2.5 Kapselung einfach erklärt

Kapselung ist ein Grundprinzip der Netzwerkkommunikation.

Wenn Daten über ein Netzwerk gesendet werden, laufen sie durch mehrere Schichten. Jede Schicht fügt eigene Steuerinformationen hinzu, damit die Daten auf dieser Schicht verarbeitet werden können.

Fachlich gesagt:

```
Kapselung bedeutet,
dass Nutzdaten beim Durchlaufen der Schichten
jeweils um Protokollinformationen der jeweiligen Schicht ergänzt werden.
```

Vereinfacht gesagt:

```
Jede Schicht verpackt die Daten weiter,
damit sie ihre Aufgabe erfüllen kann.
```

Warum ist Kapselung wichtig?

Netzwerkkommunikation besteht nicht nur aus den eigentlichen Nutzdaten.

Damit Daten ihr Ziel erreichen, werden zusätzliche Informationen benötigt.

Beispiele:

```
- Welche Anwendung ist gemeint?
- Welcher Dienst oder Port ist gemeint?
- Welche IP-Adresse ist das Ziel?
- Welche MAC-Adresse ist im lokalen Netzwerk das nächste Ziel?
- Über welches Medium werden die Bits übertragen?
```

Diese Informationen werden nicht alle auf einmal hinzugefügt, sondern schrittweise durch die einzelnen Schichten.

Begriff: Nutzdaten

Nutzdaten sind die eigentlichen Inhalte, die übertragen werden sollen.

Beispiele:

- Inhalt einer Webseite
- E-Mail-Text
- Dateiinhalt
- DNS-Anfrage
- Bilddaten
- Audio- oder Videodaten

Wichtig:

Nutzdaten sind das,
was die Anwendung eigentlich senden oder empfangen möchte.

Die Protokollinformationen außen herum dienen dazu, diese Nutzdaten korrekt zu übertragen.

Begriff: Header

Ein Header ist ein Kopfbereich mit Steuerinformationen.

Ein Header steht vor den eigentlichen Nutzdaten einer bestimmten Schicht.

Beispiele für Informationen in Headern:

- Quelladresse
- Zieladresse
- Portnummern
- Protokollinformationen
- Längenangaben
- Prüfinformationen
- Steuerbits

Merksatz:

Header = Steuerinformationen vor den Daten

Begriff: Trailer

Ein Trailer ist ein Abschlussbereich hinter den Nutzdaten.

Nicht jede Schicht nutzt einen Trailer.

Ein bekanntes Beispiel ist der Ethernet-Frame auf Schicht 2. Dort gibt es am Ende eine Prüfsumme.

Diese Prüfsumme heißt:

```
FCS = Frame Check Sequence
```

Sie dient der Fehlererkennung bei der Übertragung im lokalen Netzwerk.

Merksatz:

```
Trailer = Zusatzinformationen hinter den Daten
```

Kapselung beim Senden

Beim Senden laufen die Daten im OSI-Modell von oben nach unten.

Vereinfacht:

```
Schicht 7: Anwendung erzeugt Nutzdaten
Schicht 4: TCP oder UDP fügt Transportinformationen hinzu
Schicht 3: IP fügt IP-Adressen hinzu
Schicht 2: Ethernet fügt MAC-Adressen hinzu
Schicht 1: Bits werden als Signale übertragen
```

Jede Schicht nimmt die Daten der höheren Schicht und fügt eigene Informationen hinzu.

Beispiel: Webseite aufrufen

Ein Browser möchte eine Webseite aufrufen.

Die ursprünglichen Nutzdaten sind zum Beispiel eine HTTP-Anfrage.

Vereinfacht:

```
HTTP-Anfrage
```

Dann fügt die Transportschicht Informationen hinzu:

```
TCP-Header + HTTP-Anfrage
```

Dann fügt die Vermittlungsschicht Informationen hinzu:

```
IP-Header + TCP-Header + HTTP-Anfrage
```

Dann fügt die Sicherungsschicht Informationen hinzu:

```
Ethernet-Header + IP-Header + TCP-Header + HTTP-Anfrage + Ethernet-Trailer
```

Dann wird alles auf Schicht 1 als Bits übertragen.

Kapselung im TCP/IP-Beispiel

Typische Reihenfolge bei einer HTTPS-Verbindung:

```
HTTPS
TCP
IP
Ethernet
Bits / Signale
```

Als Verpackung kann man sich das so vorstellen:

```
Nutzdaten
TCP-Segment
IP-Paket
Ethernet-Frame
Bits auf dem Medium
```

Fachlich genauer:

Schritt	Schicht	Ergebnis
1	Anwendungsschicht	Daten
2	Transportschicht	TCP-Segment oder UDP-Datagramm
3	Vermittlungsschicht / Internetschicht	IP-Paket
4	Sicherungsschicht / Netzzugang	Ethernet-Frame

Schritt	Schicht	Ergebnis
5	Bitübertragungsschicht	Bits / Signale

Dateneinheiten der Schichten

In der Netzwerktechnik haben die Daten je nach Schicht unterschiedliche Bezeichnungen.

Schicht	typische Dateneinheit
OSI-Schicht 7	Daten
OSI-Schicht 6	Daten
OSI-Schicht 5	Daten
OSI-Schicht 4	Segment oder Datagramm
OSI-Schicht 3	Paket
OSI-Schicht 2	Frame
OSI-Schicht 1	Bits

Wichtig:

Bei TCP spricht man häufig von Segmenten.
Bei UDP spricht man häufig von Datagrammen.
Bei IP spricht man von Paketen.
Bei Ethernet spricht man von Frames.
Auf Schicht 1 werden Bits übertragen.

TCP-Segment

Ein TCP-Segment ist die Dateneinheit von TCP auf der Transportschicht.

Ein TCP-Segment enthält unter anderem:

- Quellport
- Zielport
- Sequenznummer
- ACK-Informationen
- Steuerbits
- Nutzdaten

TCP nutzt diese Informationen, um Daten zuverlässig und in richtiger Reihenfolge zu übertragen.

Merksatz:

```
TCP-Segment = TCP-Header + Daten
```

UDP-Datagramm

Ein UDP-Datagramm ist die Dateneinheit von UDP auf der Transportschicht.

Ein UDP-Datagramm enthält unter anderem:

```
- Quellport
- Zielport
- Länge
- Prüfsumme
- Nutzdaten
```

UDP hat weniger Verwaltungsaufwand als TCP.

Merksatz:

```
UDP-Datagramm = UDP-Header + Daten
```

IP-Paket

Ein IP-Paket ist die Dateneinheit der Vermittlungsschicht bzw. Internetschicht.

Ein IP-Paket enthält unter anderem:

```
- Quell-IP-Adresse
- Ziel-IP-Adresse
- Protokollangabe
- TTL
- Nutzdaten
```

Die Nutzdaten des IP-Pakets sind meist ein TCP-Segment oder ein UDP-Datagramm.

Merksatz:

```
IP-Paket = IP-Header + TCP-Segment oder UDP-Datagramm
```

Ethernet-Frame

Ein Ethernet-Frame ist die Dateneinheit der Sicherungsschicht im lokalen Netzwerk.

Ein Ethernet-Frame enthält unter anderem:

```
- Ziel-MAC-Adresse
- Quell-MAC-Adresse
- Typfeld
- Nutzdaten
- FCS-Prüfsumme
```

Die Nutzdaten des Ethernet-Frames sind meistens ein IP-Paket.

Merksatz:

```
Ethernet-Frame = Ethernet-Header + IP-Paket + Ethernet-Trailer
```

Bits und Signale

Auf der Bitübertragungsschicht werden die Daten als Bits übertragen.

Bits sind die kleinste Informationseinheit.

Ein Bit kann zwei Zustände haben:

```
0
1
```

Diese Bits werden je nach Medium übertragen als:

```
- elektrische Signale über Kupferkabel
- Lichtsignale über Glasfaser
- Funksignale über WLAN
```

Merksatz:

```
Schicht 1 überträgt Bits als Signale.
```

Kapselung als Verpackung

Man kann Kapselung wie mehrere Verpackungen verstehen.

Beispiel:

```
Inhalt:
HTTP-Daten

erste Verpackung:
TCP-Header

zweite Verpackung:
IP-Header

dritte Verpackung:
Ethernet-Header und Ethernet-Trailer

Transport:
Bits über Kabel, Glasfaser oder Funk
```

Vereinfacht:

```
Ethernet verpackt IP.
IP verpackt TCP oder UDP.
TCP oder UDP verpackt Anwendungsdaten.
```

Kapselung mit Schokoladen-Metapher

Man kann sich das TCP/IP-Modell auch wie eine verpackte Schokolade vorstellen.

```
Ganz innen:
Die Schokolade = die eigentlichen Daten

Darum herum:
Silberpapier = TCP oder UDP

Darum herum:
buntes Papier = IP
```

Darum herum:
Tüte = Ethernet / MAC-Adresse

Transport:
Einkaufswagen / Weg = Übertragungsmedium

Diese Metapher zeigt:

Die eigentlichen Daten werden nicht alleine übertragen.
Sie werden auf mehreren Ebenen verpackt.

Entkapselung beim Empfangen

Beim Empfänger passiert der Vorgang umgekehrt.

Das nennt man Entkapselung.

Fachlich gesagt:

Entkapselung bedeutet,
dass die hinzugefügten Protokollinformationen
beim Empfänger schrittweise wieder ausgewertet und entfernt werden.

Vereinfacht:

Der Empfänger packt die Daten Schicht für Schicht wieder aus.

Ablauf:

Schicht 1:
Signale werden als Bits empfangen.

Schicht 2:
Ethernet prüft den Frame und entfernt Ethernet-Informationen.

Schicht 3:
IP prüft die Ziel-IP-Adresse und entfernt IP-Informationen.

Schicht 4:

TCP oder UDP prüft Ports und Transportinformationen.

Schicht 7:

Die Anwendung erhält die eigentlichen Nutzdaten.

Kapselung und Entkapselung im Vergleich

Richtung	Vorgang	Bedeutung
Senden	Kapselung	Daten werden Schicht für Schicht verpackt
Empfangen	Entkapselung	Daten werden Schicht für Schicht ausgepackt

Merksatz:

Sender kapselt ein.

Empfänger kapselt aus.

Warum braucht jede Schicht eigene Informationen?

Jede Schicht hat eine andere Aufgabe.

Darum braucht jede Schicht eigene Steuerinformationen.

Beispiele:

Schicht	Steuerinformation	Zweck
4	Portnummern	richtige Anwendung finden
3	IP-Adressen	Zielhost bzw. Zielnetz finden
2	MAC-Adressen	nächstes Gerät im lokalen Netzwerk erreichen
1	Signale	Bits physisch übertragen

Wichtig:

Portnummer, IP-Adresse und MAC-Adresse haben unterschiedliche Aufgaben.

Portnummer, IP-Adresse und MAC-Adresse

Diese drei Begriffe werden in Prüfungen häufig verwechselt.

Begriff	Schicht	Aufgabe
Portnummer	Schicht 4	Dienst oder Anwendung auf einem Host
IP-Adresse	Schicht 3	logische Adresse eines Hosts oder Netzes
MAC-Adresse	Schicht 2	lokale Hardwareadresse im LAN

Merksatz:

```
Port = welcher Dienst?
IP-Adresse = welcher Host oder welches Netz?
MAC-Adresse = welches Gerät im lokalen Netzwerk?
```

Wichtig: MAC-Adresse ändert sich auf dem Weg

Die IP-Adresse bleibt auf dem Weg zum Ziel grundsätzlich erhalten.

Die MAC-Adresse kann sich aber bei jedem Netzwerkabschnitt ändern.

Warum?

```
MAC-Adressen gelten nur im lokalen Netzwerkabschnitt.
Wenn ein Router ein Paket weiterleitet,
wird ein neuer Ethernet-Frame für das nächste Netz erstellt.
```

Beispiel:

```
PC → Router:
Ziel-MAC = MAC-Adresse des Routers

Router → nächster Router:
Ziel-MAC = MAC-Adresse des nächsten Geräts

letzter Router → Server:
Ziel-MAC = MAC-Adresse des Servers
```

Wichtig:

```
Die IP-Adressen bleiben für die Ende-zu-Ende-Kommunikation wichtig.
Die MAC-Adressen werden pro lokalem Abschnitt neu verwendet.
```

Wichtig: Portnummer bleibt für den Dienst wichtig

Die Portnummer gehört zur Transportschicht.

Sie zeigt, welcher Dienst oder welche Anwendung auf einem Host gemeint ist.

Beispiel:

```
Ziel-IP-Adresse:
93.184.216.34

Ziel-Port:
443
```

Bedeutung:

```
Sende die Daten an den Host mit dieser IP-Adresse.
Dort ist der Dienst auf Port 443 gemeint.
```

Typischer Dienst:

```
TCP 443 = HTTPS
```

Beispiel: DNS-Anfrage

Eine DNS-Anfrage zeigt gut, wie Kapselung funktioniert.

Vereinfacht:

```
DNS-Anfrage
UDP-Header + DNS-Anfrage
IP-Header + UDP-Header + DNS-Anfrage
Ethernet-Header + IP-Header + UDP-Header + DNS-Anfrage + FCS
```

```
Bits auf dem Medium
```

Schichtbezug:

Bestandteil	Schicht
DNS	Schicht 7
UDP	Schicht 4
IP	Schicht 3
Ethernet	Schicht 2
Bits	Schicht 1

Merksatz:

```
DNS nutzt häufig UDP.
UDP nutzt IP.
IP nutzt Ethernet oder WLAN.
```

Beispiel: HTTPS-Webseite

Eine HTTPS-Verbindung zeigt ebenfalls die Kapselung.

Vereinfacht:

```
HTTPS-Daten
TCP-Header + HTTPS-Daten
IP-Header + TCP-Header + HTTPS-Daten
Ethernet-Header + IP-Header + TCP-Header + HTTPS-Daten + FCS
Bits auf dem Medium
```

Schichtbezug:

Bestandteil	Schicht
HTTPS	Schicht 7 mit Sicherheitsbezug
TCP	Schicht 4
IP	Schicht 3
Ethernet	Schicht 2
Bits	Schicht 1

Merksatz:

```
HTTPS nutzt meistens TCP.
TCP nutzt IP.
IP nutzt Ethernet oder WLAN.
```

Kapselung und MTU

MTU steht für:

```
Maximum Transmission Unit
```

Die MTU beschreibt, wie groß die Nutzdaten eines Frames auf einem Netzwerkabschnitt maximal sein dürfen.

Bei Ethernet beträgt die häufige Standard-MTU:

```
1500 Byte
```

Wichtig:

```
In diesen 1500 Byte steckt nicht nur die Anwendung,
sondern auch IP- und TCP- oder UDP-Informationen.
```

Dadurch bleibt für die eigentlichen Anwendungsdaten weniger Platz.

Merksatz:

```
Header brauchen Platz.
Deshalb ist nicht jedes Byte im Frame reine Nutzlast.
```

Kapselung und Fehlersuche

Kapselung hilft auch bei der Fehlersuche.

Wenn man weiß, welche Schicht welche Informationen hinzufügt, kann man Fehler besser eingrenzen.

Beispiele:

Fehlerbild	mögliche Schicht
kein Link am Switch	Schicht 1
falsche MAC-Adresse oder VLAN-Problem	Schicht 2
falsche IP-Adresse oder Subnetzmaske	Schicht 3
Port nicht erreichbar	Schicht 4
DNS-Name wird nicht aufgelöst	Schicht 7 mit Schicht-3-Bezug
Webseite lädt nicht	mehrere Schichten möglich

Wichtig:

Ein Fehler auf einer unteren Schicht kann alle oberen Schichten beeinflussen.

Typische Prüfungsfragen

In AP1 oder AP2 kann zum Beispiel gefragt werden:

- Was bedeutet Kapselung?
- Was passiert beim Senden von Daten durch die Schichten?
- Was passiert beim Empfangen?
- Welche Dateneinheit gehört zu welcher Schicht?
- Was ist der Unterschied zwischen Frame, Paket und Segment?
- Welche Aufgabe hat ein Header?
- Welche Aufgabe hat ein Trailer?
- Warum braucht TCP einen Header?
- Warum braucht IP einen Header?
- Warum braucht Ethernet MAC-Adressen?
- Welche Adresse gehört zu welcher Schicht?

Typische Prüfungsfallen

Ein Frame ist nicht dasselbe wie ein Paket.

Ein Paket ist nicht dasselbe wie ein Segment.

Eine MAC-Adresse ist nicht dasselbe wie eine IP-Adresse.

Eine Portnummer ist keine IP-Adresse.

TCP und UDP gehören zur Transportschicht.

IP gehört zur Vermittlungsschicht bzw. Internetschicht.

Ethernet gehört zur Sicherungsschicht bzw. Netzzugangsschicht.

Die MAC-Adresse gilt nur für den lokalen Netzwerkabschnitt.

Die IP-Adresse ist für die logische Ende-zu-Ende-Adressierung wichtig.

Die Portnummer zeigt auf den Dienst oder die Anwendung.

Wichtige Begriffe kurz erklärt

Begriff	Kurze Erklärung
Kapselung	Daten werden beim Senden von Schicht zu Schicht mit Protokollinformationen ergänzt
Entkapselung	Protokollinformationen werden beim Empfangen schrittweise ausgewertet und entfernt
Nutzdaten	eigentliche Daten der Anwendung
Header	Steuerinformationen vor den Nutzdaten
Trailer	Steuerinformationen nach den Nutzdaten
Segment	typische TCP-Dateneinheit auf Schicht 4
Datagramm	typische UDP-Dateneinheit auf Schicht 4
Paket	Dateneinheit auf IP-Ebene
Frame	Dateneinheit im lokalen Netzwerk
Bit	kleinste Informationseinheit
MAC-Adresse	lokale Hardwareadresse im LAN
IP-Adresse	logische Adresse für Netzwerkkommunikation
Port	Dienstadresse auf einem Host
MTU	maximale Größe der Nutzdaten auf einem Netzwerkabschnitt

IHK-sichere Kurzformulierung

Kapselung bedeutet, dass Daten beim Senden durch die Schichten eines Netzwerkmodells laufen und dabei von jeder Schicht um eigene Protokollinformationen ergänzt werden. Auf der Transportschicht entstehen zum Beispiel TCP-Segmente oder UDP-Datagramme, auf der Vermittlungsschicht IP-Pakete und auf der Sicherungsschicht Ethernet-Frames. Beim Empfänger werden diese Informationen in umgekehrter Reihenfolge wieder ausgewertet und entfernt. Dieser Vorgang heißt Entkapselung.

Merksätze

Kapselung = Daten werden verpackt.

Entkapselung = Daten werden ausgepackt.

Jede Schicht fügt eigene Steuerinformationen hinzu.

Header stehen vor den Daten.

Trailer stehen hinter den Daten.

TCP-Segment oder UDP-Datagramm gehört zu Schicht 4.

IP-Paket gehört zu Schicht 3.

Ethernet-Frame gehört zu Schicht 2.

Bits gehören zu Schicht 1.

Portnummer = Dienst oder Anwendung.

IP-Adresse = logische Adresse.

MAC-Adresse = lokale Adresse im LAN.

Sender kapselt ein.
Empfänger kapselt aus.

HTTP → TCP → IP → Ethernet → Bits

DNS → UDP → IP → Ethernet → Bits
