

Übungen zu „Rechnerkommunikation“

Sommersemester 2020
Übung 1

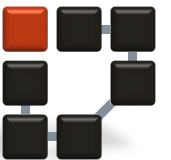
Alexander Brummer, Dr.-Ing. Peter Bazan,
Daniela Schmidt, Tobias Baumeister, Gabriel Dengler
Prof. Dr.-Ing. Reinhard German

Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
Informatik 7 (Rechnernetze und Kommunikationssysteme)



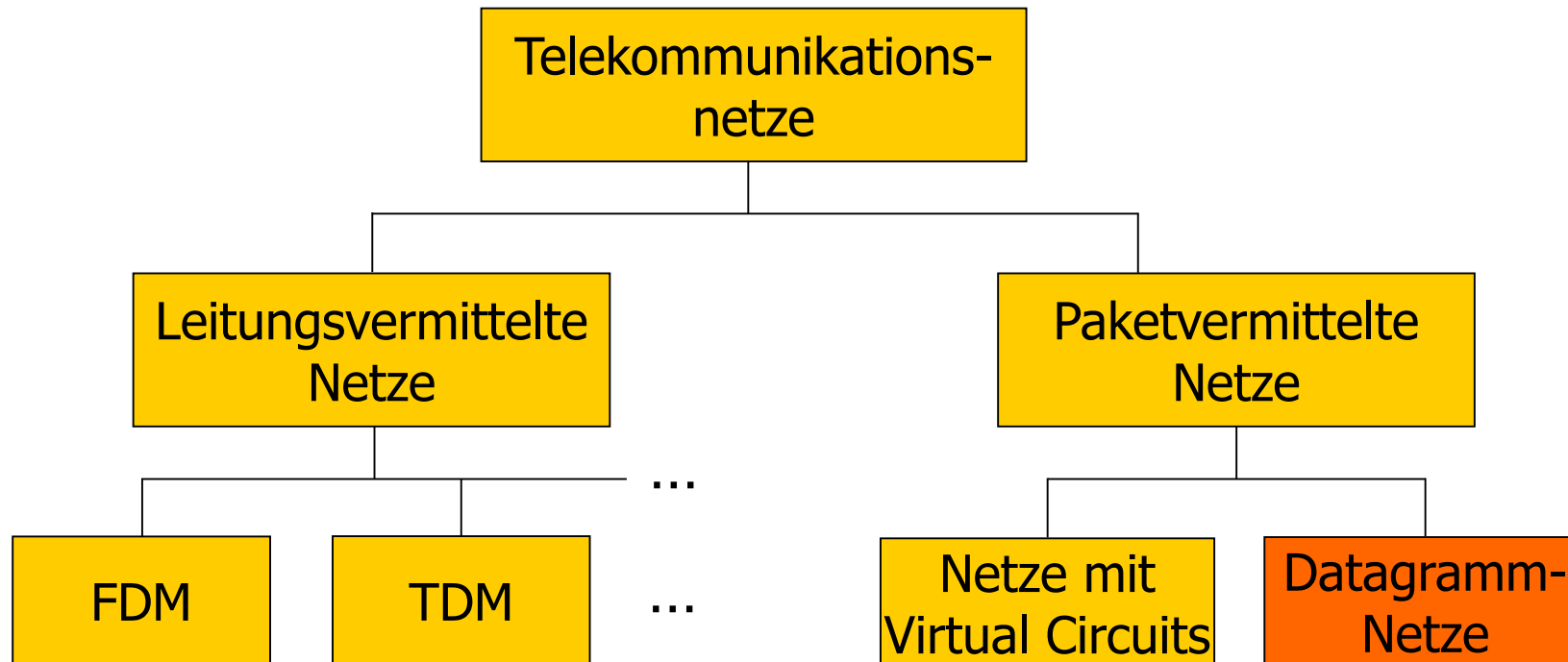
FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT



Netzwerk-Taxonomie

- Datagramm-Netz kann sowohl verbindungsorientiert als auch verbindungslos sein, im Internet z.B. TCP und UDP
- Zunächst kurze Einführung zu den verschiedenen Arten
- In folgenden Übungen Fokus auf Datagramm-Netze

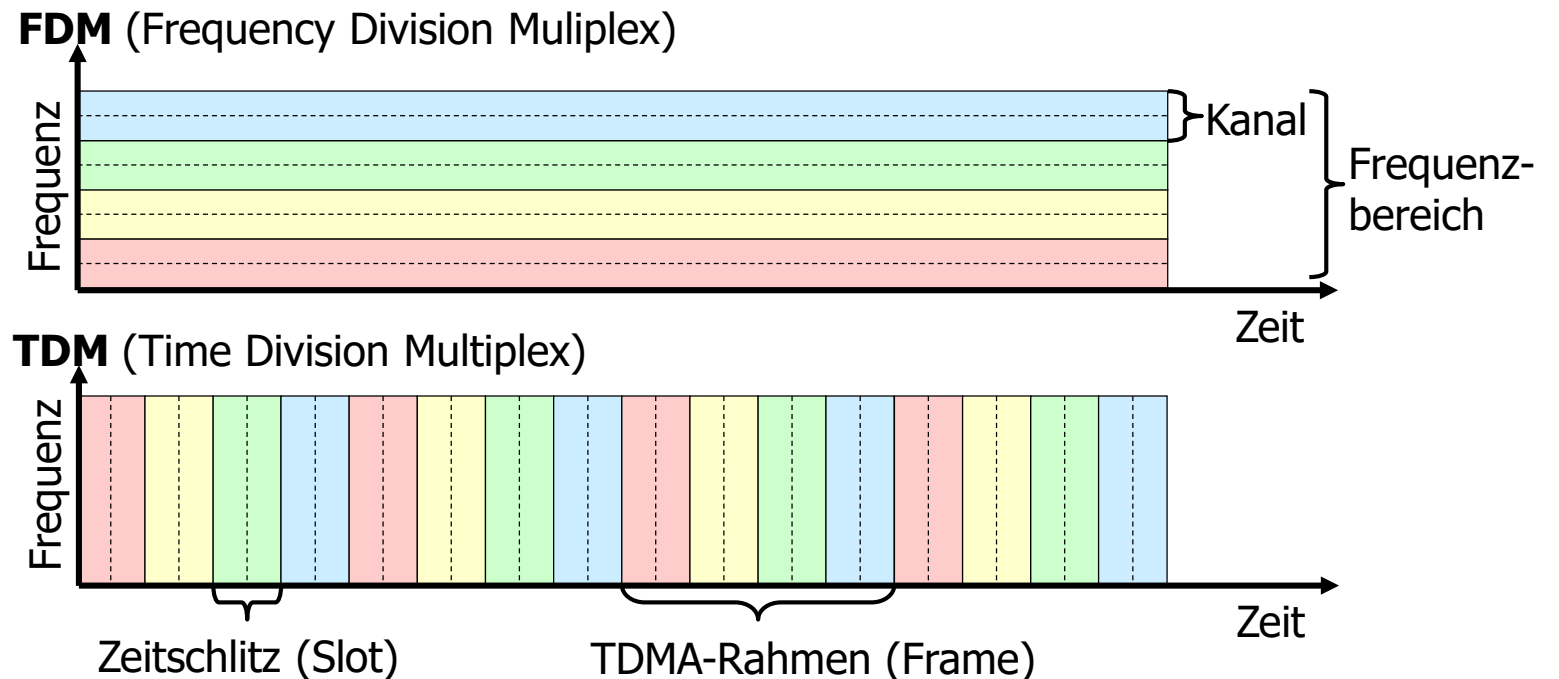
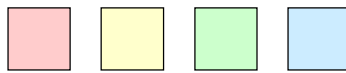


Leitungsvermittlung

- Traditionelle Telefonnetze; Ressourcen für jede Verbindung fest reserviert
- Analogie: Restaurant ohne versus mit Reservierung
 - Reservierungsaufwand und damit verbundene Verzögerung
 - Plätze werden nicht genutzt wenn Reservierung gerade nicht wahrgenommen → keine Zeitersparnis, schlechtere Ausnutzung
 - Jedoch: Keine Gefahr von (schwankenden) Wartezeiten

- Reservierung von Teil des Links durch FDM oder TDM

Bsp: 4 Benutzer



Übung 1.1

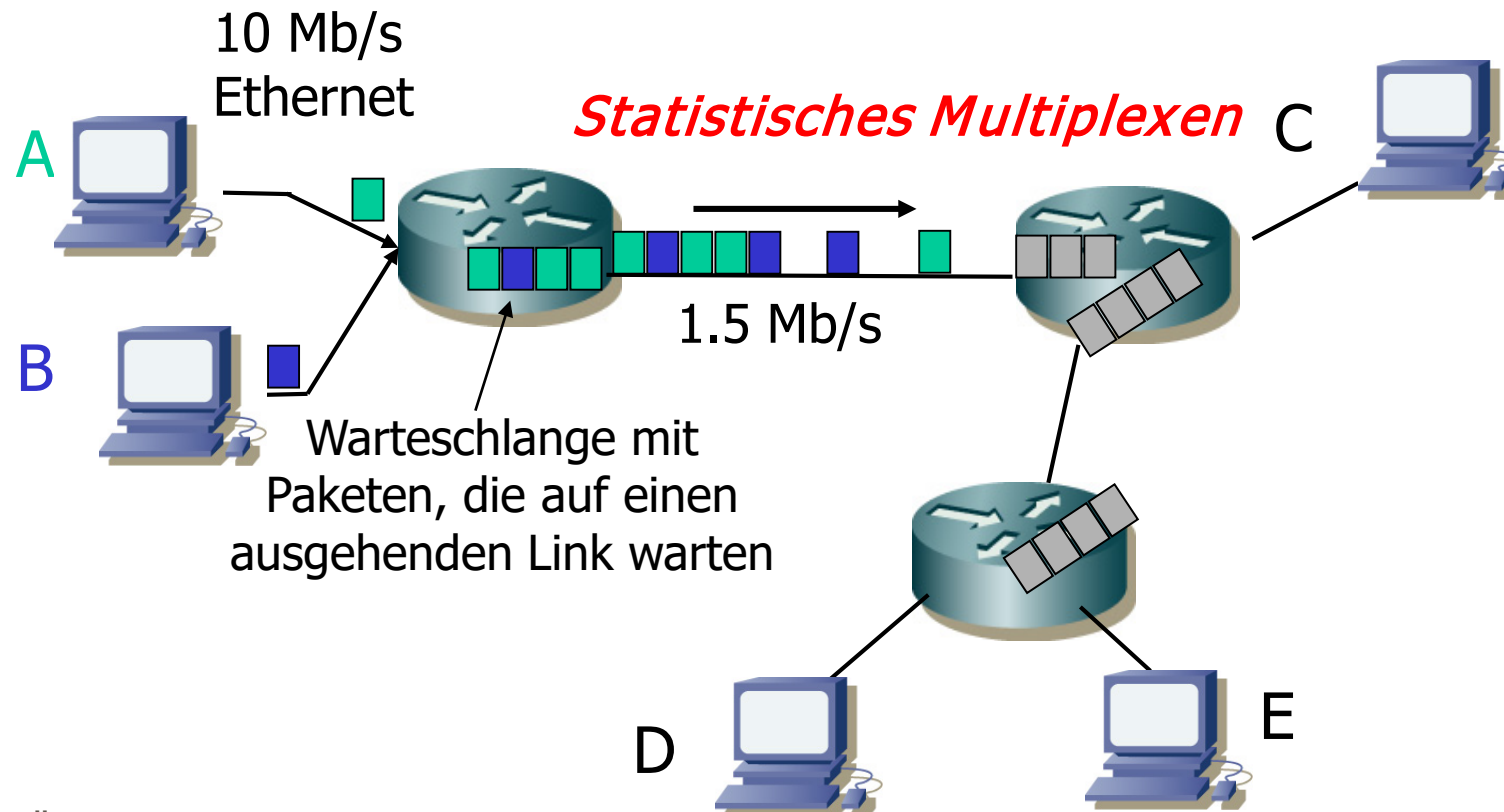
- Wie lange dauert es, eine Datei der Größe 640.000 Bits von Rechner A an Rechner B über ein leitungsvermitteltes Netz zu übertragen?
 - Alle Links haben eine Bitrate R von 1,536 Mbps
 - Jeder Link nutzt das **TDMA**-Verfahren mit 24 Slots pro Sekunde, jeder Rahmen besteht aus 24 Slots
 - Der Verbindungsaufbau von einem Ende zum anderen d_{con} dauert 500 ms

Übung 1.2

- Wie lange dauert es, eine Datei der Größe 640.000 Bits von Rechner A an Rechner B über ein leitungsvermittelltes Netz zu übertragen?
 - Alle Links haben eine Bitrate R von 1,536 Mbps
 - Jeder Link nutzt das **FDMA**-Verfahren mit 24 Kanälen bzw. Frequenzen
 - Der Verbindungsaufbau von einem Ende zum anderen d_{con} dauert 500 ms

Paketvermittlung: Statistisches Multiplexen

- Reihenfolge der Pakete von A und B folgt keinem regelmäßigen Muster, Aufteilung der Leitung je nach Bedarf, daher spricht man von statistischem Multiplexen
- Beim TDM-Verfahren würde jedem Sender in einem zyklisch wiederholten TDM-Rahmen (Frame) immer der gleiche Platz (Slot) zugeordnet.
- Ressourcen werden während Inaktivität durch andere genutzt → Multiplexgewinn



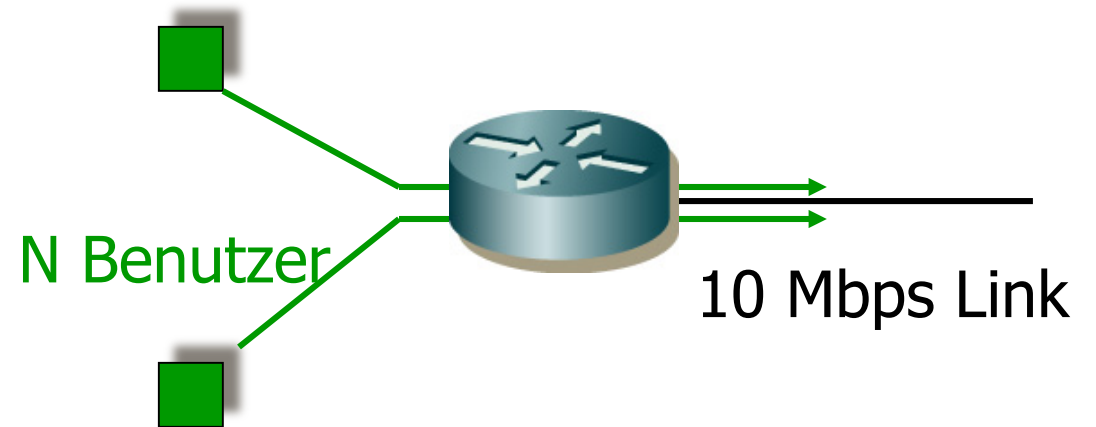
Paketvermittlung vs. Leitungsvermittlung

Mit Paketvermittlung können mehr Benutzer das Netz verwenden als mit Leitungsvermittlung!

■ 10 Mbps Link

■ Jeder Benutzer

- sendet 625 kbps, wenn er aktiv ist
- ist 15% der Zeit aktiv (generiert Daten)



■ Leitungsvermittlung (vorreserviert):

- 625 kbps reserviert für jeden Nutzer
- Inaktivität nicht für andere genutzt → **16 Benutzer** gleichzeitig

■ Paketvermittlung (on-demand):

- Selbst mit **50 Benutzern** beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass mehr als 16 Benutzer gleichzeitig aktiv sind (sodass 10 Mbps nicht reichen würden), nur ungefähr 0,00066.

Wie kommt man auf einen Wert von 0.00066? → nächste Folie

Übung 1.3

Wie auf der Folie "Paketvermittlung vs. Leitungsvermittlung" nehmen Sie an,

- dass mehrere Benutzer sich eine Verbindung mit 10 Mbps teilen und
- dass ein Benutzer 625 kbps benötigt, wenn er sendet und
- dass jeder Nutzer jedoch nur während 15% der Zeit sendet.

■ Wie viele Nutzer sind bei Leitungsvermittlung möglich?

Für den Rest der Aufgabe wird nun Paketvermittlung für 50 Nutzer verwendet.

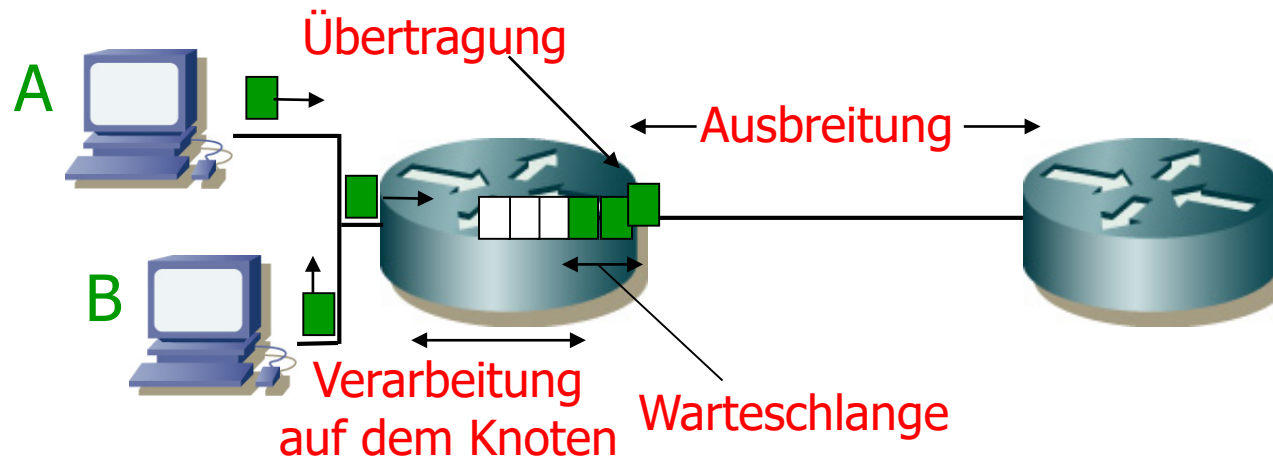
- Mit welcher Wahrscheinlichkeit sendet ein gegebener Nutzer?
- Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass zu einem Zeitpunkt genau k Nutzer gleichzeitig senden.
- Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass mehr als 16 Nutzer gleichzeitig senden.

Paketvermittelte Netze: Paketweiterleitung

- Ziel: Pakete von Quelle über die Router ans Ziel bringen
 - In späteren Kapiteln Wegewahl-Algorithmen (Routing)
- Netzwerk mit virtuellen Verbindungen:
 - Jedes Paket trägt ein Kennzeichen (virtual circuit ID), dieses Kennzeichen bestimmt den nächsten Knoten
 - Fester Pfad, der beim Verbindungsaufbau festgelegt wird und während der Sitzung unverändert bleibt
 - Die Router müssen für jede Sitzung (virtuelle Verbindung) Zustandsinformationen speichern
- Datagramm-Netzwerk:
 - Zieladresse im Paket bestimmt nächsten Knoten.
 - Die Routen können sich während der Sitzung ändern.
 - Analogon: Fahren und nach dem Weg zum Ziel fragen

Vier Quellen für Paketverzögerungen

1. Übertragungsverzögerung d_{trans}
2. Ausbreitungsverzögerung d_{prop}
3. Verarbeitungsverzögerung d_{proc}
4. Warteschlangenverzögerung d_{queue}



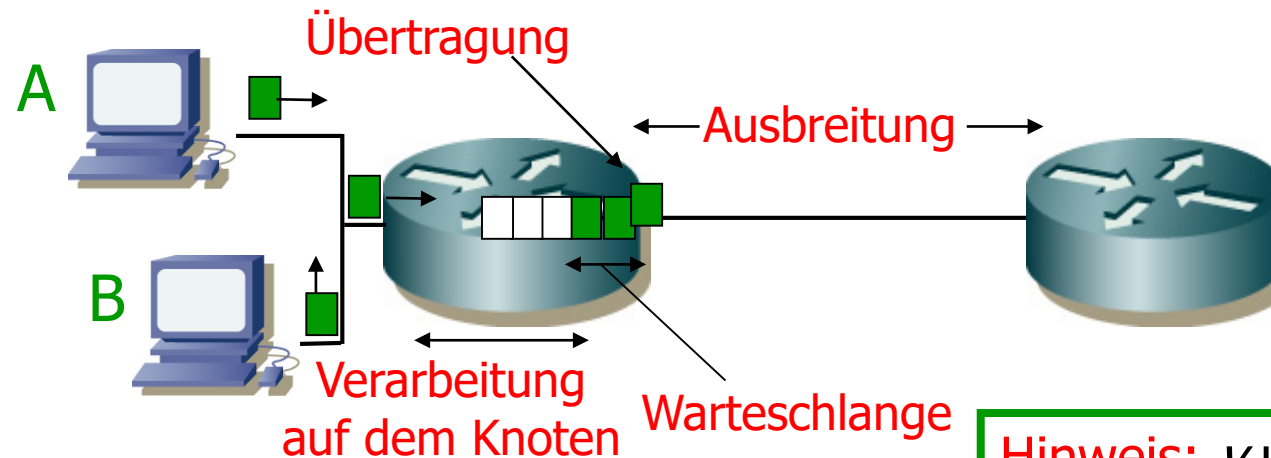
Vier Quellen für Paketverzögerungen im Detail

1. Übertragungsverzögerung:

- R = Bitrate des Links (bps)
- L = Paketlänge (bits)
- Zeit, um Bits auf den Link zu senden = L/R

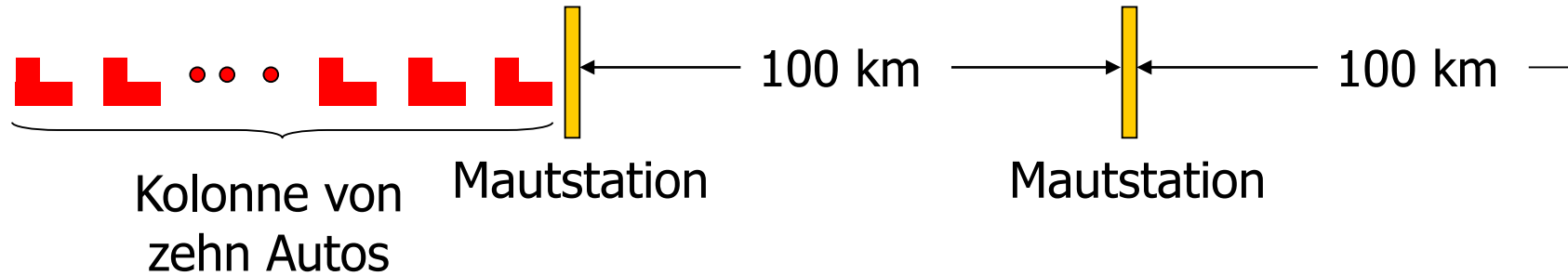
2. Ausbreitungsverzögerung:

- l = Länge der physikalischen Verbindung
- v = Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium, abhängig von Material ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- Ausbreitungsverzögerung = l/v



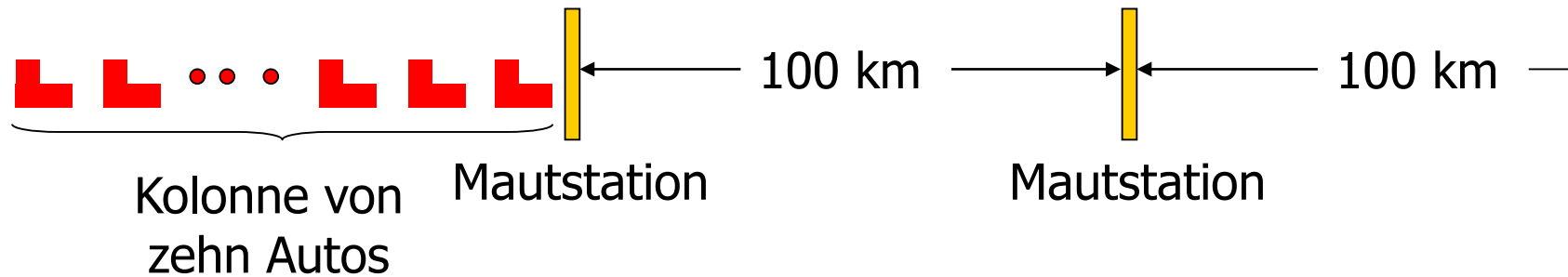
Hinweis: v und R sind *sehr* unterschiedliche Größen!

Kolonnen-Analogie: Übertragungsverzögerung



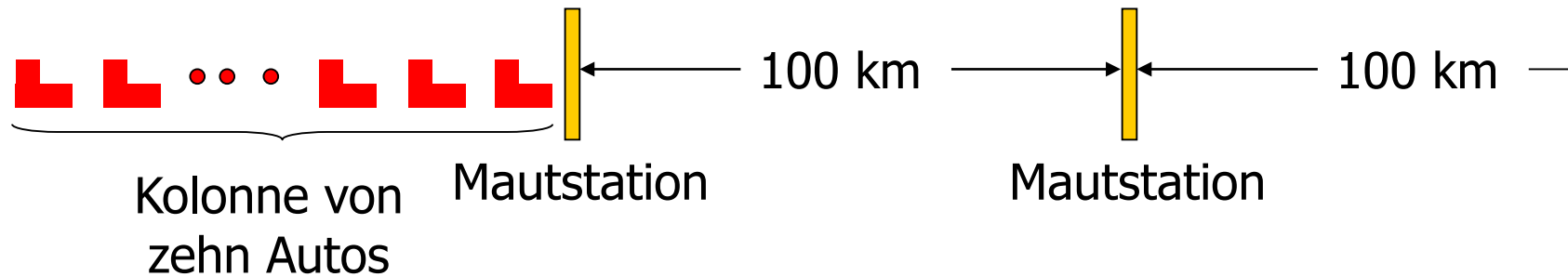
- Auto \sim Bit; Kolonne \sim Paket
- Frage: Wie lange dauert es, bis die Kolonne an der zweiten Mautstation angekommen ist?
- Mautstation benötigt 12 s fürs Durchwinken eines Autos
- Übertragungsrate $R = \frac{1 \text{ Auto}}{12 \text{ s}} = \frac{1}{12} \frac{\text{Auto}}{\text{s}}$

Kolonnen-Analogie: Übertragungsverzögerung



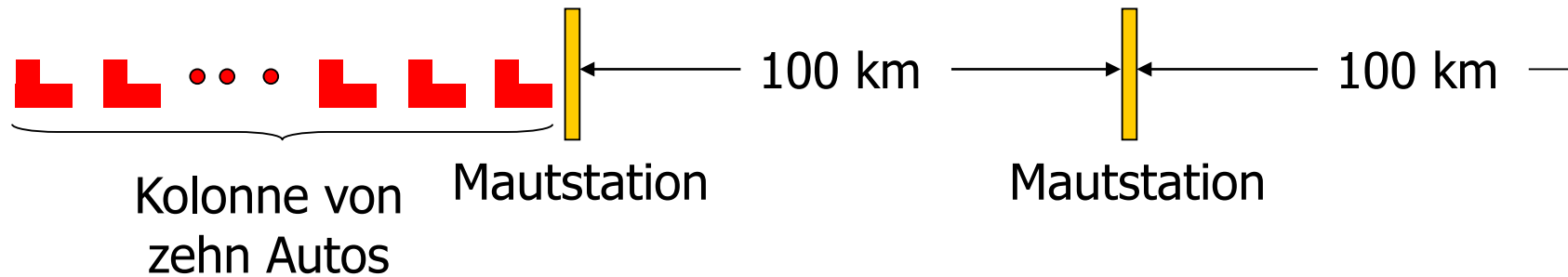
- Auto \sim Bit; Kolonne \sim Paket
- Frage: Wie lange dauert es, bis die Kolonne an der zweiten Mautstation angekommen ist?
- Mautstation benötigt 12 s fürs Durchwinken eines Autos
- Übertragungsrate $R = \frac{1 \text{ Auto}}{12 \text{ s}} = \frac{1}{12} \frac{\text{Auto}}{\text{s}}$
- Zeit bis Mautstation alle 10 Autos auf die Straße „geschoben“ hat?
- Übertragungsverzögerung $d_{\text{trans}} = \frac{L}{R} = \frac{10 \text{ Autos}}{\frac{1}{12} \frac{\text{Auto}}{\text{s}}} = 120 \text{ s} = 2 \text{ min}$

Kolonnen-Analogie: Ausbreitungsverzögerung



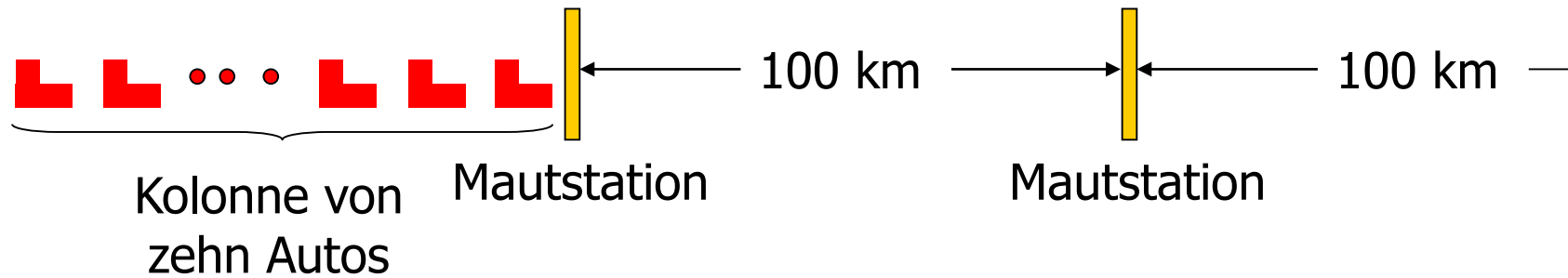
- Auto \sim Bit; Kolonne \sim Paket
- Frage: Wie lange dauert es, bis die Kolonne an der zweiten Mautstation angekommen ist?
- Autos bewegen sich mit Ausbreitungsgeschwindigkeit $v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- Zeit bis ein Auto bis zur zweiten Mautstation fährt?
- Ausbreitungsverzögerung $d_{\text{prop}} = \frac{l}{v} = \frac{100 \text{ km}}{100 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1\text{h} = 60\text{min}$

Kolonnen-Analogie: Ausbreitungsverzögerung



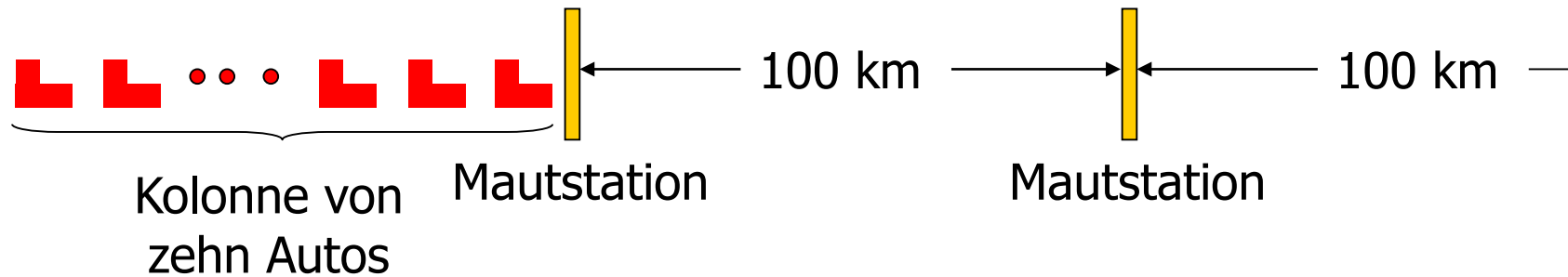
- Auto \sim Bit; Kolonne \sim Paket
- Frage: Wie lange dauert es, bis die Kolonne an der zweiten Mautstation angekommen ist?
- Autos bewegen sich mit Ausbreitungsgeschwindigkeit $v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- Zeit bis ein Auto bis zur zweiten Mautstation fährt?
- Ausbreitungsverzögerung $d_{\text{prop}} = \frac{l}{v} = \frac{100 \text{ km}}{100 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1\text{h} = 60\text{min}$
- Gesamtverzögerung $d_{\text{ges}} = d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}} = 2\text{min} + 60\text{min} = 62\text{min}$

Kolonnen-Analogie



- Autos bewegen sich nun mit 1000 km/h
- Mautstation benötigt nun 1 Minute für Abfertigung eines Autos
- **Frage: Kommen Autos an der zweiten Mautstation an, bevor alle Autos an der ersten abgefertigt sind?**

Kolonnen-Analogie



- Autos bewegen sich nun mit 1000 km/h
- Mautstation benötigt nun 1 Minute für Abfertigung eines Autos
- **Frage: Kommen Autos an der zweiten Mautstation an, bevor alle Autos an der ersten abgefertigt sind?**
- **Ja!**
Nach 7 Minuten ist das erste Auto an der zweiten Station, während an der ersten noch drei Fahrzeuge warten.
- Das erste Bit eines Pakets kann bereits beim zweiten Router angekommen sein, bevor das Paket am ersten Router vollständig übertragen wurde.

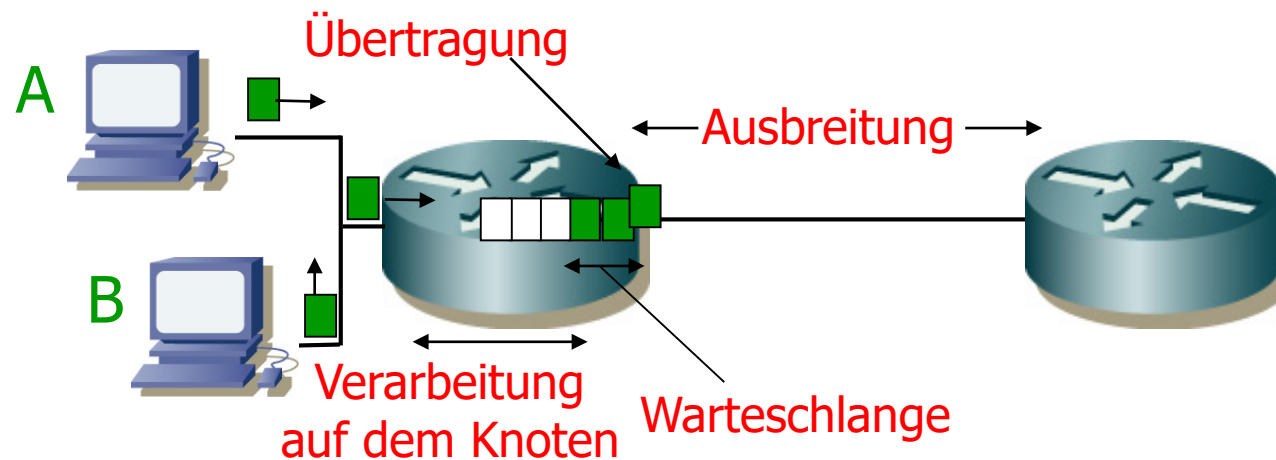
Vier Quellen für Paketverzögerungen im Detail

■ 3. Verarbeitungsverzögerung:

- Prüfung auf Bitfehler
- Bestimmung des ausgehenden Links

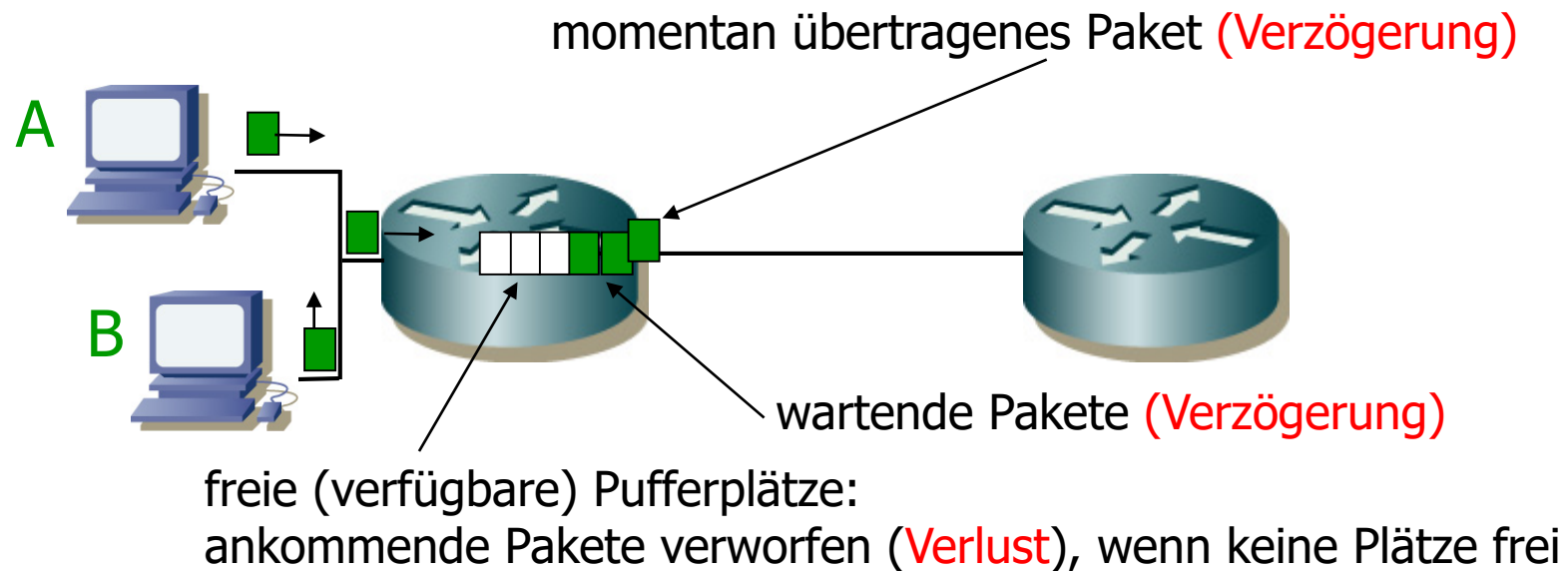
■ 4. Warteschlangenverzögerung

- Wartezeit auf den ausgehenden Link zur Übertragung
- hängt vom Grad der Belastung des Routers ab



Warteschlangenverzögerung und –verlust

- Pakete reihen sich in Puffer-Warteschlangen der Router ein (Queuing).
- Wenn die Paketankunftsrate an einem Link die Kapazität des ausgehenden Links übersteigt, müssen die Pakete in den Warteschlangen warten, bis sie an der Reihe sind.

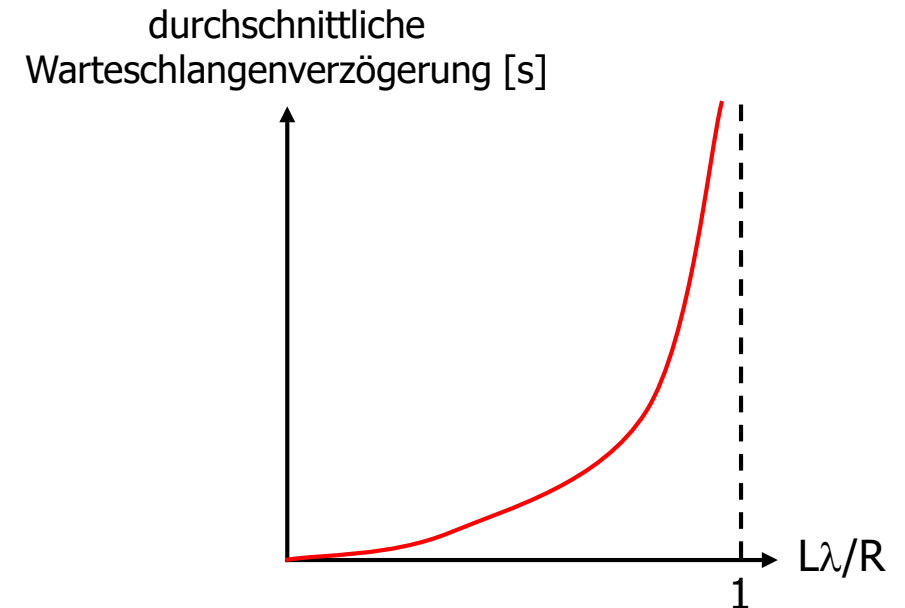


Warteschlangenverzögerung

- R = Bitrate des Links (bps)
- L = Paketlänge (Bits)
- λ = durchschnittliche Paketankunftsrate (#Pakete/ s)

■ Verkehrsintensität = $\rho = L\lambda/R$

- $L\lambda/R \sim 0$: Warteschlangenverzögerung klein
- $L\lambda/R \rightarrow 1$: Verzögerungen werden groß
- $L\lambda/R > 1$: Es kommt mehr „Arbeit“ an, als abgearbeitet werden kann, die durchschnittliche Verzögerung geht gegen unendlich!



Paketverlust

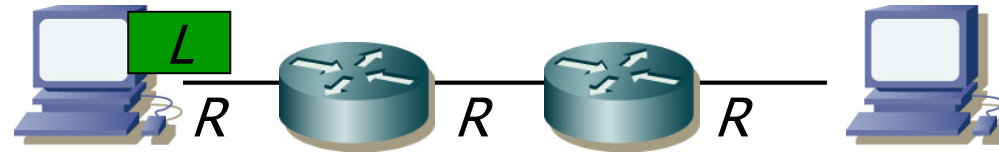
- Warteschlange (Puffer) vor dem Link im Router hat **endliche Kapazität**.
- Wenn Pakete ankommen, während die Warteschlange bereits voll ist, werden die Pakete verworfen (d.h. sie gehen verloren).
- Verloren gegangene Pakete
 - können
 - vom vorherigen Netzknoten oder
 - von der Quelle (Endsystem)erneut übertragen werden
 - oder es findet keine Neuübertragung statt.

Verzögerungszeiten an einem Knoten

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- d_{proc} = Verarbeitungsverzögerung (processing delay)
 - typischerweise wenige Mikrosekunden oder noch weniger
- d_{queue} = Warteschlangenverzögerung (queuing delay)
 - lastabhängig
- d_{trans} = Übertragungsverzögerung (transmission delay)
 - $= L/R$, bei langsamen Verbindungen ein signifikanter Anteil
- d_{prop} = Ausbreitungsverzögerung (propagation delay)
 - Wenige Mikrosekunden bis hunderte Millisekunden

Paketvermittlung: Mehrere Links



Cut-Through-Vermittlung

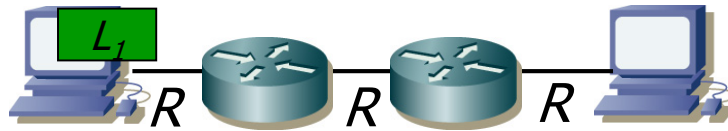
- Knoten wartet nur Header ab, um Weiterleitungsziel herauszufinden
- Danach wird Paket direkt fließend weitergeschickt

Store-and-Forward-Vermittlung

- Das ganze Paket muss beim Router angekommen sein (Speichervermittlung)
- Erst dann kann es auf den nächsten Link geschickt werden

Paketvermittlung: Store-and-Forward im Detail (Beispiel)

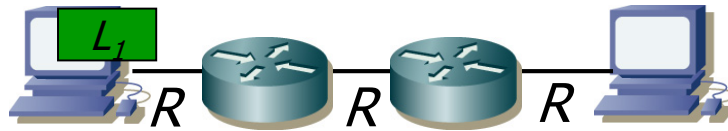
- Übertragung von $N \cdot L$ Bits über 3 Links (nur d_{trans} betrachtet)



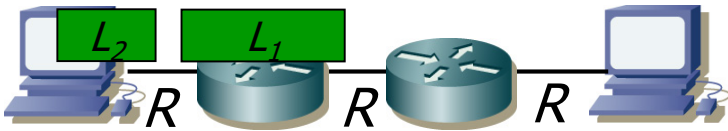
$t = 0$: Übertragung beginnt

Paketvermittlung: Store-and-Forward im Detail (Beispiel)

- Übertragung von $N \cdot L$ Bits über 3 Links (nur d_{trans} betrachtet)



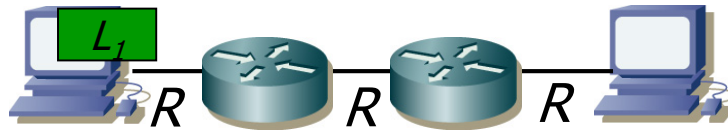
$t = 0$: Übertragung beginnt



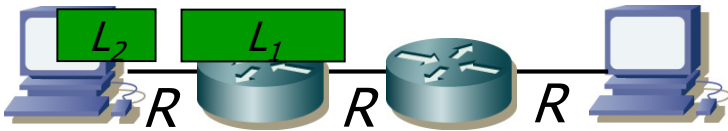
$t = \frac{L}{R}$: erstes Paket am ersten Router angekommen

Paketvermittlung: Store-and-Forward im Detail (Beispiel)

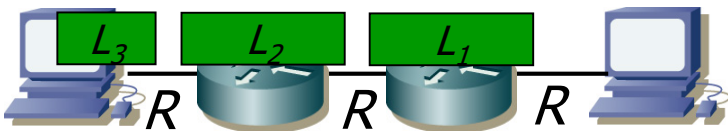
- Übertragung von $N \cdot L$ Bits über 3 Links (nur d_{trans} betrachtet)



$t = 0$: Übertragung beginnt



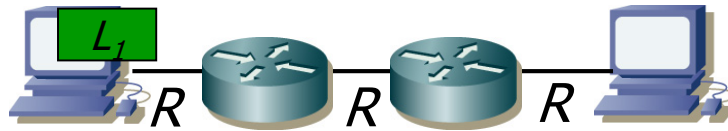
$t = \frac{L}{R}$: erstes Paket am ersten Router angekommen



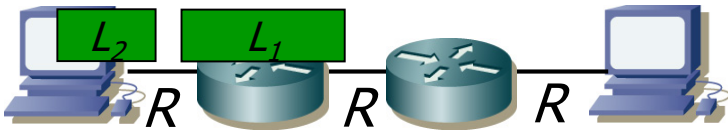
$t = 2 \cdot \frac{L}{R}$: erstes Paket am zweiten Router angekommen

Paketvermittlung: Store-and-Forward im Detail (Beispiel)

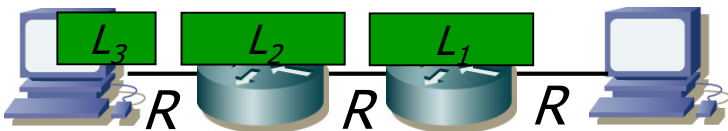
- Übertragung von $N \cdot L$ Bits über 3 Links (nur d_{trans} betrachtet)



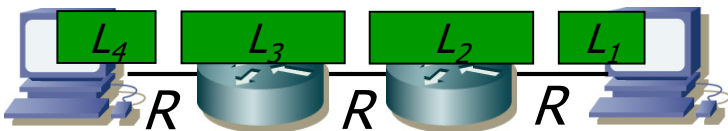
$t = 0$: Übertragung beginnt



$t = \frac{L}{R}$: erstes Paket am ersten Router angekommen



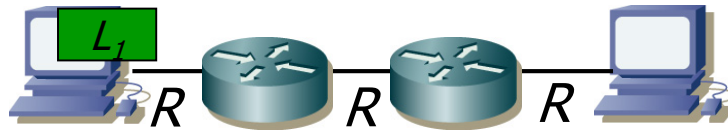
$t = 2 \cdot \frac{L}{R}$: erstes Paket am zweiten Router angekommen



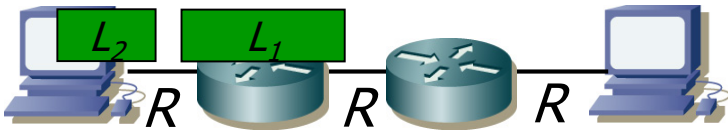
$t = 3 \cdot \frac{L}{R}$: erstes Paket am Ziel angekommen

Paketvermittlung: Store-and-Forward im Detail (Beispiel)

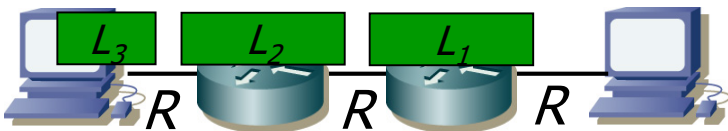
- Übertragung von $N \cdot L$ Bits über 3 Links (nur d_{trans} betrachtet)



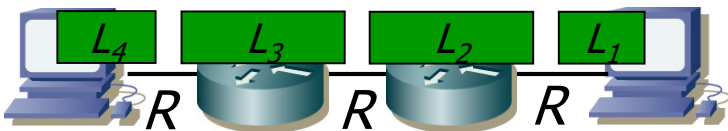
$t = 0$: Übertragung beginnt



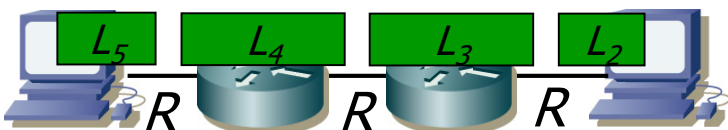
$t = \frac{L}{R}$: erstes Paket am ersten Router angekommen



$t = 2 \cdot \frac{L}{R}$: erstes Paket am zweiten Router angekommen



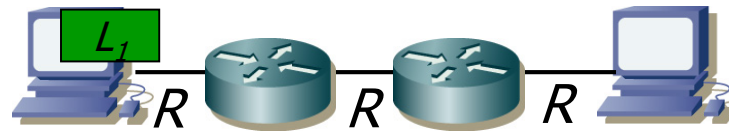
$t = 3 \cdot \frac{L}{R}$: erstes Paket am Ziel angekommen



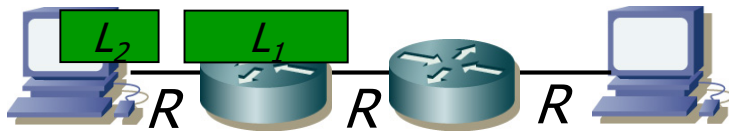
$t = 3 \cdot \frac{L}{R} + \frac{L}{R}$: zweites Paket am Ziel angekommen

Paketvermittlung: Store-and-Forward im Detail (Beispiel)

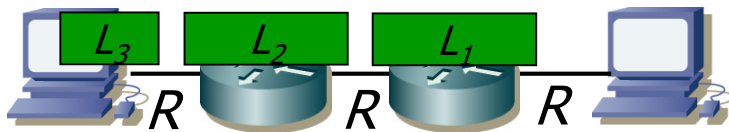
- Übertragung von $N \cdot L$ Bits über 3 Links (nur d_{trans} betrachtet)



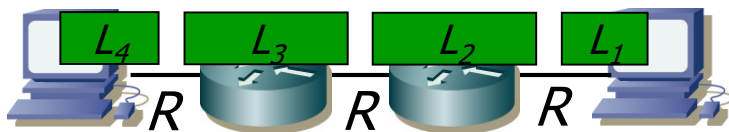
$t = 0$: Übertragung beginnt



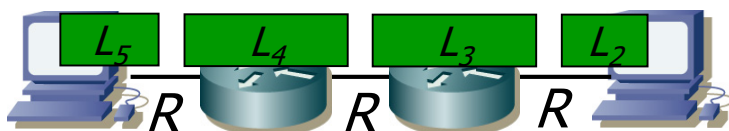
$t = \frac{L}{R}$: erstes Paket am ersten Router angekommen



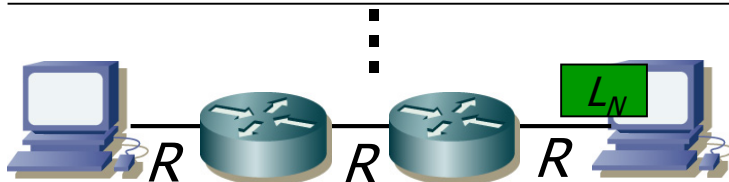
$t = 2 \cdot \frac{L}{R}$: erstes Paket am zweiten Router angekommen



$t = 3 \cdot \frac{L}{R}$: erstes Paket am Ziel angekommen



$t = 3 \cdot \frac{L}{R} + \frac{L}{R}$: zweites Paket am Ziel angekommen



$t = 3 \cdot \frac{L}{R} + ???$: letztes Paket am Ziel angekommen

Übung 1.4 (Schiff vs Seekabel)

- Moderne Containerschiffe können im Mittel 14.000 TEU bei einer Maximalgeschwindigkeit von 60 km/h transportieren. Ein TEU hat die Größe von 2,5m x 2,5m x 6m.
- Die Hochseeleitung Apollo verläuft zwischen USA und Großbritannien. Sie erstreckt sich über eine Länge von 12315km und besitzt eine Datenrate von 3,2 Tb/s.
- Nehmen sie an, dass das Schiff mit 2TB Festplatten der Größe 0,1m x 0,2m x 0,05m voll beladen wird.
- Welches Medium besitzt die höhere Datenrate, wenn das Schiff genau die gleiche Strecke wie das Seekabel zurück legt?

Übung 1.5

- Nehmen sie an: Sie wohnen in Forchheim und besitzen eine 10Mbit/s DSL Internetverbindung. Sie benötigen für die Wegstrecke Universität - Forchheim 20 Minuten. In der Universität steht Ihnen eine 1Gbit/s Internetverbindung zur Verfügung.
- Frage: Ab welcher Dateigröße lohnt sich die Fahrt in die Universität für den Download?