

---

Leistungsnachweis in  
**Rechnerkommunikation**

Wintersemester 2010/2011

21. April 2011

Name: \_\_\_\_\_  
Matrikelnummer: \_\_\_\_\_  
Geburtsdatum: \_\_\_\_\_  
Studienfach: \_\_\_\_\_  
Fachsemester: \_\_\_\_\_  
Extra Nachweis:     benoteter Schein     unbenoteter Schein

- Bitte verwenden Sie einen blauen oder schwarzen Kugelschreiber (kein rot, keinen Bleistift).
- Schriftliche Aufzeichnungen (sowohl eigene Aufzeichnungen wie auch Bücher) sind als Hilfsmittel zugelassen. Auch ein Taschenrechner ist erlaubt und hilfreich. Nicht zugelassen sind dagegen Computer, PDAs, Mobiltelefone und sonstige Kommunikationsmittel.
- Legen Sie den Ausweis (mit Lichtbild) griffbereit auf den Platz.
- Bitte überprüfen Sie, ob Sie alle 16 Blätter erhalten haben.
- Schreiben Sie die Antworten jeweils in den freien Raum hinter den Fragen. Sollte dieser nicht ausreichen, steht noch freier Raum am Ende der Klausur zur Verfügung. Bitte kennzeichnen Sie dort deutlich, welche Aufgabe Sie bearbeiten. Gesondert beigelegte Blätter werden nicht bewertet!
- Schreiben Sie deutlich! Unleserliche Antworten gehen nicht in die Bewertung ein!
- Die Arbeitskopien können der Klausur entnommen werden und müssen nicht mit abgegeben werden.

Ich habe die Hinweise auf dieser Seite zur Kenntnis genommen und alle 16 Blätter der Klausur empfangen:

---

Unterschrift

<b>Bewertung:</b>	1	2	3	4	$\Sigma$

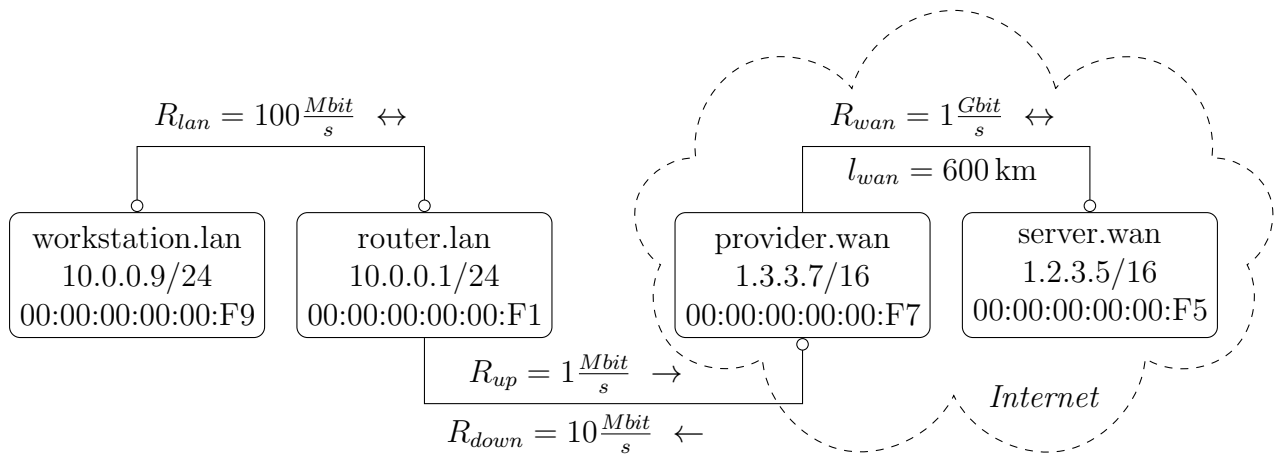


Abbildung 1: Netzwerkkonfiguration

## Szenario

Das hier gezeigte Szenario, sowie die hier gelisteten Konstanten gelten für alle folgenden Aufgaben.

Gegeben sei eine Netzwerkkonfiguration gemäß Abbildung 1. Sie besteht aus einem Local Area Network (LAN) und aus einem Wide Area Network (WAN). Beide Netzwerke sind mittels einer asymmetrischen Digital Subscriber Line (DSL) verbunden. Der Router *router.lan* betreibt Paket Weiterleitung und eine Domain Name System (DNS). Jedes Rechteck bildet einen Teilnehmer ab. In der ersten Zeile steht der Domain Name des Teilnehmers. In der zweiten Zeile seine IP und in der dritten Zeile seine Medium Access Control (MAC) Adresse. Die WAN-Informationen des Router Interfaces *router.lan* sowie die Informationen für das zweite Interface von der Gegenstelle *provider.wan* sind nicht gelistet, da sie für diese Aufgabe keine Relevanz haben. (Die gezeigten Informationen gelten für den Link mit Punkt.) An den Links sind jeweils die Verbindungsgeschwindigkeiten in die jeweilige Richtung (Pfeile) annotiert. Der Server *server.wan* ist mit einem langen Lichtwellenleiter direkt mit dem DSL Provider *provider.wan* verbunden. Alle anderen Verbindungen sind so kurz, dass idealisiert eine Länge von 0 m angenommen werden kann. Wegen Medienkonvertern in der DSL Verbindung zwischen Provider und Router ist die Ausbreitungsverzögerung dennoch verschieden von 0 s, was sich in einer gemessenen mittleren Round Trip Time von  $RTT_{wp} = 10$  ms zwischen der Workstation und dem Provider wieder spiegelt. Gehen Sie davon aus, dass diese Zeit symmetrisch verteilt ist ( $d_{Workstation \rightarrow Provider} = d_{Provider \rightarrow Workstation} = \frac{1}{2} RTT_{wp}$ ). Die IP-Adressen werden statisch zum Systemstart vergeben. Die Workstation *workstation.lan* kennt außerdem die IP des IP-Routers. Zusätzlich gelten die Konstanten gemäß Tabelle 1.

Ausbreitungsverzögerung	$c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$
Gemessene mittlere RTT	$RTT_{wp} = 10$ ms
Paketlänge (MTU)	$L = 1250$ Byte

Tabelle 1: Zusätzliche Konstanten



---

## 2 TCP + HTTP/1.1

Für die folgenden Leistungsanalyse wird nun angenommen, dass die Kommunikation mit dem Webserver *server.wan* auf HTTP/1.1 basiert. Des weiteren wird stets eine Seite mit zwei eingebetteten Objekten herunter geladen. Sowohl die Seite als auch die Objekte haben eine konstante Größe von  $L$ . Es treten keine Fehler auf. Gehen Sie idealisiert für Ihre Berechnungen davon aus, dass Pakete ohne Nutzdaten eine Größe von  $0\text{Byte}$  besitzen. Es gilt weiterhin das in Abbildung 1 gezeigt Netzwerk. Verwenden Sie für Ihre Berechnungen die Konstanten aus Tabelle 1.

### 2.1 Round Trip Time (5 Punkte)

Berechnen Sie die Round Trip Time (RTT) zwischen der Workstation *workstation.lan* und dem Webserver. (Inklusive Formel!)

---

## 2.2 Paketaustausch (13 Punkte)

Wie lange dauert es ein Paket der Größe  $L$  von der Workstation zum Webserver ( $d_{up}$ ) und vom Webserver zur Workstation ( $d_{down}$ ) zu übertragen? Geben Sie jeweils Formel und Zahlenwert an. Tragen Sie einen der beiden Abläufe in Abbildung 2 ein. Berücksichtigen Sie qualitativ die zeitliche Ausdehnung der Pakete auf den verschiedenen Links.

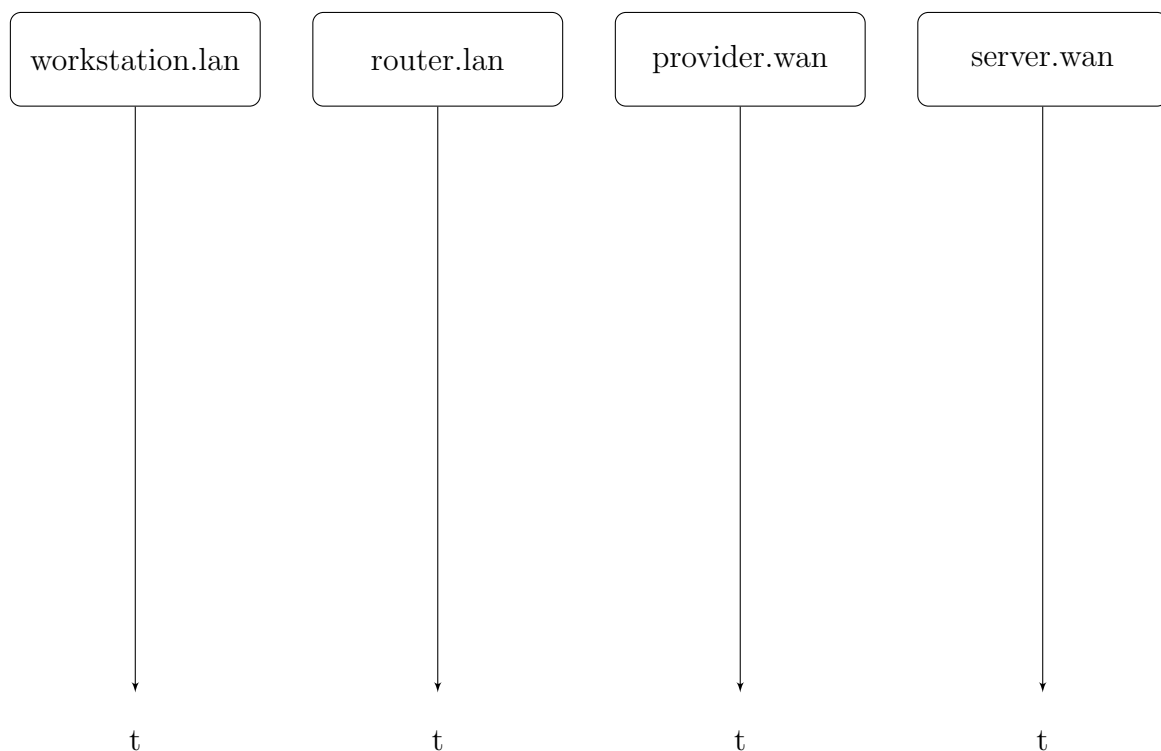


Abbildung 2: Ablauf Diagramm

---

### 2.3 TCP Leistungsanalyse (15 Punkte)

Nach dem Erhalten des letzten Objektes beendet die Workstation so bald wie möglich die TCP Verbindung. Berechnen Sie unter Zuhilfenahme der aus der Vorlesung bekannten Formeln wie viel Zeit ( $d$ ) zwischen Auf- und dem vollständigem Abbau der TCP Verbindung für genau diesen Fall verstreicht. Es befinden sich keine anderen Pakete auf allen Links. Geben Sie neben einem Zahlenwert auch die zur Berechnung verwendete Formel an. Bitte beachten Sie die Topologie (Abbildung 1), die verschiedenen Verbindungsraten und die Eigenschaften von HTTP/1.1. Es gilt stets eine Gesamtobjektgröße von  $O = 3L$ .  
(Tipp: Eine detaillierte Ablaufskizze ist hilfreich)



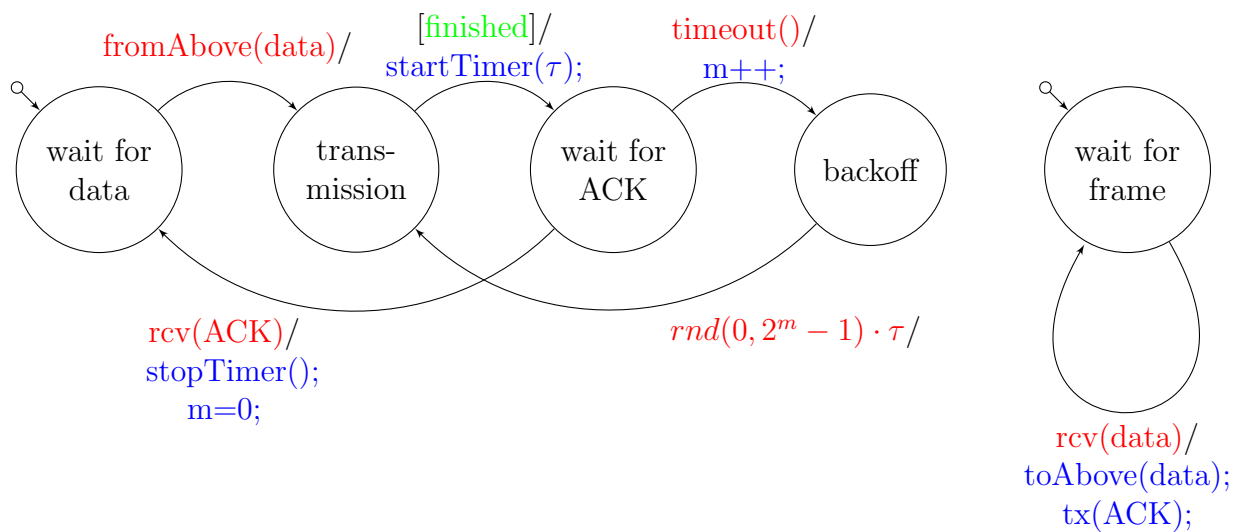


Abbildung 3: ALOHA - Zustandsdiagramm

### 3 Kabellose Übertragung

Im folgenden befinden sich nun zwei weitere Teilnehmer im LAN (insgesamt 4 Stationen). Deshalb wird die drahtgebundene Verbindung durch eine kabellose ersetzt. Sie basiert auf dem ALOHA Medienzugriffsverfahren und weist wie vorher eine effektive Rate von  $R_{lan} = 100 \frac{Mbit}{s}$  auf. Abbildung 3 zeigt das Verhalten der einzelnen Teilnehmer. Nehmen Sie an, dass diese im Mittel mit einer Wahrscheinlichkeit von  $P_{tx} = 0.2$  senden.

#### 3.1 Brutto Übertragungsrate (8 Punkte)

Wie hoch muss die Übertragungsrate der physikalischen Schicht  $R_{tx}$  mindestens sein, damit die erwünschte effektive Rate  $R_{lan} = 100 \frac{Mbit}{s}$  eingehalten werden kann? Begründen sie ihre Antwort mit einer Formel.



---

## 3.2 Programm (15 Punkte)

Realisieren Sie das in Abbildung 3 gezeigte Verhalten in JAVA. Jeder Teilnehmer kann sowohl senden als auch empfangen. Leiten Sie die Klasse *BehaviorImpl* von der Klasse *Behavior* (Listing 1) ab und implementieren Sie unter Berücksichtigung folgender Aspekte das Verhalten (die *abstract*-Methoden müssen implementiert werden):

- Die Methode *startTimer(ms)* startet einen Timer, der, wenn die Methode *stopTimer()* nicht aufgerufen wird, nach *ms* Millisekunden die Methode *timeout()* aufruft.
- Die Methode *fromAbove()* wird aufgerufen, wenn die darüber liegende Schicht Daten versenden will.
- Die Methode *toAbove()* übergibt die empfangenen Daten an die höhere Schicht.
- Die Methode *tx()* stellt den eigentlich Sendevorgang eines Rahmens dar. Sie gibt die Kontrolle zurück, wenn das Senden beendet ist.
- Die Methode *rcv()* wird aufgerufen, nachdem ein Rahmen empfangen wurde.
- Sie dürfen (wenn benötigt) andere Methoden oder Variablen hinzufügen, um das gewünschte Verhalten zu erzielen.
- Zufallszahlen zwischen 0 (inklusive) und *i* (exklusive) können mit *rnd.nextInt(i)* generiert werden.
- Implementieren Sie den Zustandsdiagramm blockierungsfrei.
- Sollte die Methode *fromAbove()* von der darüber liegenden Schicht aufgerufen werden, während ein anderer Sendevorgang noch nicht abgeschlossen ist, so soll eine Exception zurückgeliefert werden: *throw new NotReadyException*
- Sie benötigen keine Adressierung oder Redundanzprüfung.
- Rahmen, die lediglich die Zeichenkette „K“ beinhalten sollen, als Bestätigungspaket (ACK) angesehen werden. (*a.equals(b) → true*, wenn a und b die gleiche Zeichenkette beinhalten.)

---

Listing 1: Abstrakte Klasse Behavior

```
1 import java.*;
2
3 public abstract class Behavior
4 {
5     final int    TAU = 100;           //in Millisekunden
6     final String ACK = "K";
7
8     int m = 0;                       //Anzahl Fehlversuche
9     Random rnd = new Random();
10
11     public class NotReadyException extends Exception {...}
12     void startTimer(int ms) {...}    //startet den Timer
13     void stopTimer() {...}          //stopt den Timer
14     void toAbove(String data) {...}
15     void tx(String data) {...}
16
17     abstract void fromAbove(String data) throws
18         NotReadyException;
19     abstract void rcv(String data);
20     abstract void timeout();
21 }
```

---

```
public class BehaviorImpl extends Behavior {
```

---

Knoten	$N = \{A, B, C, S, P\}$
Kanten	$E = \{(A, B), (B, C), (A, S), (A, P), (B, S), (B, P), (C, P)\}$
Kosten	$c(A, S) = c(C, P) = 1; c(A, B) = c(B, C) = 2;$ $c(B, S) = c(B, P) = 4; c(A, P) = 7$

---

Tabelle 3: Netzwerktopologie

## 4 Routingverfahren

Die Verbindung zwischen *provider.wan* und *server.wan* ist im Gegensatz zu Abbildung 1 keine direkte Verbindung. Die Daten werden über ein Netzwerk versendet, das mit einem ungerichteten Graphen  $G = (N, E)$  (Tabelle 3, Notation wie aus der Vorlesung bekannt) abstrahiert werden kann. Im Folgenden wird der Provider *provider.wan* mit der Knoten  $P$  und der Server *server.wan* mit dem Knoten  $S$  bezeichnet.

### 4.1 Darstellung (5 Punkte)

Zeichnen Sie den Graphen  $G$  inklusive Kosten  $c(\cdot)$ , so dass sich keine Kanten überschneiden.

## 4.2 Minimal aufspannender Baum (11 Punkte)

Führen Sie aus Sicht des Servers  $S$  das Dijkstra-Verfahren für die Minimierung des Graphen  $G$  durch. Befüllen Sie für die Vorgänger und Kosten die Tabelle 4. Verfolgen Sie in Tabelle 5 den Ablauf des Forward-Search-Algorithmus für den Knoten  $P$ . Verwenden Sie bitte die gleiche Notation wie in der Vorlesung.

S	$N'$	$D(A), p(A)$	$D(B), p(B)$	$D(C), p(C)$	$D(P), p(P)$
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tabelle 4: Dijkstra-Verfahren für Knoten  $S$

S	bestätigte Liste	vorläufige Liste
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Tabelle 5: Forward-Search-Algorithmus für Knoten  $P$

---

### 4.3 Pfade (6 Punkte)

1. Nennen Sie die Pfade für den bidirektionalen Paketaustausch zwischen den Knoten  $S$  und  $P$ .

$S \rightarrow P$  :

$P \rightarrow S$  :

2. Sind beide Pfade gleich

- gleich oder
- verschieden?

3. Ist dies immer der Fall? Begründen Sie Ihre Antwort.

---

Zusatzblatt

---

Zusatzblatt