

Tutoriumsblatt 5 mit Musterlösung

Aufgabe 5.1: Token-Ring

An einen Token Ring seien 6 Stationen angeschlossen, die Kabellänge zwischen je zwei Stationen betrage 100 m. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf dem Kabel sei $2 \cdot 10^8$ m/s. Der Ring habe eine Datenrate von 16 MBit/s. Eine Station darf erst dann ein neues Token erzeugen, wenn sie sicher sein kann, dass ihre Daten den ganzen Ring durchlaufen. Dazu legt der Standard fest, dass ein neues Token frühestens erzeugt werden darf, wenn der eigene Rahmen (d.h. sein erstes Bit) wieder beim Sender eintrifft.

- a) Eine Station hat das Token erhalten und möchte einen Rahmen von 1000 Byte senden.
- Wie lange braucht der Sender, um den Rahmen zu *versenden*?
 - Wie lange dauert es, bis der *Anfang des Rahmens wieder beim Sender ankommt*, wenn jede Station die Daten bei der Weiterleitung um 8 Bit verzögert?
 - Nach welcher Zeit kann der Sender ein *neues Token* senden?
- b) Nun erweitern Sie den Ring auf 200 Stationen und verbinden diese jeweils mit Kabeln von 500 m Länge. Ausbreitungsgeschwindigkeit und Verzögerung in den Stationen bleiben unverändert.
- Welches Problem ergibt sich mit dem Token-Mechanismus? Welche Modifikation des Medienzugriffsverfahrens könnte man vornehmen, um das Problem zu beheben?*

Lösung 5.1

- a-i) Der Sender sendet 1000 Byte = 8 kBit mit 16 MBit/s. Also braucht er

$$\frac{8 \cdot 10^3 \text{ Bit}}{16 \cdot 10^6 \text{ Bit/s}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 500 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 500 \mu\text{s}.$$

- a-ii) Die Verzögerung auf dem Ring setzt sich zusammen aus der Verzögerung pro Leitungsstrecke und pro Station. Pro Leitungsstrecke beträgt die Verzögerung

$$\frac{100 \text{ m}}{200.000 \text{ km/s}} = \frac{1 \cdot 10^{-1} \text{ km}}{2 \cdot 10^5 \text{ km/s}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 500 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 500 \text{ ns}.$$

Pro Station beträgt die Verzögerung

$$\frac{8 \text{ Bit}}{16 \text{ MBit/s}} = 500 \text{ ns}.$$

Damit ergibt sich eine Gesamtverzögerung (6 Leitungen, 5 Stationen) von

$$11 \cdot 500 \text{ ns} = 11 \cdot 500 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 5500 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 5,5 \mu\text{s}.$$

Warum nehmen wir überhaupt an, dass in den Stationen Verzögerungen auftreten?

Hier gibt es mindestens zwei Antworten:

- Die Stationen müssen Signale in Daten und anschließend Daten in Signale umwandeln. Dafür benötigen sie Zeit; sie haben also eine geringe Verarbeitungszeit.

- Die Stationen verzögern die Datenweiterleitung absichtlich! Beispiel Monitorstation: kommt ein Rahmen mit gesetztem M -Bit bei der Monitorstation an, heißt das, dass die Station den Rahmen schon zum zweiten Mal empfängt (da nur sie dieses Bit auf 1 setzen darf). Der Ring hat also eine Fehlfunktion: der Sender hat den Rahmen nicht vom Netz genommen, ist also vermutlich ausgefallen. Die Monitorstation muss den Rahmen also vom Ring nehmen und ein neues Token erzeugen. Das M -Bit ist aber erst das fünfte Bit, und zumindest das vierte Bit und eventuell auch die davor müssen durch die Monitorstation verändert werden. Sie darf die Daten also gar nicht weiterleiten, bevor sie nicht mindestens 5 Bit empfangen hat.

a-iii) Der Sender kann direkt nach Beendigung des Sendens eines Rahmens ein neues Token erzeugen, da er deutlich länger braucht, um einen Rahmen zu versenden, als die Gesamtverzögerung im Ring ist: $500 \mu\text{s} \gg 5,5 \mu\text{s}$. Damit ist der Ring zu 100 % ausgelastet.

b) Gleiche Rechnung wie oben, aber 199 Stationen und 200 Kabel von 500 m Länge.

Pro Leitungsstrecke beträgt die Verzögerung

$$\frac{500 \text{ m}}{200.000 \text{ km/s}} = \frac{5 \cdot 10^{-1} \text{ km}}{2 \cdot 10^5 \text{ km/s}} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 2500 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 2500 \text{ ns.}$$

Pro Station beträgt die Verzögerung weiterhin

$$\frac{8 \text{ Bit}}{16 \text{ MBit/s}} = 500 \text{ ns.}$$

Damit ergibt sich eine Gesamtverzögerung (200 Leitungen, 199 Stationen) von

$$\begin{aligned} 199 \cdot 500 \text{ ns} + 200 \cdot 2500 \text{ ns} &= 199 \cdot 500 \cdot 10^{-9} \text{ s} + 200 \cdot 2500 \cdot 10^{-9} \text{ s} \\ &= 99.500 \cdot 10^{-9} \text{ s} + 500.000 \cdot 10^{-9} \text{ s} \\ &= 599,5 \cdot 10^{-6} \text{ s} \\ &= 599,5 \mu\text{s.} \end{aligned}$$

Jetzt muss der Sender $99,5 \mu\text{s}$ warten, bevor er ein neues Token erzeugen kann. Damit wird der Ring nur zu

$$\frac{500 \mu\text{s}}{599,5 \mu\text{s}} \approx 0,83 = 83 \%$$

ausgelastet.

Wie könnten wir das Problem lösen?

Multiple-Token-Prinzip. Erlaube das sofortige Aussenden eines Tokens nach Beendigung des Sendevorgangs. Es kann nichts passieren, da der dadurch erlaubte Sendevorgang niemals mit dem vorherigen kollidieren kann – die Rahmen werden hintereinander gehängt. Und alle sonstigen Probleme, die dadurch entstehen könnten, dass man ein neues Token erzeugt, bevor man weiß, ob die eigenen Daten eigentlich korrekt durchkommen, sind auch Blödsinn. Wenn ein Fehler auftritt, der dafür sorgt, dass die Daten nicht wieder beim Sender ankommen, löst es auch keine Probleme, die Token-Erzeugung zu verzögern.

Aufgabe 5.2: CSMA/CD

- a) Eine Alternative zur Verwendung von Token ist das Zugriffsverfahren CSMA/CD. Betrachten Sie folgenden Fall: an einen Bus sind drei Stationen *A*, *B* und *C* angeschlossen. *A* möchte Daten an *C* senden und lauscht, ob die Leitung frei ist. Dies ist der Fall, und *A* beginnt zu senden. Fast gleichzeitig hat *B* ebenfalls gelauscht und beginnt nun auch, Daten an *C* zu senden.
 - (i) Woran liegt es, dass es in diesem Fall trotz CSMA/CD zu einer *Kollision* kommt?
 - (ii) Woran *erkennen* *A*, *B* und *C* jeweils, dass es zu einer Kollision gekommen ist? Was muss hierfür *gewährleistet* sein?
- b) Gegeben sei ein LAN, das CSMA/CD verwendet. Die Datenrate betrage 100 MBit/s und die Buslänge sei 50 m. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im physikalischen Medium sei $2 \cdot 10^8$ m/s. Eine Station im Netz beginne nun zu senden. *Nach welcher Zeit kann spätestens eine Kollision auftreten? Nach welcher Zeit kann der Sender sicher sein, dass keine Kollision mehr auftreten wird? Welche minimale Rahmenlänge wäre in diesem LAN ausreichend?*
- c) Betrachten Sie nun ein weiteres LAN, das CSMA/CD verwendet. Allerdings liegt die Datenrate nun bei 10 MBit/s und die Stationen sind in einer Sterntopologie angeordnet. Alle Stationen sind mit dem zentralen Hub verbunden, der bei der Weiterleitung eine Verzögerung von 400 ns erzeugt. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit sei wie in Aufgabenteil b). Als minimale Rahmenlänge wurden 64 Byte festgelegt. *Wie lang dürfen die Kabel zwischen den Stationen und dem Hub theoretisch maximal sein? Wie lang dürften sie sein, wenn statt des Hubs ein Switch eingesetzt würde? Warum werden wohl in der Praxis kürzere Kabel eingesetzt?*
- d) CSMA/CD ist eine Weiterentwicklung des ursprünglichen ALOHA-Prinzips. *Warum kann der CSMA/CD-Algorithmus nicht im ursprünglichen ALOHA-Netz eingesetzt werden?*
- e) Warum wird im Zusammenhang mit Medienzugriffsverfahren immer eine *maximale* Rahmenlänge festgelegt?
- f) CSMA/CD und Token Ring sind zwei verschiedene Ansätze zur Realisierung eines LANs. Beschreiben Sie vergleichend, welche *Vor- und Nachteile* die beiden Ansätze zum einen bei *hoher Last*, zum anderen bei *niedriger Last* haben.

Lösung 5.2

- a) Hier kann man sich eine Skizze aufmalen: ein Bus mit drei Stationen *A*, *B* und *C*. Am besten *A* und *B* an die Enden, *C* in die Mitte. Dann kann man schön die Worst-Case-Situation sehen, die man in Teil b) braucht. Aber bitte beachten: die Stationen könnten beliebig angeordnet sein; da eine Station aber nie weiß, wo sie angeschlossen ist, muss sie immer vom Worst-Case ausgehen.
 - (i) *Latenz* – aufgrund der Signallaufzeit kann *B* nicht erkennen, dass *A* bereits angefangen hat zu senden, und fängt ebenfalls an zu senden.
 - (ii) *A* und *B* lauschen während der Übertragung am Kabel und empfangen im Normalfall ihre eigene Übertragung. Tritt eine Kollision auf, interferieren die Signale von *A* und *B* miteinander, so dass es zu Spannungsspitzen kommt. Beide Stationen erkennen, dass sie etwas anderes empfangen, als sie versendet haben: Es muss jemand anderes auch gesendet haben, wir haben eine Kollision. Auch *C* erkennt in der eingehenden Signalfolge Spannungsspitzen und schließt auf eine Kollision.

Das ist allerdings pure Theorie – in der Praxis kann es vorkommen, dass eine Station gar keine Spannungsspitzen bemerkt, da sich zwei Übertragungen so überlagern, dass keine

irreguläre Spannungspulsfolge entsteht. Aus diesem Grund sendet eine Station, die eine Kollision erkennt, ein *Jamming-Signal* aus, um alle anderen Stationen zu benachrichtigen. Das Jamming-Signal wird mit höherem Pegel übertragen, so dass es garantiert von allen Stationen erkannt wird. Sollten z.B. *A* und *B* gleichzeitig das Jamming-Signal senden und überlagern sich daher beide Jamming-Signale, wird es dennoch Spannungsspitzen geben, so dass alle anderen Stationen die Kollision erkennen können.

Die zuverlässige Erkennung von Kollisionen ist nur möglich, wenn eine **minimale Rahmenlänge** und eine **maximale Segmentlänge** eingehalten werden.

- b) Wir müssen vom Worst-Case ausgehen. Im ungünstigsten Fall kann es sein, dass zwei um den Medienzugriff konkurrierende Stationen ganz an den beiden Enden des Busses sitzen. Die späteste Kollisionsmöglichkeit ist dann, dass eine dieser Stationen bereits sendet und die andere Station just in dem Augenblick zu senden anfängt, wenn das Signal der ersten Station bei ihr ankommt. Eventuell gibt es nur eine Überschneidung von einem Schritt, aber das reicht schon aus, um die Daten zu zerstören. Für diesen Worst Case besteht für die Dauer der Ausbreitung eines Signals über den gesamten Bus ein Kollisionsrisiko. Im spätesten Fall tritt die Kollision auf nach:

$$t_1 = \frac{\text{Segmentlänge}}{\text{Signalgeschwindigkeit}} = \frac{50 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 25 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

Die Erkennung dieser Kollision durch den ersten Sender erfolgt erst nach dem Doppelten dieser Zeit:

$$t_2 = 2 \cdot t_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

Da festgelegt ist, dass man nur so lange auf Kollisionen lauscht, wie man selber sendet, muss eine Station also für mindestens t_2 senden, um auch im Worst-Case eine Kollision erkennen zu können (genau genommen sogar etwas länger, da ja im Worst-Case erst nach t_2 die ersten kollidierenden Signale eingeht):

$$\frac{\text{Rahmenlänge}_{\min}}{\text{Datenrate}} > t_2$$

Damit folgt:

$$\text{Rahmenlänge}_{\min} > 100 \text{ MBit/s} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ s} = 50 \text{ Bit}$$

- c) Erst mal die minimale Rahmenlänge in Bit umrechnen: $64 \text{ Byte} \cdot 8 = 512 \text{ Bit}$. Damit ergibt sich die minimale Sendedauer t_3 wie folgt:

$$\frac{512 \text{ Bit}}{10 \text{ MBit/s}} > t_3.$$

Damit erhält man: $t_3 < 51,2 \mu\text{s}$.

Die minimale Sendedauer t_3 darf jedoch die RTT nicht unterschreiten, also darf die Laufzeit eines Signals von einer Station bis zur anderen $\frac{t_4}{2}$ nicht unterschreiten, muss also größer als $25,6 \mu\text{s}$ sein.

Davon sind $0,4 \mu\text{s}$ Verarbeitungszeit im Hub, so dass $25,2 \mu\text{s}$ als Latenz auf dem Kabel verbleiben.

Da dies zwei Kabel (vom Sender hin zum Hub und vom Hub hin zum Empfänger) beinhaltet, ist also auf einem Kabel eine Latenz von $t_4 = 12,6 \mu\text{s}$ erlaubt.

Es gilt:

$$t_4 = \frac{\text{Segmentlänge}}{\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit}}$$

Damit wäre die maximal erlaubte Segmentlänge $= 12,6 \mu\text{s} \cdot 2 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2520 \text{ m}$.

Würde man einen Switch statt des Hubs einsetzen, kann es zu keinen Kollisionen mehr kommen. Also spielt die Kollisionserkennung keine Rolle mehr und man könnte beliebig lange Kabel verwenden. Leider gilt dies nur für eine ideale Welt, in der es keine Dämpfung auf dem Kabel gibt. Die mögliche Kabellänge ist zwar 2,5 km, aber wegen der Dämpfung kann das Kabel leider nicht länger als 100 m sein.

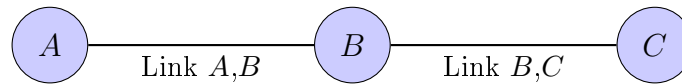
Zumindest bei Verwendung von Kupferkabel. Schaut man sich allerdings Glasfaser-Varianten an, sind sehr wohl so große Kabellängen erlaubt, da die Signale bei teurer Monomode-Glasfaser auch über Kilometer hinweg kaum verzerrt werden.

- d) Im ursprünglichen ALOHA-Netz können sich nicht alle Stationen gegenseitig hören. Daher nutzt es nichts, Carrier Sense durchzuführen. Ebenso können wir auftretende Kollisionen nicht erkennen.
- e) Da gibt's diverses: Je länger der Rahmen, desto länger blockieren wir andere sendewillige Stationen. Je länger der Rahmen, desto größer das Risiko von Bitfehlern, die eine Neuübertragung nötig machen. Vielleicht auch anderes.
- f) Sehr simpel: CSMA/CD hat Vorteile in Szenarien mit geringem Lastaufkommen (schnelle Versendung von Daten ohne Wartezeit), Token Ring in Szenarien mit hohem Lastaufkommen (kein Effizienzverlust durch Kollisionen, da es keine gibt). Der Vorteil des einen ist dann der Nachteil des anderen: bei hoher Last verursacht CSMA/CD durch Kollisionen und Wartezeiten bis zu Neuübertragung extreme Verzögerungen, bei niedriger Last kann Token Ring die Kapazität nicht ausnutzen.

Allerdings schafft man es bei Einsatz eines Switches, alle Vorteile zu kombinieren: es gibt keine Kollisionen mehr, so dass es auch bei hoher Last keine starken Verzögerungen mehr gibt. (Ganz genau genommen hat man ja nun auch kein Broadcast-Netz mehr, so dass Medienzugriffsverfahren sowieso überflüssig werden.)

Aufgabe 5.3: Leitungs- und Paketvermittlung

- a) Betrachten Sie zunächst die Leistungsfähigkeit der Paketvermittlung. Gegeben sei ein einfaches Netz aus zwei Rechnern A und C , die über den Vermittlungsrechner (Router) B kommunizieren.



Die Rechner sind über zwei Links mit unterschiedlichen Datenraten und Latenzen mit dem Router verbunden:

- Link A,B : Datenrate $R_{A,B} = 2 \text{ MBit/s}$, Latenz $t_{A,B} = 48 \text{ ms}$
- Link B,C : Datenrate $R_{B,C} = 4 \text{ kBit/s}$, Latenz $t_{B,C} = 1 \text{ ms}$

Ein Paket von 500 Byte soll von A zu C gesendet werden. Beachten Sie: die Paketvermittlung verwendet das *Store-and-Forward-Prinzip*, d.h. B wird erst damit beginnen, ein Paket weiterzuleiten, nachdem es vollständig empfangen wurde. Beantworten Sie die folgenden Fragen:

- (i) Wie lange dauert es, bis A das Paket komplett *abgeschickt* hat?
 - (ii) Zu welchem Zeitpunkt *beginnt* das Paket bei B *einzutreffen*?
 - (iii) Zu welchem Zeitpunkt ist das Paket bei B *angekommen*?
 - (iv) Angenommen, B führt keine weiteren Operationen aus (wie Prüfung der Korrektheit des angekommenen Pakets o.Ä.), sondern leitet das Paket direkt weiter. *Wie lange dauert es, bis das von A gesendete Paket bei C angekommen ist?*
- b) Machen Sie sich nun Gedanken über die wesentlichen Unterschiede der Leitungs- und Paketvermittlung. Es seien vier verschiedene Anforderungen an ein Vermittlungssystem gegeben:
- (i) Es müssen sehr viele Daten in einer bestimmten Zeit übertragen werden.
 - (ii) Es müssen sehr viele Daten ohne Zeitbeschränkung übertragen werden.
 - (iii) Es müssen wenig Daten ohne Zeitbeschränkung übertragen werden.
 - (iv) Es müssen wenig Daten in einer bestimmten Zeit übertragen werden.

Welches Vermittlungssystem eignet sich jeweils am besten: Leitungsvermittlung, Paketvermittlung (verbindungsorientiert), Paketvermittlung (verbindungslos)? Begründen Sie Ihre Wahl.

Lösung 5.3

- a) (i) Die Zeit t_{send} , bis A das Paket komplett auf die Leitung gebracht hat, ist hier einfach die Anzahl zu übertragener Bits durch die Datenrate:

$$t_{send} = \frac{500 \text{ Byte} \cdot 8 \text{ Bit/Byte}}{2 \cdot 10^6 \text{ Bit/s}} = 2 \text{ ms}$$

- (ii) Die Zeit $t_{A,B}$ bis das erste Bit des Pakets bei B eintrifft, ist einfach die Latenz auf dem Kabel: $t_{A,B} = 48 \text{ ms}$.
- (iii) Jetzt muss die Zeit berechnet werden, die vergeht, bis auch das letzte Bit bei B angekommen ist. Das ist $t_{send} + t_{A,B} = 50 \text{ ms}$ (48 ms Latenz für das letzte Bit, welches nach 2 ms auf die Leitung gesetzt wurde).
- (iv) B beginnt nach 50 ms, das Paket über Link B, C zu versenden. Bei der gegebenen Datenrate dauert es $\frac{500 \text{ Byte} \cdot 8 \text{ Bit/Byte}}{4 \cdot 10^3 \text{ Bit/s}} = 1 \text{ s}$, bis das letzte Bit auf die Leitung gesetzt wurde, und 1 ms, bis das letzte Bit bei C ankommt. Also dauert es insgesamt 1,051 s bis das Paket bei C angekommen ist.

Frage zur Diskussion: Ist Paketvermittlung so toll?

Die gesamte Dauer der Übertragung über mehrere Knoten hinweg ist immer die Summe aus der Sendezeit, welche abhängig von der Datenrate ist, und der Latenz aller Links.

Interessanter ist vielleicht aber die Betrachtung einer Paketfolge. Nehmen wir noch mal obiges Beispiel, diesmal jedoch mit zwei Paketen, die jeweils 250 Byte groß sind.

Um ein 250 Byte großes Paket auf die Leitung zu bringen, benötigt A :

$$t_{send} = \frac{250 \text{ Byte} \cdot 8 \text{ Bit/Byte}}{2 \cdot 10^6 \text{ Bit/s}} = 1 \text{ ms}$$

D.h. das erste Paket ist nach $1 \text{ ms} + 48 \text{ ms} = 49 \text{ ms}$ bei B . Jetzt kann B das erste Paket schon weiterleiten. B benötigt allerdings

$$t_{send} = \frac{250 \text{ Byte} \cdot 8 \text{ Bit/Byte}}{4 \cdot 10^3 \text{ Bit/s}} = 0,5 \text{ s}$$

um das Paket auf die Leitung zu bringen. Daher trifft das zweite Paket schon bei B ein, bevor es das erste komplett weitergeleitet hat. B ist ein Bottleneck, hier stauen sich die Pakete auf. Bei der Berechnung der Gesamtdauer der Übertragung mehrerer Pakete muss daher die Sendezeit aller Pakete am langsamsten Link berücksichtigt werden.

Das zweite Paket kann B jetzt auch in 0,5 Sekunden versenden und es kommt wieder 1 ms Latenz hinzu – man kommt also insgesamt auf 1,05 s zur Gesamtübertragung. Das ist etwas weniger als oben – es hat also etwas gebracht, kleinere Pakete zu verwenden.

Jetzt nehmen wir Leitungsvermittlung her. Dort werden Daten direkt weitergeleitet, man sammelt nicht erst alle Bits eines Pakets ein. Das hilft hier allerdings auch nicht viel, da der zweite Link so langsam ist. Auch bei Leitungsvermittlung würde sich hier alles aufstauen.

Aber: wäre der erste Link genauso langsam oder langsamer, würde es helfen, Informationen bereits eher weiterzusenden und nicht erst komplette Pakete zu sammeln. Also wäre die Leitungsvermittlung bei *homogenen* Netzen effizienter. Generell muss man aber auch berücksichtigen, dass bei Leitungsvermittlung erst ein Weg geschaltet werden müsste – dies würde als Overhead hinzukommen!

Es hängt also immer vom Szenario ab, ob Paketvermittlung oder Leitungsvermittlung sinnvoller sein könnten.

- b)
 - (i) Hier sollte Leitungsvermittlung verwendet werden, da sie eine maximale Übertragungsdauer garantieren kann (geschaltete Leitung, sofortige Datenweiterleitung). Würde Paketvermittlung verwendet, müssten wir hoffen, dass alles rechtzeitig ankommt, da man keine exklusive Leitung hat und Pakete anderer Übertragungen unsere Pakete aufhalten könnten.
 - (ii) Bei sehr großen Datenmengen wäre wieder Leitungsvermittlung effizienter, da wir dann voraussagen können, wann die Übertragung abgeschlossen ist. Zwar ist so was nicht unbedingt nötig, macht den Nutzer aber glücklicher. Dies kann man als Grund stehen lassen, aber aus Kostengründen (keine Blockade einer Leitung) wird man wohl Paketvermittlung wählen – diese dann aber verbindungsorientiert, da große Datenmengen vorliegen und Ausnahmesituationen effizient gehandhabt werden sollten.
 - (iii) Verbindungslose Paketvermittlung – jeder Verbindungsaufbau kostet Zeit und Ressourcen. Für geringe Datenmengen lohnt sich der Aufwand nicht.
 - (iv) Trotz geringer Datenmengen: Leitungsvermittlung, denn nur diese kann garantierte Zeiten vorgeben. (Eventuell kann man auch Richtung Paketvermittlung argumentieren, denn Verzögerungen kommen durch Staus im Netz und wenn man nur wenig überträgt, ist die Staugefahr gering... aber Garantien gibt es trotzdem keine.)

In der Praxis hat man verbindungslose Paketvermittlung gewählt. Die Verbindungsorientierung ist aber eine Schicht höher auch aufgesetzt.

Man sieht aber, dass auch Leitungsvermittlung durchaus ihre Vorteile hat. Und da zeigt sich in der Praxis (Multimedia-Streams), dass IP Nachteile hat.