

# Ende-zu-Ende-Verzögerung

---

## Was ist das?

**Ende-zu-Ende-Verzögerung** ist die gesamte Zeit, die ein einzelnes Datenpaket benötigt, um vom Sender zum Empfänger über mehrere Netzwerk-Abschnitte (Links) zu reisen.

Diese Verzögerung setzt sich aus **zwei Hauptteilen pro Link** zusammen:

### ◆ **Übertragungsverzögerung (Transmission Delay)**

Zeit, um ein ganzes Paket „in den Draht zu schieben“ (also zu übertragen)

$$t_{\ddot{u}} = \frac{\text{Paketgröße (in Bit)}}{\text{Übertragungsrate (in Bit/s)}}$$

---

### ◆ **Ausbreitungsverzögerung (Propagation Delay)**

Zeit, die ein Bit braucht, um über die physikalische Strecke zu wandern

$$t_a = \frac{\text{Strecke}}{\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit}}$$

---

### ◆ **Ende-zu-Ende-Verzögerung (für mehrere Links)**

Die Summe der Verzögerungen über alle Links hinweg:

$$t_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1}^n (t_{\ddot{u},i} + t_{a,i})$$

Oder für genau 3 Links:

$$t_{\text{gesamt}} = (t_{\ddot{u},1} + t_{a,1}) + (t_{\ddot{u},2} + t_{a,2}) + (t_{\ddot{u},3} + t_{a,3})$$

---

### ◆ **Physikalische Länge eines Pakets im Kabel**

Wie lang ein Paket „räumlich“ ist, während es über ein Medium läuft:

$$\text{Länge}_{\text{phys}} = t_{\ddot{u}} \cdot v$$

- $t_{\ddot{u}}$  = Übertragungsverzögerung
  - $v$  = Ausbreitungsgeschwindigkeit
- 

## ◆ Durchsatz (Throughput)

Effektive Datenmenge pro Sekunde, oft durch den langsamsten Link begrenzt:

$$\text{Durchsatz} = \min(\text{Link1}, \text{Link2}, \dots, \text{Linkn})$$

---



## Beispiel direkt aus der Aufgabe:

Link	Übertragungsrate	Länge	Ausbreitungsgeschwindigkeit
1	60 Mbps	15 m	300 000 km/s
2	25 Mbps	250 m	200 000 km/s
3	20 Gbps	10 000 m	250 000 km/s

**Paketgröße:** 1500 Byte =  $1500 \times 8 = 12\,000$  Bit

---

## 🔍 Berechne die Verzögerungen:(1.1)

### ◆ Link 1

$$t_{\ddot{u}1} = \frac{12\,000}{60\,000\,000} = 0,0002\,\text{s} = 0,2\,\text{ms}$$

$$t_{a1} = \frac{15}{300\,000\,000} = 5 \cdot 10^{-8}\,\text{s} = 0,00005\,\text{ms}$$

---

### ◆ Link 2

$$t_{ü2} = \frac{12\,000}{25\,000\,000} = 0,00048\text{ s} = 0,48\text{ ms}$$

$$t_{a2} = \frac{250}{200\,000\,000} = 1,25 \cdot 10^{-6}\text{ s} = 0,00125\text{ ms}$$

### ◆ Link 3

$$t_{ü3} = \frac{12\,000}{20\,000\,000\,000} = 6 \cdot 10^{-7}\text{ s} = 0,0006\text{ ms}$$

$$t_{a3} = \frac{10\,000}{250\,000\,000} = 4 \cdot 10^{-5}\text{ s} = 0,04\text{ ms}$$



## Gesamte Ende-zu-Ende-Verzögerung(1.2)

$$t_{\text{gesamt}} = (0,2 + 0,00005) + (0,48 + 0,00125) + (0,0006 + 0,04) = 0,7219\text{ ms}$$

Die Ende-zu-Ende-Verzögerung beträgt **0,7219 ms**.



## Hängt das von der Reihenfolge der Links ab?(1.2)

Nein. Bei einem Paket ist die Reihenfolge nicht relevant. Bei mehreren Paketen ist es abhängig weil es definiert wo es anfängt sich zu stauen, aber bei Zeit von Sender bis Empfänger reicht schon ein einziger Link der langsamer ist um die gesamte Übertragung zu verzögern

## Paket-Burst & Reihenfolge



### 20 Pakete direkt nacheinander (Packet Burst)

Frage: Wie lange dauert die Übertragung von **20 Paketen**, wenn du sie direkt hintereinander losschickst?



**Idee:**

Nur das **erste Paket** muss die ganze Ende-zu-Ende-Verzögerung durchlaufen.  
Die **anderen 19** kommen **nach und nach** hinterher – mit einem Abstand entsprechend der **langsamsten Übertragungsverzögerung**.

---

## Relevant ist:

Welcher Link ist der langsamste beim „Reinschieben“?

→ Das ist **Link 2: 25 Mbps**

$$t_{ü,max} = \frac{12\,000}{25\,000\,000} = 0,00048\text{ s} = 0,48\text{ ms}$$

---

## Gesamtzeit für 20 Pakete:

Was?	Warum?
<b>t<sub>ü,max</sub></b> = max. Übertragungsverzögerung auf einem Link	Weil der langsamste Link bestimmt, wie schnell du neue Pakete senden kannst
<b>Bitrate immer in Bit/s</b>	Mbps = "Mega <i>bit</i> per second" = $\times 10^6$
<b>Paketgröße in Bit umrechnen</b>	1 Byte = 8 Bit
<b>Gesamtzeit bei Bursts:</b>	t-gesamt

$$t_{\text{gesamt}} = t_{e2e} + (N - 1) \cdot t_{ü,max}$$

$$t_{\text{gesamt}} = 0,7219 + 19 \cdot 0,48 = 0,7219 + 9,12 = 9,8419\text{ ms}$$

## Antwort Aufgabe 1.3:

Gesamtübertragungsdauer für den Burst = **9,84 ms**

---

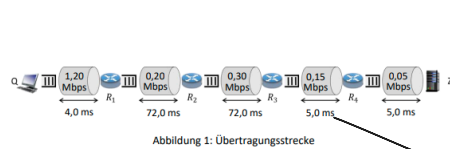
## Hängt das auch von der Reihenfolge der Links ab?

Ja, **noch stärker als bei einem einzelnen Paket**.

Denn: Der erste (langsamste) Link bestimmt, wie schnell du **weitere Pakete nachschieben kannst**.

---

# Durchsatz und Paketverlust(Klausuraufgabe)



- 1) Bestimmen Sie die Ende-zu-Ende Übertragungsdauer für ein Paket.  
Hinweis: Die Übertragungsverzögerung beträgt 4,0 ms für einen 1,20 Mbps Link.
- 2) Die Quelle versendet Pakete mit einem Abstand von 8,00 ms.
  - a) Bestimmen Sie für jeden Link den prozentualen Anteil der ankommenden Pakete, die langfristig verloren gehen.
  - b) Bestimmen Sie die physikalische Länge und die Anzahl gleichzeitiger Pakete für den Link zwischen R1 und R2, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit 200000km/s beträgt.
- 3) Skizzieren Sie die physikalische Ausdehnung der Pakete (physikalische Länge und Abstand) für die Links zwischen R1 und R2 sowie R2 und R3. Die Linie entspricht der physikalischen Länge der Links.
- 4) Die Quelle Q versendet Pakete zu den folgenden Zeitpunkten: 0,0 ms(900,0 B); 2,0 ms(600,0 B); 3,0 ms(900,0 B); 4,0 ms(900,0 B); 5,0 ms(900,0 B); 7,0 ms(1200,0 B); 9,0 ms(900,0 B); 24,0 ms(1200,0 B); 26,0 ms(1200,0 B); 27,0 ms(1200,0 B)

14.400km  
4.800km



Bestimmen Sie mit Hilfe einer Ereignistabelle, welche Pakete zwischen Quelle Q und Router R<sub>1</sub> verloren gehen, wenn der Aufgang-Puffer von Q zu R<sub>1</sub> 3 Pakete aufnehmen kann.

- 3.1) Der Link R1-R2 ist komplett ausgelastet. Alle Pakete werden ohne Lücken übertragen. Es passen 3 Pakete drauf
- 3.2) Der Link R2-R3 ist nur zu 2/3 ausgelastet. Paketübertragungsdauer beträgt 16ms, aber nur alle 24ms trifft ein Paket ein. Das heißt wir haben ein Leerlauf von 8ms

1)

Link	Bitrate	t <sub>ü</sub> (ms)	t <sub>a</sub> (ms)	t <sub>total</sub> (ms)
Q → R1	1,20 Mbps	4,0	4,0	8,0
R1 → R2	0,20 Mbps	24,0	72,0	96,0
R2 → R3	0,30 Mbps	16,0	72,0	88,0
R3 → R4	0,15 Mbps	32,0	5,0	37,0
R4 → Z	0,05 Mbps	96,0	5,0	101,0

E2E-Übertragungsdauer = 8 + 96 + 88 + 37 + 101 = 330ms für ein Paket

2a)  
600 bytes/Paket \* 8 = 4800 bits/Paket  
8ms Sendetakt = 1/0,008 = 125 Pakete/s

(1,2mps / 10<sup>6</sup>) / 4800

Link	Kapazität	Ankommend (Pakete/s)	Max (Pakete/s)	Verlustquote
Q → R1	1,20 Mbps	125	250	0 %
R1 → R2	0,20 Mbps	125	41,67	66,7 %
R2 → R3	0,30 Mbps	41,67	62,5	0 %
R3 → R4	0,15 Mbps	41,67	31,25	25 %
R4 → Z	0,05 Mbps	31,25	10,42	66,7 %

91,66% Paketverlust

2b)  
T<sub>ü</sub> = (4800bit Paketgröße) / (200.000bits/s) = 0,024s = 24ms  
PhysLänge = 0,024s \* 200.000km/s = 4800km

Ein Paket ist 4800 km lang, während es über den Link R1 → R2 übertragen wird.

Strecke von R1-R2 = t<sub>a</sub> \* Ausbreitungsgeschwindigkeit  
= 0,72s \* 200.000km/s = 14.400km

14.400 / 4800 = 3 Pakete Gleichzeitig auf der Strecke von R1 zu R2

4.

Zeit (ms)	Größe (B)	Verzögerung (ms)
0.0	900	6
2.0	600	4
3.0	900	6
4.0	900	6
5.0	900	6
7.0	1200	8
9.0	900	6
24.0	1200	8
26.0	1200	8
27.0	1200	8

Zeit	Ereignis	Größe / Verzögerung	Blockiert	Puffer (Pakete)	Übertragungsende
0	A	900 / 6	Nein	-	6
2	A	600 / 4	Nein	[600]	

Zeit	Ereignis	Größe / Verzögerung	Blockiert	Puffer (Pakete)	Übertragungsende
3	A	900 / 6	Nein	[600, 900]	
4	A	900 / 6	Nein	[600, 900, 900]	
5	A	900 / 6	<b>Ja</b>	[600, 900, 900]	✗ verloren
6	D		-	[900, 900]	nächste Ende: 10
7	A	1200 / 8	Nein	[900, 900, 1200]	
9	A	900 / 6	<b>Ja</b>	[900, 900, 1200]	✗ verloren
10	D		-	[900, 1200]	nächste Ende: 16
16	D		-	[1200]	nächste Ende: 24
24	A	1200 / 8	Nein	[1200, 1200]	Ende: 32
26	A	1200 / 8	Nein	[1200, 1200, 1200]	
27	A	1200 / 8	<b>Ja</b>	[1200,1200,1200]	✗ verloren