

Übertragungsmedien

ITT-Netzwerk

Sebastian Meisel

13. Februar 2023

1 Eigenschaften von Übertragungsmedium

1.1 Bandbreite

Die **Bandbreite** sagt aus, wie viele *Datenbits* über eine Netzwerkverbindung in einer Sekunde übertragen werden kann.

In Netzwerken sind Kilo- Mega- oder Gigabit pro Sekunde als Einheiten üblich.

Im wesentlichen hängt die Bandbreite von der Übertragungs-Frequenz und der Anzahl der Übertragungs-kanäle, z. B. die Anzahl der Leitungen.

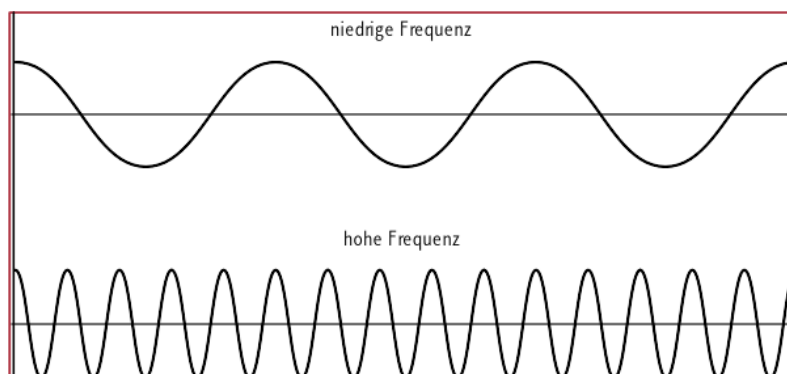
Die *maximale* **Bandbreite** hängt zudem von der *Reichweite* ab, über die die Signale übertragen werden sollen und der *Dämpfung*.

1.2 Reichweite

In den *Protokollen* zur Datenübertragung wird bestimmt, wie weit ein *Signal* in einer bestimmten *Bandbreite* verlustfrei übertragen werden kann. Während bei *kabelgebundenen* Medien vor allem die Eigenschaften des Kabels die **Reichweite** bestimmen, gibt es bei *kabellosen* Verbindungen in der Regel viele Faktoren, die die **Reichweite** beeinflussen.

Die können Hindernisse, Störfrequenzen, aber auch die Luftfeuchtigkeit sein.

1.3 Frequenz



Signale durch die sogenannte *Modulation* eines *Trägersignals* übertragen. D. h. das bestimmte Eigenschaften verändert werden. Das *Trägersignal* ist dabei entweder eine Sinuswelle oder eine Folge von Impulsen, wobei ein Strom oder Lichtsignal an und ausgeschaltet wird. Die **Frequenz** wird in (Mega-, Kilo-, Giga-)Hertz gemessen und gibt an, wie oft die Welle in einer Sekunde hin und her schwingt, bzw. wie viele Ein-/Ausschaltvorgänge in einer Sekunde geschehen.

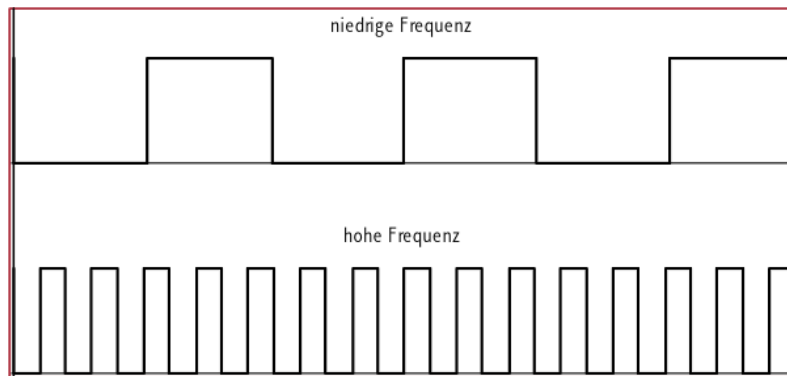
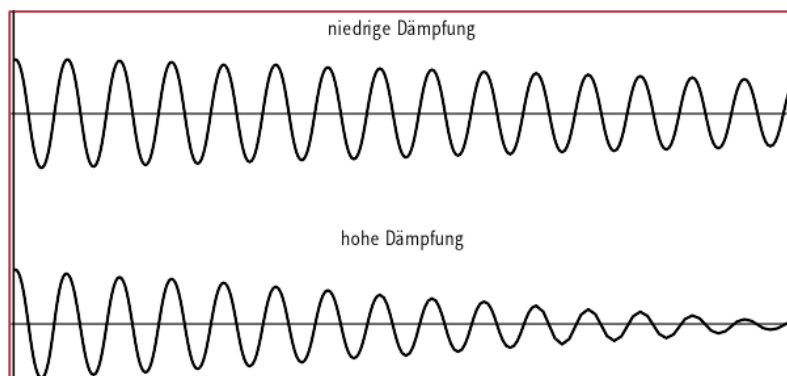


Abbildung 1: Digitales Signal

Je höher die **Frequenz** desto mehr Schwingungen. Die Bandbreite hängt dann davon ab, wie hoch die Frequenz ist, und wie viele Schwingungen für die Übertragung eines *Bits* notwendig sind.

1.4 Dämpfung



Das Trägersignal hat neben der *Frequenz* auch eine *Signalstärke*. Mit der Zeit / Distanz nimmt die *Signalstärke* ab, weil Energie „verloren“ geht. Irgendwann ist sie so schwach, dass die Signale nicht mehr (verlässlich) erkannt werden können.

Energie kann niemals wirklich verloren gehen, sie wird aber zum Beispiel in Wärme umgewandelt. Wie schnell die *Signalstärke* abnimmt wird mit der Dämpfung angegeben. Je höher die Dämpfung desto kurzer die *Reichweite*.

Die Dämpfung wird in *Dezibel (Db)* angegeben. Diese Skala ist nicht linear sondern logarithmisch, d. h. dass anfangs kleine Erhöhungen der Dezibel sich relativ stark auswirken, dann aber immer weniger.

Bei etwa 6 Db hat sich die Ausgangsleistung gegenüber der Eingangsleistung halbiert. Bei 20 Db sind doch etwa 10 % Leistung vom Ausgangssignal übrig.

1.5 Duplexfähigkeit

Eine wichtige Eigenschaft ist auch die Frage in welche Richtung Daten übertragen werden können. Man unterscheidet dabei zwischen:

- **Simplex (SX)** oder Richtungsbetrieb, wobei Daten nur in eine Richtung übertragen werden können. Dies gibt es in der Netzwerktechnik nur in Form von:
- **Dual-Simplex (DSX)** wobei zwei getrennte Leitungen für das Senden und Empfangen von Daten genutzt werden.
- **Halbduplex (HX/HDX)** oder Wechselbetrieb: Daten werden abwechselnd gesendet und empfangen.
- **Vollduplex (DX/FDX)** oder Gegenbetrieb: Daten werden gleichzeitig in beide Richtungen übertragen.

1.6 Störsicherheit

Bei der *Signalübertragung* gibt es verschiedene Signale, die zu **Störungen** führen können. So können sich elektromagnetischen Felder überlagern, Signale können reflektiert werden, Hindernisse können Funksignal stören, etc.

Die **Störsicherheit** beschreibt, wie gut eine *Medium* gegen solche Störungen *abgeschirmt* ist.

2 Kabelgebundene Medien

- Vorteile (gegenüber kabellosen):
 - Bessere Abhörsicherheit.
 - Geringerer Energieverbrauch.
 - Höhere Störsicherheit.

2.1 Kupferkabel

Kupfer ist das am häufigsten genutzte Übertragungsmedium. Kupfer ist hochverfügbar, ist ein guter Leiter und vergleichsweise flexibel.

Es gibt verschiedene Verarbeitungen des Materials als Kabel.

Bei Kupferkabeln spielen noch zwei Eigenschaften eine Rolle:

- **LSZH** (Low smoke zero halogen) oder **LSOH** sind halogenfreie Kabel, die bei einem Kabel oder Gebäudebrand weniger giftigen Rauch und vor allem eben kein Halogene abgeben, dass besonders gesundheits- und umweltschädlich ist.
- **CCA** (Copper Clad Aluminium) statt 100% Kupferkabel sind eigentlich Aluminiumkabel, die nur mit Kupfer umhüllt sind. Sie nutzen die Tatsache aus, dass Elektronen sich in Kabeln hauptsächlich an der Oberfläche bewegen. Sie sind billiger, aber

- weniger flexibel.
- brechen leichter.
- haben eine höhere Dämpfung.

2.1.1 Koaxial

Koax

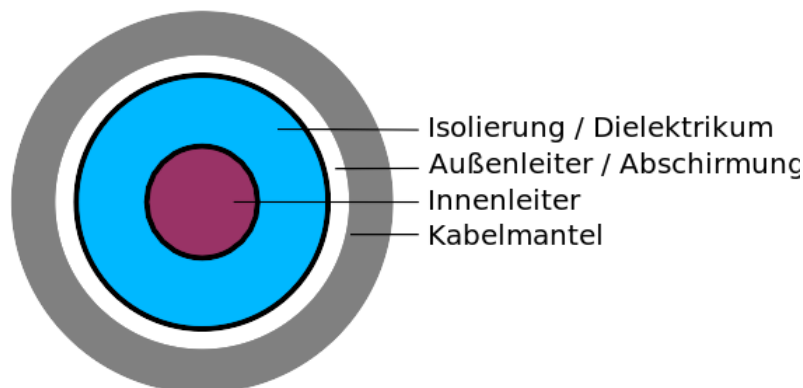


Abbildung 2: Koaxialkabel

Während Koaxialkabel anfangs das meist genutzte *Übertragsmedium* waren, werden sie heute kaum noch genutzt.

Ein zentrales Kupferkabel ist umgeben von einem Isolator, der von einem *Flechtschirm* umgeben ist. Ohne diesen wäre das Kabel eine Antenne, was zu elektromagnetischen Störungen führen würde. Ganz außen wird es noch mit einem Gummi-, Kunststoff oder Teflon-Mantel geschützt.

- Vorteile:
 - Günstig.
 - Leicht.
 - Biegsam.
- Nachteile
 - Nur ein Kabel: Begrenzte Bandbreite.
- **Thicknet** (IEEE 802.3 Clause 8), auch **Yellow Cable**:
 - 10 Mbit/s über 500m.
 - Halbduplex.
 - Vollduplex.
 - Sehr störsicher.
 - geringe Dämpfung.

- **Thinnet** (IEEE 802.3 Clause 10):
 - Reichweite 185m
 - 0,5 cm Durchmesser,
 - Anbindung an Computer über T-Stück.

2.1.2 Twisted Pair

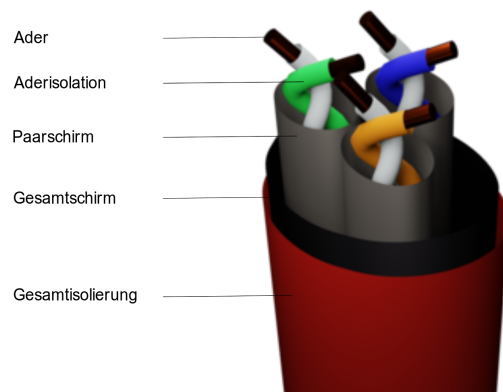


Abbildung 3: S-FTP Twisted-Pair-Kabel

Twisted-Pair-Kabel sind die am häufigsten eingesetzten Kabel in der Netzwerktechnik. Die allgemein bekannten Cat-Kabel mit RJ45-Stecker setzen alle auf diese Technik.

Um höhere **Bandbreiten** zu erreichen, drängt sich der Gedanke auf, mehrere Kabel zu verwenden. Allerdings würden sich mehrere *Koaxialkabel* als Adern im selben Kabel verlegt werden gegenseitig stören.

Verdrillt man aber *zwei Adern* miteinander werden diese *Störungen* stark minimiert.

Zwar erreicht man nicht dieselbe *Reichweite*, wie bei *Koaxialkabeln* – die Reichweite von **Twisted-Pair-Kabeln** liegt bei maximal 100 m, gegenüber bis zu 500 m bei *Koaxialkabeln* - dafür erreicht man aber eben deutlich höhere Übertragungsraten.

Allerdings nehmen die *Störungen* mit höheren *Frequenzen* zu, sodass zusätzliche Maßnahmen nötig sind, um eine ausreichende *Reichweite* zu gewährleisten.

In der Regel werden 4 *Adernpaare* verlegt.

UTP: Unshielded Twisted Pair Einfachste Form eines **Twisted-Pair-Kabels**.

STP Shielded Twisted Pair Gegenüber dem *UTP-Kabel* hat das **STP-Kabel** um jedes *Adernpaar* einen Folienschirm, der verhindert, dass sich die *Adernpaare* gegenseitig stören.

SUTP Screened-Unshielded Twisted Pair Gegenüber dem *UTP-Kabel* verfügt das **S/UTP-Kabel** über einer Abschirmung um das gesamte Kabel, sodass weniger abstrahlt und vor *Störungen* von außen gesichert ist.

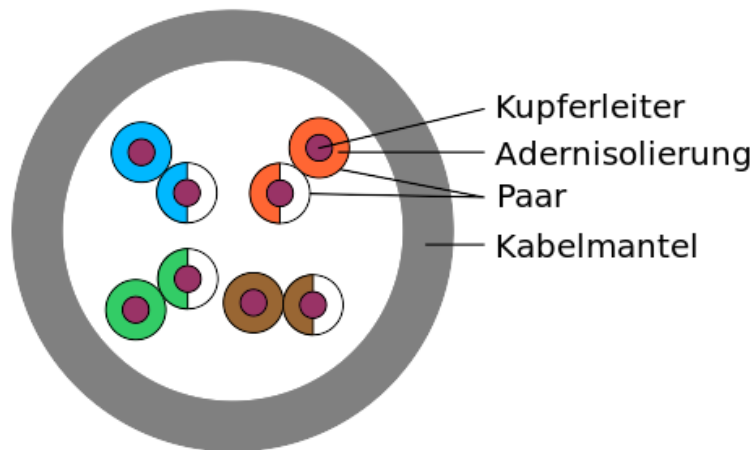
UTP

Abbildung 4: UTP-Kabel

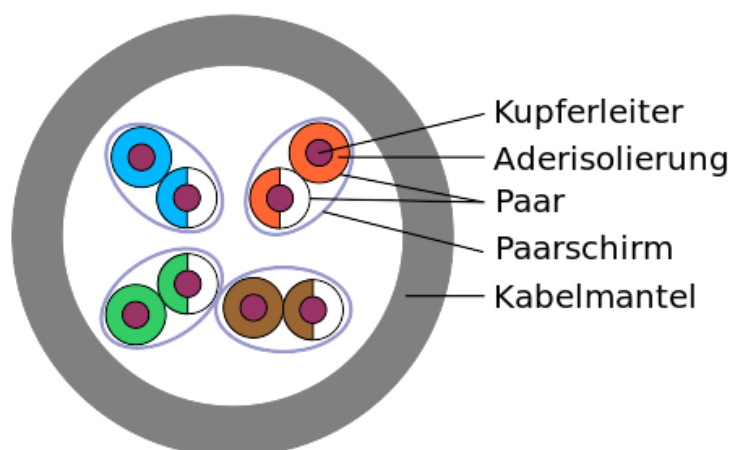
STP

Abbildung 5: STP-Kabel

S/UTP

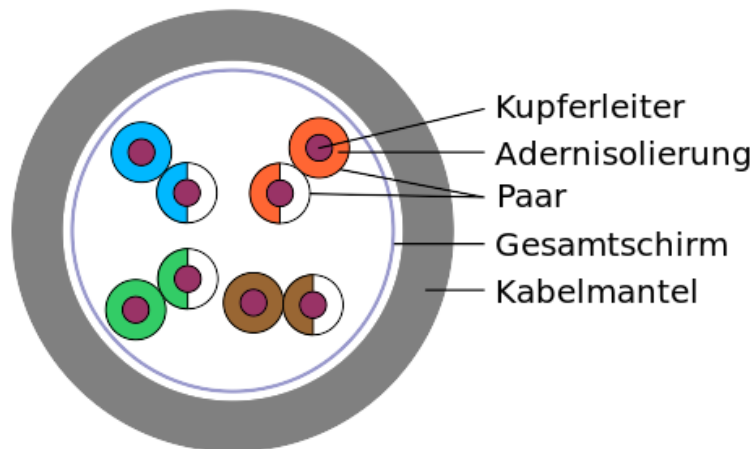


Abbildung 6: S/UTP-Kabel

Dieser Außenschirm ist wie beim *Koaxialkabel* in der Regel ein Metallnetz.

S/FTP

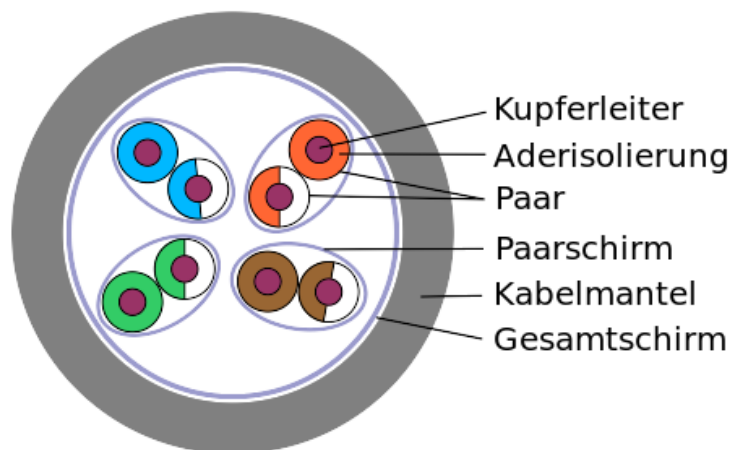


Abbildung 7: S/FTP-Kabel

S/FTP Screened-Foiled Twisted Pair Das **S/FTP**-Kabel verbindet die Eigenschaften von **STP**- und **S/UTP**-Kabel, verfügt also über einen Adern- und einem Gesamtschirm.

Dadurch sind **höhere Frequenzen** und damit eine **höhere Bandbreite möglich**, die zusätzlichen Schilde mache das Kabel aber auch steifer, sodass es sich nicht so leicht verlegen lässt.

2.1.3 CAT Kabel mit RJ45-Stecker

Zur Zeit sind CAT-Kabel mit dem RJ45-Stecker die wichtigsten Kabel im Netzwerkbereich, weshalb wir sie gesondert betrachten.

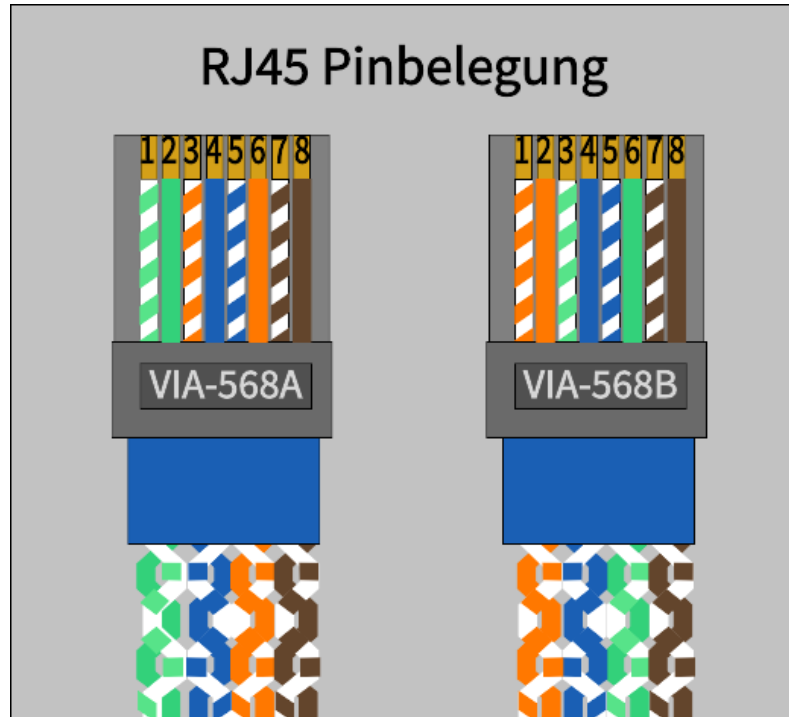


Abbildung 8: Pinbelegung auf RJ45-Steckern

2.2 Glasfaser

In **Glasfaser**-Kabeln werden Signale mit Lasern oder LED-Licht im inneren einer sehr dünnen **Glas**-, seltener einer **Kunststoff**-Röhre.

- Vorteile:
- hohe Bandbreite.
- sehr hohe Störsicherheit (keine elektromagnetische Beeinflussung).
- hohe Abhörsicherheit.
- Geringer Energieverbrauch.
- Hohe Reichweite (abhängig von der Kabelart).
- Nachteile:
- teure Anschaffung.
- nicht sehr flexibel, zerbrechlich (außer Kunststoffkabel).
- In der Regel nur *dual-simplex*-fähig.

2.2.1 Multimode

Multimode-Glasfasern übertragen gleichzeitig mehrere Signale (**Moden**). Dies klingt nach einem Vorteil, allerdings sind dies die (vergleichsweise) billigeren Kabel. In einem Kern mit einem vergleichsweise großen *Kern* von **50 µm** werden die Laser in einem Winkel eingestrahlt und reflektiert.



Abbildung 9: Multimode Glasfaser mit Stufenindex

mit Stufenindex In **Multimode**-Glasfasern mit **Stufenindex** werden die Lichtstrahlen hart am Kernrand reflektiert. Das führt dazu, dass die Signale verschiedene Laufzeiten haben.

- Vorteil:
 - Günstige Herstellung.
- Nachteile (Im Vergleich zu anderen Glasfasern):
 - geringe Bandbreite.
 - mittlere Dämpfung.
 - geringe Reichweite.

Die *Bandbreite* ist immer noch höher als bei Kupferkabeln.



Abbildung 10: Multimode Glasfaser mit Gradientindex

mit Gradientindex Die Wand des Kerns ist speziell gearbeitet, sodass das Licht weich in einer Kurve (**Gradient**) reflektiert wird, sodass alle Signale (fast) die selbe Laufzeit haben.

- Vorteil (gegenüber Stufenindex):
 - hohe Bandbreite.
 - geringe Dämpfung.
 - kaum *Modendispersion* = Signale haben fast gleiche Laufzeit.



Abbildung 11: Single Mode Glasfaser

2.2.2 Single Mode

Bei der **Mono-** oder **Single-Mode**-Glasfaser wird ein Laser parallel zum Kern eingespeist. Der Kern hat einen sehr kleinen Durchmesser von **9 μm** . Das Kabel muss absolut gerade verlegt werden, sodass es im Kern nicht zu Reflexionen kommt.

- Vorteile:
 - sehr hohe Bandbreite.
 - fast keine Dämpfung.
 - sehr hohe Reichweite.
- Nachteile:
 - sehr teuer in Herstellung.
 - aufwendige Verlegung.

Diese Technik wird vor allem im **Backbone** des Internets also die zentralen Langstreckenverbindungen genutzt.

3 Kabellose Medien

Vorteile:

- Keine Baumaßnahmen notwendig.
- Überall einsetzbar.
- Kostengünstig.

Nachteile:

- Störanfällig.
- Leichter abhörbar.
- Höher Energieverbrauch.

3.0.1 Funk

Übertragung von Signalen durch nicht gerichtete elektromagnetische Wellen. Dies breiten sich von der Sendeantennen in alle Richtungen kreisförmig aus.

- Vorteil:
 - empfangende Geräte können sich frei im Empfangsbereich bewegen.
- Nachteile:
 - Hohe Störanfälligkeit.
 - Besonders leicht abhörbar.
 - Hoher Energieverbrauch.

WLAN **WLAN** ist eine Umsetzung des Ethernetprotokolls über ungerichtete Funkverbindungen. Es ist in der *IEEE 802.11* normiert, zu der es diverse Erweiterungen gibt. Die neueste Version *WiFi 6/6E* (IEEE 802.11ax) könnte bis zu ca. 9 Gbs übertragen. In der Praxis sind maximale Geschwindigkeiten bis ca. 1.2 Gbs realistischer.

WLAN-Generation	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6 / 6E
IEEE-Standard	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ax
Maximale Übertragungsrate ¹	600 MBit/s	6.936 MBit/s	9.608 MBit/s
Theoretische Übertragungsrate ²	300 MBit/s	867 MBit/s	1.200 MBit/s
Maximale Reichweite	100 m	50 m	50 m
Frequenzbereich	2,4 + 5 GHz	nur für 5 GHz	2,4 + 5 GHz + 6 GHz
Maximale Sende/Empfangseinheiten	4 x 4	8 x 8	8 x 8
Antennentechnik	MIMO	(MU-MIMO)	MU-MIMO
Maximale Kanalbreite	40 MHz	160 MHz	160 MHz
Modulationsverfahren	64QAM	256QAM	1024QAM

Mobile Netze

- (Erste Generation)
 - Advanced Mobile Phone Service (AMPS)
- Zweite Generation (2G):
 - Global System for Mobile 13 Kbs

¹Die angegebene maximal Übertragungsrate entspricht dem rechnerischen Maximum der theoretischen Übertragungsrate unter Einbeziehung aller Leistungsmerkmale, die im jeweiligen Standard vorgesehen sind. In der praktischen Implementierung gibt es allerdings Einschränkungen, wegen denen diese Übertragungsrate nicht realisierbar ist. Zum Vergleich der WLAN-Standards eignet sich deshalb eine theoretische Übertragungsrate besser, die näher an der WLAN-Ausstattung in der Praxis ist.

²Die angegebene theoretische Übertragungsrate entspricht der Übertragungsrate, die in der Regel mit kaufbaren Geräten möglich ist. Berücksichtigt sind dabei zwei Antennen und eine Kanalbreite von 80 MHz im Frequenzbereich von 5 GHz. Je nach Ausstattung kann der Wert dieser theoretischen Übertragungsrate auch darüber oder darunter liegen.

- * GPRS (G): 53,2 Kbs
- * EDGE (E): 256 Kbs
- Dritte Generation (2G)
 - Universal Mobile Telecommunications System (UMTS): 384 Kbs
 - * HSDPA (H/3,5G/3G+): 7,2 Mbs
 - * HSDPA+ (H+): 42 Mbs
- Vierte Generation (4G)
 - Long Term Evolution (LTE): 500 Mbs
 - LTE-A (LTE+, 4G+): 1 Gbs
- 5G: bis 10 Gbs

Die sogenannten Generationen fassen jeweils verschiedene –zum Teil konkurrierende oder nur lokal genutzte – Standards zusammen.

Zu vielen Standards gibt es zudem Weiterentwicklungen und Erweiterungen. So basieren *GPRS* und *EDGE* auf *GSM*.

5G widerum baut auf *LTE* auf.

Weitere Beispiele:

- Bluetooth.

Bluetooth dient zur Herstellung von *Ad-hoc*-Netzwerken zwischen Geräten über kurze Distanzen.

Version	Leistung	Datenrate	Reichweite (Innen/Außen)
1 / 1.2	1 mW	732,2 Kbs / 1 Mbs	1 / 10 m
2	1 mW	2,1 Mbs	1 / 10 m
3	2,5 mW	24 Mbs	10 / 50 m
4 / 4.2	2,5 mW	25 / 26 Mbs	10 / 50 m
5	100 mW	50 Mbs	40 / 200 m

Seit Version 4 gibt es eine Low-Energy-Spezifikation.

- Near Field Communications (NFC)

NFC dient zum Auslesen von *RFID* Chips. Diese werden über das Funksignal auf sehr kurze Distanz sowohl mit Energie versorgt, als auch Ausgelesen. Außerdem können damit Daten zwischen zwei Geräten ausgetauscht werden.

Ein *RFID-Chip* besteht aus einer Antenne/Induktionsspule und einem kleinen Chip.

- ZigBee.

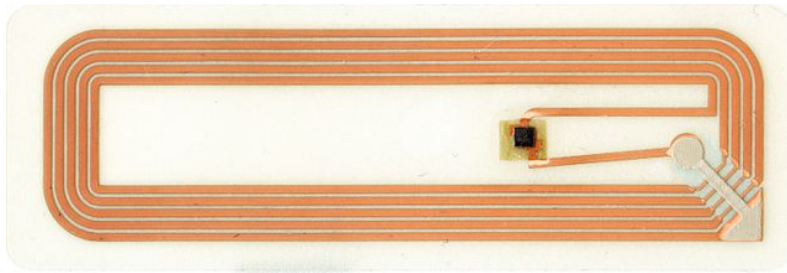


Abbildung 12: RFID . von Kalinko, CC BY-SA 3.0

- Matter

ZigBee und **Matter** sind Beispiele für Netzwerkstandards, die vor allem für die Vernetzung von *Internet of Things (IoT)*-Hardware. Sie werden hauptsächlich in der *Home Automation*, also zur Vernetzung und Steuerung von Geräten, wie Smart-Steckdosen, ~Lichtern, ~Thermostaten, etc. genutzt. Sie sind wie Bluetooth auf kurze Entfernungen ausgelegt, verbrauchen aber weniger Energie.

Matter soll dabei als gemeinsamer Standard die Geräte vieler verschiedener Hersteller verknüpfen, die bisher auf eigene Netzwerkstandard setzen.

- LoRaWAN.

Low Range Wide Area Network (LoRaWAN) ist ein Netzwerkstandards, der es vor allem Sensortechnik erlauben soll Daten mit geringer Bandbreite (**0,3 – 50 Kbs**) über große Entfernungen (**> 10km**) auszutauschen.

3.0.2 Richtfunk

Übertragung von Signalen durch gerichtete elektromagnetische Wellen. Diese werden durch spezielle *Richtantennen* auf ein ausgewähltes Ziel ausgerichtet.

- Vorteile (gegenüber ungerichtetem Funk):
 - Hohe Bandbreite.
 - Große Reichweite.
 - Abhör- und störsicherer.

Richtfunk wird vor allem in den Weitverkehrsnetzen der Telekommunikationsanbieter genutzt, aber auch zur Anbindung in schwer zugänglichen Gebieten.

3.0.3 Satellitenkommunikation

Herstellung einer bidirektionalen Telekommunikation zwischen zwei Bodenstationen.

- Vorteil:
 - Theoretische überall nutzbar.
 - Hohe Bandbreite.

- Relativ hohe Abhör- und Störsicherheit.
- Theoretisch unbegrenzte Reichweite.
- Nachteile:
 - Direkte Verbindung zum Satelliten muss aufrecht erhalten werden:
 - * geostationäre oder sehr viele Satelliten notwendig.
 - Hohe Kosten bei der Herstellung und Positionierung der Satelliten.

3.0.4 Infrarot

Es gibt im verschiedene Ansätze die mit Infrarotsignalen Daten übertragen:

- **IrDA:** Datenaustausch zwischen Geräten auf kurzer Distanz.
 - Vorteile:
 - * vergleichsweise große Bandbreite.
 - * Hohe Stör- und Abhörsicherheit.
 - Nachteile:
 - * Sichtverbindung notwendig.
- **Optische Freiraumkommunikation (FSO):** Datenübertragung per (Infrarot-)Laser.
 - Vorteile:
 - * Sehr hohe Bandbreite.
 - * Reichweite bis zu einigen Kilometern.
 - Nachteile:
 - * Sichtverbindung notwendig.
 - * Störanfällig vor allem durch Streuung (Nebel).