

# 03 Delays und Datenraten

## 1 Thema des Praktikums

In diesem Praktikum werden zeitliche Aspekte von Netzkomponenten untersucht.

Die Schwerpunkte des Praktikums sind

- Datenraten einer Ethernet-Schnittstelle
- Verzögerungszeiten von Netzkomponenten

Ethernet-Technologien werden oft nach der nominellen Bitrate auf dem Physical Layer benannt (also z.B. 10 Mbit/s, 100 Mbit/s oder 1 Gbit/s). Die nominelle Bitrate steht nur zum Teil für die Nutzdaten zur Verfügung, weil die Frames immer auch einen **Overhead** (Preamble, SFD, Header, Padding und FCS) enthalten. Ausserdem dürfen die Frames nicht unmittelbar aufeinander folgen; es muss eine Pause (Interframe-Gap genannt) von 96 Bit-Zeiten eingehalten werden. Die Nutzdaten im Frame werden als **Payload** bezeichnet. Je kleiner die Payload im Frame ist, desto gravierender wirkt sich der Overhead aus. Im Folgenden bezeichnet die **Nutz-Bitrate** die Anzahl der effektiv übertragbaren Nutzdaten-Bits pro Sekunde.

Im ersten Teil sollen die Ethernet-Datenraten in Funktion der Nutzdaten pro Frame bestimmt werden. Dies soll für je drei Geschwindigkeiten 10 Mbit/s, 100 Mbit/s und 1 Gbit/s theoretisch und mittels Messungen erfolgen.

Hubs und Switches können Frames erst nach einer bestimmten Verzögerungszeit (Delay) weiterleiten. Hubs und Switches arbeiten auf unterschiedlichen OSI-Layern: Hubs auf Layer 1 und Switches auf Layer 2.

Dadurch unterscheiden sich auch die Verzögerungszeit grundsätzlich. Im zweiten Teil des Praktikums sollen die Verzögerungszeiten Hubs und Switches in Funktion von Frame-Länge und Bitrate theoretisch berechnet und messtechnisch überprüft werden.

## 2 Vorbereitung

Annahme: Übertragungszeit  $T_{\text{frame}} = \frac{P + \text{Ethernet-Overhead}}{B} = \frac{L}{B}$

Frame Länge  $F_L = P + \text{Ethernet-Overhead}$

### 2.1 Berechnung von Datenraten

**Q01** Leiten Sie eine Formel her für die maximal mögliche Anzahl Frames pro Sekunde ( $F = \text{Frame-Rate}$ ) bei einer bestimmten Payload  $P$  [Byte] und gegebener Bitrate  $B$  [bit/s]. Überlegen Sie, ob und welche Felder des Ethernet Frames (Schichten 1 und 2) berücksichtigt werden müssen. Diese Formel wird später auch für die Messung benötigt.

Frame Rate ( $F$ ) =  $f(P, B, \text{"relevante Ethernet – Frame – Felder"})$

1 Mbit = 125000 Byte

$$\text{Frame Rate (F)} = \frac{B / 8 \cdot F_L}{F_L = \max(46, \text{Payload}) + \text{Overhead}}$$

**Q02** Leiten Sie daraus die Formel ab für die Nutz-Bitrate ( $N$ ) bei einer bestimmten Payload ( $P$ ).

$$\text{Nutz-Bitrate (N)} = F_R \cdot P \cdot 8$$

- Laden Sie das Spreadsheet (dcn-kt-pra-03-messungen.xls) auf Moodle herunter. Sie finden es gleich nach dieser Praktikumsanleitung. Es enthält einen theoretischen und einen praktischen Teil. Letzteren füllen Sie im Praktikum aus.
- Ergänzen Sie das Spreadsheet, mit den fehlenden Konstanten und Formeln, so dass die Frame-Länge (inklusive Inter-Frame-Gap), die Frame-Rate, die Nutz-Bit-Rate und die nominelle Bit-Rate berechnet werden (Das sind **alle Felder ausser den beiden Kolonnen «D» und «I»**).

Nun wird im Spreadsheet der theoretische Verlauf der Nutz-Bit-Rate in Funktion der Payload dargestellt.

## 2.2 Berechnung der Verzögerungszeiten von Store-and-Forward-Switches

Abbildung 1 zeigt ein allgemeines Weg-Zeit-Diagramm für die Übertragung eines Frames von einer Knoten A zu einem Switch.

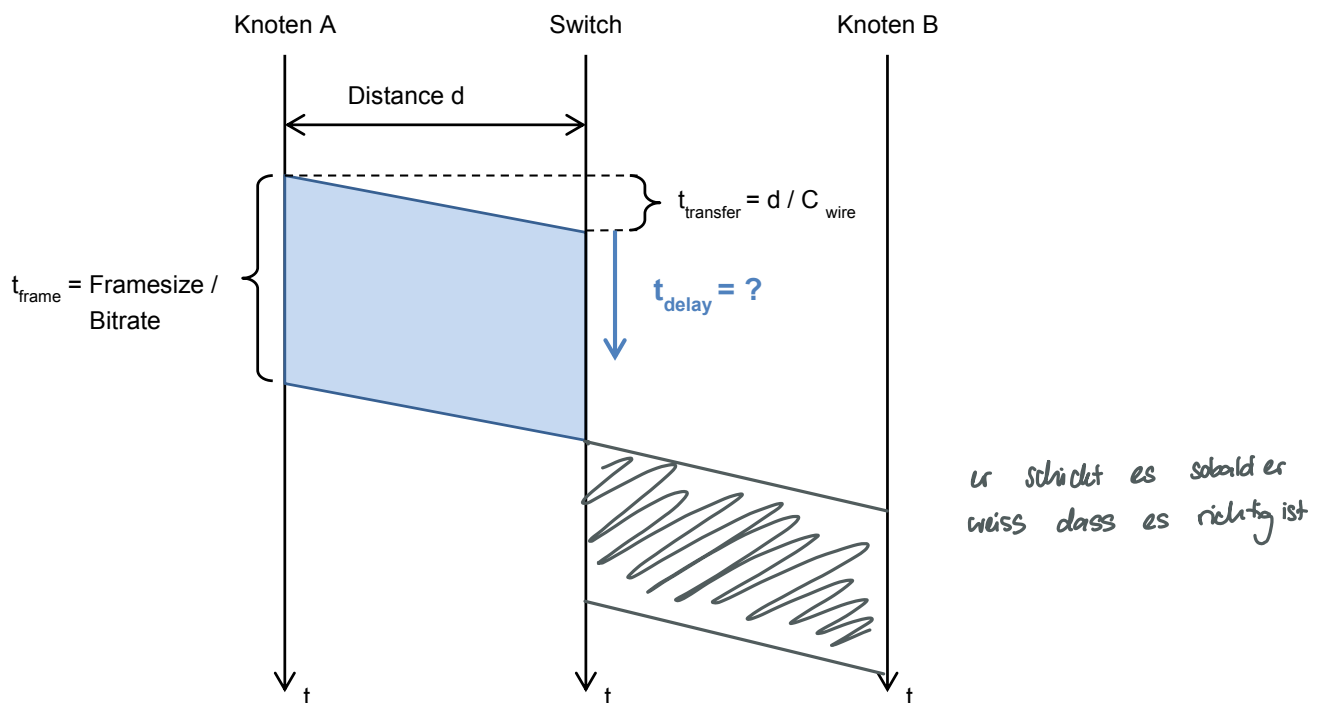


Abbildung 1

- Der Switch sei ein idealer Store-and-Forward-Switch, dessen interne Verarbeitung keine Zeit benötigt. Zeichnen Sie in Abbildung 9 die Position des ausgehenden Frames ein, also vom Switch zum Knoten B.

**Q03** Leiten Sie eine Formel her für die Verzögerungszeit  $t_{\text{delay}}$  eines idealen Store-and-Forward-Switches bei einer bestimmten Frame-Länge  $I$  [in Bytes] (vom ersten Bit der Preamble bis zum letzten Bit der FCS).

$$t_{\text{delay}} = \frac{I = 8 \cdot F_L}{\frac{8 \cdot F_L}{B}} \quad (\text{nicht ganz sicher})$$

**Q04** Müssen der Interframe Gap, die Preamble und die FCS bei der Bestimmung von  $t_{\text{delay}}$  mitberücksichtigt werden? Das heisst, würde sich die Verzögerungszeit ändern, falls die Grösse dieser Felder variiert würde?

Nein, die Verzögerungszeit wird in der Regel auf Basis der reinen Nutzlast (Payload) des Frames berechnet. Dh. bleibt Tdelay gleich, solange  $F_L$  und  $F_R$  konstant bleiben.

- Berechnen Sie mit obiger Formel die Verzögerungszeiten bei 10 Mbit/s für die Frame-Längen 100, 500, 1000, 1500 und tragen Sie die Resultate in Tabelle 1 ein.
- Berechnen Sie mit obiger Formel die Verzögerungszeiten bei 100 Mbit/s für die Frame-Längen 100, 500, 1000, 1500 und tragen Sie die Resultate in Tabelle 2 ein.
- Übertragen Sie die Werte, die sie in Tabelle 1 und Tabelle 2 eingetragen haben, als Kurve in die vorbereitete Abbildung 9.

- Zeigen Sie die Vorbereitung der Laborbetreuung.



### 3 Messung von Datenraten

Sie benötigen einen Rechner, eine Embedded Linux Box (ELB) und einen HP-Switch.

#### 3.1 Untersuchung Ethernet-Framegrößen

- Verbinden Sie COM1 des Rechners mit der seriellen Schnittstelle der ELB und bauen Sie via Putty eine Verbindung auf.
- Verbinden Sie den Ethernet-Port lan1 der ELB mit einem beliebigen Ethernet-Port am HP-Switch.
- Starten Sie auf dem Rechner Wireshark und zeichnen Sie die empfangenen Frames auf dem Rechner auf.
- Senden Sie mit dem Programm **sendframes** 10 Frames mit 100 Bytes Payload im Abstand von einer Sekunde von der ELB an den Rechner:

```
sendframes lan1 -i 1 -c 10 -s 100
```

**Anmerkung:** Hilfe zu den Kommandozeilenparametern von **sendframes** erhalten Sie, wenn Sie das Programm ohne Parameter aufrufen.

- Untersuchen die empfangenen Frames in Wireshark und studieren Sie den Inhalt der einzelnen Elemente des Ethernet-Frames

**Q05** Welche Felder des Ethernet Frames zeigt Wireshark an? Falls Felder fehlen, woran könnte das liegen?

es werden 100 von 114 angezeigt, also nur die Data ohne Destination,  
Source, Type (Overhead)

**Q06** Was fällt Ihnen auf, wenn Sie eine payload\_size von 20 Bytes einstellen?

length = 60 ??  
(Theorie: min. length inkl. Header = 60)

**Q07** Wie kann der Empfänger eines Ethernet Frames, der mit 20 Bytes Payload geschickt wurde, die Größe der Payload bestimmen?

Type or VLAN-Tag analysieren und Nullen hinzufügen

### 3.2 Messung von Datenraten

- Der Aufbau für die folgenden Messungen ist identisch mit dem der vorherigen Aufgabe.
- Auf der ELB stellen Sie mit dem Programm **ethtool** die Übertragungsgeschwindigkeit ein, die für die jeweilige Messung benötigt wird. Für 10 Mbit/s und 100 Mbit/s muss die Autonegotiation ausgeschaltet werden.
- Unter <https://man7.org/linux/man-pages/man8/ethtool.8.html> finden Sie detailliertere Informationen zum Programm **ethtool**.

10 Mbit/s	<pre># Turn off processing of incoming autoneg information ethtool -s lan1 autoneg off # Advertise 0x002 (10baseT Full) to outside # Set own adapter to 10Mbit full duplex ethtool -s lan1 speed 10 duplex full advertise 0x002</pre>
100 Mbit/s	<pre># Turn off processing of incoming autoneg information ethtool -s lan1 autoneg off # Advertise 0x008 (100baseT Full) to outside # Set own adapter to 100Mbit full duplex ethtool -s lan1 speed 100 duplex full advertise 0x008</pre>
1 Gbit/s	<pre># Turn auto negotiation ethtool -s lan1 autoneg on # Advertise 0x020 (1000baseT Full) to outside # Set own adapter to 1000Mbit full duplex ethtool -s lan1 speed 1000 duplex full advertise 0x020</pre>

- Messen Sie mit dem Programm **sendframes** die Sendezeiten für eine bestimmte Anzahl Frames der jeweiligen Payload (zwischen 1 Byte und 1500 Byte).

```
sendframes lan1 -i 0 -c frame_count -s payload_size
```

Das Sendeintervall wird null gesetzt, da der maximale Durchsatz gewünscht ist. **frame\_count** ist gemäss Spreadsheet: 20'000 Frames bei 10 Mbit/s, 200'000 Frames bei 100 Mbit/s sowie 2'000'000 Frames bei 1000 Mbit/s und so gewählt, damit die Messung mindestens eine Sekunde dauert.

- Fügen Sie die gemessenen Sendedauern im vorbereiteten Spreadsheet ein (siehe Abschnitt 2).

**Q08** Entsprechen die Grafiken der nominelle Bit-Rate und der Nutz-Bit-Rate bei 10 Mbit/s und 100 Mbit/s ihren theoretischen Überlegungen? Falls nicht, wo lag der Fehler?

*Ziel-  
Nein, bei höheren Bitrates und sehr kleinen Payloads bricht alles zusammen*

**Q09** Wie erklären Sie bei 1000 Mbit/s die Abweichungen der Messungen von den theoretischen Werten?

*Ganz viele Interrupts, Overhead wird riesig!!*

- Zeigen Sie diese Resultate der Laborbetreuung.



## 4 Messung von Hub und Switch-Delay

Zur Messung der Verzögerungszeiten im Switch verwenden Sie die blauen **RS20 - Switches der Firma Hirschmann**. Laden Sie zu Beginn des Versuches die Default Konfiguration auf die Hirschmann Switches,: Stecken Sie **vor** dem Einschalten die jeweiligen USB Sticks in die 4 Switches und entfernen Sie diese erst, nachdem der Bootvorgang abgeschlossen ist (rote LED erlischt).

Die Geräte werden gemäss Abbildung 2 mit gelben Netzwerkkabeln verbunden. Um die Verzögerungszeiten zu messen, wird vom Rechner A ein Frame mit-definierter Grösse an den Rechner B geschickt. Mit dem netANALYZER werden die Verzögerungszeiten gemessen. Seine beiden TAPs erlauben es, die Frames aufzuzeichnen ohne sie dabei zu verzögern.

- Für diesen Praktikumsteil starten Sie die Rechner A und B mit Linux und Rechner C mit Windows. Melden Sie sich am Windows Rechner mit den folgenden Angaben an:

**Benutzer:**        . \ktlabor  
**Kennwort:**       KT-Praktika

Zur Messung der Verzögerungszeiten müssen Sie die Geräte gemäss Abbildung 2 mit gelben Netzwerkkabeln verbinden. Um die Verzögerungszeiten zu messen, wird vom Rechner A ein Frame mit-definierter Grösse an den Rechner B geschickt. Mit dem netANALYZER werden die Verzögerungszeiten gemessen. Seine beiden TAPs erlauben es, die Frames aufzuzeichnen ohne sie dabei zu verzögern.

Der Rechner C dient zur Bedienung des netANALYZER und zum Anzeigen der Resultate.

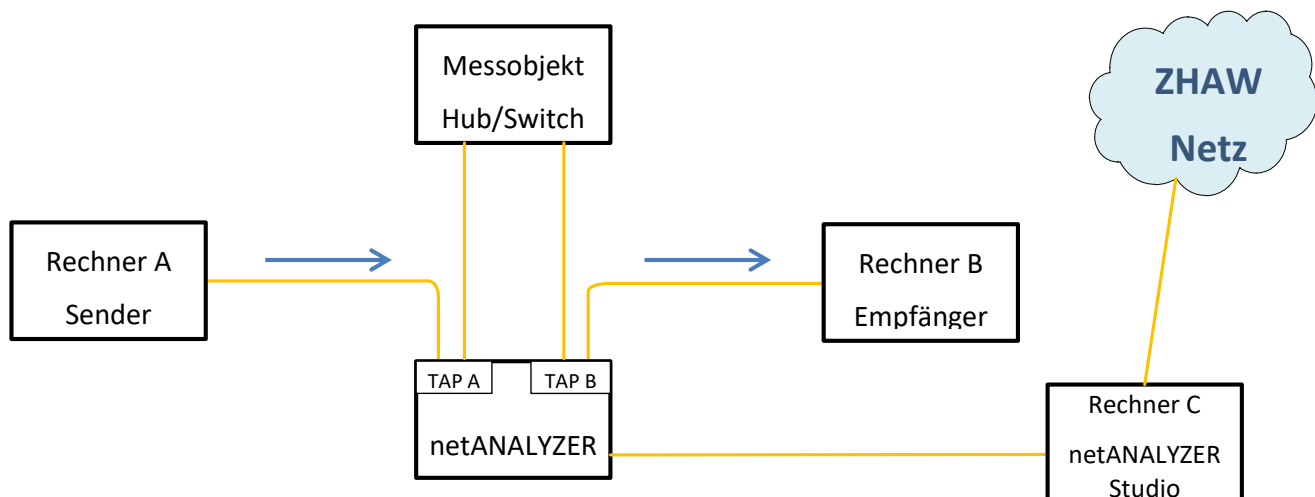


Abbildung 2

Da die Kommunikation bidirektional auf 2 Kanälen erfolgt, besitzen die beiden TAP je zwei Ports für die Aufzeichnung:

TAP A	TAP B	
Port 0	Port 2	Aderpaar 3/6
Port 1	Port 3	Aderpaar 1/2

Wie Abbildung 3 zeigt, sind die beiden Anschlussstecker eines TAP jeweils gerade durchverbunden. Das heisst, es spielt keine Rolle, an welchem RJ45-Stecker eines TAP eingesteckt wird.

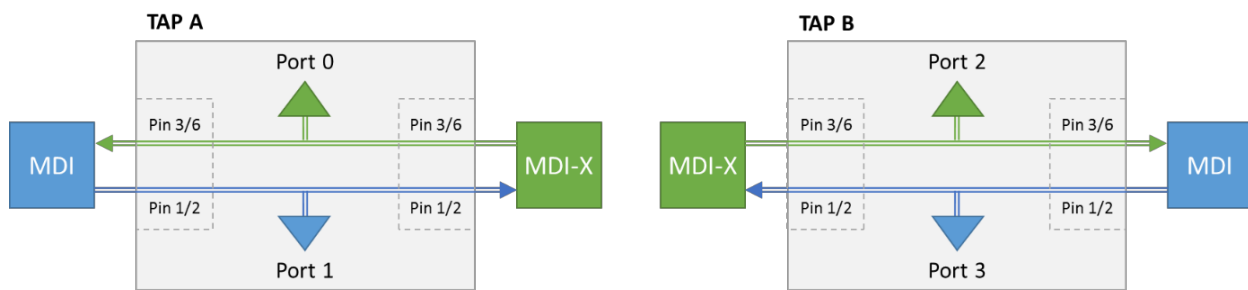
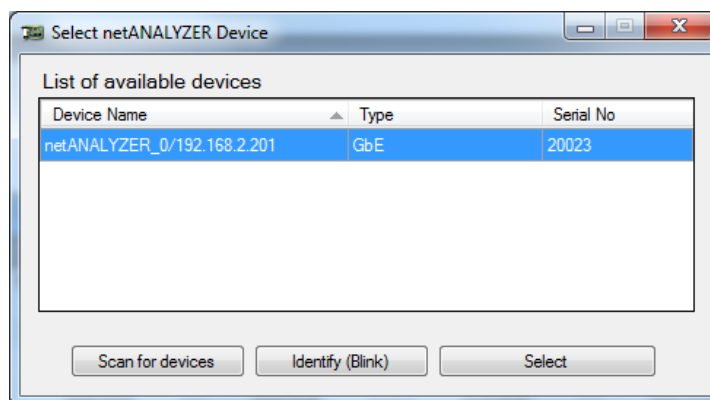
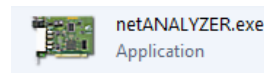


Abbildung 3

- Vor der Inbetriebnahme des netANALYZER kontrollieren Sie bitte, dass sein Netzwerk-Port (Anschluss hinten) mit der freien Netzwerkkarte (**lan2**) des Windows-Rechners C verbunden ist (Abbildung 2).
- Schalten Sie den netANALYZER ein und wenn er betriebsbereit ist (konstantes Leuchten der SYS -LED), starten Sie auf dem Windows-Rechner C die Software netANALYZER:
- Wählen Sie dann das angezeigte Gerät mit „Select“:



#### 4.1 Messung von Switch-Verzögerungszeiten bei 10 Mbit/s

- Laden Sie die Grundeinstellung des Hirschmann-Switches, indem Sie den USB-Stick einschieben und erst dann den Switch starten.
- Schliessen Sie als Messobjekt einen Hirschmann-Switch gemäss Abbildung 2 an.
- Öffnen Sie auf den Linux Rechnern ein Terminal und konfigurieren Sie die lan2 Schnittstellen für die Rechner A und B, indem Sie mit dem Programm **ethtool** die Autonegotiation ausschalten:  

```
ethtool -s lan2 autoneg off
```
- Erzwingen Sie beim Switch eine fixe Bitrate von 10 Mbit/s, indem sie diese bei den Rechnern A und B manuell einstellen:  

```
ethtool -s lan2 speed 10 duplex full advertise 0x002
```
- Überprüfen Sie im netANALYZER ob alle Ports „UP 10 Mbit/s“ anzeigen (Abbildung 4). Andernfalls konfigurieren Sie diese manuell im Menü Settings → PHY Settings. Falls die Links trotz allem nicht «UP» sind, starten Sie den netANALYZER neu (Programm und Hardware).

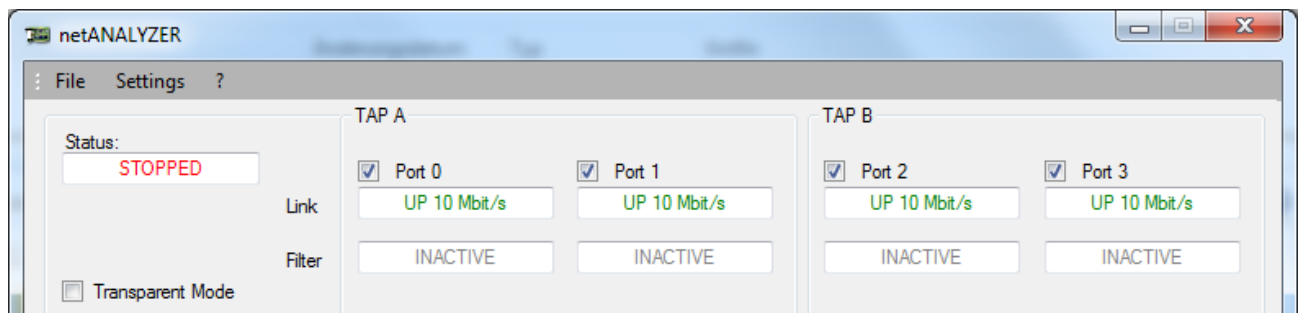


Abbildung 4

- Senden Sie vom Rechner A im Abstand vom 5 ms Frames mit der gewünschten Länge (z.B. 1000 Byte):  
**sendframes lan2 -i 0.005 -l 100**
- Wählen Sie im netANALYZER die „Timing Analysis“ und starten Sie die Messung (Abbildung 5).

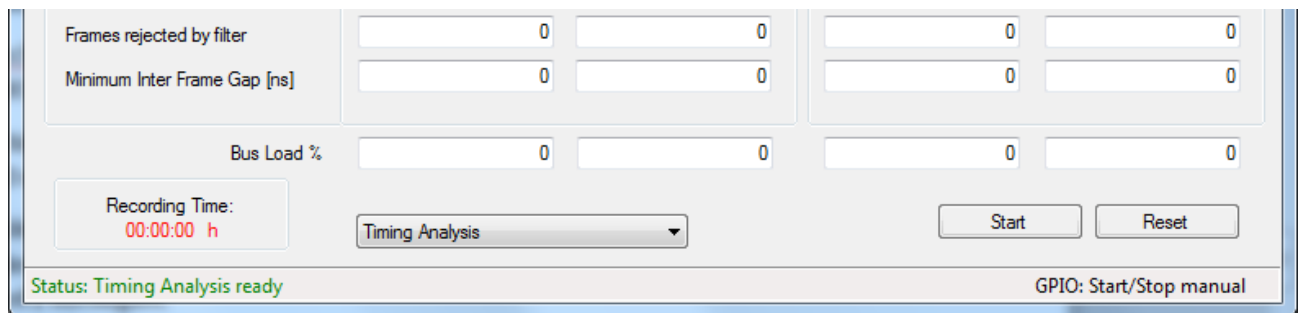


Abbildung 5

- Bestimmen Sie anhand der Frame-Zähler die aktiven Ports von TAP A und TAP B, also diejenigen welche die übertragenen Frames aufzeichnen (Abbildung 6).

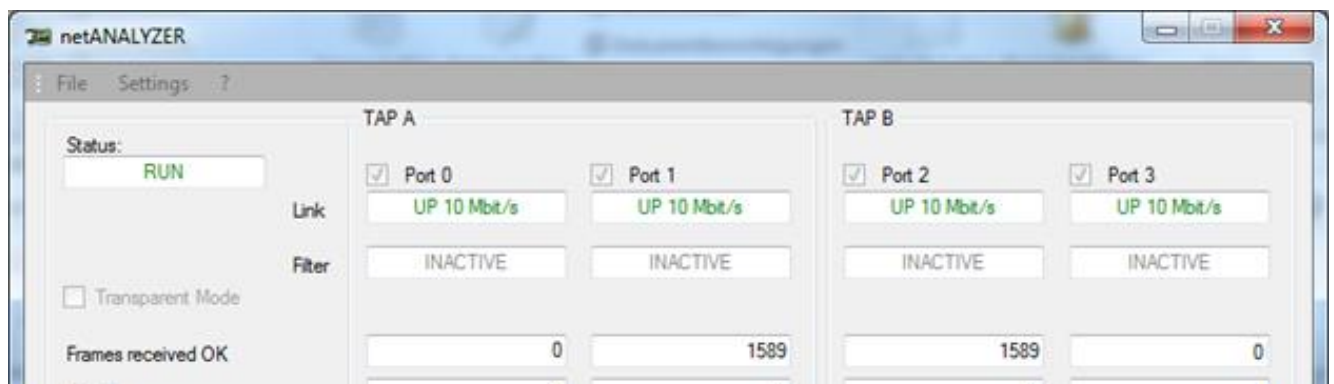


Abbildung 6

- Wählen Sie im Fenster „Timing Analysis“ bei **From**: das aktive Port von TAP A sowie bei **To**: das aktive Port von TAP B und bestimmen Sie den Mittelwert (Av. Time) des Histogramms.

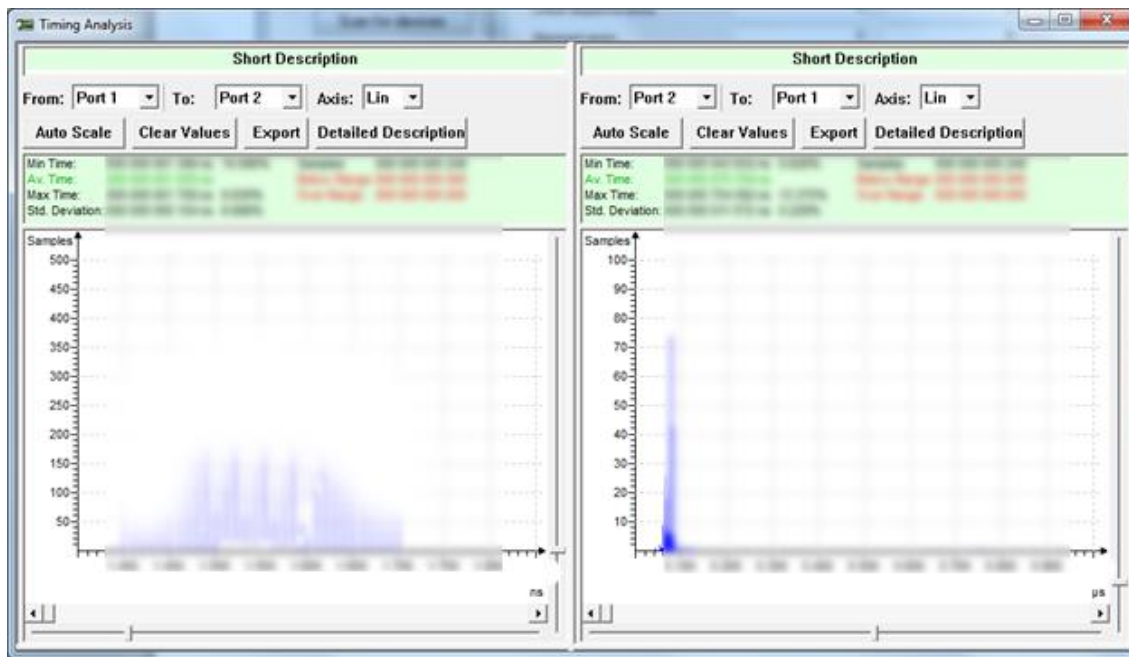


Abbildung 7

- Wählen Sie analog zu Abbildung 7 in einem zweiten Grafikfenster der „Timing Analysis“ die umgekehrte Richtung: also bei **From**: das aktive Port von TAP B sowie bei **To**: das aktive Port von TAP A.

Abbildung 8 zeige die zeitliche Abfolge der Frames an den TAPs A und B:

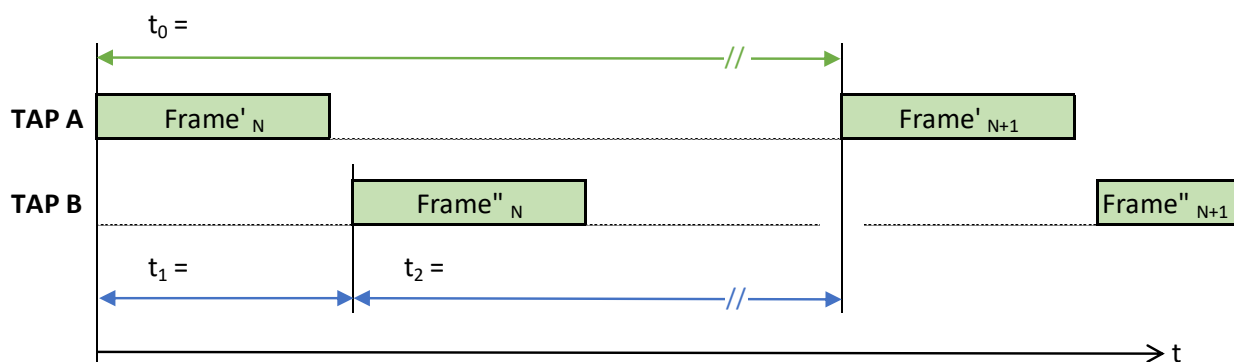


Abbildung 8

- Tragen Sie in Abbildung 8 die Zeiten  $t_0$ ,  $t_1$  und  $t_2$  ein bei 10 Mbits/s sowie Frames mit einer Länge von 1000 Bytes und einem Intervall vom 5 ms.

**Q10** Welches ist die gesuchte Switch-Verzögerungszeit?



**Q11** Brechen Sie **sendframe** ab (<Ctrl> C) und wiederholen Sie die Messung für alle Frame-Längen von Tabelle 1.

Frame-Länge [Byte]	Switch Delay theoretisch [μs]	Switch Delay gemessen [μs]	Abweichung [μs]
100	80 μs		
500	400 μs		
1000	800 μs		
1500	1200 μs		

Tabelle 1: Messung Switch-Delay 10 Mbit/s

- Bestimmen Sie die Abweichungen vom theoretischen Wert.
- Übertragen Sie die Messwerte (Switch Delay) in die Grafik (Abbildung 9).

#### 4.2 Messung von Switch-Verzögerungszeiten bei 100 Mbit/s

- Erzwingen Sie beim Switch eine fixe Bitrate von 100 Mbit/s, indem sie diese bei den Rechnern A und B manuell einstellen:

```
ethtool -s lan2 speed 100 duplex full advertise 0x008
```

- Überprüfen Sie im netANALYZER ob alle Ports „UP 100 Mbit/s“ anzeigen.

**Q12** Führen Sie die Messung für alle Frame-Längen der Tabelle 2 durch.

Frame-Länge [Byte]	Switch Delay theoretisch [μs]	Switch Delay gemessen [μs]	Abweichung [μs]
100	8 μs		
500	40 μs		
1000	80 μs		
1500	120 μs		

Tabelle 2: Messung Switch-Delay mit 100 Mbit/s

- Bestimmen Sie die Abweichungen vom theoretischen Wert.
- Übertragen Sie die Messwerte (Switch Delay) in die Grafik (Abbildung 9).

#### 4.3 Messungen Hub-Verzögerungszeiten (10 Mbit/s)

- Schliessen Sie gemäss Abbildung 2 einen Hub (10 Mbit/s) als Messobject an.

Hubs arbeiten mit *Half Duplex*. Dies und die Bitrate stellen Sie auf den Rechnern A und B manuell ein:

```
ethtool -s lan2 speed 10 duplex half advertise 0x001
```

- Überprüfen Sie im netANALYZER ob alle Ports „UP 10 Mbit/s“ anzeigen.

**Q13** Führen Sie die Messung durch für alle Frame-Längen der Tabelle 3:

Frame-Länge [Byte]	Hub Delay gemessen [μs]
100	
500	
1000	
1500	

Tabelle 3: Messung Hub-Delay mit 10 Mbit/s

- Übertragen Sie die Messwerte (Hub Delay) in die Grafik (Abbildung 9).

#### 4.4 Auswertung / Diskussion

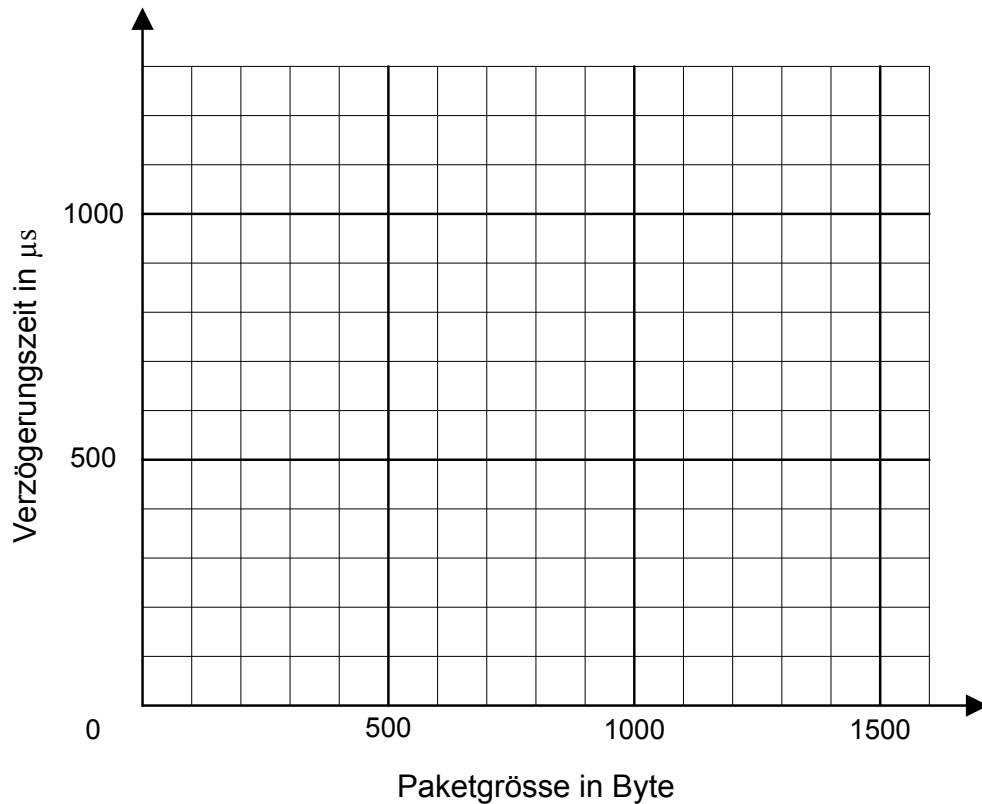


Abbildung 9

**Q14** Welche Aussagen können allgemein über den Delay des Hubs gemacht werden?

**Q15** Wie verhält sich die Verzögerung in Abhängigkeit von der Frame-Länge beim Hub?

**Q16** Wie ist der Zusammenhang zwischen Verzögerung und Frame-Länge bei Switches?

**Q17** Welchen Einfluss hat die Bitrate auf die Verzögerung bei Switches?

**Q18** Wie weichen die gemessenen Resultate beim Switch von den berechneten ab?

**Q19** Wie erklären Sie die Abweichung der theoretischen Resultate beim Switch von den gemessenen.

**Q20** Wann könnte ein 1000 Mbit/s Switch die Verzögerungszeiten eines 10 Mbit/s Hubs schlagen?

Zeigen Sie diese Resultate der Laborbetreuung.

