

5.2 Ethernet-Frame und MAC-Adressen

Auf OSI-Schicht 2 werden Daten in sogenannten Frames übertragen.

Bei Ethernet heißen diese Datenrahmen:

Ethernet-Frames

Ein Ethernet-Frame enthält alle Informationen, die für die lokale Übertragung im LAN notwendig sind.

Besonders wichtig sind:

- Ziel-MAC-Adresse
- Quell-MAC-Adresse
- Nutzdaten
- Prüfsumme

Merksatz:

Ethernet-Frame = Datenrahmen für die lokale Übertragung im Ethernet-LAN.

Warum gibt es Frames?

Schicht 1 überträgt nur Bits als Signale.

Schicht 2 muss daraus geordnete Einheiten bilden.

Ein Empfänger muss erkennen können:

- Wo beginnt die Übertragung?
- Wo endet die Übertragung?
- Von wem kommt sie?
- Für wen ist sie bestimmt?
- Sind die Daten beschädigt?

Diese geordnete Einheit ist der Frame.

Merksatz:

Frames machen aus einzelnen Bits eine nutzbare lokale Datenübertragung.

Begriff: Frame

Ein Frame ist die Protocol Data Unit der OSI-Schicht 2.

PDU steht für:

Protocol Data Unit

Auf Deutsch sinngemäß:

Protokolldateneinheit

Ein Frame ist also die typische Datenform auf der Sicherungsschicht.

Vergleich:

Schicht	typische Datenform
Schicht 1	Bits
Schicht 2	Frame
Schicht 3	Paket
Schicht 4	Segment oder Datagramm

Merksatz:

Schicht 2 arbeitet mit Frames.

Ethernet-Frame vereinfacht

Ein Ethernet-Frame besteht vereinfacht aus mehreren Teilen.

Bestandteil	Aufgabe
Ziel-MAC-Adresse	Empfänger im lokalen Netzwerk
Quell-MAC-Adresse	Absender im lokalen Netzwerk
Typ / Länge	gibt an, welches Protokoll oder welche Länge folgt
Nutzdaten	transportierte Daten höherer Schichten

Bestandteil	Aufgabe
FCS	Prüfinformation zur Fehlererkennung

Vereinfacht:

Ziel
Absender
Inhalt
Prüfung

Merksatz:

Ein Ethernet-Frame enthält Ziel, Absender, Inhalt und Prüfinformation.

Ziel-MAC-Adresse

Die Ziel-MAC-Adresse gibt an, an welches Gerät der Frame im lokalen Netzwerk gesendet werden soll.

Beispiel:

PC A sendet an PC B.

Dann steht im Ethernet-Frame:

Ziel-MAC-Adresse = MAC-Adresse von PC B

Die Ziel-MAC-Adresse ist für Switches besonders wichtig.

Ein Switch prüft die Ziel-MAC-Adresse und entscheidet dann, an welchen Port der Frame weitergeleitet wird.

Merksatz:

Ziel-MAC = lokaler Empfänger des Frames.

Quell-MAC-Adresse

Die Quell-MAC-Adresse gibt an, von welchem Gerät der Frame stammt.

Beispiel:

PC A sendet an PC B.

Dann steht im Ethernet-Frame:

Quell-MAC-Adresse = MAC-Adresse von PC A

Switches lernen MAC-Adressen über die Quell-MAC-Adresse.

Wenn ein Frame an einem Switch-Port eingeht, merkt sich der Switch:

Diese MAC-Adresse ist über diesen Port erreichbar.

Merksatz:

Quell-MAC = lokaler Absender des Frames.

MAC-Adresse

MAC steht für:

Media Access Control

Eine MAC-Adresse ist eine lokale Hardwareadresse einer Netzwerkschnittstelle.

Typische Netzwerkschnittstellen:

- Ethernet-Port
- WLAN-Adapter
- virtuelle Netzwerkkarte
- Server-Netzwerkkarte
- USB-LAN-Adapter

Eine MAC-Adresse identifiziert eine Schnittstelle im lokalen Netzwerk.

Merksatz:

MAC-Adresse = lokale Adresse einer Netzwerkschnittstelle.

Aufbau einer MAC-Adresse

Eine klassische MAC-Adresse hat:

48 Bit

Sie wird meist hexadezimal dargestellt.

Beispiel:

00:1A:2B:3C:4D:5E

Oder:

00-1A-2B-3C-4D-5E

Hexadezimal bedeutet:

Ziffern 0 bis 9
und Buchstaben A bis F

Ein Byte wird dabei durch zwei Hex-Zeichen dargestellt.

Merksatz:

MAC-Adresse = 48 Bit, meist hexadezimal geschrieben.

OUI und Geräteanteil

Eine MAC-Adresse kann in zwei Bereiche unterteilt werden.

Bereich	Bedeutung
OUI	Herstellerkennung
Geräteanteil	eindeutiger Teil für das Gerät

OUI steht für:

Organizationally Unique Identifier

Der OUI-Bereich zeigt, welchem Hersteller ein MAC-Adressbereich zugeordnet wurde.

Wichtig:

In der Praxis können MAC-Adressen auch virtuell erzeugt oder geändert werden.
Deshalb ist die MAC-Adresse nicht immer ein absolut sicherer Gerätenachweis.

Merksatz:

OUI = Herstellerkennung in der MAC-Adresse.

Unicast-MAC-Adresse

Unicast bedeutet:

ein Absender an einen bestimmten Empfänger

Eine Unicast-MAC-Adresse gehört zu einer einzelnen Netzwerkschnittstelle.

Beispiel:

PC A sendet einen Frame direkt an PC B.

Dann verwendet PC A die Ziel-MAC-Adresse von PC B.

Merksatz:

Unicast = einer an einen.

Broadcast-MAC-Adresse

Broadcast bedeutet:

ein Absender an alle Geräte im lokalen Netzwerk

Die Ethernet-Broadcast-MAC-Adresse lautet:

FF:FF:FF:FF:FF:FF

Ein Broadcast wird an alle Geräte innerhalb der Broadcast-Domäne gesendet.

Typische Beispiele:

- ARP-Anfrage
- DHCP-Anfrage

Merksatz:

Broadcast = einer an alle.

Multicast-MAC-Adresse

Multicast bedeutet:

ein Absender an eine bestimmte Gruppe von Empfängern

Nicht alle Geräte sollen den Frame erhalten, sondern nur Mitglieder einer bestimmten Gruppe.

Multicast wird zum Beispiel verwendet bei:

- Streaming
- IPTV
- bestimmten Protokollen
- Gruppenkommunikation

Merksatz:

Multicast = einer an eine Gruppe.

Unicast, Broadcast und Multicast im Vergleich

Art	Bedeutung	Beispiel
Unicast	einer an einen	PC an Server
Broadcast	einer an alle	ARP-Anfrage
Multicast	einer an eine Gruppe	Streaming-Gruppe

Prüfungstauglich:

Unicast = gezielt.
Broadcast = alle.
Multicast = Gruppe.

EtherType

Im Ethernet-Frame gibt es ein Feld, das häufig angibt, welches Protokoll in den Nutzdaten enthalten ist.

Dieses Feld nennt man:

EtherType

Beispiele:

EtherType	Bedeutung
0x0800	IPv4
0x86DD	IPv6
0x0806	ARP

Wichtig:

Der Ethernet-Frame kann Daten verschiedener höherer Protokolle transportieren.

Merksatz:

EtherType zeigt, welches Protokoll im Frame transportiert wird.

Nutzdaten im Ethernet-Frame

Die Nutzdaten sind der Inhalt, den der Ethernet-Frame transportiert.

Das können zum Beispiel sein:

- ein IPv4-Paket
- ein IPv6-Paket
- eine ARP-Nachricht
- andere Protokolldaten

Wichtig:

Der Ethernet-Frame transportiert Daten höherer Schichten.

Schicht 2 interessiert sich dabei nicht für die vollständige Bedeutung der Anwendung.

Merksatz:

Ethernet transportiert Nutzdaten höherer Schichten lokal weiter.

FCS

FCS steht für:

Frame Check Sequence

Die FCS ist eine Prüfinformation am Ende des Ethernet-Frames.

Sie dient zur Fehlererkennung.

Der Empfänger kann damit prüfen, ob der Frame während der Übertragung beschädigt wurde.

Merksatz:

FCS = Prüfinformation zur Fehlererkennung im Frame.

CRC

CRC steht für:

Cyclic Redundancy Check

CRC ist ein Verfahren zur Fehlererkennung.

Die FCS im Ethernet-Frame basiert auf einem CRC-Verfahren.

Wenn die Prüfung fehlschlägt, gilt der Frame als beschädigt.

Dann wird er verworfen.

Merksatz:

CRC erkennt Übertragungsfehler.

Fehlererkennung, aber keine Fehlerkorrektur

Ethernet kann über FCS/CRC beschädigte Frames erkennen.

Aber:

Ethernet korrigiert den beschädigten Frame normalerweise nicht selbst.

Ein fehlerhafter Frame wird verworfen.

Wenn eine erneute Übertragung nötig ist, passiert das durch höhere Schichten.

Beispiel:

TCP kann fehlende Daten erneut übertragen lassen.

Merksatz:

Schicht 2 erkennt viele Fehler,
korrigiert sie aber normalerweise nicht selbst.

Präambel und SFD

Vor dem eigentlichen Ethernet-Frame gibt es technische Felder zur Synchronisation.

Dazu gehören:

Präambel

SFD

SFD steht für:

Start Frame Delimiter

Aufgabe:

Der Empfänger soll erkennen,
dass ein Frame beginnt.

Für die Prüfung ist meist nur wichtig:

Ethernet braucht eine Möglichkeit,
den Beginn eines Frames zu erkennen.

Merksatz:

Präambel und SFD helfen beim Erkennen des Frame-Beginns.

Ethernet-Frame grob dargestellt

Vereinfacht sieht ein Ethernet-Frame so aus:

Bereich	Aufgabe
Präambel / SFD	Synchronisation und Frame-Beginn
Ziel-MAC	lokaler Empfänger
Quell-MAC	lokaler Absender
Typ / Länge	Protokoll oder Längenangabe
Nutzdaten	Inhalt höherer Schichten
FCS	Fehlererkennung

Wichtig:

Für AP1/AP2 sind vor allem Ziel-MAC,
Quell-MAC,
Nutzdaten
und FCS wichtig.

Frame-Größe

Ein normaler Ethernet-Frame hat eine begrenzte Größe.

Typisch ist eine maximale Nutzlast von:

1500 Byte

Diese Nutzlast nennt man oft:

MTU

MTU steht für:

Maximum Transmission Unit

Wichtig:

MTU beschreibt die maximale Größe der Nutzdaten,
die auf einer Verbindung ohne Fragmentierung übertragen werden können.

Merksatz:

MTU = maximale Nutzdaten-Größe einer Verbindung.

Jumbo Frames

Jumbo Frames sind Ethernet-Frames mit größerer Nutzlast als der Standardwert.

Sie werden manchmal in Rechenzentren oder Speichernetzwerken verwendet.

Vorteil:

weniger Overhead bei großen Datenübertragungen

Nachteil:

alle beteiligten Geräte müssen Jumbo Frames unterstützen und passend konfiguriert sein

Wichtig:

In normalen LANs sind Standard-Frames üblich.

Merksatz:

Jumbo Frames brauchen durchgängige Unterstützung auf der Strecke.

Frame, Paket und Segment im Ablauf

Wenn eine Anwendung Daten sendet, werden diese durch die Schichten gekapselt.

Vereinfacht:

Anwendung erzeugt Daten.
TCP macht daraus Segmente.
IP macht daraus Pakete.
Ethernet macht daraus Frames.
Schicht 1 überträgt Bits als Signale.

Beim Empfänger läuft der Prozess umgekehrt.

Merksatz:

Segment in Paket,
Paket in Frame,
Frame in Bits.

Kapselung im Ethernet-Frame

Ein Ethernet-Frame kann ein IP-Paket transportieren.

Vereinfacht:

Ethernet-Frame
enthält
IP-Paket
enthält
TCP-Segment
enthält
Anwendungsdaten

Das nennt man:

Kapselung

Merksatz:

Schicht 2 kapselt Schicht-3-Daten in Frames.

Lokale Zustellung mit MAC-Adressen

MAC-Adressen werden für die lokale Zustellung verwendet.

Beispiel im gleichen LAN:

PC A will PC B erreichen.

Dann benötigt PC A die MAC-Adresse von PC B.

Der Ethernet-Frame wird lokal an diese Ziel-MAC-Adresse gesendet.

Merksatz:

Im gleichen LAN wird direkt an die Ziel-MAC gesendet.

Zustellung zu einem anderen Netzwerk

Wenn das Ziel in einem anderen IP-Netz liegt, sendet der PC den Frame nicht direkt an die MAC-Adresse des entfernten Servers.

Stattdessen sendet er den Frame lokal an die MAC-Adresse des Standard-Gateways.

Beispiel:

PC will Webserver im Internet erreichen.

Dann gilt:

Ziel-IP im IP-Paket = Webserver

Ziel-MAC im Ethernet-Frame = Router / Standard-Gateway

Merksatz:

Entferntes Netz:

Ziel-MAC ist das Gateway,

Ziel-IP bleibt das eigentliche Ziel.

MAC-Adresse ändert sich pro Abschnitt

Bei einer Übertragung über mehrere Router ändert sich der Ethernet-Frame auf jedem lokalen Abschnitt.

Das bedeutet:

Quell-MAC und Ziel-MAC ändern sich von Link zu Link.

Die IP-Adressen bleiben grundsätzlich erhalten, außer bei NAT.

Beispiel:

PC → Router 1

Router 1 → Router 2

Router 2 → Server

Jeder Abschnitt hat eigene MAC-Adressen.

Merksatz:

MAC-Adressen gelten nur lokal bis zum nächsten Router.

IP-Adresse bleibt netzübergreifend

Im Gegensatz zur MAC-Adresse wird die IP-Adresse für die netzübergreifende Zustellung verwendet.

Das IP-Paket enthält:

Quell-IP

Ziel-IP

Diese IP-Adressen bleiben über Router hinweg grundsätzlich erhalten.

Ausnahme:

NAT oder PAT kann IP-Adressen verändern.

Merksatz:

MAC = lokal.

IP = netzübergreifend.

ARP und MAC-Adresse

ARP wird verwendet, um zu einer IP-Adresse die passende MAC-Adresse im lokalen Netz zu finden.

ARP steht für:

Address Resolution Protocol

Beispiel:

PC kennt die IP-Adresse des Gateways.

PC braucht die MAC-Adresse des Gateways.

Dann sendet der PC eine ARP-Anfrage.

Merksatz:

ARP findet MAC-Adresse zu IP-Adresse im lokalen Netz.

ARP-Anfrage als Broadcast

Eine ARP-Anfrage wird als Broadcast gesendet.

Grund:

Der Absender kennt die MAC-Adresse des Zielgeräts noch nicht.

Deshalb fragt er alle Geräte im lokalen Netz:

Wer hat diese IP-Adresse?

Die Broadcast-MAC-Adresse lautet:

FF:FF:FF:FF:FF:FF

Merksatz:

ARP-Anfrage = Broadcast.

ARP-Antwort als Unicast

Die ARP-Antwort kommt normalerweise als Unicast zurück.

Das Gerät mit der gesuchten IP-Adresse antwortet:

Diese IP-Adresse gehört zu dieser MAC-Adresse.

Danach kann der Absender den Frame gezielt an diese MAC-Adresse senden.

Merksatz:

ARP-Antwort = meistens Unicast.

MAC-Adresstabelle und Ethernet-Frames

Ein Switch verwendet Ethernet-Frames, um seine MAC-Adresstabelle zu füllen.

Er schaut auf die Quell-MAC-Adresse eingehender Frames.

Beispiel:

Frame kommt an Port 5 an.

Quell-MAC ist 00:11:22:33:44:55.

Der Switch lernt:

00:11:22:33:44:55 ist an Port 5 erreichbar.

Merksatz:

Switch lernt über die Quell-MAC.

Weiterleitung bekannter Ziel-MAC

Wenn der Switch die Ziel-MAC-Adresse kennt, leitet er den Frame gezielt weiter.

Beispiel:

Ziel-MAC ist an Port 8 bekannt.

Dann sendet der Switch den Frame nur an Port 8.

Vorteil:

weniger unnötiger Datenverkehr
bessere Effizienz
mehr Sicherheit als Hub

Merksatz:

Bekannte Ziel-MAC = gezielte Weiterleitung.

Unbekannte Ziel-MAC und Flooding

Wenn der Switch die Ziel-MAC-Adresse nicht kennt, muss er den Frame verteilen.

Er sendet den Frame an alle passenden Ports außer dem Eingangsport.

Das nennt man:

Flooding

Wenn die Zielstation antwortet, lernt der Switch deren MAC-Adresse.

Merksatz:

Unbekannte Ziel-MAC = Flooding.

Broadcast und Flooding unterscheiden

Broadcast und Flooding werden manchmal verwechselt.

Begriff	Bedeutung
Broadcast	Frame ist ausdrücklich an alle adressiert
Flooding	Switch verteilt Frame, weil Ziel-MAC unbekannt ist

Beide können dazu führen, dass Frames an mehrere Ports gehen.

Aber der Grund ist unterschiedlich.

Merksatz:

Broadcast = Ziel ist alle.

Flooding = Ziel ist unbekannt.

Frame-Fehler und Switch-Port-Statistiken

Switches können Fehler zählen.

Typische Hinweise:

- CRC-Fehler
- FCS-Fehler
- zu kurze Frames

- zu lange Frames
- verworfene Frames
- Kollisionen bei alten Halbduplex-Links

Solche Fehler können auf Schicht-1- oder Schicht-2-Probleme hinweisen.

Merksatz:

Frame-Fehler helfen bei der Fehlersuche.

Schicht 2 und Schicht 1 zusammen

Schicht 2 ist auf Schicht 1 angewiesen.

Beispiel:

Wenn das Kabel defekt ist,
kommen Bits fehlerhaft an.

Dann können Frames beschädigt werden.

Schicht 2 erkennt den Fehler über FCS/CRC und verwirft den Frame.

Merksatz:

Schlechte Signale können beschädigte Frames verursachen.

Was ein Ethernet-Frame nicht enthält

Ein Ethernet-Frame enthält keine vollständige Information über den gesamten Weg durch das Internet.

Er enthält nur Informationen für den lokalen Abschnitt.

Ein Ethernet-Frame enthält nicht als Hauptaufgabe:

- Routingentscheidung über mehrere Netze
- DNS-Name
- HTTP-URL
- Benutzername

- TCP-Sitzungsverwaltung

Diese Themen gehören zu höheren Schichten.

Merksatz:

Ethernet-Frame = lokale Zustellung,
nicht kompletter Internetweg.

Typische Fehler mit Frames und MAC-Adressen

Mögliche Fehler:

- falsches VLAN
- MAC-Adresse wird nicht gelernt
- MAC-Adresstabelle veraltet
- Broadcast-Sturm
- Schleife im Switch-Netz
- falsche Port-Konfiguration
- beschädigte Frames durch Signalprobleme
- doppelte MAC-Adresse
- ARP-Probleme

Merksatz:

Schicht-2-Probleme betreffen lokale Zustellung und Frames.

Typische IHK-Fragen

In AP1 und AP2 kann zum Beispiel gefragt werden:

- Was ist ein Ethernet-Frame?
- Welche wichtigen Felder enthält ein Ethernet-Frame?
- Was ist eine Ziel-MAC-Adresse?
- Was ist eine Quell-MAC-Adresse?
- Wie ist eine MAC-Adresse aufgebaut?
- Was ist die Broadcast-MAC-Adresse?
- Was ist der Unterschied zwischen Unicast, Broadcast und Multicast?

- Was macht die FCS?
- Was bedeutet CRC?
- Was ist die MTU?
- Warum ändern sich MAC-Adressen auf dem Weg über Router?
- Warum bleibt die IP-Adresse grundsätzlich erhalten?
- Was macht ARP?
- Was ist der Unterschied zwischen Broadcast und Flooding?

Typische Prüfungsfallen

Frame ist Schicht 2.

Paket ist Schicht 3.

Segment ist Schicht 4 bei TCP.

MAC-Adressen gelten lokal.

IP-Adressen gelten netzübergreifend.

Ziel-MAC ist nicht immer die MAC-Adresse des endgültigen Internetervers.

Bei Ziel in anderem Netz ist Ziel-MAC die MAC-Adresse des Gateways.

Switches lernen über Quell-MAC-Adressen.

Broadcast-MAC-Adresse ist FF:FF:FF:FF:FF:FF.

ARP-Anfragen sind Broadcasts.

ARP-Antworten sind meistens Unicast.

Broadcast und Flooding sind nicht dasselbe.

FCS/CRC erkennt Fehler,
korrigiert sie aber nicht automatisch.

Wichtige Begriffe kurz erklärt

Begriff	Kurze Erklärung
Ethernet-Frame	Datenrahmen auf Schicht 2
Frame	Protocol Data Unit der Sicherungsschicht
Ziel-MAC-Adresse	lokaler Empfänger des Frames
Quell-MAC-Adresse	lokaler Absender des Frames
MAC-Adresse	lokale Hardwareadresse einer Netzwerkschnittstelle
OUI	Herstellerkennung in einer MAC-Adresse
Unicast	einer an einen
Broadcast	einer an alle
Multicast	einer an eine Gruppe
Broadcast-MAC	FF:FF:FF:FF:FF:FF
EtherType	Feld zur Angabe des enthaltenen Protokolls
Nutzdaten	transportierter Inhalt höherer Schichten
FCS	Frame Check Sequence
CRC	Prüfsummenverfahren zur Fehlererkennung
MTU	Maximum Transmission Unit
Jumbo Frame	Frame mit größerer Nutzlast
ARP	sucht MAC-Adresse zu IP-Adresse
Flooding	Weiterleitung an mehrere Ports bei unbekannter Ziel-MAC

IHK-sichere Kurzformulierung

Ein Ethernet-Frame ist die Datenübertragungseinheit auf OSI-Schicht 2. Er enthält unter anderem eine Ziel-MAC-Adresse, eine Quell-MAC-Adresse, Nutzdaten und eine Prüfinformation zur Fehlererkennung. MAC-Adressen dienen der lokalen Zustellung innerhalb eines Netzwerks. Switches leiten Frames anhand der Ziel-MAC-Adresse weiter und lernen MAC-Adressen über die Quell-MAC-Adresse eingehender Frames. Wenn das Ziel in einem anderen IP-Netz liegt, wird der Frame lokal an die MAC-Adresse des Standard-Gateways gesendet, während die Ziel-IP-Adresse im IP-Paket das eigentliche entfernte Ziel bleibt. Über FCS/CRC können beschädigte Frames erkannt und verworfen werden.

Merksätze

Ethernet-Frame = Schicht 2.

IP-Paket = Schicht 3.

TCP-Segment = Schicht 4.

Frame = lokaler Datenrahmen.

Ziel-MAC = lokaler Empfänger.

Quell-MAC = lokaler Absender.

MAC-Adresse = 48 Bit.

MAC-Adressen werden meist hexadezimal geschrieben.

Unicast = einer an einen.

Broadcast = einer an alle.

Multicast = einer an Gruppe.

Broadcast-MAC = FF:FF:FF:FF:FF:FF.

EtherType zeigt das enthaltene Protokoll.

FCS/CRC erkennt beschädigte Frames.

Ethernet korrigiert beschädigte Frames normalerweise nicht selbst.

MTU = maximale Nutzdaten-Größe.

MAC gilt lokal.

IP gilt netzübergreifend.

Entferntes Ziel:

Ziel-MAC = Gateway.

ARP findet MAC zu IP im lokalen Netz.

ARP-Anfrage = Broadcast.

ARP-Antwort = meistens Unicast.

Switch lernt über Quell-MAC.

Bekannte Ziel-MAC = gezielt.

Unbekannte Ziel-MAC = Flooding.

Broadcast und Flooding sind nicht dasselbe.
