

Grundlagen der Informationstechnik

Übung 02 - Ethernet

Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze (IDA)
Abteilung Kommunikationsnetze

✓ Das klassische Ethernet arbeitet im Halb-Duplex Modus. In einem mit Ethernet-Switchen ausgestatteten Netz ist ebenfalls ein Voll-Duplex Betrieb möglich. Zeigen Sie die Erfordernisse und Vorteile des Voll-Duplex Verfahrens auf.

Half-Duplex CSMA/CD Ethernet

Im klassischen Ethernet (z.B. 10Base-2, 10Base-5) kann aufgrund des gemeinsam und bidirektional genutzten Mediums zwei Stationen (Sender und Empfänger) nur zeitlich nacheinander über das Medium kommunizieren, niemals gleichzeitig.

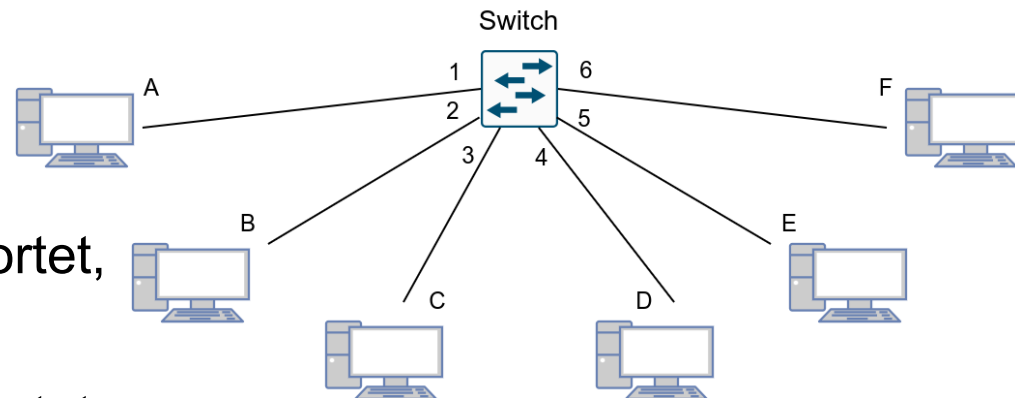
Full-Duplex Ethernet

Beim Full-Duplex Modus können zwei Stationen gleichzeitig kommunizieren. Dazu muss das Medium unabhängige Verbindungswege (Leitungen) für die Sende- und Empfangsrichtung besitzen (z.B. 4 x twisted pairs beim 100Base-TX). Folgende Besonderheiten sind damit verbunden:

- Full-Duplex erfordert Punkt-zu-Punkt Links (dedizierte Verbindung zwischen zwei Endgeräten).
- Bei mehr als zwei Endgeräten ist ein Ethernet-Switch erforderlich, der Frames zweier kommunizierender Endgeräte im Full-Duplex-Modus durchschaltet.
- Im Full-Duplex Modus kann es zu keiner Kollision kommen, das CSMA/CD Protokoll ist daher nicht erforderlich. Aus Kompatibilitätsgründen muss dieses jedoch einen Mischbetrieb beider Moden ermöglichen, insbesondere ist der Interframe Gap einzuhalten.
- Bei ausschließlichem Full-Duplex Betrieb kann die Längen-Beschränkung aufgrund der Slot-Time entfallen.

✓ Wir betrachten einen selbstlernenden Switch im Rahmen eines Netzwerkes mit 6 Knoten. Diese Knoten A bis F sind per Sterntopologie an einen Ethernet Switch angeschlossen. Im Folgenden kann angenommen werden, dass:

- (a) B ein Frame an E sendet,
- (b) E mit einem Frame B antwortet,
- (c) A ein Frame an B sendet,
- (d) B mit einem Frame A antwortet.

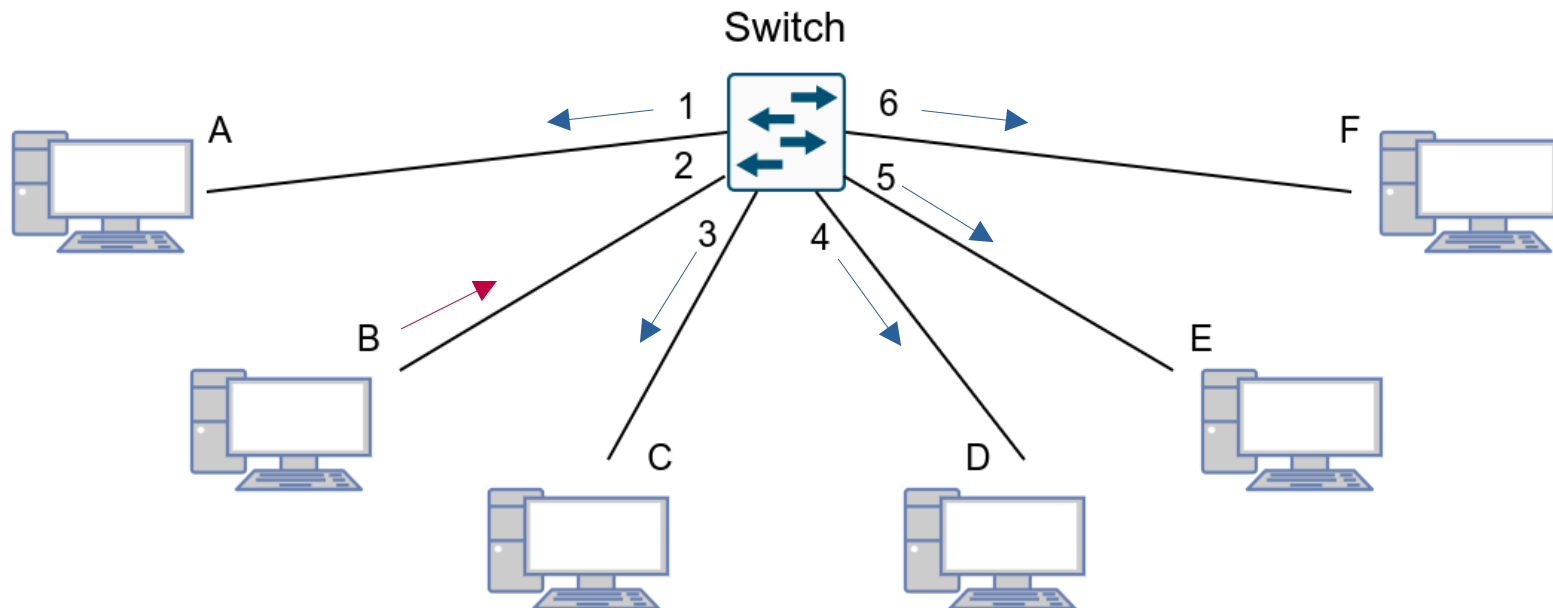


Die Hardware Adress Tabelle ist anfangs leer. Beschreiben Sie den Zustand der Tabelle vor und nach jedem Schritt. Nennen Sie dabei für jeden Schritt die Links auf denen die Frames übertragen werden und erläutern Sie kurz Ihre Antwort.

2)

(a) B sendet ein Frame an E,

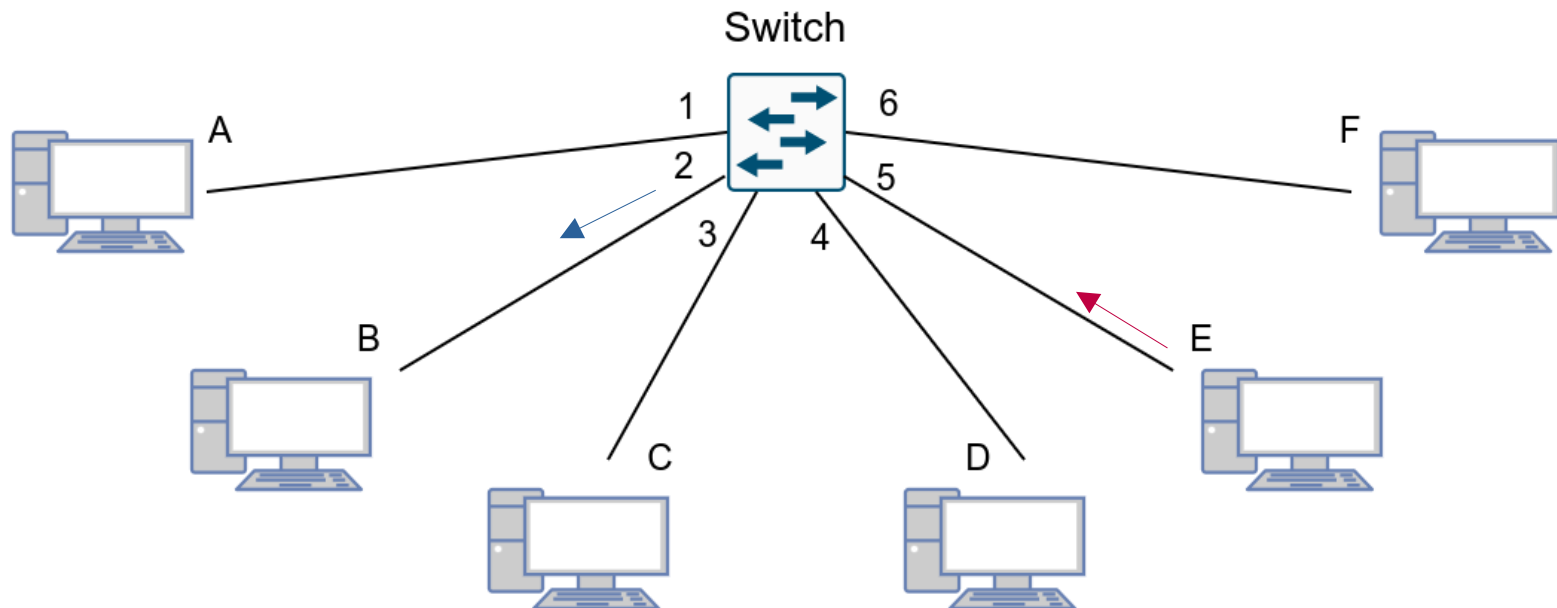
Aktion	Zustand der Hardware Address Tabelle		Paket wird übertragen an	Erläuterung
	MAC-Addr.	Interface		
B sendet ein Frame zu E	B	2	A, C, D, E und F	Da die Hardware Address Tabelle leer ist, weiß der Switch nicht welches Interface mit der MAC Adresse von E korrespondiert



2)

(b) E antwortet B mit einem Frame,

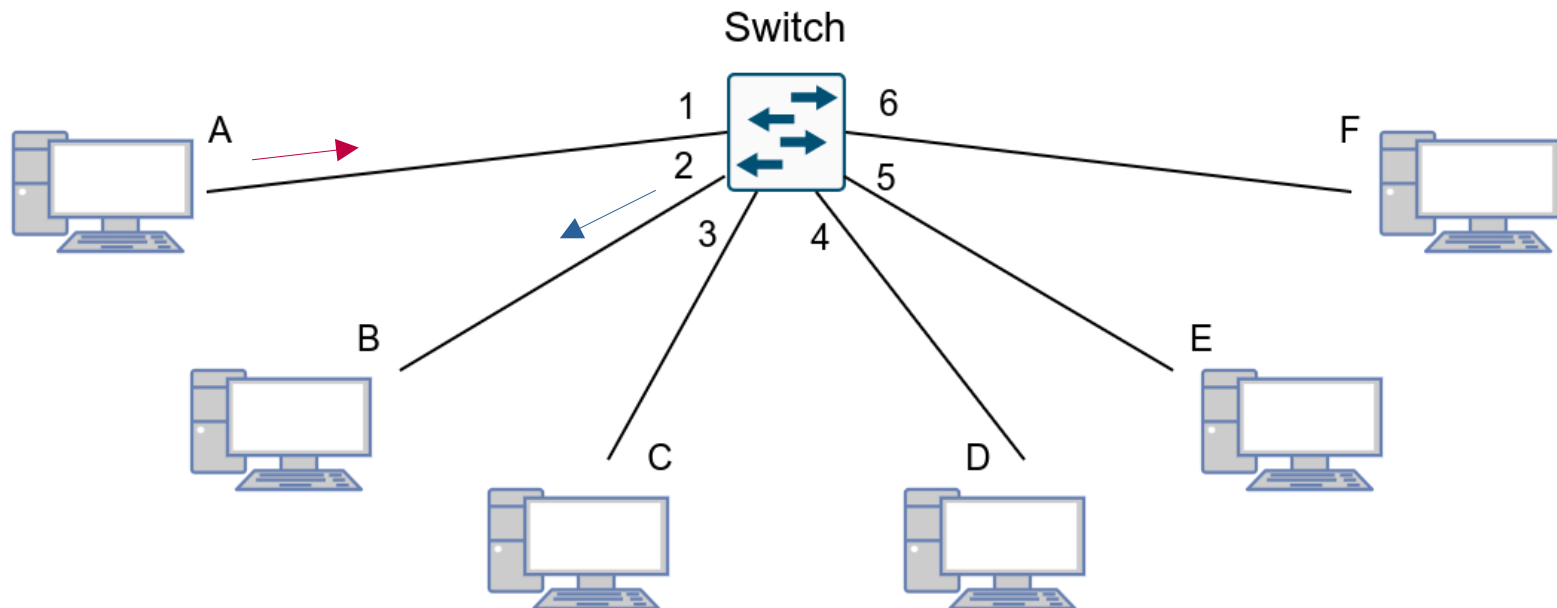
Aktion	Zustand der Hardware Adress Tabelle		Paket wird übertragen an	Erläuterung
	MAC-Addr.	Interface		
E antwortet B mit einem Frame	B	2	B	Switch ist das Interface, über welches B erreicht werden kann, bereits bekannt
	E	5		



2)

(c) A sendet ein Frame an B,

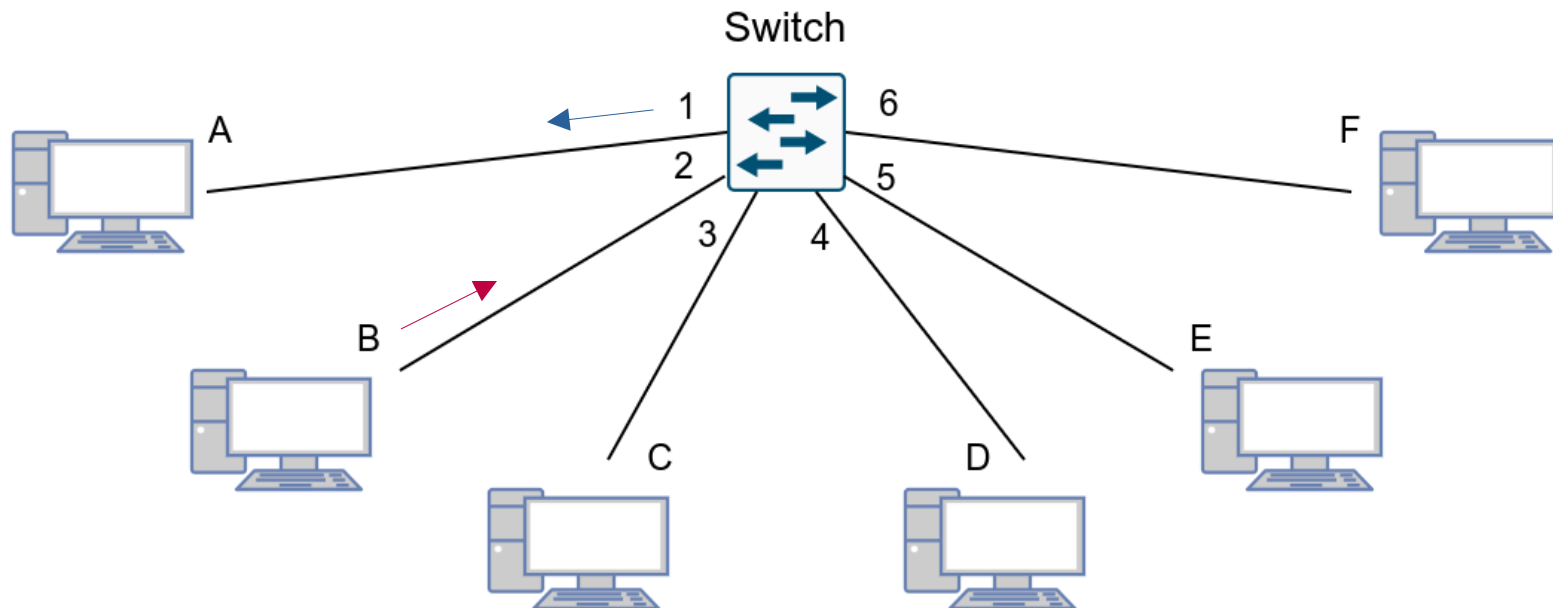
Aktion	Zustand der Hardware Adress Tabelle		Paket wird übertragen an	Erläuterung
	MAC-Addr.	Interface		
A sendet ein Frame an B	B	2	B	Switch ist das Interface, über welches B erreicht werden kann, bereits bekannt
	E	5		
	A	1		



2)

(d) B antwortet A mit einem Frame,

Aktion	Zustand der Hardware Adress Tabelle		Paket wird übertragen an	Erläuterung
	MAC-Addr.	Interface		
B antwortet A mit einem Frame	B	2	A	Switch ist das Interface, über welches A erreicht werden kann, bereits bekannt
	E A	5 1		



Beim CSMA/CD Protokoll wartet der Adapter nach einer Kollision für $K \times 512$ Bitsekunden, wobei K zufällig gewählt wird.

- a) Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass nach der fünften Kollision der Knoten $K = 4$ wählt?
- b) Wie hoch ist Delay (in Sekunden) bei einem $K = 4$ auf einem 10 Mbps Ethernet Broadcast Kanal? Wie hoch ist sie auf einem 100 Mbps Broadcast Kanal?

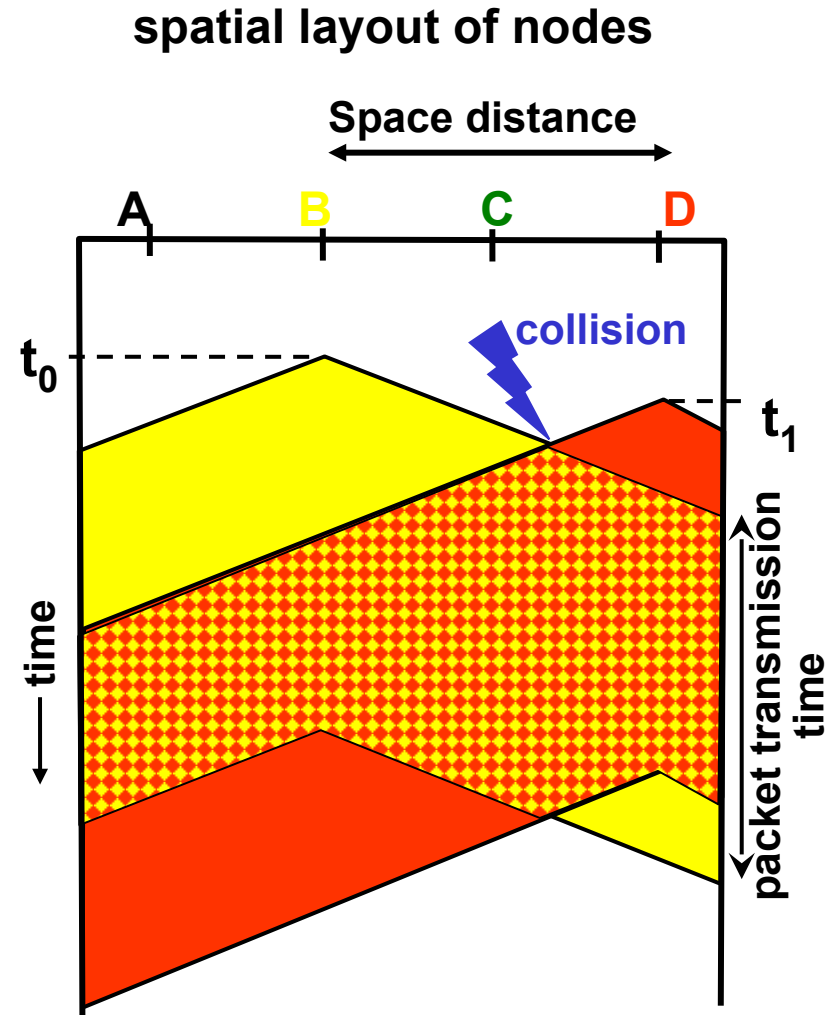
- Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
- “Asynchrones Protokoll, dass Zugriff verschiedener Stationen auf ein gemeinsames Übertragungsmedium regelt”

Aus Computer Networking (Kurose, Ross; Pearson):

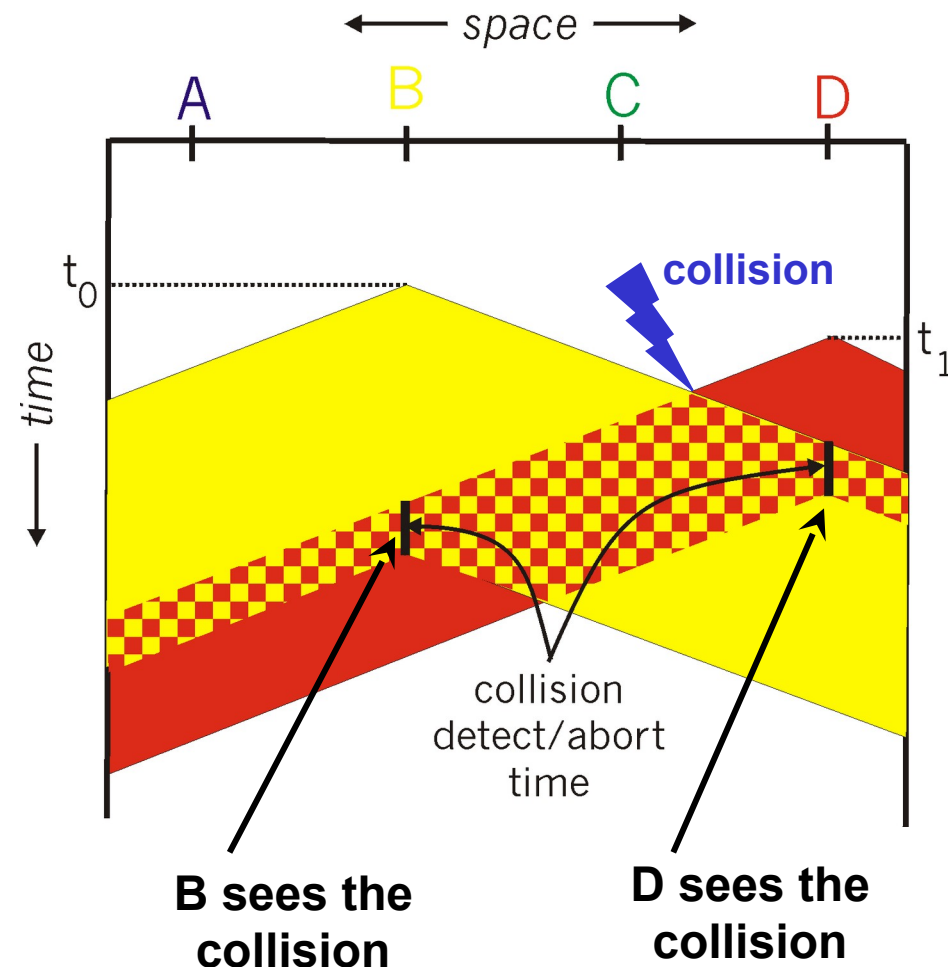
- **carrier sensing** - a node listens to the channel before transmitting
 - *Listen before speaking*
- **collision detection** - a transmitting node listens to the channel while it is transmitting
 - *If someone else begins talking at the same time, stop talking*
- Bei Kollision wird eine zufällige Zeit $K \times 512$ bit gewartet bis eine Sendewiederholung stattfindet (sense-and-transmit-when-idle cycle)

CSMA – Prinzip:

- Listen before transmit:
- Wenn der Kanal belegt ist, verschiebe die Übertragung
- Wenn der Kanal leer ist, sende das gesamte Frame
- Es kann weiterhin zu Kollisionen kommen:
 - Durch Ausbreitungsverzögerung (propagation delay) hören zwei Knoten nicht immer wann der andere überträgt
 - Das gesamte Paketübertragungsdauer (packet transmission time) ist damit nicht mehr nutzbar



- Collision detection (CD)
 - Bei Kollision werden beide kollidierenden Übertragungen abgebrochen
 - Dies führt zu einer geringeren “Kanalverschwendung”
- Implementation von CD
 - Einfach in Wired LANs: messe Signalstärke, vergleiche gesendetes mit empfangenem Signal
 - Schwierig für Wireless LANs: Receiver shut off während der Übertragung



- a) Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass nach der fünften Kollision der Knoten $K = 4$ wählt?

Bei n Kollisionen wählt der betroffene Knoten ein zufälliges K aus $\{0, 1, 2, \dots, 2^n - 1\}$

- Je mehr Kollisionen wahr genommen werden, desto größer wird das Intervall aus dem K gewählt wird

Nach der fünften Kollision wählt der Knoten aus einem Intervall von $\{0, 1, 2, \dots, 31\}$.

→ Die Wahrscheinlichkeit, dass $K = 4$ gewählt wird liegt bei $1/32$.

- b) Wie hoch ist der Delay (in Sekunden) bei einem $K = 4$ auf einem 10Mbps Ethernet Broadcast Kanal? Wie hoch ist sie auf einem 100 Mbps Broadcast Kanal?

Warte $K \times 512$ Bitzeiten.

Für 10 Mbps:

$$512 \times 4 \text{ bits} / 10 \times 10^6 \text{ bps} = 204,8 \text{ } \mu\text{s}$$

Für 100 Mbps ist die Wartezeit $20,4 \mu\text{s}$.

Gegeben sei eine Bus Topologie mit folgenden Daten:

- $v_B = 50 \text{ Mbit/s}$
- $N = 20$ Stationen
- $d = 2000 \text{ m}$
- $v_A = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- $L = 2500 \text{ bit}$

Berechnen Sie

- a) Die maximale Auslastung ρ_{max}
- b) Den maximalen Durchsatz v_{max}

a) Berechnen Sie die maximale Auslastung ρ_{max}

- $v_B = 50 \text{ Mbit/s}$
- $N = 20$ Stationen
- $d = 2000 \text{ m}$
- $v_A = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- $L = 2500 \text{ bit}$

Propagation Delay:

$$\tau = \frac{d}{v_A} = \frac{2000 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 10 \mu\text{s}$$

Übertragungsdauer:

$$t_T = \frac{L_{min}}{v_B} = \frac{2500 \text{ bit}}{50 \text{ Mbit/s}} = 50 \mu\text{s}$$

Lokalitätsfaktor:

$$a = \frac{\tau}{t_T} = 0,2$$

Max. Auslastung (Medium):

$$\rho_{max} = \frac{1}{1+a(1+2e)} \approx \frac{1}{1+6.44a} \approx 0,437$$

b) Berechnen Sie den maximalen Durchsatz v_{max}

- $v_B = 50 \text{ Mbit/s}$
- $N = 20$ Stationen
- $d = 2000 \text{ m}$
- $v_A = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- $L = 2500 \text{ bit}$

Propagation Delay:

$$\tau = \frac{d}{v_A} = \frac{2000 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 10 \mu\text{s}$$

Übertragungsdauer:

$$t_T = \frac{L_{min}}{v_B} = \frac{2500 \text{ bit}}{50 \text{ Mbit/s}} = 50 \mu\text{s}$$

Lokalitätsfaktor:

$$a = \frac{\tau}{t_T} = 0,2$$

Max. Auslastung (Medium):

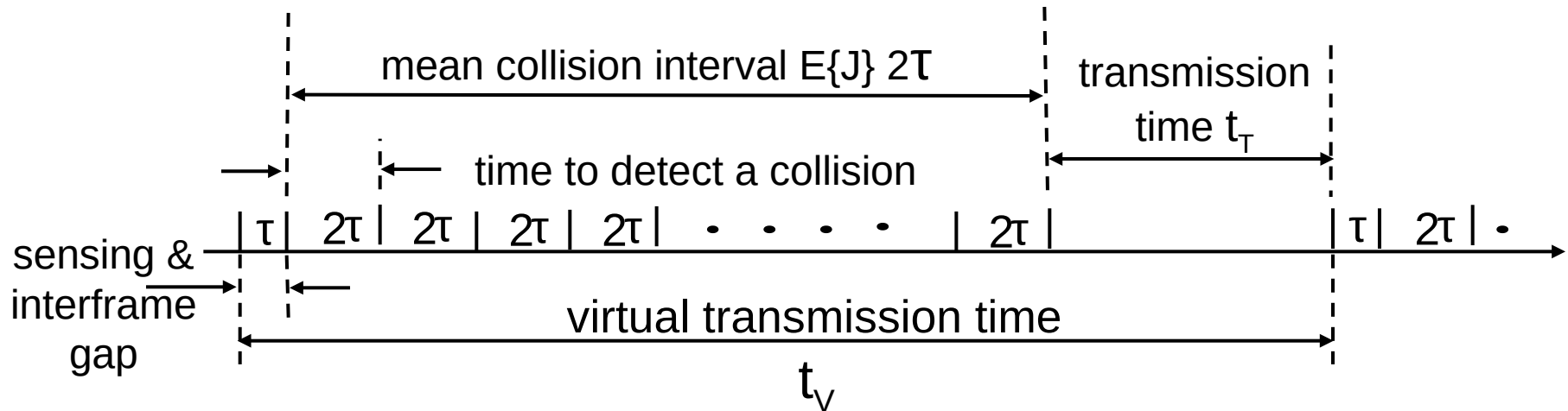
$$\rho_{max} = \frac{1}{1+a(1+2e)} \approx \frac{1}{1+6.44a} \approx 0,437$$

Max. Durchsatz:

$$v_{max} = v_B \cdot \rho_{max} = 21,85 \text{ Mbit/s}$$

- a) Sie betrachten eine Kollisionsdomäne mit 10 Stationen. Berechnen Sie die maximale Erfolgswahrscheinlichkeit einer Übertragung und das durchschnittliche Kollisionsintervall für $j = 2$.
- b) Berechnen Sie das durchschnittliche Kollisionsintervall aus a) unter der Annahme, dass j nun gegen unendlich strebt.
- c) Es wird eine Fast Ethernet 100BaseT Stern-Topologie mit einem zentralen Hub betrachtet. Die maximale Auslastung soll 0,4 betragen. Berechnen Sie die maximal erlaubte Distanz zwischen zwei Hosts ($v_A = 2 \cdot 10^8$ m/s).

- d) Es wird eine Fast Ethernet 100BaseT ($v_B = 100$ Mbit/s) Stern-Topologie mit einem zentralen Hub verwendet, an dem $N = 10$ PCs jeweils über eine Leitung der Länge 100m (Ausbreitungsgeschwindigkeit $v_A = 2 \cdot 10^8$ m/s) angeschlossen sind. Berechnen Sie die maximal erzielbare Auslastung des Mediums und den maximal erzielbaren Durchsatz (in bit/s) eines PCs für eine Framelänge von 512 bit.
- e) Zeigen Sie für das Beispiel aus Aufgabenteil b), unter welchen Bedingungen die maximal erzielbare Auslastung des Mediums gegen 1 konvergiert.



▪ Mittleres Kollisionsintervall $E\{J\}$

- $E\{J\}$ ist die durchschnittliche Anzahl an Übertragungswiederholungen, vorausgesetzt, dass Kollisionen aufgetreten sind.

▪ Virtuelle Übertragungsdauer

- Dauer um ein Frame erfolgreich zu übertragen, wenn Kollisionen aufgetreten sind:

$$t_v = t_T + \tau + 2 \tau \cdot E\{J\} = t_T \cdot \left(1 + \frac{\tau}{t_T} + \frac{2 \tau}{t_T} \cdot E\{J\}\right) = t_T (1 + a + 2 a \cdot E\{J\})$$

Annahmen:

- Im Netzwerk sind $N \gg 1$ aktive Stationen
- Jede Station hat immer eine Dateneinheit zum übertragen
- Sei die Wahrscheinlichkeit, dass eine beliebige Station in einem 2τ Intervall übertragen möchte gleich p .
 - Die Wahrscheinlichkeit, dass k von N Stationen überträgt ist dann

$$P_k = \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k}$$

- Die Wahrscheinlichkeit, dass genau eine Station überträgt (erfolgreiche Übertragung) ist

$$\hat{p} = P_1 = Np (1-p)^{N-1}$$

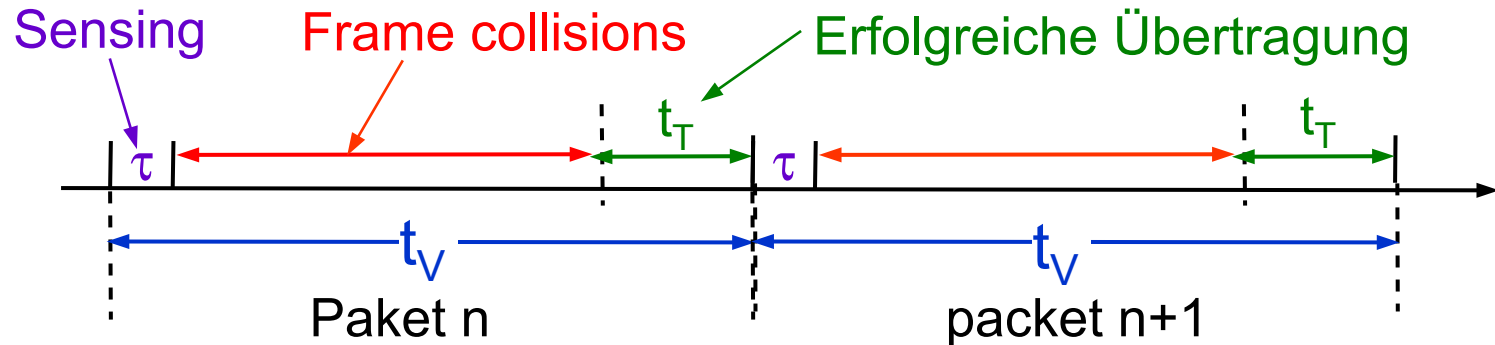
- Der Wert $p = 1/N$ maximiert die Erfolgswahrscheinlichkeit

$$\hat{p}_{\max} = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} e^{-1}$$

- Keine Kollisionen: $j = 0$
 - Nur eine Station sendet im Intervall 2τ mit der Wahrscheinlichkeit \hat{p}_{max}
- Eine Kollision ist aufgetreten ($j > 0$); der Exponential Back-Off Algorithmus wird wie folgt approximiert:
 - Das Kollisionsintervall ist eine Einheit (2τ) lang wenn während dieses Intervalls genau eine Station ihre Übertragung wiederholt (Wahrscheinlichkeit $P(j = 1) = \hat{p}_{max}$)
 - Ist das Intervall 2 Einheiten lang: $P(j = 2) = \hat{p}_{max} (1 - \hat{p}_{max})$
 - Ist das Intervall j Einheiten lang: $P(J = j) = \hat{p}_{max} (1 - \hat{p}_{max})^{j-1}$
(Geometrische Verteilung)
- Durchschnittliches Kollisionsintervall:

$$E\{J\} = \sum_{j=0}^{\infty} j \cdot P\{J = j\} = \sum_{j=1}^{\infty} j \cdot \hat{p}_{max} (1 - \hat{p}_{max})^{j-1} = \frac{1}{\hat{p}_{max}}$$

$$\xrightarrow{N \rightarrow \infty} e$$



- Tatsächliche Paketübertragungszeit t_V

\cong Sensing + collision time + transmission time

$$t_V = \tau + 2\tau \cdot e + t_T = t_T (1 + a(1 + 2e)) \quad (a = \tau/t_T)$$

- Maximale Paketdurchsatzrate

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{t_V} \quad [\text{Pakete pro Sekunde (pps)}]$$

- Maximale Auslastung

$$\rho_{\max} = \frac{t_T}{t_V} = \frac{1}{1 + a(1 + 2e)} \approx \frac{1}{1 + 6.44a}$$

Geht gegen 1
wenn τ gegen 0 geht

- a) Sie betrachten eine Kollisionsdomäne mit 10 Stationen.
Berechnen Sie die maximale Erfolgswahrscheinlichkeit einer Übertragung und das durchschnittliche Kollisionsintervall für $j = 2$.

$$N = 10, j = 2 :$$

$$\hat{p}_{max} = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} = \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{10-1} \approx 0,387$$

$$P(J = 2) = \hat{p}_{max} (1 - \hat{p}_{max})^{2-1} \approx 0,237$$

$$E\{J\} = \sum_{j=1}^2 j \cdot \hat{p}_{max} (1 - \hat{p}_{max})^{j-1} \approx 0,861$$

- b) Berechnen Sie das durchschnittliche Kollisionsintervall aus a) unter der Annahme, dass j nun gegen unendlich strebt.

$$N = 10, j \rightarrow \infty :$$

$$\hat{p}_{max} = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} = \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{10-1} \approx 0,387$$

$$E\{J\} \approx \frac{1}{\hat{p}_{max}} \approx 2,584$$

- c) Es wird eine Fast Ethernet 100BaseT Stern-Topologie mit einem zentralen Hub betrachtet. Die maximale Auslastung soll 0,4 betragen. Berechnen Sie die maximal erlaubte Distanz zwischen zwei Hosts ($v_A = 2 \cdot 10^8$ m/s).

$$\rho_{\max} \approx \frac{1}{1 + 6,44 a} = 0,4 \quad \longrightarrow \quad a = \frac{\tau}{t_T} \approx 0,233$$

$$t_T = \frac{L_{\min}}{v_B} = \frac{512 \text{ bit}}{100 \text{ Mbit/s}} = 5,12 \mu s \quad \longrightarrow \quad \tau = 1,193 \mu s$$

$$\longrightarrow d = \tau \cdot v_A = 239 \text{ m}$$

d) [...] Berechnen Sie die maximal erzielbare Auslastung des Mediums und den maximal erzielbaren Durchsatz (in bit/s) eines PCs für eine Framelänge von 512 bit.

Entfernung Worst-Case: $d = 2l = 200 \text{ m}$

Propagation Delay: $\tau = d / v_A = \frac{200 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1 \mu\text{s}$

Übertragungsdauer: $t_T = \frac{L_{\min}}{v_B} = \frac{512 \text{ bit}}{100 \text{ Mbit/s}} = 5,12 \mu\text{s}$

Lokalitätsfaktor: $a = \frac{\tau}{t_T} = 0,1953125$

Max. Auslastung (Medium): $\rho_{\max} = \frac{1}{1 + a(1 + 2e)} \approx \frac{1}{1 + 6,44a} = 0,4429$

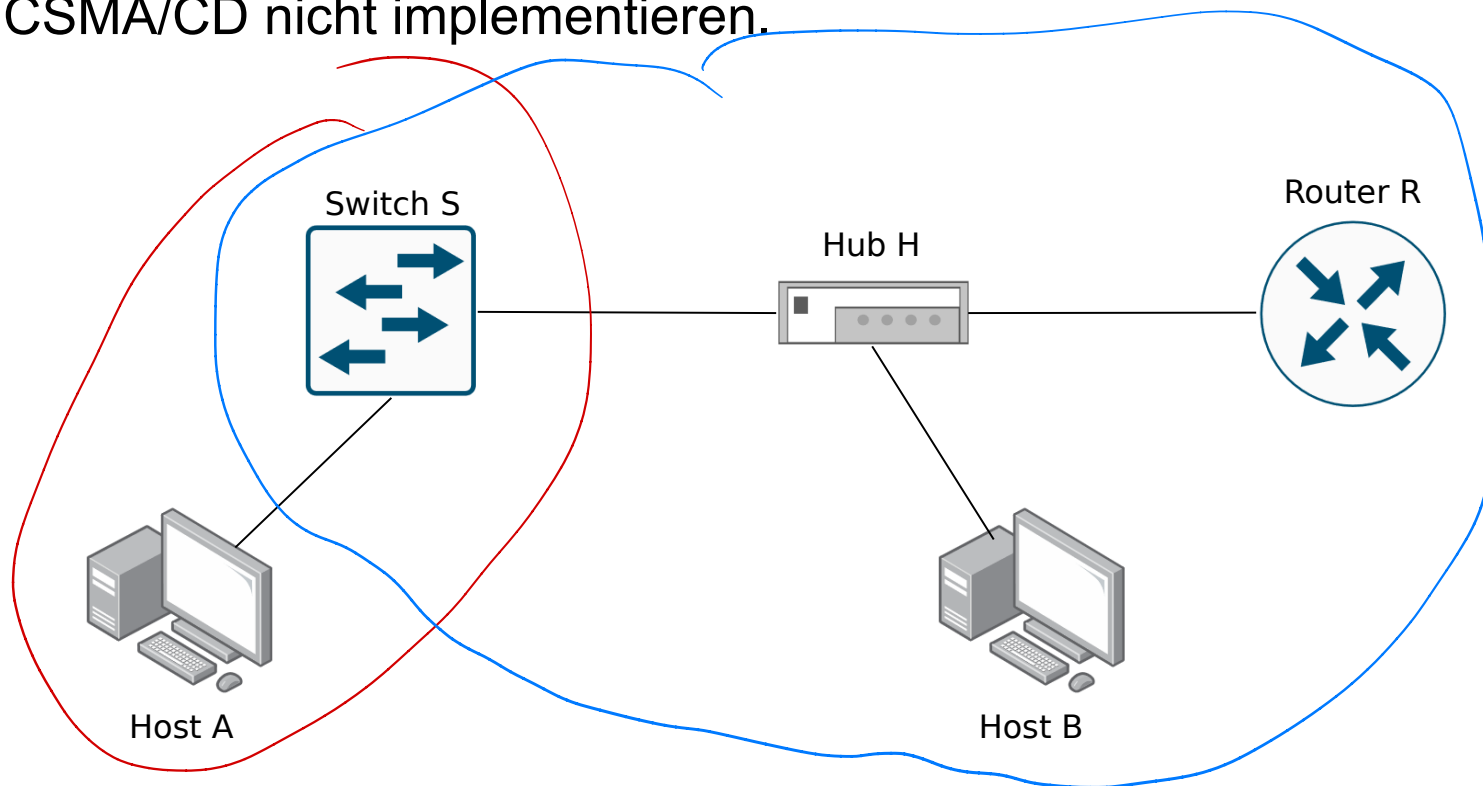
Max. Durchsatz je PC: $v_N = \frac{v_B \cdot \rho_{\max}}{N} = 4,429 \text{ Mbit/s}$

- e) Zeigen Sie für das Beispiel aus Aufgabenteil b), unter welchen Bedingungen die maximal erzielbare Auslastung des Mediums gegen 1 konvergiert.

$$\rho_{max} = \frac{1}{1+a(1+2e)} = \frac{1}{1+\frac{\tau}{t_T}(1+2e)} = \frac{1}{1+\frac{d \cdot v_B}{v_A \cdot L}(1+2e)}$$

$\xrightarrow{L \rightarrow \infty \text{ oder } d \rightarrow 0} 1$

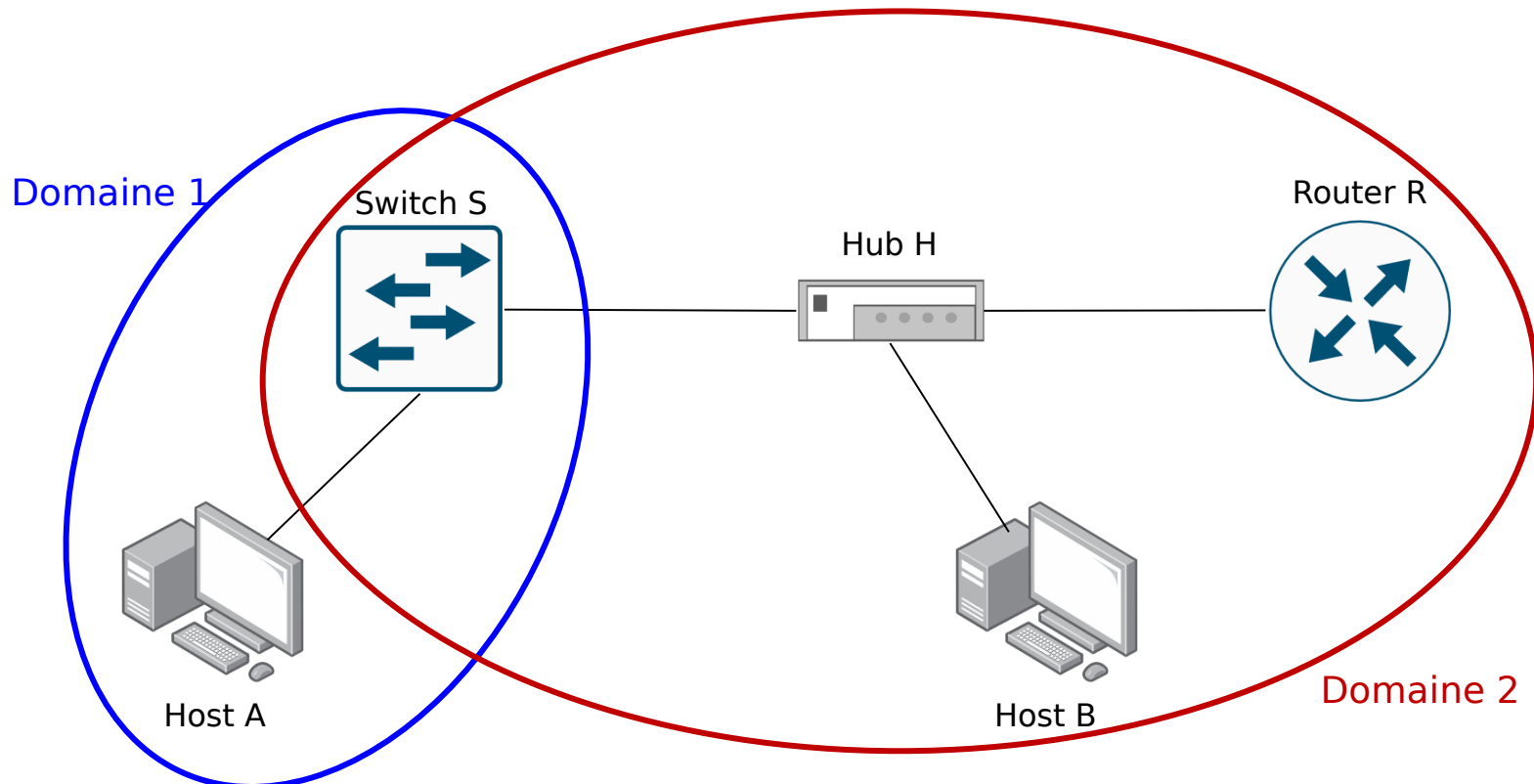
✓ Die Abbildung zeigt ein Ethernet-Netzwerk. Wie viele Kollisionsdomänen gibt es? Listen Sie für jede Domäne auf, welche Geräte sich darin befinden. Listen sie keine Geräte auf, die CSMA/CD nicht implementieren.



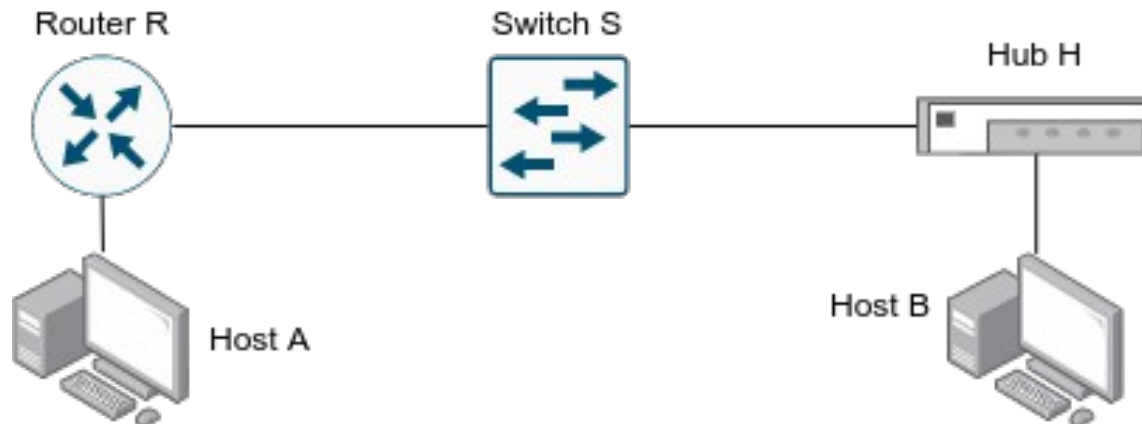
Im Netzwerk gibt es 2 Kollisionsdomänen.

- Domäne 1: Host A, Switch S
- Domäne 2: Switch S, Host B, Router R

Da es sich bei Hubs generell um rein elektrische Geräte (Layer 1) handelt, implementieren sie kein CSMA/CD und dürfen daher nicht aufgelistet werden.



- ✓ In der unten gegebenen Topologie sendet der Host B eine Nachricht in einem Ethernet-Rahmen mit der Zieladresse FF-FF-FF-FF-FF-FF. Wird der Rahmen von Host A empfangen? Wenn nicht, welches ist das letzte Gerät das den Rahmen empfängt?



Wird der Rahmen von Host A empfangen? Wenn nicht, welches ist das letzte Gerät das den Rahmen empfängt?

- Host A kann Nachricht nicht empfangen.
 - Da Rahmen als Layer-2 Broadcast gesendet, kann er nur von Rahmen im selben Layer-2 Netz empfangen werden
- Router R Layer-3 Gerät
 - Layer-2 Verbindung wird hier terminiert