

04 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 anderen 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

2.1 Berechnung von Datenraten *Nutzdaten*

- 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]. Diese Formel wird später auch für die Messung benötigt.

$$\text{Frame Rate (F)} = \frac{64 \text{ Bit} + P \cdot 8 \text{ Bit} + 96 \text{ Bit} + 19 \cdot 8 \text{ Bit} + 4 \cdot 8 \text{ Bit}}{B}$$

*Handwritten notes: 64 Bit (Preamble/SFD), P * 8 Bit (Nutzdaten), 96 Bit (Gap), 19 * 8 Bit (Header), 4 * 8 Bit (Frame-Checkcode)*

$$\Rightarrow 304 + P \cdot 8$$

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

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

- Laden Sie das Spreadsheet (kt-04-pra-messungen.xls) auf [OLAT](#) 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.
- Stellen Sie im Spreadsheet den theoretischen Verlauf der Nutz-Bit-Rate in Funktion der Payload dar.

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.

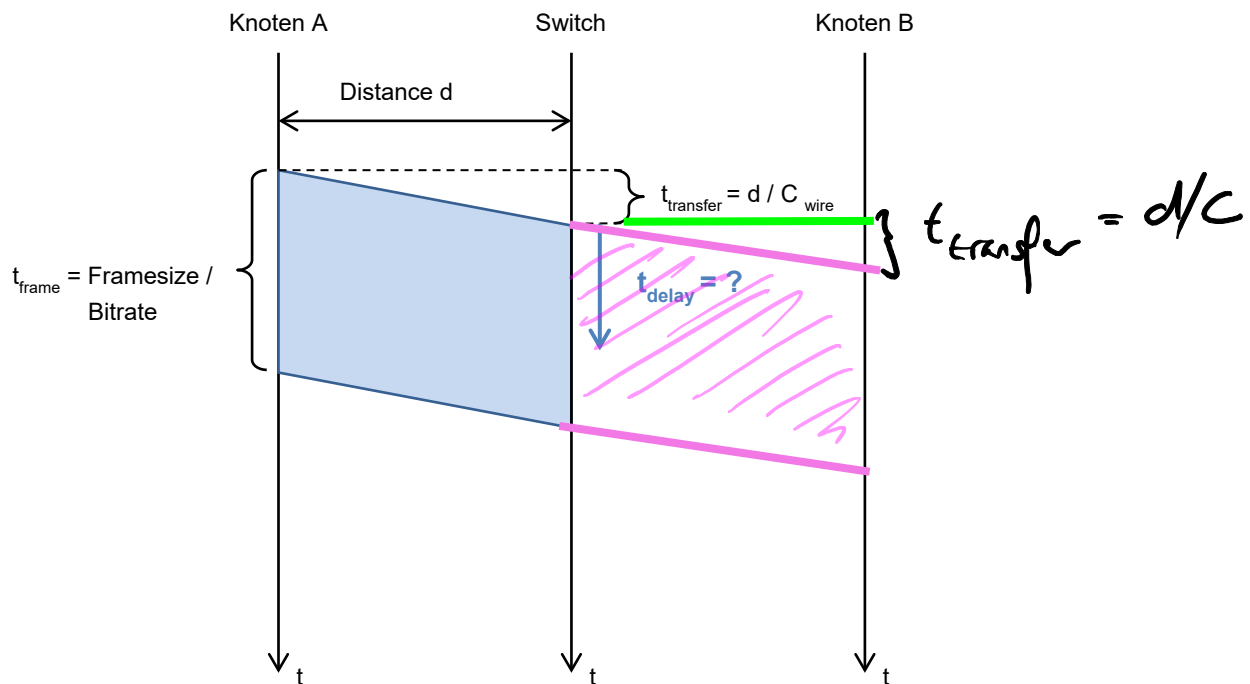


Abbildung 1

- Der Switch sei ein idealer Store-and-Forward-Switch, dessen interne Verarbeitung keine Zeit benötige. Zeichnen Sie in Abbildung 8 die Position des ausgehenden Frames ein, also vom Switch zum Knoten B.
- Leiten Sie eine Formel her für die Verzögerungszeit t_{delay} eines idealen Store-and-Forward-Switches bei einer bestimmten Frame-Länge und Bitrate.

$$L * t_{\text{transfer}}$$

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

Ja, ist abhängig von der Framelänge

- 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 obigen Werte von Tabelle 1 und Tabelle 2 als Kurve in die Abbildung 8.

3 Messung von Datenraten

- Sie benötigen einen Rechner, eine Embedded Linux Box (ELB) und einen HP-Switch.
- Verbinden Sie COM1 vom Rechner mit der seriellen Schnittstelle der ELB und bauen Sie via Putty eine Verbindung auf.
- Verbinden Sie den Ethernet-Port eth1 der ELB mit einem beliebigen Ethernet-Port am HP-Switch.
- 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.

10 Mbit/s	<code>ethtool -s eth1 autoneg off</code> <code>ethtool -s eth1 speed 10 duplex full advertise 0x002</code>
100 Mbit/s	<code>ethtool -s eth1 autoneg off</code> <code>ethtool -s eth1 speed 100 duplex full advertise 0x008</code>
1 Gbit/s	<code>ethtool -s eth1 autoneg on</code> <code>ethtool -s eth1 speed 1000 duplex full advertise 0x020</code>

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

`sendframes eth1 -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).

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?

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

- Zeigen Sie diese Resultate dem Laborbetreuer



4 Messung von Hub und Switch-Delay

- Für diesen Praktikumsteil starten Sie die Rechner A und der Rechner 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 die Frames aufzuzeichnen, ohne diese dabei zu verzögern.

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

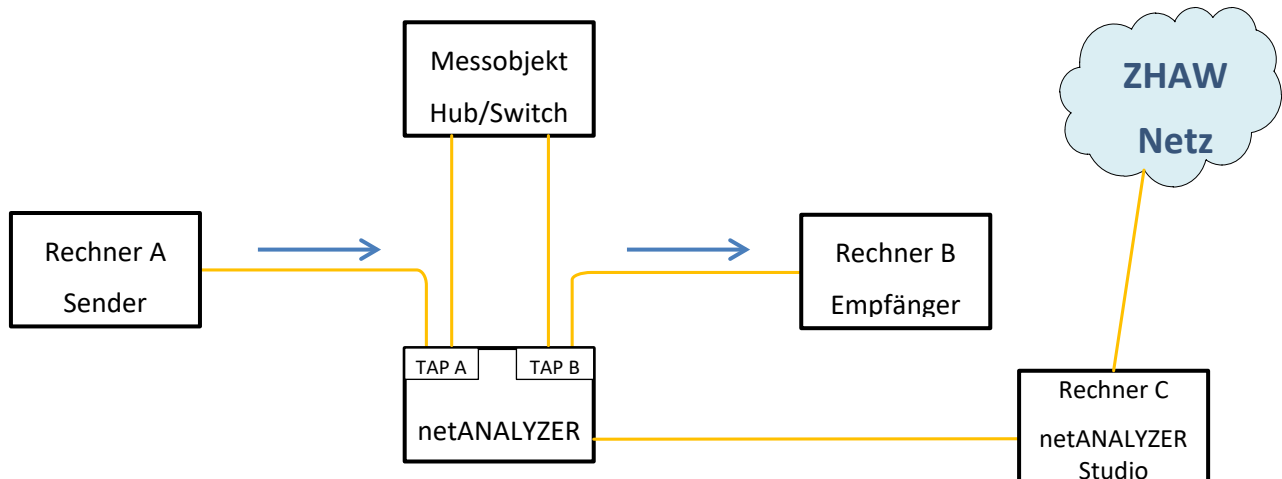


Abbildung 2

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.

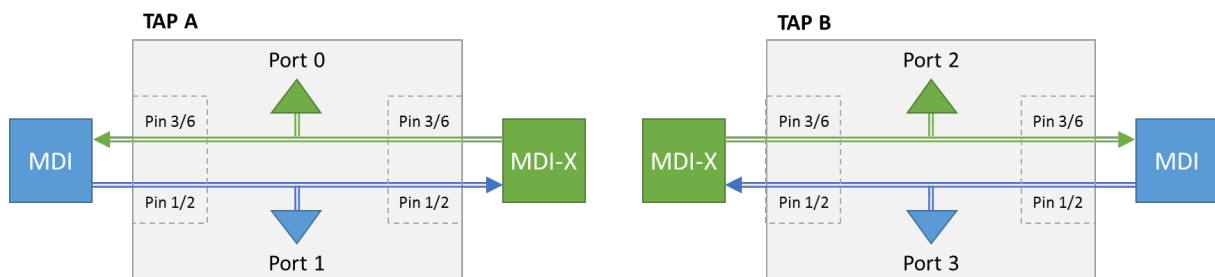
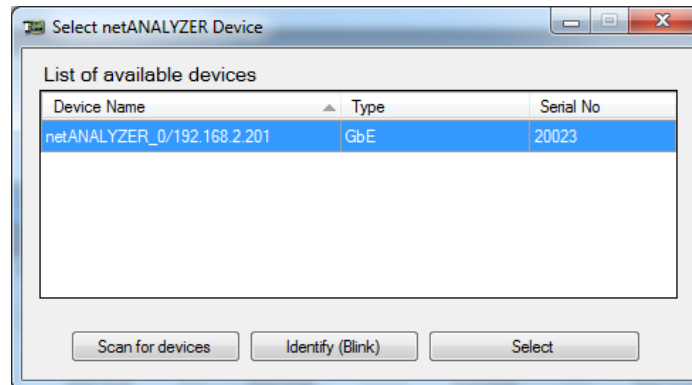
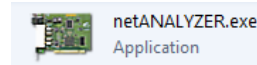


Abbildung 3

- Vor der Inbetriebnahme des netANALYZER kontrollieren Sie bitte, das sein Netzwerk-Port (Anschluss hinten) mit der freien Netzwerkkarte (eth1) 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 eth1 Schnittstellen für die Rechner A und B, indem Sie mit dem Programm **ethtool** die Autonegotiation ausschalten:
`ethtool -s eth1 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 eth1 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).

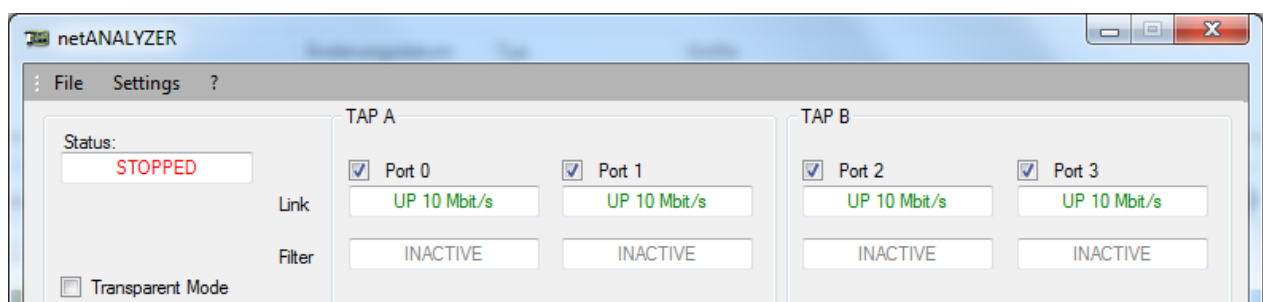


Abbildung 4

- Senden Sie vom Rechner A Frames (z.B. im Abstand vom 5 ms) mit der gewünschten Länge:
sendframes eth1 -i 0.005 -l *frame_length*
- Wählen Sie im netANALYZER die „Timing Analysis“ und starten Sie die Messung (Abbildung 5).

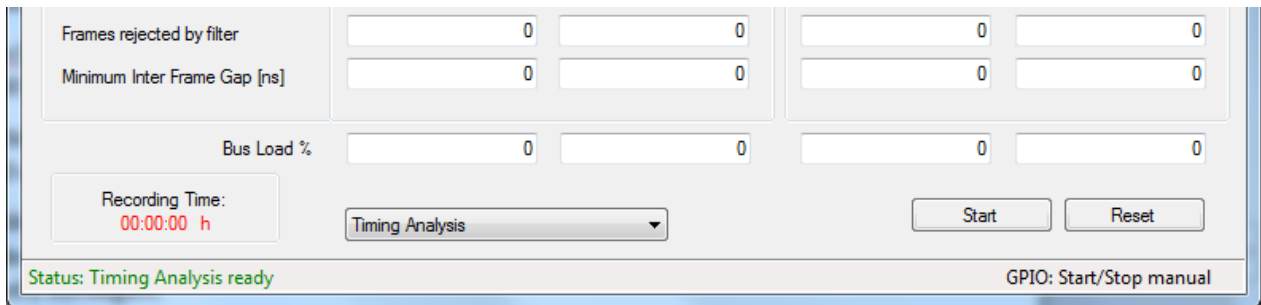


Abbildung 5

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

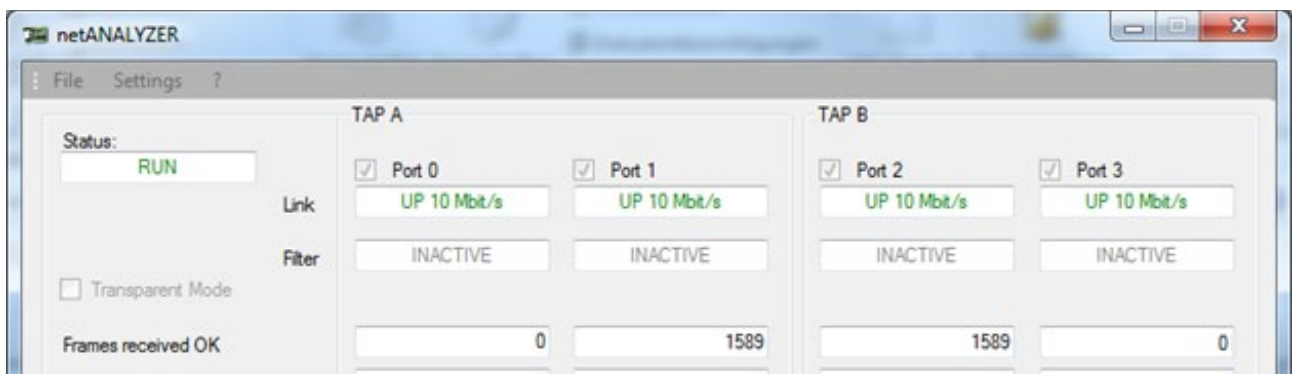


Abbildung 6

- 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 der Verzögerungszeit (Av. Time in Abbildung 7).

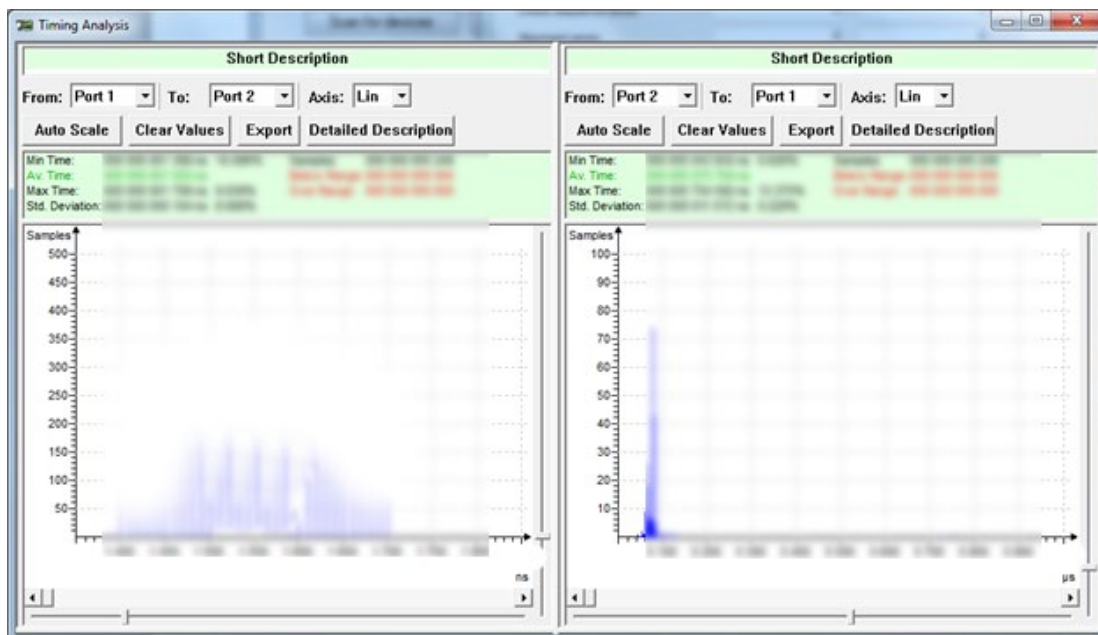


Abbildung 7

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

Wie interpretieren Sie die Zeit, die Sie nun messen?

- Berechnen 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			
500			
1000			
1500			

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 8).

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 eth1 speed 100 duplex full advertise 0x008
```

- Überprüfen Sie im netANALYZER ob alle Ports „UP 100 Mbit/s“ anzeigen.
- Führen Sie die Messung durch für alle Frame-Längen der Tabelle 2.

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

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 8).

4.4 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 eth1 speed 10 duplex half advertise 0x001
```

- Überprüfen Sie im netANALYZER ob alle Ports „UP 10 Mbit/s“ anzeigen.
- Führen Sie die Messung durch für alle Frame-Längen der Tabelle 3:

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

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

- Übertragen Sie die Messwerte (Hub Delay) in die Grafik (Abbildung 8).

4.5 Auswertung / Diskussion

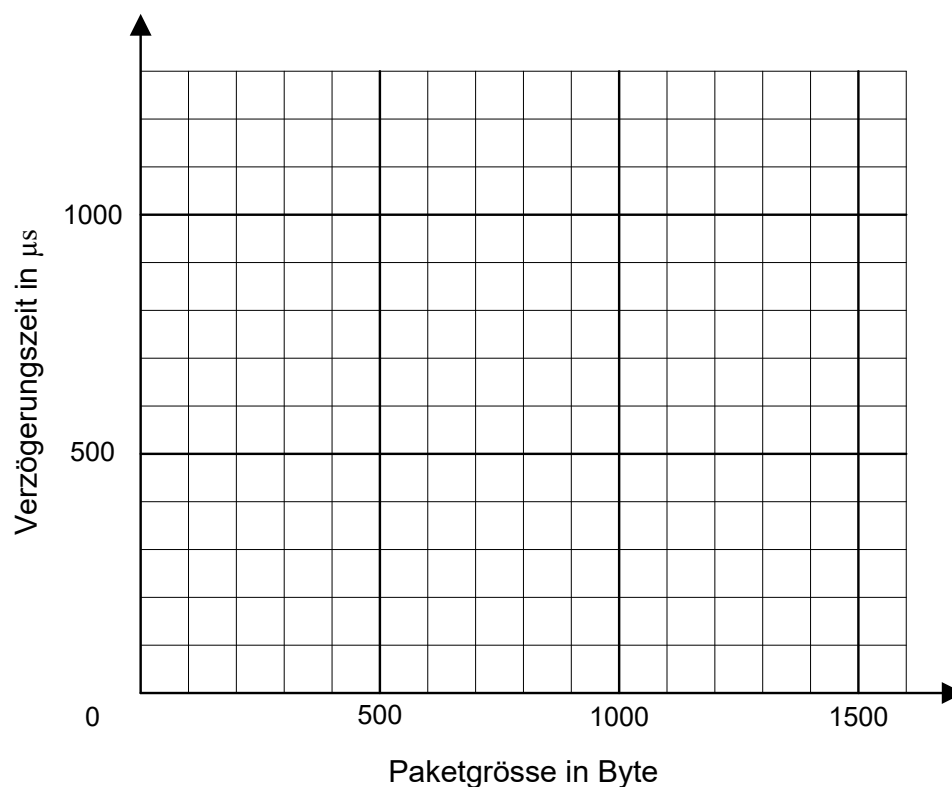


Abbildung 8

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

- Wie viele dieser Hubs dürfen in einer Collision Domain hintereinandergeschaltet werden?
(Annahme: Alle Kabel sind 100m lang.)

- Wie verhält sich die Verzögerung in Abhängigkeit von der Packet-Länge beim Hub?

- Wie ist der Zusammenhang zwischen Verzögerung und Packet-Länge bei Switches?

- Welchen Einfluss hat die Bitrate auf die Verzögerung bei Switches?

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

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

- Kann ein 1000 Mbit/s Switch in Bezug auf die Verzögerungszeiten einen 10 Mbit/s Hub schlagen?

Zeigen Sie diese Resultate dem Laborbetreuer.



5 Mögliche Zusatzaufgaben

Wählen Sie je nach verbleibender Zeit beliebige Zusatzaufgaben.

Vergleich der Verarbeitungszeiten verschiedener Switches

- Führen Sie die Delay-Messungen (100 Mbit/s Full Duplex) mit einem anderen Switch-Typ durch.
- Berechnen Sie die Verarbeitungszeiten des 2. Switches und vergleichen Sie diese mit den Resultaten von Abschnitt 4.2.

Präzise Analyse

- Der netANALYZER erzeugt die Zeitstempel nach dem SFD. Erstellen Sie eine Weg/Zeit-Grafik, die genau aufzeigt, wann/welche Header übertragen werden und wo die Zeitstempel genommen werden.

Messung der Antwortzeiten eines Rechners

Der Ping-Befehl zeigt an, wie lange es dauert, bis ein Rechner antwortet:

- Ersetzen Sie den Switch durch eine Leitung, damit zwischen den beiden netANALYZER-Ports keine Verzögerung entsteht.
- Öffnen Sie das netANALYZER-Konfigurationsmenu und ändern sie die Filtereinstellung auf: „Ping-Request-Reply – 100 Mbit/s Full Duplex“. Damit messen Sie nicht mehr die Durchlaufzeit zwischen den Ports sondern die Antwortzeiten des Rechners (vom Request-Frame zu Reply-Frame). Ein Port misst jeweils eine Richtung.
- Führen Sie nun Messungen durch und vergleichen Sie die Resultate mit den Angaben des Ping-Befehls.
- Erstellen Sie eine Weg/Zeit-Grafik, die genau aufzeigt, wie die Daten zwischen den PC übertragen werden und wo die Zeitstempel beim netANALYZER und auf dem Rechner A (Ping-Befehl) genommen werden.
- Erklären Sie anhand der Grafik die Unterschiede bei den gemessenen Zeiten und bestimmen Sie insbesondere die Stack-Laufzeit der Rechner A und B.