

**Exam**

Sticker mit SRID hier einkleben

**Hinweise zur Personalisierung:**

- Ihre Prüfung wird bei der Anwesenheitskontrolle durch Aufkleben eines Codes personalisiert.
- Dieser enthält lediglich eine fortlaufende Nummer, welche auch auf der Anwesenheitsliste neben dem Unterschriftenfeld vermerkt ist.
- Diese wird als Pseudonym verwendet, um eine eindeutige Zuordnung Ihrer Prüfung zu ermöglichen.

# Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

**Klausur:** IN0010 / Hausaufgabe 6  
**Prüfer:** Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

**Datum:** Montag, 8. Juni 2020  
**Uhrzeit:** 14:00 – 23:59

## Bearbeitungshinweise

- Die erreichbare Gesamtpunktzahl beträgt 30 Punkte.
- Bitte geben Sie bis spätestens Sonntag, den **14. Juni um 23:59 CEST** über TUMexam ab.  
*Bitte haben Sie Verständnis, wenn das Abgabesystem noch nicht reibungslos funktioniert. Wir arbeiten daran!*
- Ihren **persönlichen** Link zur Abgabe finden Sie auf Moodle. Geben Sie diesen **nicht** weiter.
- Bitte haben Sie Verständnis, falls die Abgabeseite zeitweilig nicht erreichbar ist.

## Bitte nehmen Sie die Hausaufgaben dennoch ernst:

- Neben der Einübung des Vorlesungsstoffs und der Klausurvorbereitung dienen die Hausaufgaben auch dazu, den Ablauf der Midterm zu erproben.
- Finden Sie einen für sich selbst praktikablen und effizienten Weg, die Hausaufgaben zu bearbeiten. Hinweise hierzu haben wir auf [https://grnvs.net.in.tum.de/homework\\_submission\\_details.pdf](https://grnvs.net.in.tum.de/homework_submission_details.pdf) für Sie zusammengestellt.

Hörsaal verlassen von \_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_ / Vorzeitige Abgabe um \_\_\_\_\_

## Aufgabe 1 Bitübertragungstechniken (7 Punkte)

Seit 2010 verbindet ein neues Unterseekabel Japan und die USA. Das Kabel verläuft von Chikura nahe Tokio nach Los Angeles in Kalifornien (ca. 10 000 km) und besteht aus 8 Faserpaaren (wobei in jedem Faserpaar eine Faser für die eine Richtung und die andere Faser für die andere Richtung benutzt wird). Die Übertragungsrate beträgt insgesamt 7,68 Tbit/s pro Richtung.

Als vereinfachende Annahmen setzen wir voraus, dass das Licht nur den Weg des Kabels zurücklegt und keine Signalbeeinträchtigungen oder Verzögerungen durch Signalverstärker, Steckverbinder und ähnliches auftreten. Die relative Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht innerhalb einer Glasfaser beträgt (ebenso wie in Kupferleitungen) etwa  $\nu = \frac{2}{3}$  bezogen auf die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

0  a)\* Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung von Chikura nach Los Angeles innerhalb des Kabels.

$$t_p = \frac{d}{\nu c} = \frac{10000 \text{ km}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \Rightarrow 9000 \text{ s} = 50 \text{ ms}$$

Serialisierungszeit:	$t_s = L/r$
Ausbreitungsverzögerung:	$t_p = d/(\nu c)$
Übertragungszeit:	$t_d = t_s + t_p$
Bandbreitenverzögerungsprodukt:	$C = t_p r$

0  b)\* Was sagt das Bandbreitenverzögerungsprodukt aus?

1 Bandbreitenverzögerungsprodukt:  $C = t_p r$

Die Anzahl Bit, die während einer Übertragung auf Leitung übertragen werden.

0  c) Bestimmen Sie das Bandbreitenverzögerungsprodukt.

$$C = 50 \text{ ms} \cdot r = 50 \text{ ms} \cdot 7,68 \cdot 10^{12} \frac{\text{Bit}}{\text{s}} = 3,84 \cdot 10^9 \text{ Bit} \\ = 384 \text{ Gbit} = 48 \text{ GB}$$

Die Verlegung und Instandhaltung eines Unterseekabels ist sehr aufwendig. Die Verbindung zwischen den beiden Städten könnte ebenso über Satellit erfolgen. Betrachten Sie die beiden Verbindungswege kurz in Bezug auf die Round-Trip-Time (RTT<sup>1</sup>).

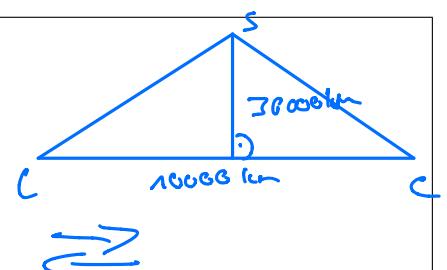
Nehmen Sie dazu an, dass das Unterseekabel in direkter Luftlinienverbindung zwischen Chikura und Los Angeles liegt. Vernachlässigen Sie dabei die Erdkrümmung. Ein geostationärer Satellit (36 000 km Höhe) befindet sich genau über dem Mittelpunkt der Strecke.

0  d) Bestimmen Sie die minimale RTT für das Unterseekabel. **Hinweis:** Überlegen Sie sich, welche Komponente der RTT im vorliegenden Fall den wesentlichen Beitrag liefert.

Serialisierungszeit:	$t_s = L/r$ <small>klein</small>
Ausbreitungsverzögerung:	$t_p = d/(\nu c)$ <small>groß</small>
Übertragungszeit:	$t_d = t_s + t_p$ <small><math>t_s \ll t_p</math></small>
Bandbreitenverzögerungsprodukt:	$C = t_p r$

$$\Rightarrow t_d \approx t_p$$

$$RTT = 2 \cdot t_d \approx 2 \cdot t_p = 100 \text{ ms}$$



<sup>1</sup>Als RTT bezeichnet man die Zeit, die eine Nachricht vom Sender zum Empfänger und wieder zurück benötigt.

e) Bestimmen Sie die minimale RTT für eine entsprechende Satellitenverbindung.

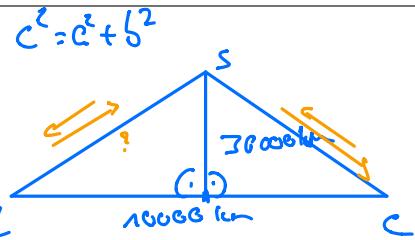
**Hinweis:** Überlegen Sie, welche Streckenabschnitte ggf. vernachlässigt werden können. Die Erdkrümmung kann vernachlässigt werden.

0
1
2

$$c = \sqrt{5000 \text{ km} + 3600 \text{ km}} \approx 36.345,56 \text{ km}$$

$$t_p = \frac{d}{v_{ce}} = \frac{36.345,56 \text{ km}}{1 \cdot 3.10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 0,12 \text{ s}$$

$$RTT = 4 \cdot t_p \approx 4 \cdot 0,12 \text{ s} \approx 0,48 \text{ s}$$



## Aufgabe 2 ARP und IP-Fragmentierung (23 Punkte)

In Abbildung 2.1 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.

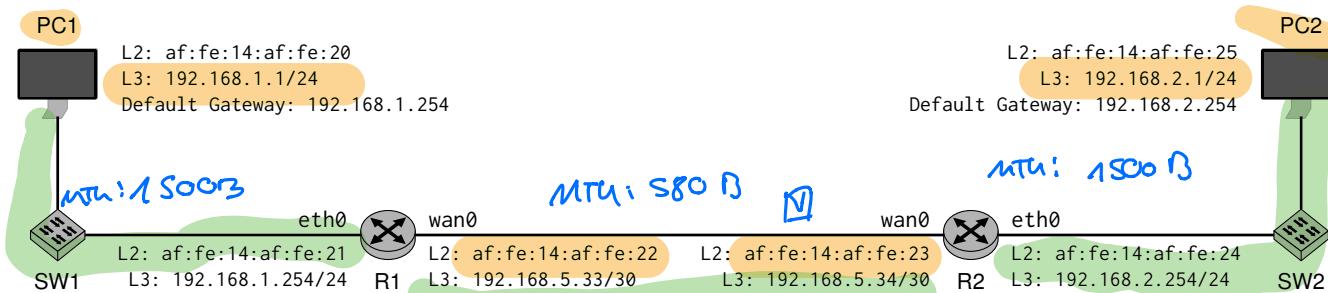


Abbildung 2.1: Netztopologie

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?

0
1
2

Switches sind auf Layer 2 transparent  
 (Ethernet)  
 ⇒ Sind auch auf Layer 3 (IP) transparent  
 ⇒ Wirken sich gar nicht aus.

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

0
1
2

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

↑  
IP-Header

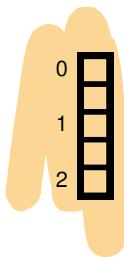


MTU

$$\text{MTU} = \text{normal 2015} + \text{TCP Header} + \text{MSS}$$

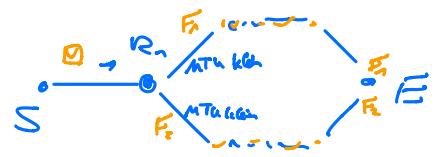
normal 2013



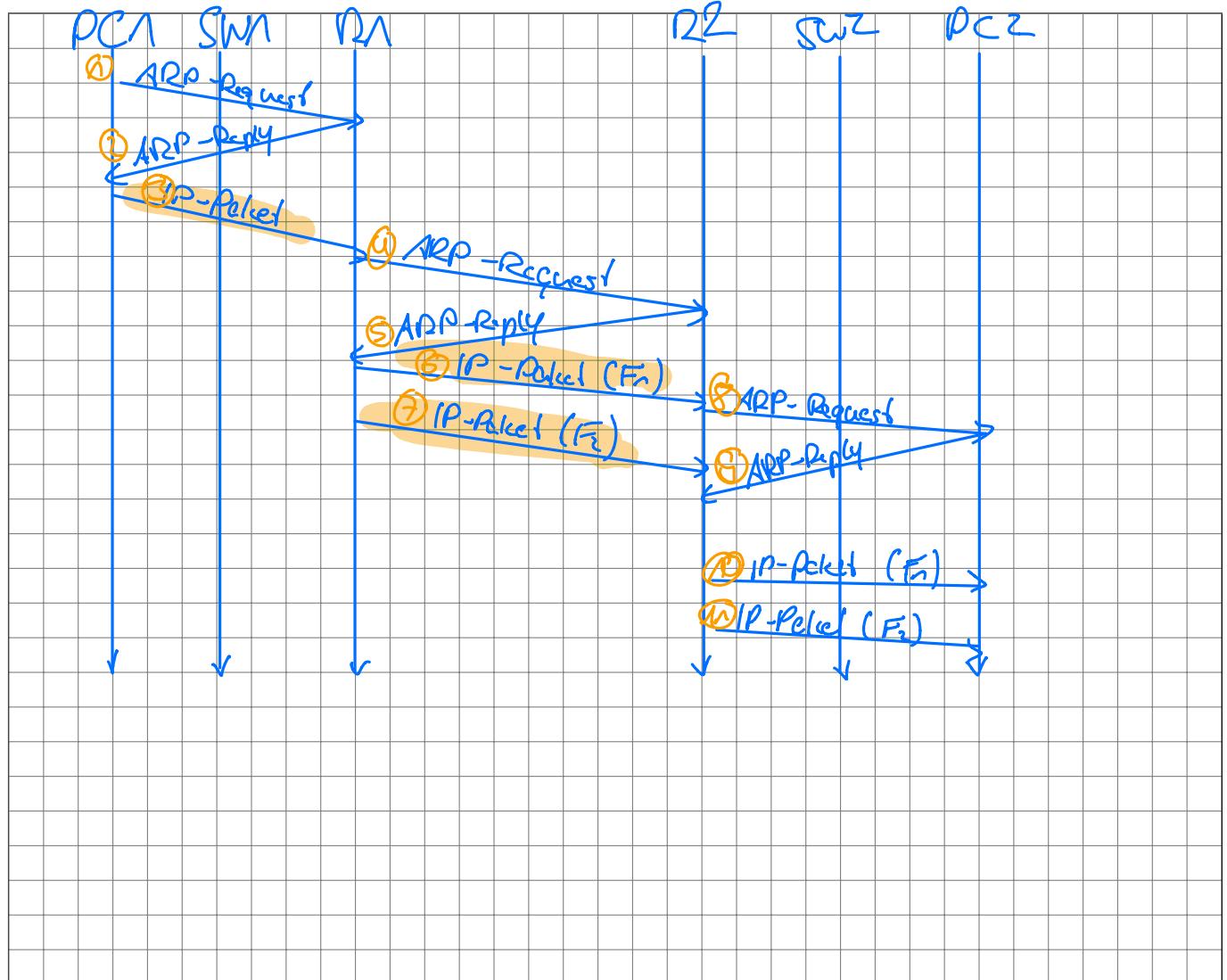


c)\* An welcher Stelle im Netzwerk werden die Fragmente reassembliert?

Reassemblieren ist nur beim Empfänger möglich, da nur dieser alle Fragmente enthält.



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:

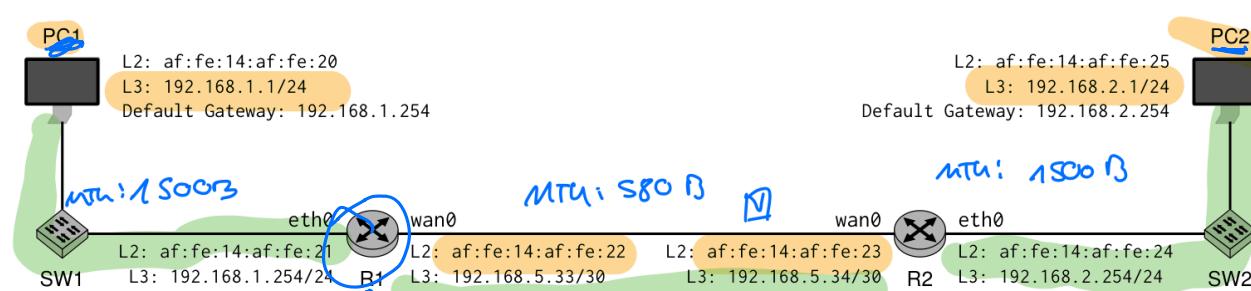
1. Welche Auswirkungen hätte dies auf die Switches SW1 und SW2?
2. Müssten die Router R1 und R2 in diesem Fall auch IPv6-fähig sein?
3. An welcher Stelle fände die Fragmentierung von Paketen statt?

1) Keine, da Switches auf Layer 2 transparent sind.  
 ⇒ Damit auch auf allen höheren Ebenen

2) Ja, damit sie das Paket korrekt routen können  
 Entl. wäre eine Abbildung von IPv6 → IPv4 realisieren.  
 Dann ist jedoch möglich, wie die IPv6 Adressen auf IPv4 abgebildet werden.

3) Bei IPv6 findet keine Fragmentierung im Netz statt!  
 ⇒ Damit muss der Sender die Pakete fragmentieren.

Frage 1: Welche MTU geht die IP-Datagramme vom Host PC1?



## Vordrucke für Protokoll-Header:

### Ethernet-Frames

ARP-Req.	1	ff:ff:ff:ff:ff:ff	00:00:00:00:00:00	0x0806	Payload	FCS
1n P-Req.	2	00:00:00:00:00:00	00:00:00:00:00:00	0x0806	Payload	FCS
IP-Paket	3	00:00:00:00:00:00	00:00:00:00:00:00	0x0800	Payload	FCS
Fragment 1		00:00:00:00:00:00	00:00:00:00:00:00	0x0800	Payload	FCS
Fragment 2		00:00:00:00:00:00	00:00:00:00:00:00	0x0800	Payload	FCS
					Payload	FCS
					Payload	FCS
					Payload	FCS

### ARP-Pakete

4B

1	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	0x00C0 (Ethernet)   0x0800 (IP)
	6 (no) HW Adress L.   4 (no) Prot. Adress L.	0x0001 (Request)
	00:00:00:00:00:00   00:00:00:00:00:00	(Sender HW Address)
	fe:20   192.168.1.1 (no)	(Target HW Address)
	00:00:00:00:00:00   00:00:00:00:00:00	← -> den ersten beiden hier nicht beladen
	192.168.1.254 (no)	(Target Prot. Address)
2	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
	6 (no)   4 (no)	0x0002
	00:00:00:00:00:00   00:00:00:00:00:00	(Sender HW Address 2)
	fe:21   192.168.1.1 (no)	(Target HW Address 2)
	00:00:00:00:00:00   00:00:00:00:00:00	(Target Prot. Address 2)
	192.168.1.1 (no)	

1000 B

MTU: 580 B

Payload Größe:

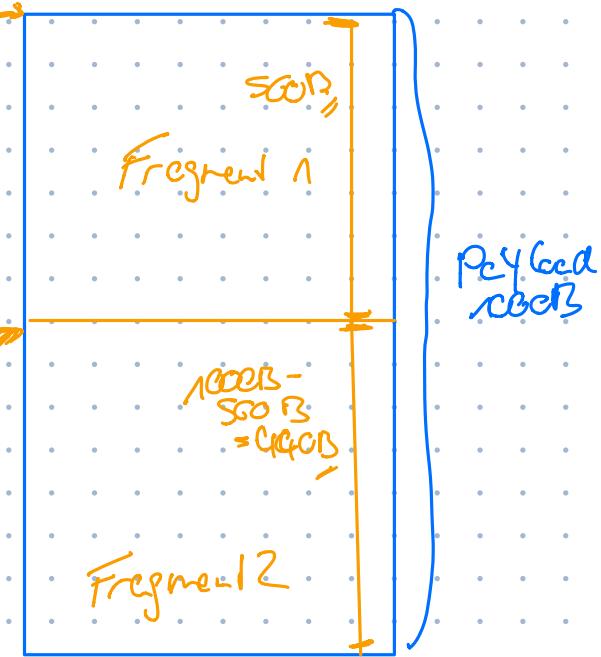
580 B - 20 B (Header)  
= 560 B

Fragment Offset  
OFB →

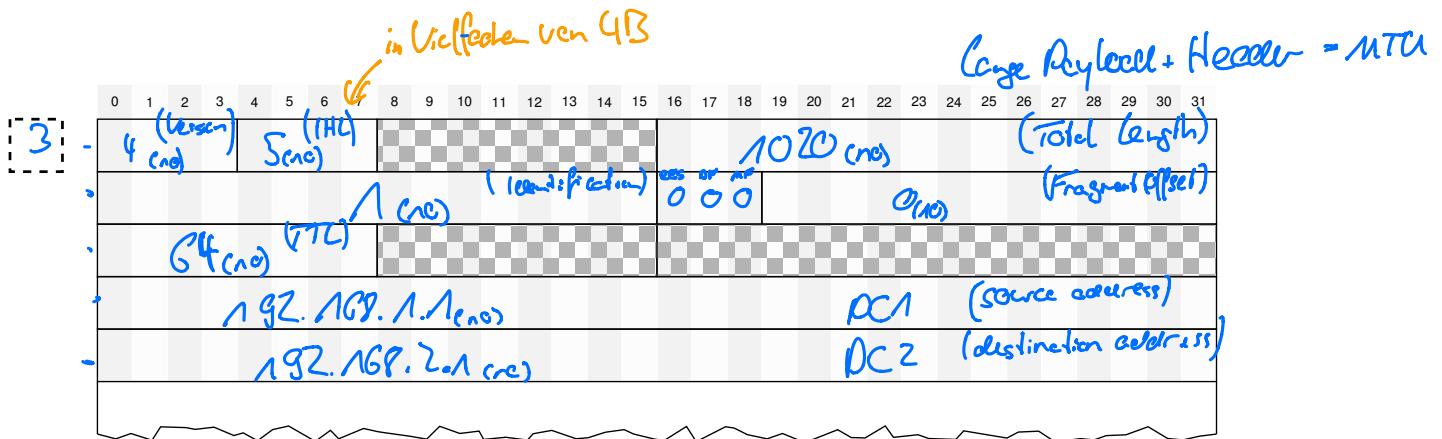
Fragment Offset  
ist in Vielfachen  
von 8 B  
angegeben.

$$70 \cdot 8 B = 560 B \rightarrow$$

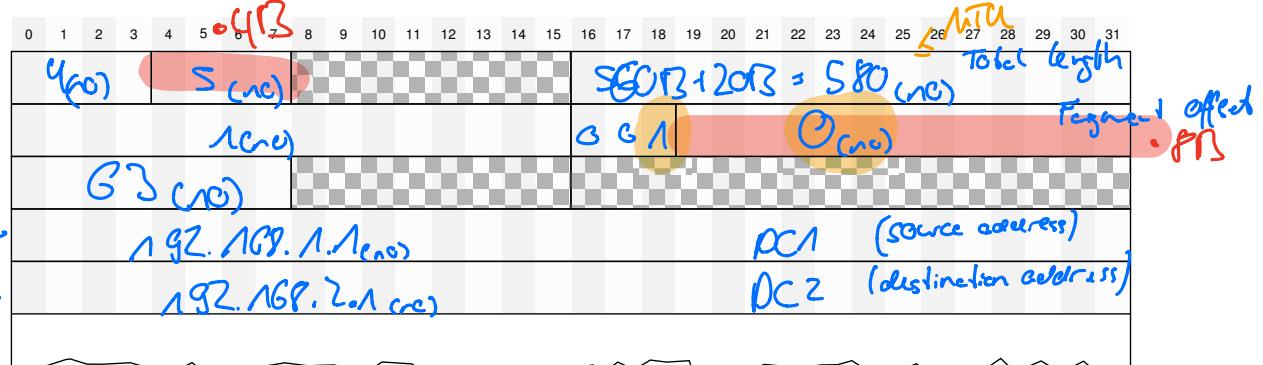
1000 B



## IP-Pakete



## Fragment



## Fragment 2

