

## Switch: Unterschiedliche Arbeitsweisen

Ein Ethernet-Frame enthält die Zieladresse nach der so genannten Datenpräambel in den ersten 48 Bits (6 Bytes). Mit der Weiterleitung an das Zielsegment kann also schon nach Empfang der ersten sechs Bytes begonnen werden, noch während das Frame empfangen wird. Ein Frame ist 64 bis 1518 Bytes lang, in den letzten vier Bytes befindet sich zur Erkennung von fehlerhaften Frames eine CRC-Prüfsumme (zyklische Redundanzprüfung). Datenfehler in Frames können erst erkannt werden, nachdem das gesamte Frame eingelesen wurde.

Je nach den Anforderungen an die Verzögerungszeit und Fehlererkennung kann man daher Switches unterschiedlich betreiben:

- **Cut-through**

a) **Fast-Forward-Switching** – Eine sehr schnelle Methode, hauptsächlich von besseren Switches implementiert. Hierbei trifft der Switch beim Eintreffenden Frame direkt nach der Ziel-MAC-Adresse eine Weiterleitungsentscheidung und schickt das Frame entsprechend weiter, während es noch empfangen wird. Die Latenzzeit setzt sich zusammen aus lediglich den Längen der Präambel (8 Byte), der Ziel-MAC-Adresse (6 Byte) und der Reaktionszeit des Switches. Durch die frühestmögliche Weiterleitung kann das Frame aber nicht auf Fehlerfreiheit geprüft werden, und der Switch leitet auch eventuell beschädigte Frames weiter. Da eine Fehlerkorrektur in der Schicht 2 aber nicht existiert, belasten fehlerhafte Frames lediglich die betreffende Verbindung. (Eine Korrektur kann nur in höheren Netzwerkschichten stattfinden.) Manche Switches schalten bei zu häufigen Fehlern auch auf die langsamere, aber fehlerfreie Weiterleitung mit *Store-and-Forward* um bzw. herunter (s. u.).

b) **Fragment-Free** – Schneller als Store-and-Forward-, aber langsamer als Fast-Forward-Switching, anzutreffen vor allem bei besseren Switches. Bei dieser Methode prüft der Switch, ob ein Frame die im Ethernet-Standard geforderte minimale Länge von 64 Bytes (512 Bit) erreicht, und schickt es erst dann weiter zum Zielpoint, ohne eine CRC-Prüfung durchzuführen. Fragmente unter 64 Byte sind meist Trümmer einer Kollision, die kein sinnvolles Frame mehr ergeben.

- **Store-and-Forward** – Die sicherste, aber auch langsamste Switch-Methode mit der größten Latenzzeit wird von jedem Switch beherrscht. Der Switch empfängt zunächst das ganze Frame (speichert dieses; „Store“), berechnet die Prüfsumme über das Frame und trifft dann seine Weiterleitungsentscheidung anhand der Ziel-MAC-Adresse. Sollten sich Differenzen zwischen der berechneten Prüfsumme und dem am Ende des Frames gespeicherten CRC-Wert ergeben, wird das Frame verworfen. Auf diese Weise verbreiten sich keine fehlerhaften Frames im lokalen Netzwerk. Store-and-Forward war lange die einzig mögliche Arbeitsweise, wenn Sender und Empfänger mit unterschiedlichen Übertragungsgeschwindigkeiten oder Duplex-Modi arbeiteten oder verschiedene Übertragungsmedien nutzten. Die Latenzzeit in Bit ist hier identisch mit der gesamten Paketlänge – bei Ethernet, Fast Ethernet und Gigabit Ethernet im Vollduplex-Modus sind das mindestens 576 Bit, Obergrenze ist die maximale Paketgröße (12.208 Bit) – plus der Reaktionszeit des Switches. Heute gibt es auch Switches, die einen Cut-and-Store-Hybridmodus beherrschen, der auch beim Übertragen der Daten zwischen langsamen und schnellen Verbindungen die Latenz senkt.

- **Error-Free-Cut-Through/Adaptive Switching** – Eine Mischung aus mehreren der obigen Methoden, ebenfalls meist nur von teureren Switches implementiert. Der Switch arbeitet zunächst im Modus „Cut through“ und schickt das Frame auf dem korrekten Port weiter ins LAN. Es wird jedoch eine Kopie des Frames im Speicher behalten, über die dann eine Prüfsumme berechnet wird. Stimmt sie nicht mit dem im Frame gespeicherten CRC-Wert überein, so kann der Switch dem defekten Frame zwar nicht mehr direkt signalisieren, dass er fehlerhaft ist, aber er kann einen internen Zähler mit der Fehlerrate pro Zeiteinheit hochzählen. Wenn zu viele Fehler in kurzer Zeit auftreten, fällt der Switch in den Store-and-Forward-Modus zurück. Sinkt die Fehlerrate wieder tief genug, schaltet der Switch in den Cut-Through-Modus um. Ebenso kann er temporär in den Fragment-Free-Modus schalten, wenn zu viele Fragmente mit weniger als 64 Byte Länge ankommen. Besitzen Sender und Empfänger unterschiedliche Übertragungsgeschwindigkeiten oder Duplex-Modi bzw. nutzen sie andere Übertragungsmedien (Glasfaser auf Kupfer), so müssen die Daten ebenfalls mit Store-and-Forward-Technik übertragen werden.

**Quelle:** <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907141.htm>

## Switching-Verfahren

Beim Switching wird das eingehende Ethernet-Frame (Datenpaket) analysiert. Die MAC-Adressen von Sender und Empfänger werden in der MAC-Tabelle (FDB, Forwarding Database) gespeichert. So können die Datenpakete schneller an den Switch-Port, an dem der Empfänger hängt, weitergeleitet werden. Da eine Station an einen anderen Switch-Port umgezogen werden kann, wodurch der Tabelleneintrag veralten würde, werden die Einträge in der MAC-Tabelle regelmäßig gelöscht (Ageing-Mechanismus).

- Cut-Through
- Store-and-Forward
- Adaptive-Cut-Through
- FragmentFree-Cut-Through

### Cut-Through

Der Switch analysiert die Ethernet-Frames, bevor sie vollständig eingetroffen sind. Hat er die Ziel-Adresse identifiziert, wird das Frame sofort an den Ziel-Port ausgegeben. Die Latenz, die Verzögerungszeit zwischen Empfangen und Weiterleiten eines Frames, ist äußerst gering. Das Cut-Through-Verfahren verzichtet auf die vollständige Analyse der Frames, wobei fehlerhafte oder beschädigte Frames unerkannt bleiben und ungehindert weitergeleitet werden. Obwohl dieses Verfahren sehr schnell ist, kann es auch zu einer Belastung des Netzwerks führen, weil defekte Ethernet-Frames nochmals übertragen werden müssen.

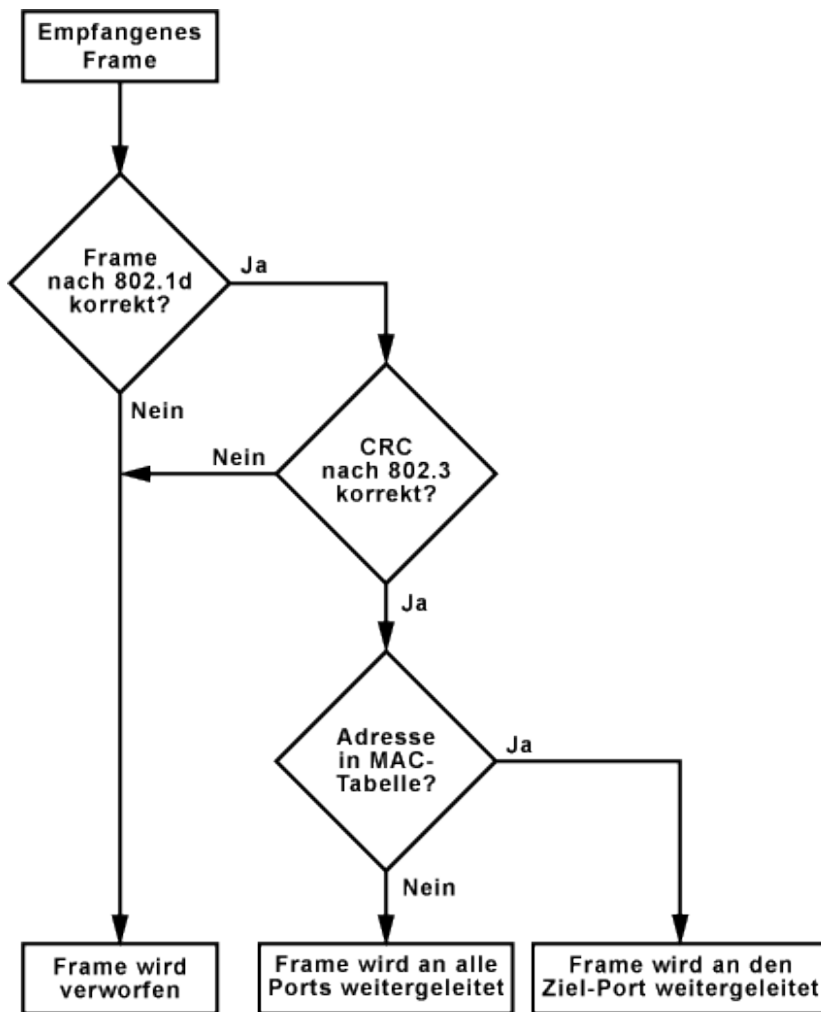
### Store-and-Forward

Der Switch nimmt stets das gesamte Frame in Empfang und speichert es in einem Puffer. Erst danach wird das Frame analysiert. Dazu wird geprüft, ob das Frame die richtige Struktur (nach IEEE 802.1d) hat. Außerdem wird die Richtigkeit der CRC-Prüfsumme (nach IEEE 802.3) getestet. Erst danach wird die Ziel-MAC-Adresse ausgelesen und überprüft. Befindet sich die Ziel-Adresse in der MAC-Tabelle wird das Frame an den gespeicherten Port ausgegeben. Wenn die Adresse sich nicht in der MAC-Tabelle befindet wird das Frame an alle Ports weitergeleitet (Broadcast).

Wenn ein Frame der Ziel-Adresse zurück kommt, dann speichert der Switch die Ziel-Adresse und den dazugehörigen Port in seiner MAC-Tabelle. Beim nächsten Datenpaket mit dieser Ziel-Adresse schickt der Switch das Frame gleich an den zugeordneten Port.

Grundsätzlich benötigt das Store-and-Forward-Verfahren mehr Zeit bis ein Frame weitergeleitet ist. Die genaue Analyse eines Frames reduziert jedoch die Netzbelastung durch fehlerhafte Frames.

Folgendes Ablaufdiagramm verdeutlicht die Vorgehensweise des Store-and-Forward-Verfahrens:



## Adaptive-Cut-Through

Je nach Implementierung gibt es Unterschiede bei diesem Switching-Verfahren. In jedem Fall wird auf eine Kombination aus Cut-Through und Store-and-Forward gesetzt.

Im einen Fall werden die Frames mit Cut-Through weitergeleitet, aber anhand der Prüfsumme (CRC) geprüft. Wird eine bestimmte Fehlerrate überschritten wird automatisch auf Store-and-Forward umgeschaltet. Geht die Fehlerrate zurück, wird auf Cut-Through zurückgeschaltet. Mit diesem Verfahren wird in teuren Switches eine Optimierung des Datenverkehrs zwischen Schnelligkeit und Fehlerfreiheit hergestellt. Unterschiedliche Datenraten kann dieses Switching-Verfahren nicht berücksichtigen. Die Switches unterstützen nur eine Art der Datenrate (10 MBit / 100 MBit / 1 GBit).

Eine anderen Art von Adaptive-Cut-Through entscheidet anhand der Länge des Frames, welches Verfahren angewendet wird. Ist keine Anpassung der Datenrate nötig, werden Frames mit einer Länge über 512 Byte per Cut-Through weitergeleitet. Kürzere Frames werden vor der Weiterleitung mit Store-and-Forward analysiert. Mit diesem Switching-Verfahren optimiert man die Latenz anhand der Länge von Frames.

## FragmentFree-Cut-Through

Dieses Verfahren stammt von Cisco und geht von einem Erfahrungswert bei fehlerhaften Frames aus. Man hat festgestellt, dass Übertragungsfehler am häufigsten innerhalb der ersten 64 Byte eines Frames auftreten. Deshalb überprüft ein, mit FragmentFree-Cut-Through arbeitender, Switch die ersten 64 Byte auf Fehler. Ist es fehlerfrei wird das Frame per Cut-Through weiterverarbeitet. Ist ein Fehler vorhanden, dann wird das Frame verworfen.