

Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

Übungsblatt 6

6. Juni – 17. Juni 2022

Hinweis: Da wegen Pfingsten und Fronleichnam mehrere Übungsgruppen ausfallen, wird dieses Blatt vom 8. bis 10. Juni (Mi – Fr) sowie am 13. und 14. Juni (Mo/Di) in den Übungen behandelt. Die Übungsgruppen am Mittwoch, den 15. Juni, sowie Freitag, den 17. Juni, entfallen.

Aufgabe 1 ARP und IP-Fragmentierung

In Abbildung 1.1 ist eine Anordnung von Netzkomponenten mit ihren IP- und MAC-Adressen dargestellt. Die beiden Computer PC1 und PC2 verwenden den jeweils lokalen Router als Default-Gateway. PC1 sendet ein IP-Paket mit 1000 B Nutzdaten an PC2. Die MTU auf dem WAN-Link zwischen R1 und R2 betrage 580 B. Innerhalb der lokalen Netzwerke gelte die für Ethernet übliche MTU von 1500 B.

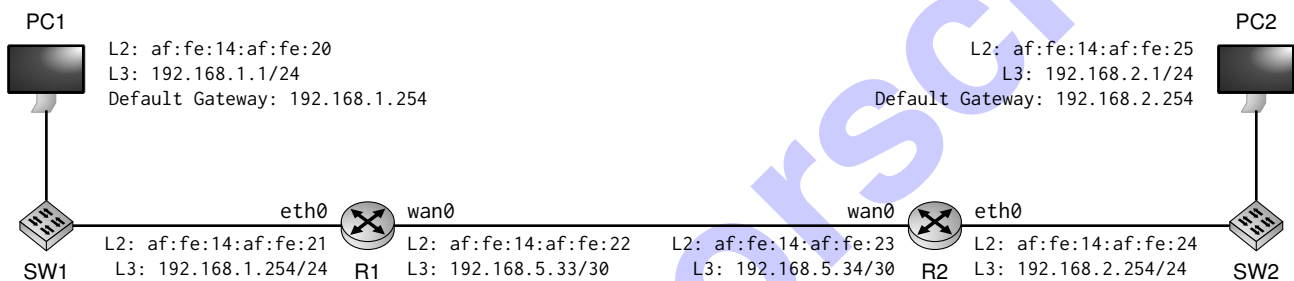


Abbildung 1.1: Netztopologie

Im Folgenden soll die Übertragung des Pakets mit allen notwendigen Zwischenschritten nachvollzogen werden. Gehen Sie zunächst davon aus, dass die ARP-Caches aller beteiligten Netzwerkkomponenten geleert sind.

a)* Inwiefern wirken sich die beiden Switches SW1 und SW2 in diesem Beispiel aus?

Die Switches haben keinerlei Einfluss auf die ausgetauschten Nachrichten. Switches sind i. A. transparent für die angeschlossenen Hosts. Insbesondere verändern Switches weder Absender noch Empfänger Adresse.

b)* In wie viele Fragmente muss R1 das Paket von PC1 aufteilen?

Die MTU (Maximum Transmission Unit) ist die maximale Größe eines Pakets auf Schicht 3 inkl. Header. Sie entspricht also genau der maximalen Größe der Payload auf Schicht 2. Mit dem Wissen, dass ein IP-Header 20 B lang ist (Ausnahme bei Verwendung von Optionen), erhalten wir:

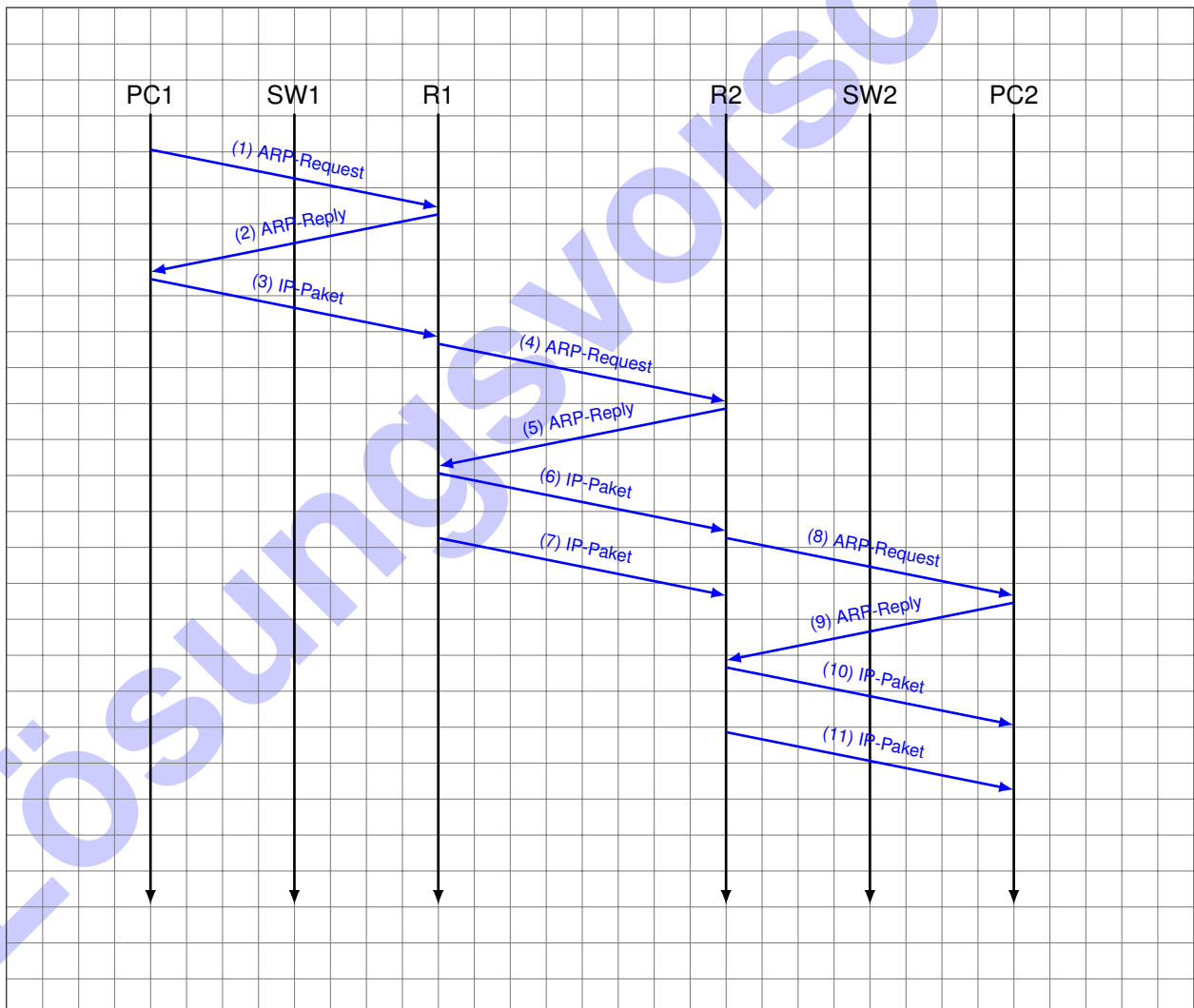
$$N = \left\lceil \frac{1000 \text{ B}}{580 \text{ B} - 20 \text{ B}} \right\rceil = 2$$

c)* An welcher Stelle im Netzwerk werden die Fragmente reassembliert?

Erst der Empfänger, hier also PC2, reassembliert die Fragmente wieder. Tatsächlich kann i. A. kein anderer Knoten die Reassemblierung durchführen, da die Fragmente jeweils einzelne und voneinander unabhängige Pakete darstellen.

Dies bedeutet insbesondere, dass sie unabhängig voneinander geroutet werden und daher u. U. verschiedene Wege zum Ziel nehmen können – das sieht man aus dem einfachen Beispiel in Abbildung 1.1 natürlich nicht, da es hier nur einen Pfad zwischen PC1 und PC2 gibt.

d) Skizzieren Sie ein einfaches Weg-Zeit-Diagramm, welches **alle Rahmen** berücksichtigt, die auf den jeweiligen Verbindungen übertragen werden müssen. **Nennen Sie die Art der ausgetauschten Rahmen und geben Sie den Rahmen Nummern (1,2,3,...).** (Das Diagramm muss nicht maßstabsgetreu sein. Serialisierungszeiten und Ausbreitungsverzögerungen sind zu vernachlässigen.)



Am Ende dieses Übungsblatts finden Sie Vordrucke für Ethernet-Header, ARP-Pakete (Header und Payload) und IP-Header (mehr als benötigt). Es ist nicht notwendig, den Header binär auszufüllen. Achten Sie lediglich darauf, dass Sie die Zahlenbasis deutlich kennzeichnen, z. B. $0x10$ für hexadezimal oder $63_{(10)}$ für dezimal.

e) Füllen Sie für die ersten drei Rahmen aus Teilaufgabe d) jeweils einen Ethernet-Header und die passende Payload (ARP-Paket oder IP-Header mit angedeuteter Payload) aus. Beschriften Sie die gestrichelte Box neben dem jeweiligen Header/Paket mit der in Teilaufgabe d) vergebenen Rahmennummer.

f) Füllen Sie für alle übrigen Rahmen, welche eine IP-Payload transportieren, jeweils einen Ethernet- und IP-Header aus. Beschriften Sie die gestrichelte Box neben dem jeweiligen Header mit der in Teilaufgabe d) vergebenen Rahmennummer.

g)* Angenommen PC1 und PC2 würden über IPv6 kommunizieren:

1. Welche Auswirkungen hätte dies auf die Switches SW1 und SW2?
2. Müssten die Router R1 und R2 in diesem Fall auch IPv6-fähig sein?
3. An welcher Stelle fände die Fragmentierung von Paketen statt?

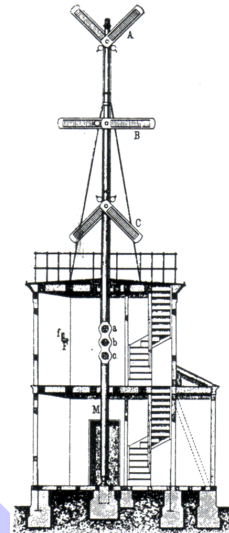
1. Im gegebenen Fall gar keine: Switches arbeiten nur mit MAC-Adressen, an denen sich nichts ändern würde (abgesehen von ggf. Multicast).
2. Ja, zumindest an den lokalen Interfaces `eth0`, da IPv6 und IPv4 nicht kompatibel sind. Ein Transport von IPv6 über IPv4 mittels GRE (General Routing Encapsulation) ist dann zwar theoretisch möglich, wegen der nicht-injektiven Abbildbarkeit von IPv4 auf IPv6 aber wenig sinnvoll bzw. im Allgemeinen unmöglich.
3. Fragmentiert würde nun direkt an PC1, da bei IPv6 Router grundsätzlich nicht fragmentieren.

Aufgabe 2 Optischer Telegraf (Hausaufgabe / Klausuraufgabe Midterm 2014)

In dieser Aufgabe betrachten wir optische Telegrafen. Der Abstand zwischen je zwei benachbarten Telegrafestationen beträgt 15 km. Der Mast einer solchen Station (siehe nebenstehende Abbildung) hat links und rechts jeweils drei Flügel, wovon jeder wiederum vier verschiedene Positionen (|, \, — und /) einnehmen kann.

Ein *Symbol* ist die Konfiguration aller Flügel.

Für das Einstellen eines Symbols werden 10 s benötigt. Das Ablesen beim Empfänger erfolgt parallel und benötigt daher keine zusätzliche Zeit.



a)* Wie viele bit können mit jedem Symbol übertragen werden?

Symbole: $4^6 = 4096$, Bits: $N = \log_2 4096 = 12$																																																																																																			
------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

b) Bestimmen Sie die erzielte Datenrate in B/s.

$r = \frac{N}{8 \cdot 10} \text{ B/s} = 0.15 \text{ B/s}$																																																																																																			
-----------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

c)* Die zur Verfügung stehende (Brutto-)Datenrate wird üblicherweise nicht vollständig für Nutzdaten aufgewendet. Nennen Sie zwei weitere, sinnvolle Aufgaben, die bei gängigen Systemen einen Teil der Datenrate in Anspruch nehmen.

<ul style="list-style-type: none"> • Steuersymbole (Start of Frame, End of Frame) • 4B5B Code: Taktrückgewinnung • Fehlererkennung (Prüfsumme) / Fehlerkorrektur • Headerinformationen (Adressierung) • Padding

Es soll nun eine Nachricht der Länge 72 B übertragen werden.

d) Berechnen Sie benötigte Serialisierungszeit für diese Nachricht.

$$t_s = \frac{72 \text{ B}}{r} = \frac{72 \text{ B}}{0.15 \text{ B/s}} = 480 \text{ s}$$

e)* Berechnen Sie die Ausbreitungsverzögerung dieser Nachricht zwischen zwei Stationen. Die Verringerung der Lichtgeschwindigkeit durch die Luft kann hierbei vernachlässigt werden.

$$t_p = \frac{d}{v_c} = \frac{15000 \text{ m}}{300000000 \text{ m/s}} = 0.05 \text{ ms}$$

Wir betrachten nun eine Kette von insgesamt 4 Telegrafestationen, welche jeweils 15 km voneinander entfernt sind. Diese Nachricht der Länge 72 B soll nun mittels Paketvermittlung übertragen werden. Das auf Schicht 2 genutzte Protokoll kann hierbei nur Rahmen bis zu einer Größe von einschließlich 36 B übertragen.

f)* In wie viele Pakete muss die Nachricht aufgeteilt werden, wenn jedem Paket ein Header von 4 B hinzugefügt werden muss?

$$\rho_{\max} = 36 \text{ B} - 4 \text{ B} = 32 \text{ B}$$

$$N = \left\lceil \frac{L}{\rho_{\max}} \right\rceil = \left\lceil \frac{72 \text{ B}}{32 \text{ B}} \right\rceil = 3$$

g) Berechnen Sie die Dauer einer vollständig paketbasierten Übertragung der Nachricht über die gesamte Telegrafenkette hinweg. Gehen Sie davon aus, dass die Übermittlungen immer erfolgreich sind und somit keine Bestätigungen benötigt werden.

$$T_{PV} = \frac{1}{r} \left(\left\lceil \frac{L}{\rho_{\max}} \right\rceil \cdot L_h + L \right) + \frac{d}{v_c} + n \cdot \frac{L_h + \rho_{\max}}{r}$$

|Anzahl Zwischenstationen| = $n = 2$

$$T_{PV} = \frac{1}{0.15 \text{ B/s}} (3 \cdot 4 + 72) + \frac{45 \text{ km}}{c} + 2 \cdot \frac{4 + 32}{0.15 \text{ B/s}}$$

$$= 560 \text{ s} + 0.15 \text{ ms} + 480 \text{ s} \approx 1040 \text{ s}$$

h) Um wieviel weicht die Dauer bei einer durchgängigen Nachrichtenvermittlung ab? Gehen Sie davon aus, dass bei der Nachrichtenvermittlung kein Header verwendet wird.

Jede Station muss die Nachricht vollständig erhalten, bevor die Nachricht weiter geleitet werden kann.

$$\text{Gesamtdistanz } d = 3 \cdot 15 \text{ km} = 45 \text{ km}$$

$$T_{NV} = (n + 1) \cdot t_s + t_{p,\text{gesamt}}$$

$$= (2 + 1) \cdot 480 \text{ s} + 0.15 \text{ ms} = 1440 \text{ s}$$

Eine Nachrichtenvermittlung wäre ca. $1440 \text{ s} - 1040 \text{ s} = 400 \text{ s}$ langsamer.

Aufgabe 3 Packet Pair Probing (Hausaufgabe / Klausuraufgabe Endterm 2012)

Packet Pair Probing ist ein Verfahren, mit dem sich durch geschickte Ausnutzung von Serialisierungs- und Verzögerungszeiten die Bandbreite eines Linkabschnitts bestimmen lässt. Wir wollen dies anhand des in Abbildung 3.1 dargestellten Beispielnetzwerks nachvollziehen.

Die Knoten 1 und 4 sind mit ihren Routern jeweils über Ethernet mit einer Datenrate von 1 Gbit/s angebunden. Die Verbindung zwischen den Routern 2 und 3 ist jedoch deutlich langsamer. Diese Übertragungsrate r_{23} soll von 1 und 4 bestimmt werden, indem möglichst wenig Last auf der ohnehin langsamen Verbindung erzeugt wird.

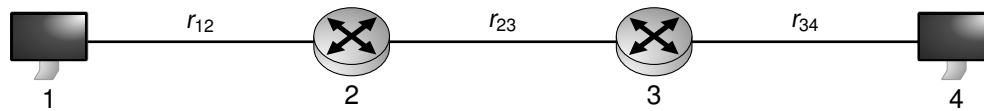


Abbildung 3.1: Netztopologie

Wir leiten in dieser Aufgabe zunächst allgemein ein Verfahren her, mittels dem Knoten 1 und 4 die gefragte Übertragungsrate bestimmen können. Im Anschluss werten wir das Verfahren für konkrete Zahlenwerte aus und diskutieren mögliche Probleme, die in der Praxis auftreten werden.

a)* Geben Sie die Serialisierungszeit $t_s(i, j)$ zwischen zwei benachbarten Knoten i und j in Abhängigkeit der Paketgröße p und der Übertragungsrate r_{ij} an.

$$t_s(i, j) = \frac{p}{r_{ij}}$$

b)* Geben Sie die Ausbreitungsverzögerung $t_p(i, j)$ zwischen zwei benachbarten Knoten i und j in Abhängigkeit der Distanz d_{ij} an.

Mit der relativen Ausbreitungsgeschwindigkeit ν (die vom Medium abhängig ist) und der Lichtgeschwindigkeit c_0 ergibt sich:

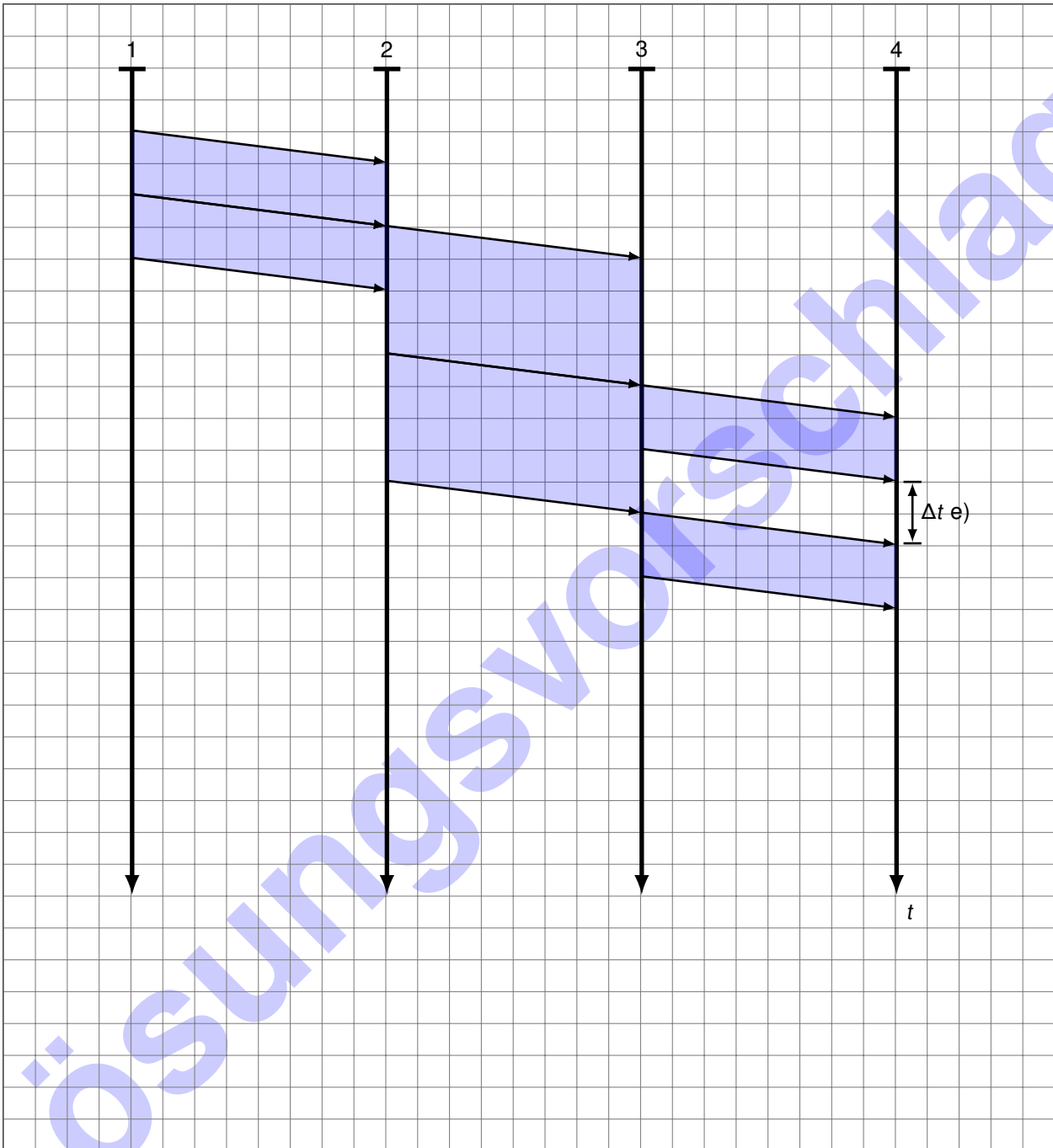
$$t_p(i, j) = \frac{d_{ij}}{\nu c_0}$$

c)* Erläutern Sie kurz, wie 1 bei Verwendung von IPv4 die maximale MTU auf dem Pfad nach 4 bestimmen kann.

1 sendet ein Paket mit der MTU_{12} des lokalen Segments und setzt das DF-Bit (do not fragment) im IP-Header. Sofern MTU_{12} größer ist als MTU_{23} , so wird 2 das Paket verwerfen und eine entsprechende ICMP-Nachricht Typ 3 Code 4 (Destination Unreachable Fragmentation Needed, DF Set) an 1 zurücksenden. Diese enthält die maximale MTU_{23} für dem Abschnitt von 2 nach 3.

1 sende nun unmittelbar nacheinander zwei Pakete der Länge p an 4. Sie können davon ausgehen, dass sonst kein weiterer Datenverkehr die Übertragung beeinflusst. Die Länge p sei so gewählt, dass keine Fragmentierung notwendig ist. Eventuelle Verarbeitungszeiten an den Knoten können Sie vernachlässigen.

d) Zeichnen Sie ein Weg-Zeit-Diagramm, welches die Übertragung der beiden Pakete qualitativ richtig darstellt. Berücksichtigen Sie dabei insbesondere $r_{23} < r_{12} = r_{34}$ wie eingangs erwähnt.



Durch die geringe Übertragungsrate zwischen 2 und 3 entsteht an Knoten 3 eine Sendepause Δt zwischen den beiden weitergeleiteten Paketen. Diese kann von 4 gemessen und zur Bestimmung der Übertragungsrate zwischen 2 und 3 verwendet werden.

e) Markieren Sie Δt in Ihrer Lösung von Teilaufgabe d). Von welchen Größen hängt Δt ab?

Nur von r_{23} , r_{34} und p , nicht aber von den Ausbreitungsverzögerungen.

f) Geben Sie einen Ausdruck für Δt an. Vereinfachen Sie den Ausdruck soweit wie möglich.

$$\Delta t = t_s(2, 3) - t_s(3, 4) = \frac{p}{r_{23}} - \frac{p}{r_{34}} \quad (3.1)$$

g) Geben Sie einen Ausdruck für die gesuchte Datenrate r_{23} an. Vereinfachen Sie den Ausdruck soweit wie möglich.

Auflösen von (3.1) nach r_{23} ergibt:

$$r_{23} = \frac{p}{\Delta t + \frac{p}{r_{34}}} \quad (3.2)$$

Wiederholte Messungen an 4 ergeben einen Durchschnittswert von $\bar{\Delta t} = 1.2 \text{ ms}$ bei einer Paketgröße von $p = 1500 \text{ B}$.

h) Bestimmen Sie r_{23} als Zahlenwert in Mbit/s.

$$r_{23} = \frac{p}{\bar{\Delta t} + \frac{p}{r_{34}}} \approx 9.99 \text{ Mbit/s} \quad (3.3)$$

Vordrucke für Protokoll-Header:

Ethernet-Frames

1	ff:ff:ff:ff:ff:ff	af:fe:14:af:fe:20	0x0806	Payload	FCS
2	af:fe:14:af:fe:20	af:fe:14:af:fe:21	0x0806	Payload	FCS
3	af:fe:14:af:fe:21	af:fe:14:af:fe:20	0x0800	Payload	FCS
6	af:fe:14:af:fe:23	af:fe:14:af:fe:22	0x0800	Payload	FCS
7	af:fe:14:af:fe:23	af:fe:14:af:fe:22	0x0800	Payload	FCS
10	af:fe:14:af:fe:25	af:fe:14:af:fe:24	0x0800	Payload	FCS
11	af:fe:14:af:fe:25	af:fe:14:af:fe:24	0x0800	Payload	FCS
				Payload	FCS

ARP-Pakete

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0x0001								0x0800																							
0x06				0x04								0x0001																			
0xaffe14af																															
0xfe20								192 ₍₁₀₎ 168 ₍₁₀₎																							
1 ₍₁₀₎ 1 ₍₁₀₎								0x0000																							
0x00000000																															
192 ₍₁₀₎ 168 ₍₁₀₎ 1 ₍₁₀₎ 254 ₍₁₀₎																															

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0x0001								0x0800																							
0x06				0x04								0x0002																			
0xaffe14af																															
0xfe21								192 ₍₁₀₎ 168 ₍₁₀₎																							
1 ₍₁₀₎ 254 ₍₁₀₎								0xaffe																							
0x14affe20																															
192 ₍₁₀₎ 168 ₍₁₀₎ 1 ₍₁₀₎ 1 ₍₁₀₎																															

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

IP-Pakete

3

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
0x4				0x5												1020 ₍₁₀₎																					
32913 ₍₁₀₎																0 0 0			0 ₍₁₀₎																		
64 ₍₁₀₎																																					
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				1 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				2 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																Payload																					

6

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
0x4				0x5												580 ₍₁₀₎																					
32913 ₍₁₀₎																0 0 1			0 ₍₁₀₎																		
63 ₍₁₀₎																																					
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				1 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				2 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																Payload																					

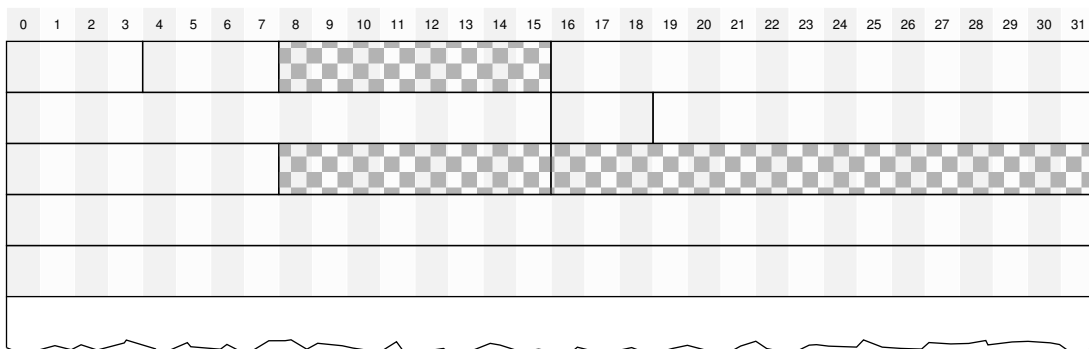
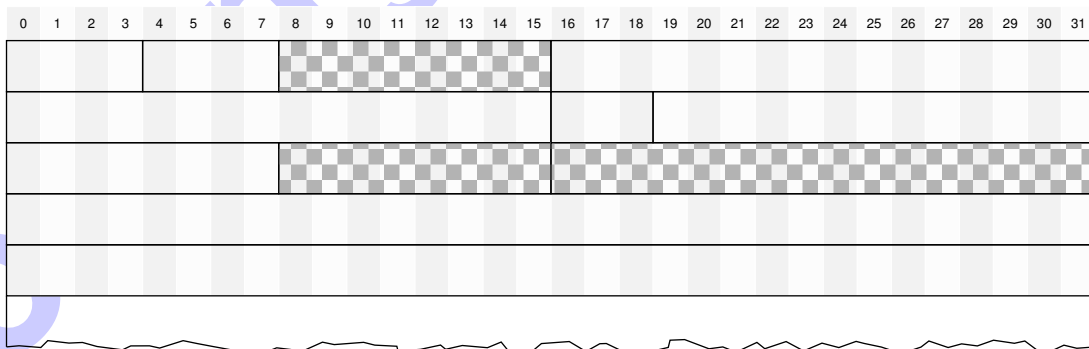
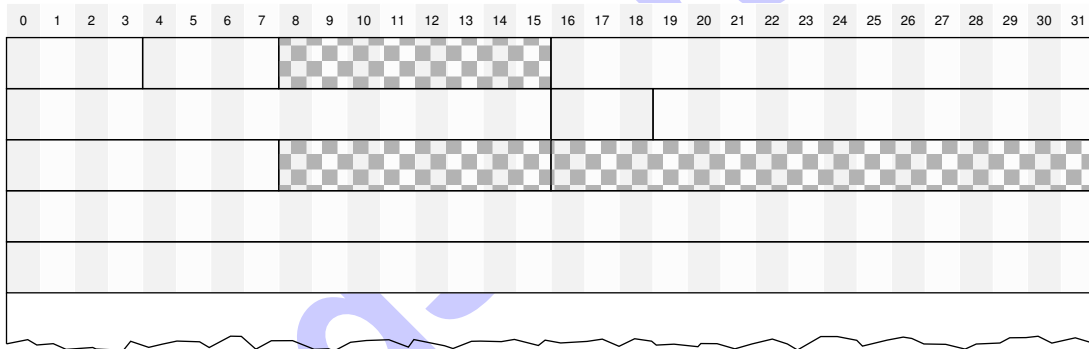
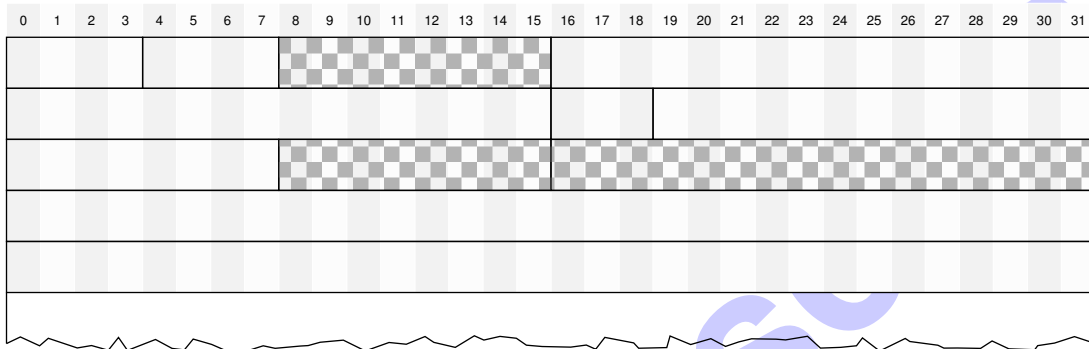
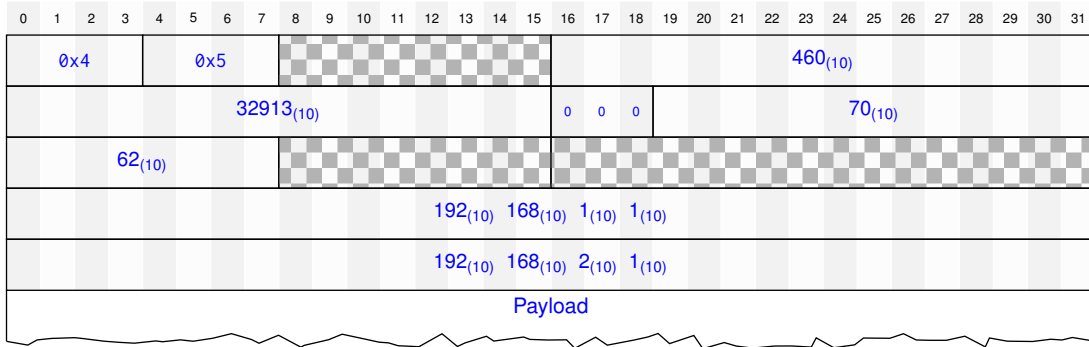
7

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
0x4				0x5												460 ₍₁₀₎																					
32913 ₍₁₀₎																0 0 0			70 ₍₁₀₎																		
63 ₍₁₀₎																																					
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				1 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				2 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																Payload																					

10

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
0x4				0x5												580 ₍₁₀₎																					
32913 ₍₁₀₎																0 0 1			0 ₍₁₀₎																		
62 ₍₁₀₎																																					
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				1 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																192 ₍₁₀₎				168 ₍₁₀₎				2 ₍₁₀₎		1 ₍₁₀₎											
																Payload																					

11



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				

