

# OSI Physical Layer: Ethernet-Verkabelung

Bei der Besichtigung der *Netzwerkverteiler* der CarPAG fallen sofort die unzähligen dicken und dünnen Kabel in ihren verschiedenen Farben ins Auge. Ihr Ausbilder verrät Ihnen, dass da ein System dahinter steckt: Manche der Farben wurden von der Netzwerkabteilung der CarPAG gewählt, um in dem Kabelgewirr noch durchzublicken, andere Farben sind aber durch Normen vorgegeben.

Um für Ihre zukünftige Arbeiten an den Netzwerkverteilern der CarPAG fit zu werden, sollten Sie sich zunächst mit den *Begriffen* und *Normen* des OSI Layer 1 (*Physical Layer*) vertraut machen. In diesem OSI Layer sind die verschiedenen Varianten von Kabeln und Steckverbindern in Netzwerken genormt (Hinweis: Der Layer 1 umfasst auch noch Funk-Technologien wie z.B. WLAN. Diese sollen ein anderes Mal behandelt werden.).

Die mit Abstand wichtigste Netzwerktechnologie bei *kabelgebundenen* Netzwerken ist *Ethernet*. Ethernet belegt die OSI Layer 1 und 2, wobei der Layer 2 die einheitliche Verhaltensweise beim Datentransport beschreibt, während im Layer 1 verschiedene Varianten von Ethernetverbindungen, basierend auf unterschiedlichen Technologien wie Kupferkabel oder Glasfaser, aufgelistet werden.

Ihr Ausbilder gibt Ihnen ein Rahmendokument, dass die mit Hilfe der unten stehenden Aufgaben schrittweise ergänzen sollen (als Spickzettel). Recherchieren Sie die benötigten Informationen im Internet. Ersetzen Sie im Rahmendokument den Namen *Max Mustermann* durch Ihren eigenen Namen.

### Aufgaben zum Rahmendokument:

Für Ethernet geeignete Verkabelungen verwenden *Kupferkabel* (engl. *copper*) oder *Glasfaserkabel* (*Lichtwellenleiter*, LWL, engl. *fiber*). Die Kabel kommen im Allgemeinen im Rahmen sogenannter *strukturierter (Gebäude-) Verkabelungen* zum Einsatz.

**Aufgabe 1a:** Informieren Sie sich über den Aufbau einer strukturierten Verkabelung. Beschriften Sie in der Abbildung die Komponenten *Patchfeld*, *Rangierfeld* und *Switch*. Ergänzen Sie in der Abbildung die Komponenten *Patchkabel* (zwei mal), *Verlegekabel* und *Datendose* und beschriften Sie diese. Verwenden Sie die Zeichenfunktionen Ihres Schreibprogrammes.

**Aufgabe 1b:** Welche *maximale Kabellänge* ist für das (Kupfer-) Verlegekabel üblich? Vermerken Sie die maximale Länge in Ihrer Abbildung an geeigneter Stelle.

Strukturierte Verkabelungen werden in den *Primärbereich* (Verkabelung zwischen Gebäuden → Glasfasern), *Sekundärbereich* (vertikale Verkabelung zwischen den Stockwerken → Glasfasern) und *Tertiärbereich* (horizontale Verkabelung in den Stockwerken → Kupferkabel) unterteilt. Die Verkabelung wird typischerweise zum Aufbau *hierarchischer Campus-Netzwerke* benutzt (= Planungsmodell).

## Kupferkabel

Für *Verlege-* und *Patchkabel* kommen bei Ethernet sogenannte *Twisted-Pair-Kabel* (TP-Kabel) zum Einsatz. Diese haben (wieder der Name andeutet) vier *verdrillte Adernpaare*. Jedes Adernpaar kann Daten in eine oder beide Richtungen übertragen (je nach Ethernet-Variante). Die Verwendung von zwei Adern pro Datenkanal erhöht die Störsicherheit.

Die verschiedenen Adernpaare in einem Kabel werden durch einen *Farbcode* unterschieden. Dieser stammt von vielpaarigen Telefonkabeln und unterstützt auch mehr als nur vier Paare. Für Ethernet kommen üblicherweise 8polige *RJ45-Steckverbinder* zum Einsatz (in Industrieumgebungen gibt es auch andere Ethernet-Steckverbinder). Die Zuordnung der Kabelfarben zu den acht Steckerkontakten (*Belegung*) ist in der Norm EIA/TIA-568A/B beschrieben. Die Norm beschreibt zwei *Belegungsvarianten* (A und B).

Bei einem direkten Ethernet-Verbindungskabel (*straight thru*, z.B. normales Patchkabel oder Verlegekabel in strukturierten Verkabelungen) wird bei beiden Steckverbindern die gleiche Belegung (A oder B, in der Firma oft einheitlich gewählt) verwendet. Ein Kabel mit verschiedener Belegung an denn beiden Enden (A und B) wird als *Crossover-Kabel* bezeichnet. Es vertauscht das Sende- und Empfangspaar bei älteren Ethernet-Varianten (die nur zwei der vier Paare benutzen) bei der Verbindung gleichartiger Geräte (z.B. zwei Switches). Bei modernen Ethernet-Anschlüssen wird heute üblicherweise automatisch elektronisch getauscht (Geräte-Ausstattungsmerkmal: Auto MDI-X), d.h. es ist kein Crossover-Kabel mehr erforderlich.

**Aufgabe 2:** Vervollständigen Sie die Tabelle mit den Kontaktbelegungen von RJ45-Steckverbindern indem Sie die jeweiligen Farben eintragen (z.B. grün-weiß).

Ethernet ermöglicht durch die fortwährende Einführung neuer Standards immer schnellere Datenübertragung. Die *Übertragungsrate* einer Verbindung wird in *Bit pro Sekunde* (Bit/s) angegeben.

Die einzelnen Ethernet-Standards sind in den Unter-Normen von IEEE 802.3 festgelegt. In der Praxis verwendet man statt der Nummern aber systematische Bezeichnungen aus der Nachrichtentechnik wie z.B. *1000Base-T*. Dabei steht *1000* für die Übertragungsrate (1000 MBit/s = 1 GBit/s, also ein Gigabit). *Base* steht für Basisbandübertragung (Bei DSL-Technik würde da z.B. *Broad* (Breitband-Modulation) stehen.). Das *-T* bezeichnet Twisted-Pair-Kabel als Übertragungsmedium.

**Aufgabe 3a:** Vervollständigen Sie die Tabelle 'Ethernet über Kupferkabel' mit den heute üblichen Ethernet-Varianten für die Übertragung über Kupferkabel (Twisted-Pair). Lassen Sie die Kabelkategorie noch offen (siehe Aufgabe 3b).

Twisted-Pair-Kabel gibt es in verschiedenen *Qualitäten*. Je präziser das Kabel gefertigt ist, desto besser sind die Hochfrequenz-technischen Eigenschaften und desto höhere Datenraten können benutzt werden. Die Kabelqualitäten werden mit *Cat* (Category) und einer Nummer sowie evtl. einem Buchstaben (z.B. Cat-5A) bezeichnet.

**Aufgabe 3b:** Ermitteln Sie die mindestens benötigte Kabelkategorie für eine 100m lange Verbindung und ergänzen Sie die Tabelle.

Die Qualität wird insbesondere durch *Kabelaufbau* (aber auch z.B. die Verarbeitungsgenauigkeit und die Materialien) bestimmt. Man unterscheidet verschiedene Varianten der Abschirmung des Kabels und der Paare. Die *Abschirmung* schützt die Paare (bis zu einem gewissen Grad) vor äußeren elektromagnetischen Einflüssen (z.B. durch Stromkabel in der Nähe) und vor inneren elektromagnetischen Einflüssen (*Übersprechen* zwischen den Adernpaaren). Als Abschirmung kommt Drahtgeflecht oder Metallfolie zum Einsatz.

**Aufgabe 4:** Skizzieren Sie (mit den Zeichenfunktionen im Schreibprogramm) den jeweiligen Aufbau (Querschnitt) der angegebenen Kabeltypen.

## Glasfaserkabel

*Glasfasern* (*Lichtwellenleiter*, LWL) haben den Vorteil der höheren Immunität gegenüber äußeren Störeinflüssen. Gegenüber Kupferkabel wird Licht statt Strom als Übertragungsmedium genutzt. Hierbei werden deutlich höhere Frequenzen genutzt, was wiederum höhere Datenraten ermöglicht.

Man unterscheidet zwei grundlegende *Glasfasertypen*: *Singlemode*-Fasern (auch Monomode-Fasern, engl.: Single-Mode-Fiber, SMF) und *Multimode*-Fasern (engl.: Multi-Mode-Fiber, MMF). Unter *Mode* wird hierbei ein möglicher Ausbreitungsweg des Lichts (vorstellbar als Lichtstrahl) verstanden. Existieren mehrere (unterschiedlich lange) Ausbreitungswege, so trifft die vom Licht transportierte Information zu verschiedenen Zeitpunkten am anderen Ende der Faser ein. Dies führt zu einem 'Verwischen' der Impulse bei Multimode-Fasern (*Modendispersion*), weswegen diese nur für kürzere Entfernungen geeignet sind (einige 100m).

Singlemode-Fasern unterdrücken die meisten Ausbreitungswege durch ihre Konstruktion und ermöglichen damit längere Übertragungstrecken (über 100km ohne Zwischenverstärker). Sie erfordern allerdings stärkere Lichtquellen (Laser). Es wird jeweils unsichtbares Licht im Infrarotbereich verwendet. Die Wellenlängen des benutzten Lichts sind nur wenig kleiner als die Faserkerndurchmesser.

Typische Faserarten werden mit 50/125 für MMF und 9/125 für SMF bezeichnet. Dabei steht die erste Zahl für den Kerndurchmesser (in  $\mu\text{m}$ , Mikrometer), die zweite Zahl für den Außendurchmesser der Faser. Eine zusätzliche Kunststoff-Ummantelung schützt die einzelnen Fasern vor Bruch. Mehrere Fasern (oft 12) werden zu einem Verlegekabel zusammengefasst.

**Aufgabe 5a:** Skizzieren Sie (mit den Zeichenfunktionen im Schreibprogramm) den jeweiligen Prinzip-Aufbau (Längsschnitt) der beiden Glasfasertypen.

Derzeit werden für die Verkabelung innerhalb von Gebäuden oft Multimode-Fasern benutzt, während Singlemode-Fasern für nach außen gehende Verbindungen (z.B. Internet, FTTH) verwendet werden. Allerdings erfordern zunehmend schnellere Ethernetvarianten über Glasfaser mittlerweile auch Singlemode-Faser im Gebäude.

Wie bei den Kupferkabeln unterscheidet man mehrere *Qualitätsstufen*. Bei Glasfaser-Patchkabeln sind die *Mantelfarben* (im Gegensatz zu Kupfer-Patchkabeln) fest den Qualitätsstufen zugeordnet, also nicht frei wählbar.

**Aufgabe 5b:** Ermitteln Sie die typischen Kennfarben für LWL-Patchkabel und ergänzen Sie die Tabelle.

Für Glasfasern existieren eine Vielzahl von *Steckverbindern*. Zwei Stecker werden über *LWL-Verbinder* zusammengesteckt. Diese findet man z.B. in LWL-Patchfeldern. Während an LWL-Patchkabel bereits Stecker angebracht sind, muss man an LWL-Verlegekabel *Pigtails* (kurze Faserstücke mit einseitig angebrachtem Stecker) mit einem *Lichtbogen-Spleissgerät* anspleissen. Dabei wird das Glas durchgehend verschmolzen.

Die einzelnen Fasern in einem Verlegekabel sind wie die Adern bei Kupferkabeln farbcodiert. Die *Steckerfarbe* gibt bei SMF-Steckverbindern die Art des Schliffs an (blau: Physical Contact, PC, gerade und grün: Angeled Physical Contact, APC, schräg). Ein Schrägschliff vermindert Reflexionen an der Verbindungsstelle ('Echo'). Es sollten nur Stecker der gleichen Farbe verbunden werden.

**Aufgabe 5c:** Umschreiben Sie jeweils kurz, wie man den angegebenen Steckertyp erkennen kann.

Normalerweise werden für eine Verbindung zwei Glasfasern (eine pro Datenrichtung) benutzt (*Duplex*). Mit *Wellenlängenmultiplex* (Wavelength Division Multiplex, WDM) kann man auch mehrere Verbindungen auf der gleichen Faser betreiben. Bei Singlemode spart man oft Fasern, indem man für eine Verbindung eine einzelne Faser *bidirektional* (BiDi) betreibt (*Simplex*).

Während man an älteren Netzwerkgeräten oft noch feste Anschlüsse für Glasfaserkabel findet, benutzt man bei modernen Geräten austauschbare *Module*. Diese können jeweils passend zum gewünschten Fasertyp ausgewählt werden. Während ältere Module oft Herstellerspezifisch waren, haben sich heute vorwiegend einheitliche Modulsteckplätze durchgesetzt (*Small Form-factor Pluggable*, SFP und Varianten).

**Aufgabe 5d:** Ergänzen Sie die Tabelle mit den einzelnen Modulbezeichnungen.

Neben Modulen für Glasfaserkabel findet man noch weitere Adapter und Kabel mit SFP-kompatiblen Steckerverbindern. So existieren z.B. RJ45-Adapter, die es ermöglichen auf einem Modulsteckplatz einen Kupfer-Anschluss zu machen (bis 10 GBit/s). Sogenannte *DAC-Kabel* sind (twinaxiale) Direktverbindungskabel (bis zu 5m) mit denen man die Modulsteckplätze an zwei Geräten preiswert (d.h. ohne Glasfaser) verbinden kann.

Für die Übertragung über Glasfasern existieren eine ganze Reihe von Ethernet-Standards. Statt -T (für Twisted-Pair) enthalten die Bezeichnungen dann z.B. -S (Short Wavelength, bei Multimode-Fasern) oder -L (Long Wavelength, bei Singlemode-Fasern aber auch Multimode mit WDM). Ein -B (Bidirectional) kennzeichnet WDM über eine Faser. Eine zusätzliche Zahl gibt bei Bedarf die Anzahl der parallelen Übertragungskanäle (mehrere Fasern oder WDM) an. Ein zusätzliches X steht meist für verbesserte Standards.

**Aufgabe 5e:** Vervollständigen Sie die Tabelle mit den wichtigsten Ethernet-Standards über Glasfaser.

Bei vielen professionellen Netzwerkgeräten folgen die *Namen* der Ethernet-Interfaces einem einheitlichen Schema (nach dem Vorbild von Cisco IOS). Hierbei kann man die maximal mögliche Datenrate am Namen ablesen, z.B. GigabitEthernet0/1. Die Nummerierung ergibt sich aus eventuell vorhandenen Erweiterungsmodulen (z.B. Modulslot 0, Anschluss 1) oder bei Switches durch Stacking (Zusammenschalten mehrerer Switches zu einem logischen Gerät). Die Namen können auch durch die Anfangsbuchstaben abgekürzt werden, z.B. gi0/1.

**Aufgabe 6:** Vervollständigen Sie die Tabelle mit den typischen Interfacenamen.