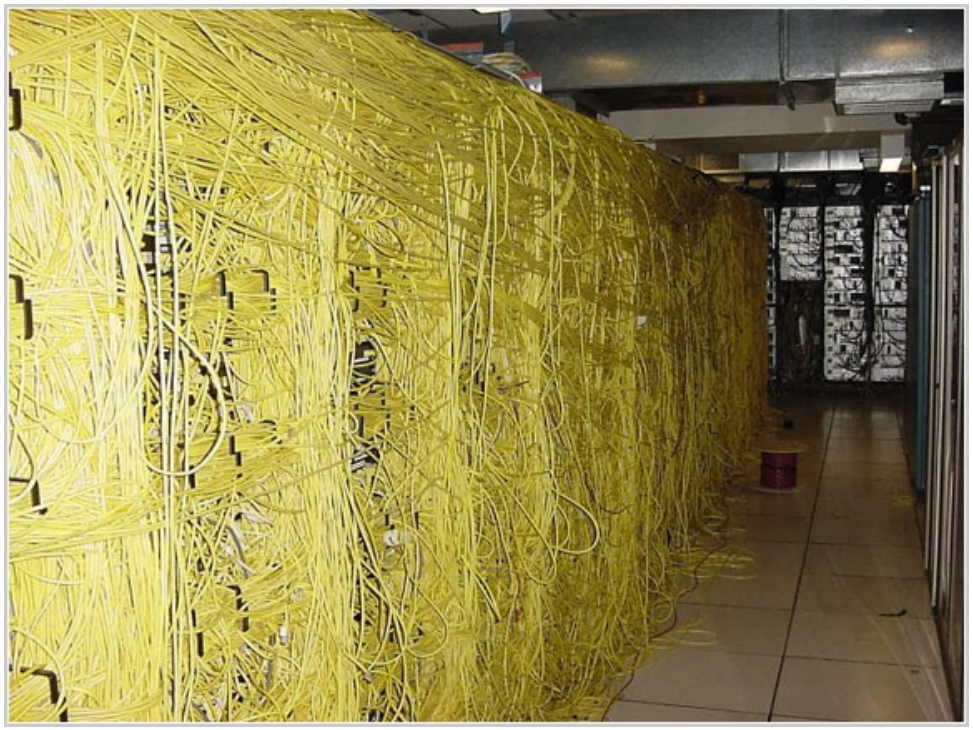






Twisted-Pair-Kabel – *verdrillte Kabel* (2/2)

- Seit den 1990er Jahren sind Twisted-Pair-Kabel, sowie RJ45-Stecker und -Buchsen **Standard für kupferbasierte IT-Vernetzung**

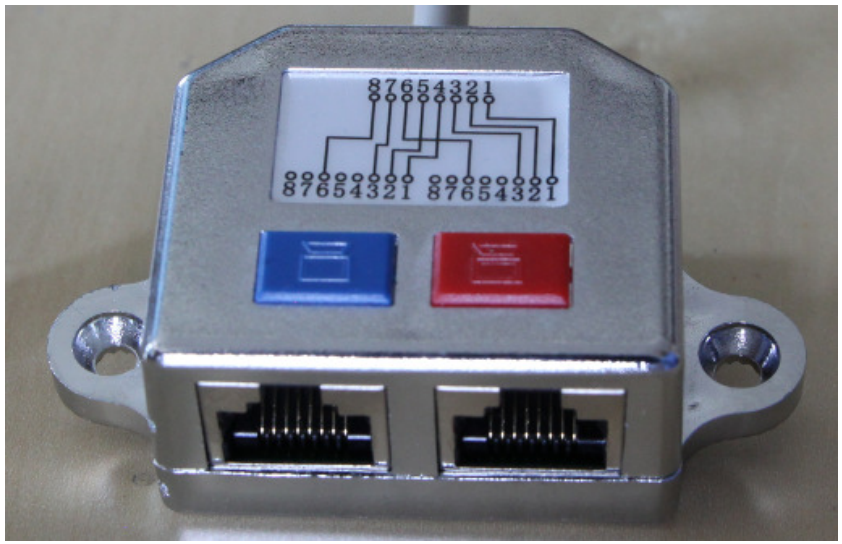


Bildquelle: `memegenerator.net`

Warum 2 Paare zum Senden und Empfangen?

Siehe „Komplementärsignal“ auf Folie 42

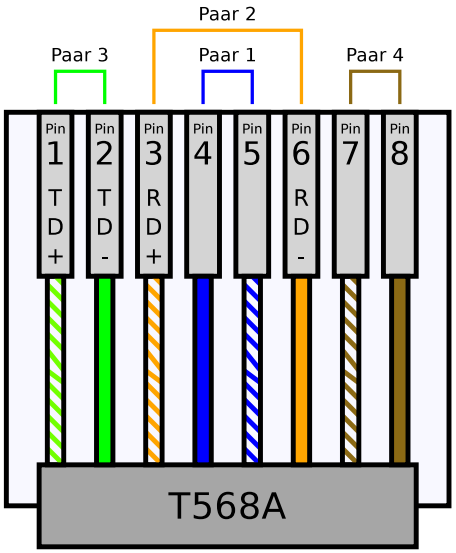
- Ethernet 10BASE-T und Fast-Ethernet 100BASE-TX verwenden nur 2 Aderpaare zum Senden und Empfangen
- Das ermöglicht **Ethernet Splitter**

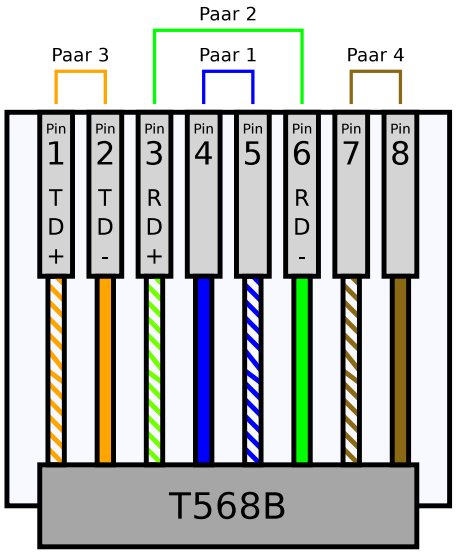


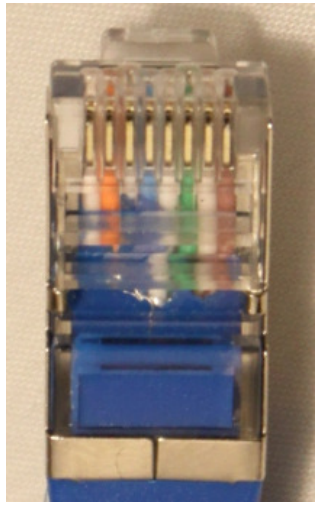
- Fast-Ethernet 100BASE-T4 und Gigabit-Ethernet 1000BASE-T verwenden alle 4 Aderpaare zum Senden und Empfangen

Pinbelegung

- T568A und T568B sind Standards für die Pinbelegung der RJ45-Stecker und -Buchsen und werden bei Ethernet 10BASE-T, Fast-Ethernet 100BASE-TX und Gigabit-Ethernet 1000BASE-T verwendet
  - Unterschied: Die Aderpaare 2 und 3 (grün und orange) sind vertauscht
  - In einem Computernetz dürfen T568A und T568B nicht gemischt werden







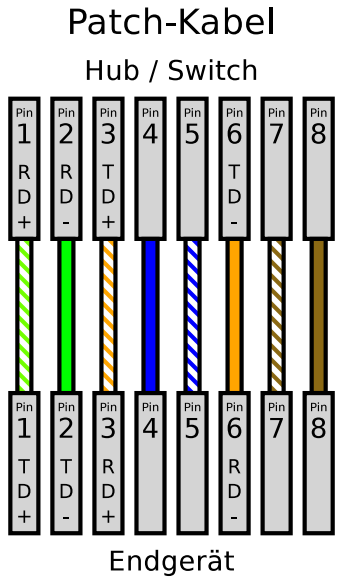
Das ist T568B

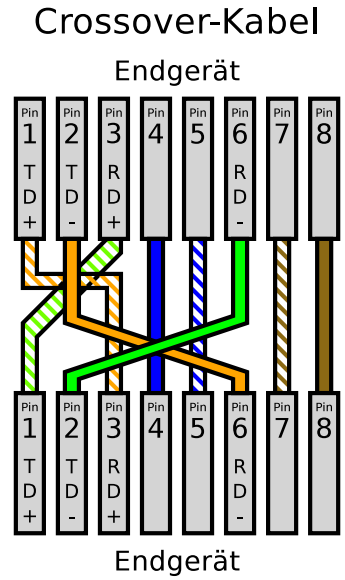
Bei 10BASE-T sind 4 PINs belegt – die übrigen Adernpaare werden nicht verwendet

- `TD+` und `TD-` (Trancieve Data) sind das Signalpaar für den Datenausgang
- `RD+` und `RD-` (Recieve Data) das Signalpaar für den Dateneingang

Crossover-Kabel und Patch-Kabel

- 2 Endgeräte direkt verbindet man via **Crossover-Kabel**
  - Es verbindet die Dateneingänge und -ausgänge von Geräten miteinander
- $>$ 2 Netzwerkgeräte vernetzt man mit **Patch-Kabeln** (1:1-Kabeln)
  - In diesem Fall benötigt man einen Hub oder Switch





- Manche Hubs und Switches haben einen **Uplink-Port** zur Verbindung mit einem weiteren Hub oder Switch
  - Der Uplink-Port ist intern gekreuzt

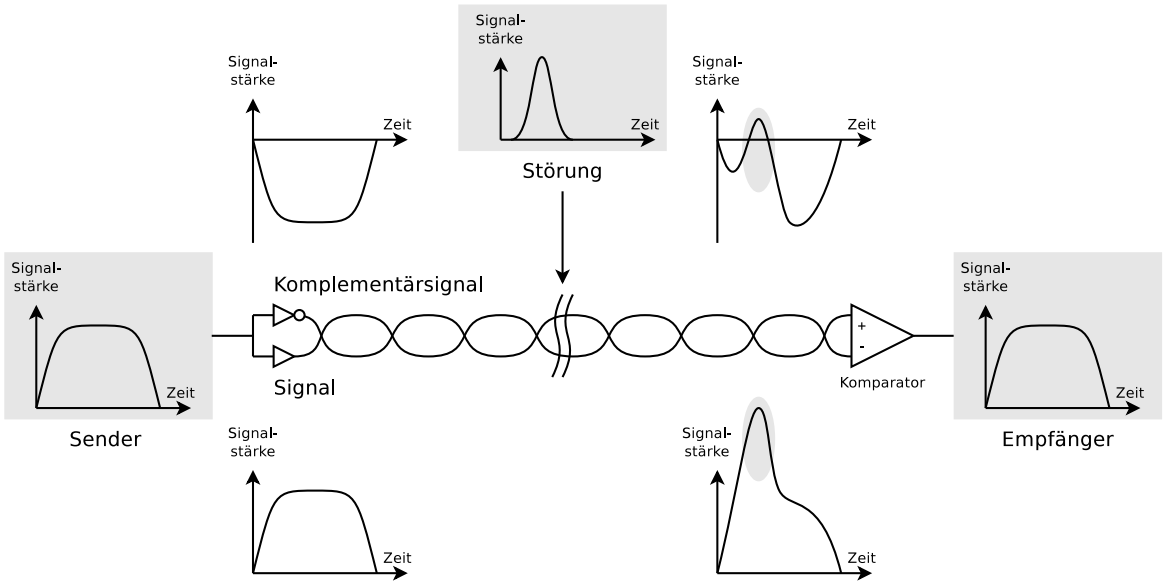
Auto-MDIX ermöglicht die beliebige Verwendung von Crossover-Kabeln und 1:1-Kabeln

- Moderne Netzwerkgeräte erkennen selbstständig die Sende- und Empfangsleitungen verbundener Netzwerkgeräte
- Alle Netzwerkgeräte, die Gigabit-Ethernet 1000BASE-T oder schneller beherrschen, unterstützen Auto-MDIX

Komplementärsignal

Quelle: Jörg Rech. Ethernet. Heise. 2008 und Wikipedia

- Über das Adernpaar wird jeweils ein Komplementärsignal gesendet (auf einer Ader 0 V bis +2,8 V und auf der anderen Ader 0 V bis -2,8 V)
  - So kann der Empfänger **Leitungsstörungen herausfiltern**
  - Zudem wird die **elektromagnetische Abstrahlung reduziert**



- Signalamplitude von Leitung A=Nutzsignal+Störsignal
- Signalamplitude von Leitung B= −Nutzsignal+Störsignal

- Differenz der Signalamplituden von Leitung A und von Leitung B beim Empfänger: [+Nutzsignal+Störsignal] − [−Nutzsignal+Störsignal] = 2∗Nutzsignal
- Ergebnis: Unabhängig von der Höhe des Störsignals bleibt die Differenz zwischen Nutzsignal und Komplementärsignal gleich

Schirmung bei unterschiedlichen Twisted-Pair-Kabeln

- Ein elektrisch leitender Schirm bietet zusätzlich Schutz gegen äußere elektromagnetische Felder

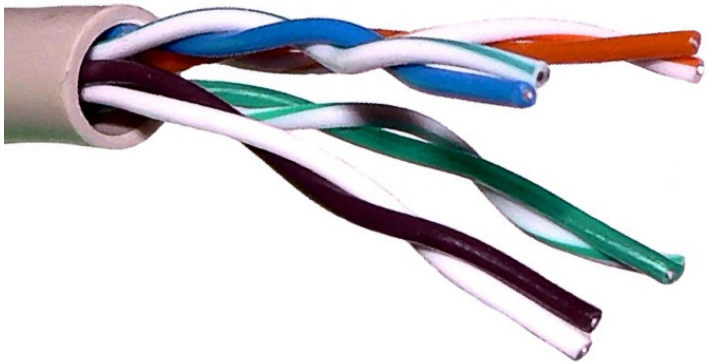
Bezeichnung	Bedeutung	Gesamtschirm	Paarschirm
UUTP	*Unshielded Twisted Pair*	keiner	keiner
UFTP	*Foiled Twisted Pair*	keiner	Folie
USTP	*Shielded Twisted Pair*	keiner	Drahtgeflecht
SUTP	*Screened Unshielded Twisted Pair*	Drahtgeflecht	keiner
SFTP	*Screened Foiled Twisted Pair*	Drahtgeflecht	Folie
SSTP	*Screened Shielded Twisted Pair*	Drahtgeflecht	Drahtgeflecht
FUTP	*Foiled Unshielded Twisted Pair*	Folie	keiner
FFTP	*Foiled Foiled Twisted Pair*	Folie	Folie
FSTP	*Foiled Shielded Twisted Pair*	Folie	Drahtgeflecht
SFUTP	*Screened Foiled Unshielded Twisted Pair*	Folie und Drahtgeflecht	keiner
SFFTP	*Screened Foiled Foiled Twisted Pair*	Folie und Drahtgeflecht	Folie

- Das Bezeichnungsschema hat die Form `XXYZZ`
  - `XX` steht für die Gesamtschirmung
    - `U` = ungeschirmt, `F` = Folie , `S` = Drahtgeflecht, `SF` = Drahtgeflecht und Folie
  - `Y` steht für die Adernpaarschirmung
    - `U` = ungeschirmt, `F` = Folie , `S` = Drahtgeflecht
  - `ZZ` steht für Twisted Pair (TP)

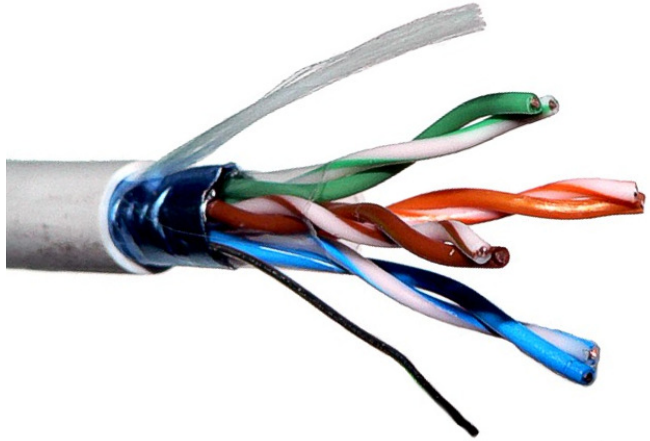
Twisted-Pair-Kabel – Beispiele

Bildquelle (Kabel): Wikipedia (CC0)

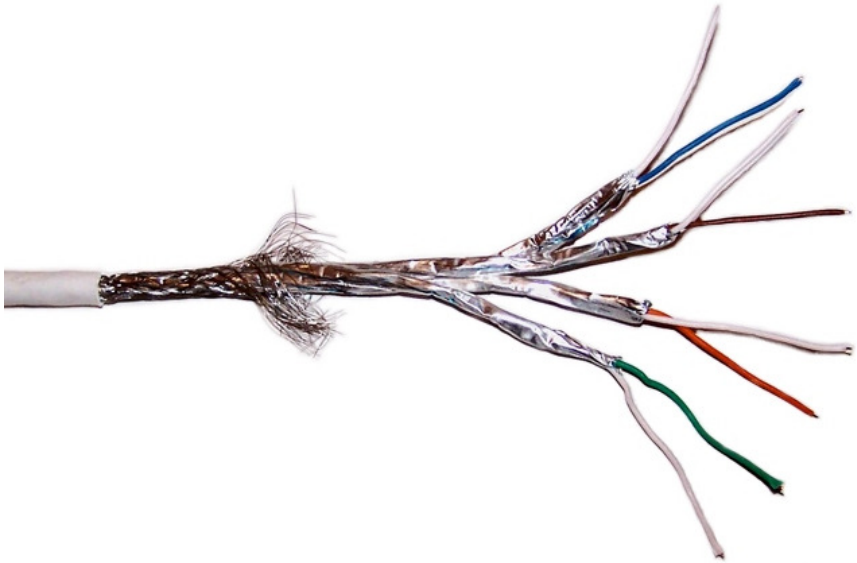
Beispiel 1: UTP



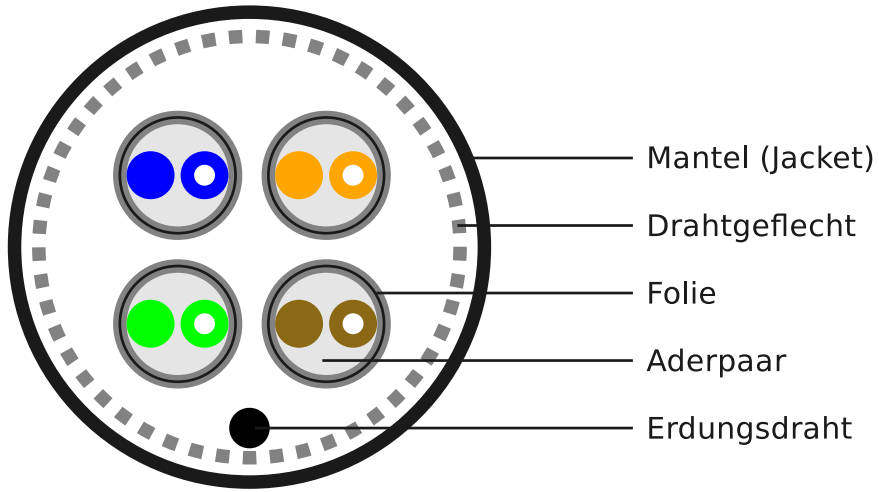
Beispiel 2: FUTP = FTP



Beispiel 3: SFTP

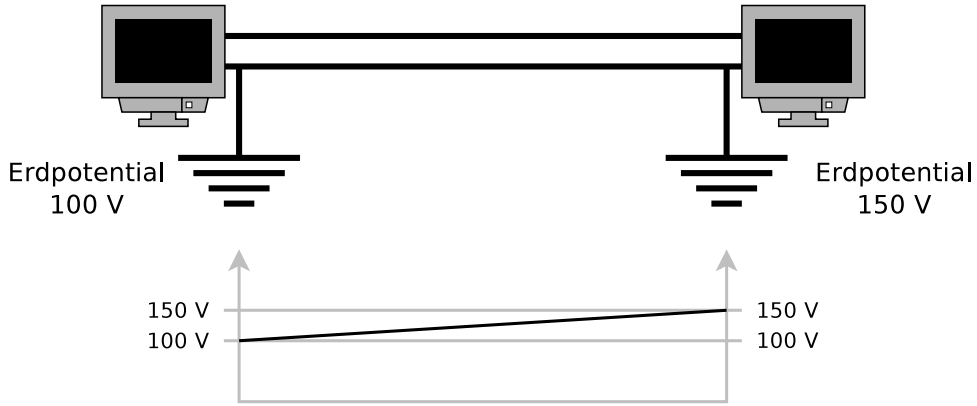


Aufbau (SFTP)



Schirm oder nicht Schirm?

- Die Schirme müssen auf beiden Seiten des Kabels geerdet sein
  - Einseitige Erdung führt zu Antennenwirkung



- Es kommt zum Ausgleichsstrom zwischen den Systemen ($I = \frac{U}{R}$)
  - Die Existenz dieses Ausgleichsstrom führt zu Störungen im Betrieb oder gar zur Zerstörung von Netzwerkgeräten
- Schirmung ist also nur dann sinnvoll, wenn beide Seiten auf dem selben Erdungspotenzial liegen und darum sollten **Kabel mit Schirmung niemals zwischen Gebäuden verlegt werden**
  - Lösungsmöglichkeiten sind das Verlegen von Lichtwellenleitern zwischen Gebäuden, Laser-Bridges oder Funknetze

Kategorien von Twisted-Pair-Kabeln (1/3)

- Es gibt TP-Kabel unterschiedlicher Leistungsfähigkeit (Kategorie)
- Die Leistungsfähigkeit einer Netzwerkverbindung wird von der Komponente mit der der geringsten Kategorie bestimmt
  - Beispiel: Cat-6-fähige Geräte sind über ein Cat-5-Kabel verbunden
    - Das reduziert die Leistungsfähigkeit der Verbindung auf Kategorie 5
- **Kategorie 1/2/3/4**
  - Kaum noch verbreitet (außer für Telefonkabel)
- **Kategorie 5/5e**
  - Cat-5e sind garantiert Gigabit-Ethernet-tauglich
    - Sie erfüllen strengere Prüfstandards als Cat-5-Kabel
  - Häufigste Verkabelung für Ethernet-Computernetze

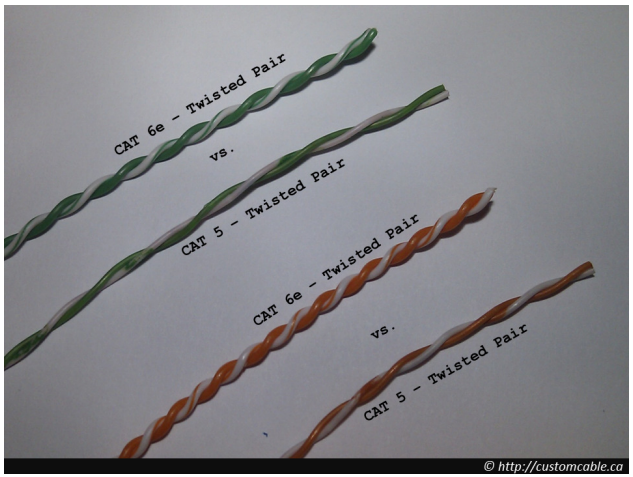
Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 5	100 MHz	100BASE-TX (100 Mbit/s, 2 Adernpaare, 100 m) 1000BASE-T (1 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)
Cat 5e	100 MHz	2.5GBASE-T (2,5 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)

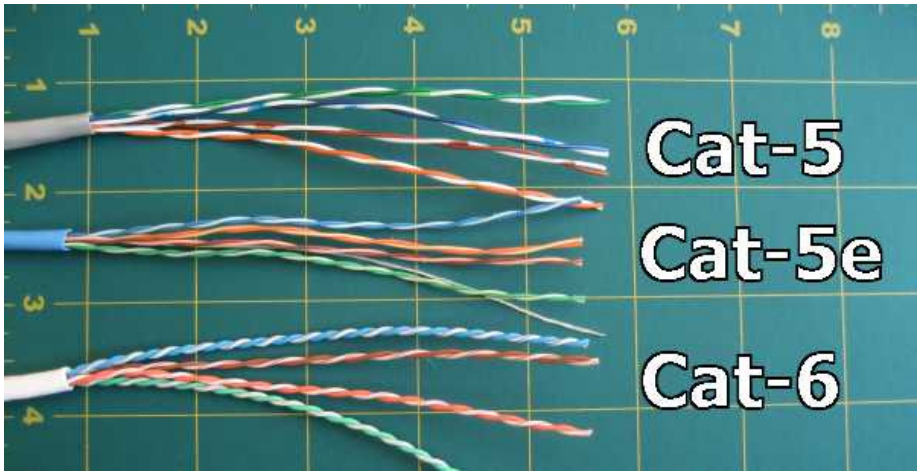
Kategorien von Twisted-Pair-Kabeln (2/3)

Bildquelle: Reddit

- **Kategorie 6/6A**

Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 6	250 MHz	5GBASE-T (5 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)
		10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 55 m)
Cat 6A	500 MHz	10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)





Hauptunterschiede (im Aufbau) zwischen den Kategorien: Anzahl der Verdrillungen pro cm des Leiters und Dicke der Hülle (Manteldicke)

- Mehr Verdrillungen pro cm $\Longrightarrow$ weniger Interferenzen
- Cat 5/5e hat 1-2 Verdrillungen pro cm. Cat 6 hat 2 oder mehr Verdrillungen pro cm
- Dicke der Hülle $\Longrightarrow$ weniger Nebensprechen bzw. Übersprechen (Crosstalk)
- Nebensprechen bzw. Übersprechen ist die gegenseitige Beeinflussung parallel verlaufender Leitungen

Kategorien von Twisted-Pair-Kabeln (3/3)

- **Kategorie 7/7A**
  - Für Kabel der Kategorien 7 und 7A waren ursprünglich andere Stecker (z.B. TERA oder alternativ GG45) und Buchsen als RJ45 vorgesehen
    - Diese Stecker konnten sich am Markt aber nicht durchsetzen
    - **Eine Verkabelung der Kategorien 7 und 7A bietet mit RJ45-Steckern keine Vorteile gegenüber Kabeln der Kategorie 6A**

Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 7	600 MHz	10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)
Cat 7A	1000 MHz	10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)

- **Kategorie 8.1**
  - Dieser Standard unterstützt Kabel bis zu einer Länge von 30 m
  - Solche Kabellängen sind in der Regel ausreichend für Rechenzentren

Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 8.1	2000 MHz	40GBASE-T (40 Gbit/s, 4 Adernpaare, 30 m)

Eigenschaften von Twisted-Pair-Kabeln (1/2)

Erkennen Sie die relevanten Informationen, die auf Twisted-Pair-Kabel aufgedruckt sind?

Beispiel: `E188601 (UL) TYPE CM 75°C LL84201 CSA TYPE CMG FT4 CAT.5E PATCH CABLE TO TIA/EIA 568A STP 26AWG STRANDED`

- **PATCH/CROSS/CROSSOVER**: siehe Folie 41
- **UTP/STP/FTP/SFTP**: siehe Folien 43-44
- **CAT5/5E/6/7/8**: siehe Folien 46-48
- **24AWG/26AWG/28AWG**: American wire gauge (AWG) informiert über die Durchmesser der Drähte
  - 24AWG = 0,51054 mm, 26AWG = 0,405 mm, 28AWG = 0,321 mm
  - Größerer Drahtdurchmesser $\Longrightarrow$ geringerer elektrischer Widerstand für die elektronischen Signale $\Longrightarrow$ geringere Signalabschwächung (Dämpfung)
    - 24AWG-Kabel haben eine geringere Dämpfung als 26AWG oder 28AWG
  - 28AWG-Kabel sind dünner als 24AWG oder 26AWG
    - Dünnere Kabel blockieren den Luftstrom in Server-Schränken weniger und vereinfachen die Installation

Eigenschaften von Twisted-Pair-Kabeln (2/2)

Erkennen Sie die relevanten Informationen, die auf Twisted-Pair-Kabel aufgedruckt sind?

Beispiel: `E188601 (UL) TYPE CM 75°C LL84201 CSA TYPE CMG FT4 CAT.5E PATCH CABLE TO TIA/EIA 568A STP 26AWG STRANDED`

- **60°C/75°C**: Temperaturinformationen beschreiben Flammtests
- **SOLID/STRANDED**
  - **Solid**-Kabel enthalten massive Kupferdrähte. Gut geeignet zur dauerhaften Infrastruktur-Installation. Geringere Dämpfung und kostengünstiger als Litzenkabel
  - **Stranded**-Kabel bestehen aus mehreren Litzen von Drähten, die umeinander gewickelt sind. Gut geeignet für Patchkabel, da sehr flexibel. Höhere Dämpfung als Massivkabel, darum eher für kürzere Entfernungen geeignet.

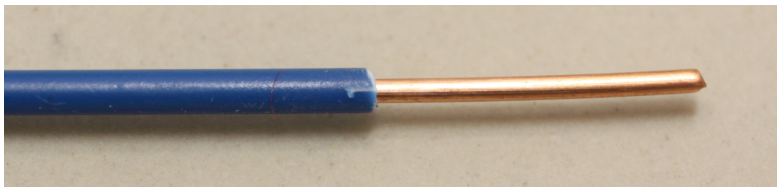
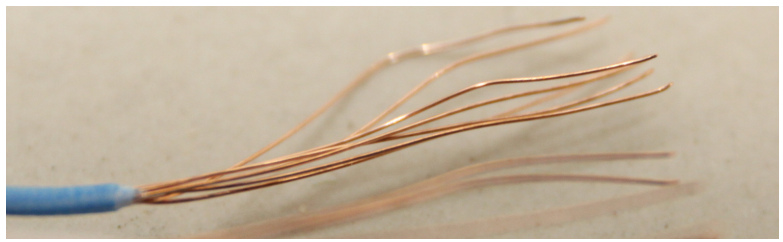


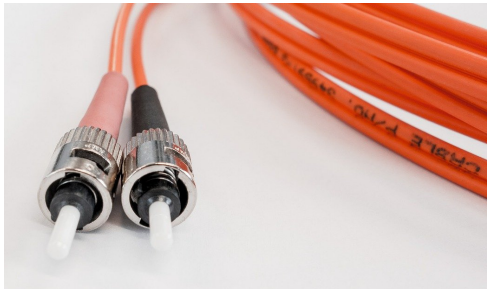
Bild (links): Solid-Kabel

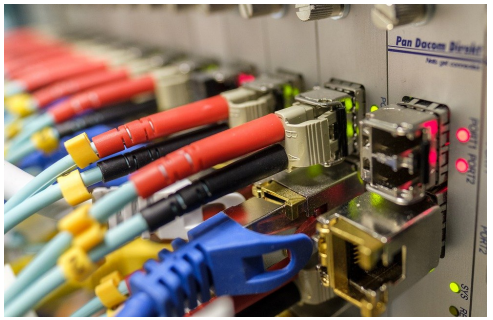
Bild (rechts): Stranded-Kabel (Litze)

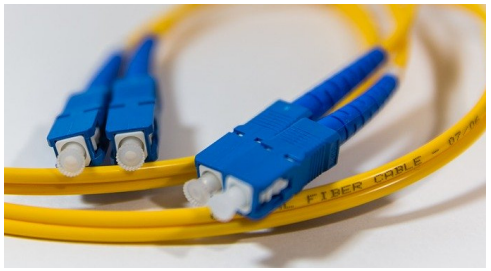


Lichtwellenleiter

Bildquelle: pixabay.com (CC0)





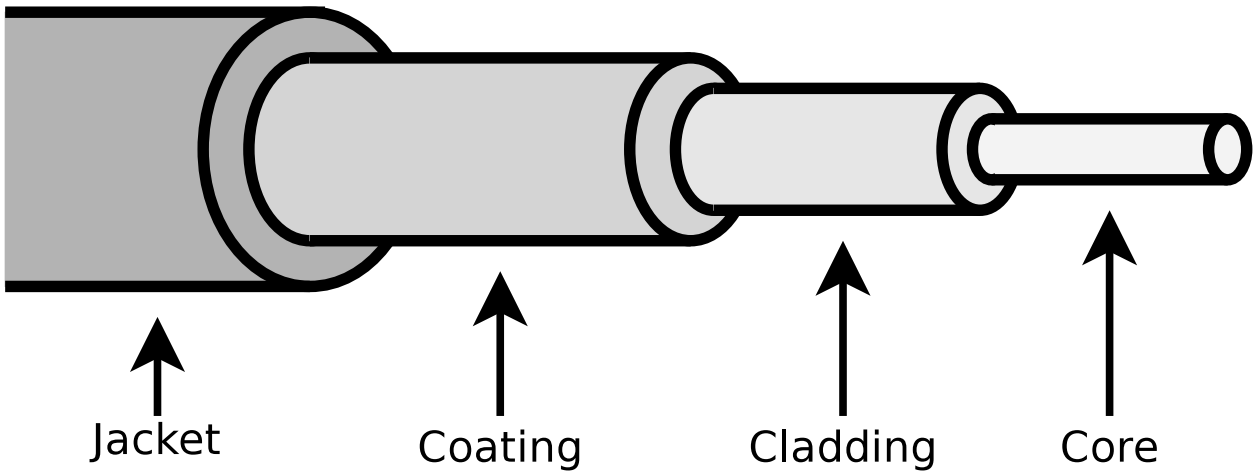


- Werden häufig auch Glasfaserkabel genannt
- Verwenden Licht als Informationsträger
  - Lichtquelle: Normale LED oder Laser-LED
  - Wellenlänge: 850, 1300 oder 1550 nm
  - Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im Glas: ca. 200.000 km/s
- Vorteile gegenüber Koaxial- und TP-Kabeln
  - Ermöglichen hohe Datenübertragungsraten über große Distanzen
  - Keine elektromagnetische Abstrahlung
  - Unempfindlich gegen elektromagnetische Einflüsse
- Nachteile:
  - Höhere Kosten für die Verkabelung und aktive Komponenten (LEDs)
  - Vorhandene TP-Kabel-Infrastruktur kann nicht verwendet werden
- Wird nur da eingesetzt, wo Kupferkabel nicht leistungsfähig genug sind

Aufbau von Lichtwellenleitern

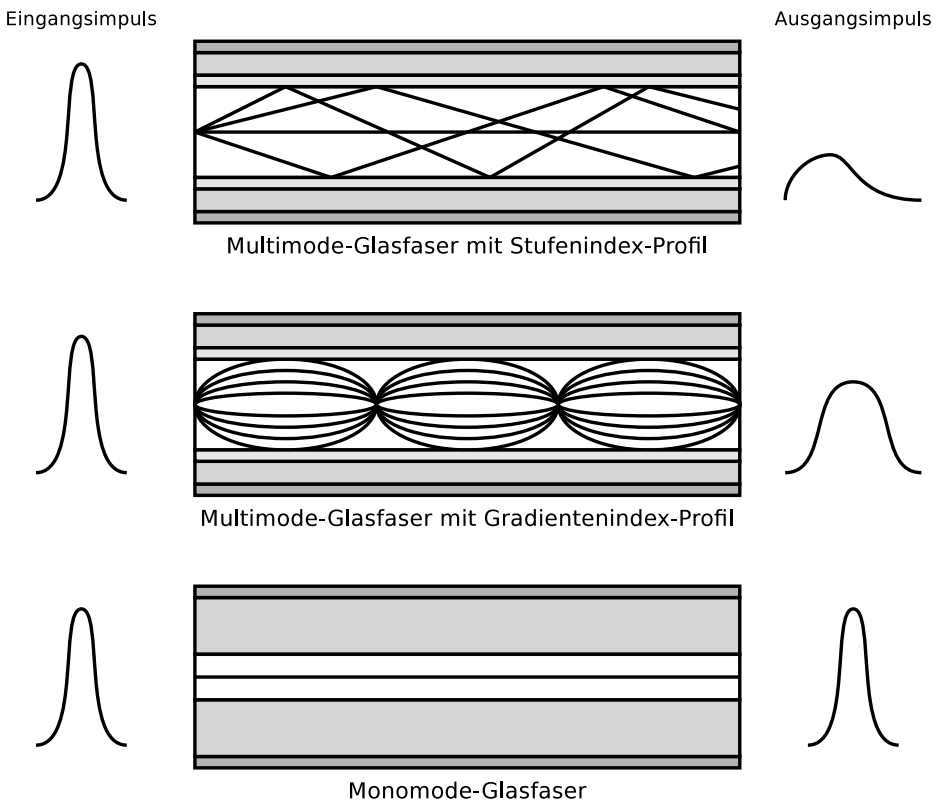
Bildquelle (Kabel): pxhere.com (CC0)

- Ein Lichtwellenleiter besteht (von innen nach außen) aus:
  1. Einem lichtübertragenden Kern (*Core*) aus Quarzglas
  2. Um den Kern befindet sich ein Mantel (*Cladding*)
     - Hat einen niedrigeren Brechungsindex als der Kern und bewirkt durch Totalreflexion an der Grenzschicht zum Kern die Führung der Strahlung
  3. Den Mantel umschließt eine Schutzbeschichtung (*Coating* oder *Buffer*)
  4. Die letzte Schicht ist die äußere Schutzhülle (*Jacket*)



Multimodefasern und Monomodefasern

- Aufbau, Abmessungen und Brechungsindex von Kern und Mantel bestimmten die Anzahl der **Moden**, die sich in den Fasern des Lichtwellenleiters ausbreiten können
  - Jeder Mode entspricht einem Weg im Lichtwellenleiter

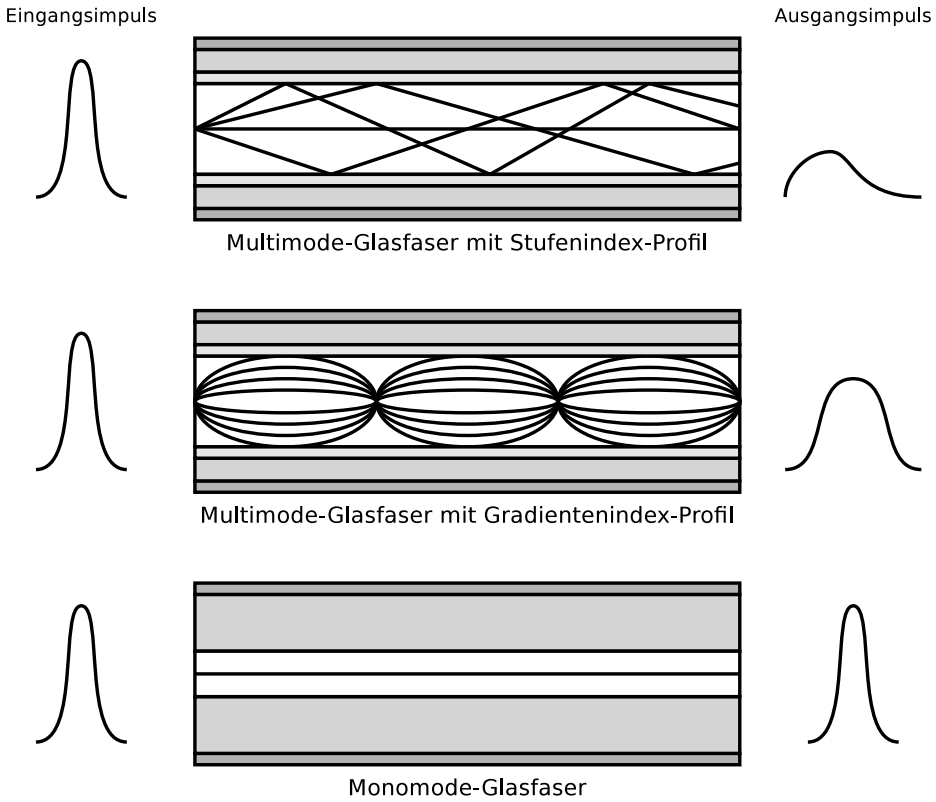


- **Multimodefasern** besitzen bis mehrere tausend Moden und **Monomodefasern** nur einen Grundmode
  - Kürzere Strecken (bis ca. 500 m) $\Longrightarrow$ Multimodefasern
  - Längere Strecken (bis ca. 70 km) $\Longrightarrow$ Monomodefasern

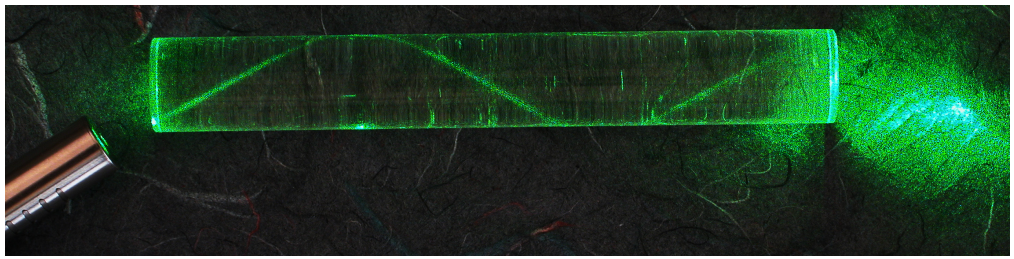
Arten von Lichtwellenleitern

Bildquelle: Timwether. Wikipedia (CC-BY-SA-3.0)

- Multimodefasern gibt es mit **Stufenindex**-Profil und mit **Gradientenindex**-Profil



- In **Stufenindex**-Lichtwellenleitern wird das Licht hart reflektiert
  - Das verschlechtert den Ausgangsimpuls
- Bei **Gradienten**-Lichtwellenleitern ist der Brechzahlenverlauf vom Kern zu den Rändern hin kontinuierlich
  - Der Ausgangsimpuls ist gut erkennbar



Die Abbildung zeigt die Reflexion des Lichts in einem Gradienten-Lichtwellenleiter