

Name	Vorname	
		..... Note
Studiengang (Hauptfach)	Fachrichtung (Nebenfach)	
Matrikelnummer	Unterschrift der Kandidatin/des Kandidaten	

## TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

### Fakultät für Informatik

☒ Midterm-Klausur  
☐ Final-Klausur

☐ Semestralklausur  
☐ Diplom-Vorprüfung  
☐ Bachelor-Prüfung  
☐ .....

☐ Einwilligung zur Notenbekanntgabe  
per E-Mail / Internet

	I	II
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Σ		
---	--	--

**Prüfungsfach:** Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

**Prüfer:** Prof. Dr. Uwe Baumgarten

**Hörsaal:** MW 0001

**Datum:** 27.06.2011

**Reihe:** ..... **Platz:** .....

Nur von der Aufsicht auszufüllen:

Hörsaal verlassen      von ..... : .....      bis ..... : .....

Vorzeitig abgegeben      um ..... : .....

Besondere Bemerkungen:







# Midterm-Klausur

## Grundlagen

### Rechnernetze und Verteilte Systeme

Prof. Dr. Uwe Baumgarten  
Lehrstuhl für Betriebssysteme und Systemsoftware  
Fakultät für Informatik  
Technische Universität München

**Montag, 27.06.2011**  
**14:30 – 15:15 Uhr**

- Diese Klausur umfasst **12 Seiten** und insgesamt **3 Aufgaben**. Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Schreiben Sie bitte in die Kopfzeile **jeder Seite** Namen und Matrikelnummer.
- Die Gesamtzahl der Punkte beträgt 15.
- Als Hilfsmittel sind **ein beidseitig beliebig beschriebenes DIN A4 Blatt** sowie **ein nicht programmierbarer Taschenrechner** zugelassen. Bitte entfernen Sie alle anderen Unterlagen von Ihrem Tisch und schalten Sie Ihre Mobiltelefone aus.
- Mit \* gekennzeichnete Aufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorhergehender Teilaufgaben lösbar.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen ein Lösungsweg erkennbar ist.**

**Aufgabe 1 Medienzugriffskontrolle (5 Punkte)**

Gegeben sei ein Netzwerk bestehend aus drei Computern, welche über ein Hub miteinander verbunden sind (siehe Abbildung 1). Die Abstände zwischen den Computern betragen näherungsweise  $d_{12} = 200$  m bzw.  $d_{23} = 300$  m. Die Übertragungsrate betrage  $r = 100$  Mbit/s. Die relative Ausbreitungsgeschwindigkeit betrage wie üblich  $\nu = 2/3$ . Die Lichtgeschwindigkeit sei mit  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s gegeben.

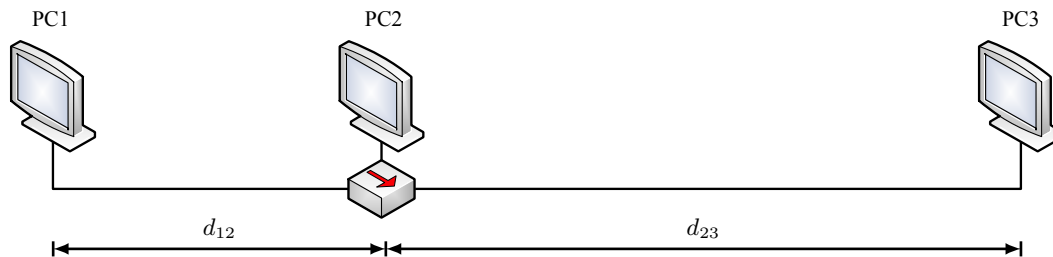


Abbildung 1: Netztopologie (nicht maßstabsgetreu)

Zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  s findet keine Übertragung statt und keiner der Rechner hat Daten zu versenden. Zum Zeitpunkt  $t_1 = 1 \mu\text{s}$  beginnt PC1 einen Rahmen der Gesamtlänge 50 b (inkl. Header) zu senden. Bei  $t_2 = 3 \mu\text{s}$  stehen auch bei PC2 und PC3 Rahmen der Gesamtlänge 50 b zum Senden an. (Hinweis: b = Byte)

a)\* Berechnen Sie die Serialisierungszeit  $t_s$  für eine Nachricht.

1/2

$$t_s = \frac{l}{r} = \frac{50 \cdot 8 \text{ bit}}{100 \cdot 10^6 \text{ Mbit/s}} = 4.0 \mu\text{s} \quad \checkmark$$

b)\* Berechnen Sie die Ausbreitungsverzögerungen  $t_p(1, 2)$  und  $t_p(2, 3)$  auf den beiden Streckenabschnitten.

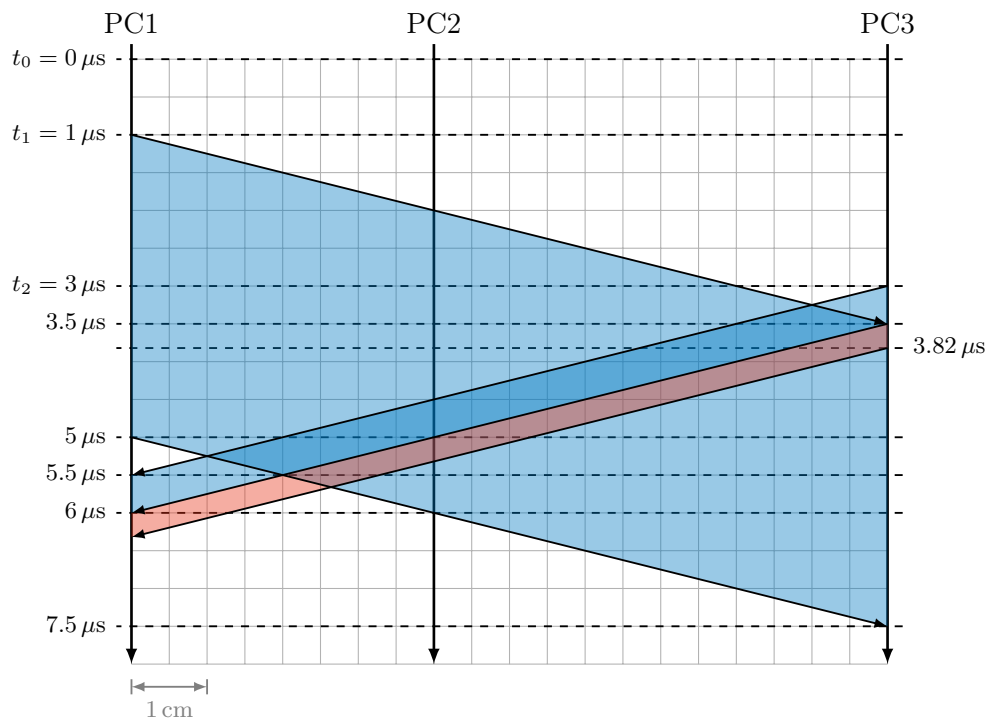
1/2

$$t_p(1, 2) = \frac{d_{12}}{\nu c} = \frac{200 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1.0 \mu\text{s}$$

$$t_p(2, 3) = \frac{d_{23}}{\nu c} = \frac{300 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1.5 \mu\text{s} \quad \checkmark$$

2

c) Zeichnen Sie für 1-persistentes CSMA/CD ein Weg-Zeit-Diagramm, das den Sendevorgang im Zeitintervall  $t \in [0 \mu s, 8 \mu s)$  darstellt. Vernachlässigen Sie dabei, dass 1-persistentes CSMA/CD gewöhnlich Slotzeiten verwendet. Maßstab:  $100 \text{ m} \hat{=} 2 \text{ cm}$  bzw.  $1 \mu s \hat{=} 1 \text{ cm}$ .



- Sendung von PC1 zu PC3 ✓
- Sendung von PC3 zu PC1 mit Abbruch bei  $t = 3.5 \mu s$  ✓
- PC2 fängt nicht an zu senden ✓
- Angedeutetes Jam-Signal ✓

1

d) Begründen, weswegen CSMA/CD unter den gegebenen Umständen nicht korrekt funktioniert.

Ein Sender nimmt bei CSMA/CD an, dass ein Rahmen erfolgreich übertragen wurde, falls während der Übertragung keine Kollision aufgetreten ist. ✓ Im konkreten Fall hat PC1 allerdings die Übertragung abgeschlossen, bevor ihn die Übertragung von PC3 erreicht. PC1 erkennt daher die Kollision nicht und geht fälschlicherweise von einer erfolgreichen Übertragung aus. ✓

e) Die maximale Länge eines FastEthernet-Segments beträgt  $d_{\max} = 500 \text{ m}$ . Bestimmen Sie die Mindestlänge  $l_{\min}$  eines Rahmens, so dass die Kollisionserkennung von FastEthernet funktioniert.

1

Im Falle einer Kollision darf keiner der sendenden Knoten seinen Sendevorgang beenden, bevor er die Kollision bemerkt hat. Ansonsten würde er davon ausgehen, dass die Übertragung erfolgreich war. Dies bedeutet, die minimale Serialisierungszeit  $t_{s,\min}$  eines Rahmens muss zweimal der Ausbreitungsverzögerung zwischen den beiden am weitesten entfernten Stationen entsprechen:

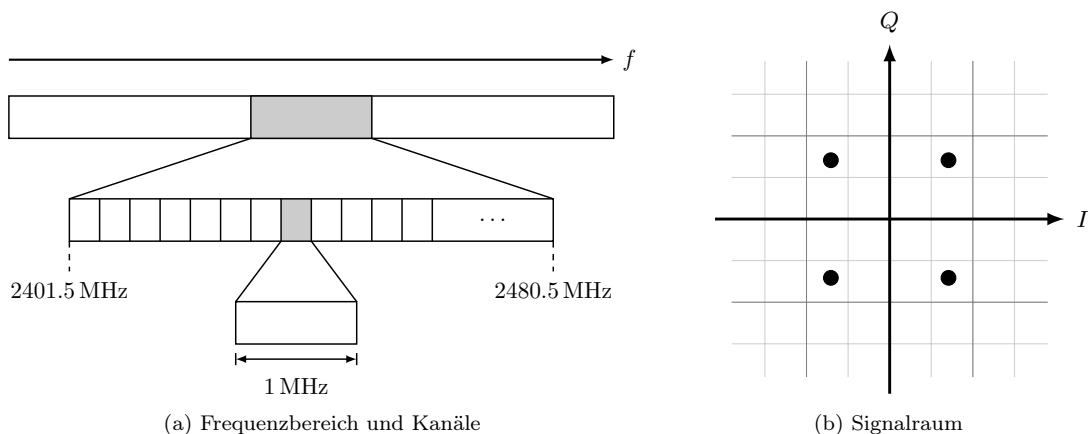
$$\begin{aligned} t_{s,\min} &\stackrel{!}{=} 2 \cdot t_{p,\max} \quad \checkmark \\ \frac{l_{\min}}{r} &= 2 \cdot \frac{d_{\max}}{\nu c} \\ l_{\min} &= 2 \cdot r \cdot \frac{d_{\max}}{\nu c} \\ &= 2 \cdot 100 \cdot 10^6 \frac{\text{bit}}{\text{s}} \cdot \frac{500 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 500 \text{ bit} = 62.5 \text{ b} \quad \checkmark \end{aligned}$$

5

## Aufgabe 2 Bluetooth Physical Layer (5 Punkte)

Bluetooth ist ein kabelloses Übertragungsverfahren über kurze Distanzen (meist bis zu 10 m). Es wird häufig zur kabellosen Verbindung von Headsets mit Mobiltelefonen verwendet. Manchmal können Mobiltelefone via Bluetooth auch mit Computern kommunizieren und diesen beispielsweise mobilen Zugang zum Internet ermöglichen.

In dieser Aufgabe betrachten wir die physikalische Schicht von Bluetooth-Verbindungen. Abbildung 2a zeigt den von Bluetooth verwendeten Frequenzbereich. Dieser ist in insgesamt 79 Kanäle unterteilt. Jeder Kanal besitzt dabei eine (zweiseitige) Bandbreite von 1 MHz. Als Modulationsverfahren kann u. a. Phase-Shift-Keying zum Einsatz kommen. Der Signalraum ist in Abbildung 2b dargestellt.



(a) Frequenzbereich und Kanäle

(b) Signalraum

Abbildung 2: Bluetooth Physical Layer

1/2

a)\* Wieviele Bit werden pro Symbol übertragen?

Als Modulationsverfahren kommt 4-PSK zum Einsatz. Wir erhalten also:

$$N = \log_2(M) = \log_2(4) = 2 \text{ bit} \quad \checkmark$$

1/2

b) Wie hoch ist die maximal erzielbare Datenrate pro Kanal?

Bei einer Kanalbandbreite von 1 MHz ergibt sich

$$r_{\max} = 10^6 \frac{1}{s} \cdot 2 \text{ bit} = 2 \text{ Mbit/s.} \quad \checkmark$$

(Warum nicht  $2B \cdot \log_2(M)$ ? Es ist genau das, nur handelt es sich bei der Angabe von 1 MHz um eine zweiseitige Bandbreite – vgl. Übungsblatt 5 Aufgabe c/d.)

Der Bluetooth-Standard sieht eine maximale Bitfehlerrate von  $p_e = 0.1\%$  vor. Ein Bluetooth-Rahmen besteht aus maximal 2871 bit. Wir gehen im Folgenden von Rahmen maximaler Größe aus. Außerdem nehmen wir an, dass Bitfehler unabhängig voneinander auftreten.

c)\* Bestimmen Sie die Rahmenfehlerwahrscheinlichkeit  $p_R$ .

1/2

Sei  $X$  eine Zufallsvariable, welche die Anzahl an Bitfehlern pro Rahmen angibt. Dann ist die gesuchte Wahrscheinlichkeit gegeben als

$$p_R = 1 - \Pr[X = 0] = 1 - (1 - p_e)^{2871} \approx 94.34\%. \quad \checkmark$$

Um die Rahmenfehlerwahrscheinlichkeit zu reduzieren, unterstützt Bluetooth die beiden folgenden Mechanismen:

1. Kanalkodierung mit einem Blockcode der Länge  $n = 3$  und der Coderate  $R = 1/3$ , welcher pro Kanalwort einen beliebigen Bitfehler korrigieren kann
2. Automated Repeat Request (ARQ), welches nach einem Timeout abgebrochen wird

d)\* Wir betrachten zunächst Fall 1. Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit  $p_K$ , dass ein Kanalwort fehlerhaft übertragen wird.

3/2

Sei  $Y$  eine Zufallsvariable, welche die Anzahl an Bitfehlern pro Kanalwort angibt. Die Wahrscheinlichkeit für ein fehlerhaft übertragenes Kanalwort entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass zwei oder alle drei Bit im Kanalwort kippen.  $\checkmark$  Wir erhalten also:

$$\begin{aligned} \Pr[Y \geq 2] &= 1 - \Pr[Y \leq 1] = 1 - \sum_{i=0}^1 \binom{3}{i} (1 - p_e)^{3-i} \cdot p_e^i \quad \checkmark \\ &= 1 - (1 - p_e)^3 - 3 \cdot (1 - p_e)^2 \cdot p_e = 2.998 \cdot 10^{-6}. \quad \checkmark \end{aligned}$$



1/2

e) Bestimmen Sie mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe d) die Rahmenfehlerwahrscheinlichkeit  $p_{R1}$  bei Nutzung der Kanalkodierung.

Sei  $X'$  eine Zufallsvariable, welche die Anzahl an Bitfehlern pro Rahmen angibt. Dann ist die gesuchte Wahrscheinlichkeit gegeben als

$$p_{R1} = 1 - \Pr[X' = 0] = 1 - (1 - p_K)^{2871} \approx 8.57 \cdot 10^{-3}. \quad \checkmark$$

1/2

f) Bestimmen Sie nun mit Hilfe des Ergebnisses aus Teilaufgabe c) die Rahmenfehlerwahrscheinlichkeit  $p_{R2}$  bei Nutzung von ARQ mit höchstens 5 Übertragungsversuchen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Rahmen mittels ARQ bei maximal 5 Versuchen nicht korrekt übertragen werden kann, entspricht der Wahrscheinlichkeit von 5 konsekutiven Fehlern. Wir erhalten also

$$p_{R2} = p_R^5 \approx 74.74\%. \quad \checkmark$$

1

g) Unter besseren Umständen betrage die Bitfehlerwahrscheinlichkeit nun  $p'_e = 10^{-6}$ . Würden Sie unter diesen Umständen Kanalkodierung oder ARQ einsetzen? (Begründung!)

Unter diesen Umständen beträgt die Rahmenfehlerwahrscheinlichkeit ohne Kanalkodierung  $p_R \approx 2.87 \cdot 10^{-3}$ . Es muss also im Schnitt nur einer von rund 350 Rahmen wiederholt werden. Im Gegensatz dazu ist die Rahmenfehlerwahrscheinlichkeit mit Kanalkodierung praktisch Null, allerdings sinkt die Übertragungsrate dadurch auf rund 1/3. ARQ ist daher klar zu bevorzugen.  $\checkmark \checkmark$

**Aufgabe 3 Kurzaufgaben (5 Punkte)**

Die folgenden Kurzaufgaben sind **jeweils unabhängig voneinander**. Stichpunktartige Antworten sind ausreichend!

a)\* Wozu werden MAC-Adressen verwendet?

Identifizierung des Next-Hops ✓

b)\* Wozu werden IP-Adressen verwendet (im Gegensatz zu MAC-Adressen)?

End-zu-End Adressierung ✓

c)\* In der Vorlesung wurde ein einfacher Blockcode vorgestellt, welcher  $k = 1$  bit auf  $n = 3$  bit abbildet:

$$0 \mapsto 000, \quad 1 \mapsto 111.$$

Um die Fehlerkorrektur weiter zu verbessern wird folgende Modifikation vorgeschlagen:

$$0 \mapsto 0000, \quad 1 \mapsto 1111.$$

Wie bewerten Sie diese Veränderung hinsichtlich Fehlerkorrektur und Effizienz?

Die Fehlerkorrektureigenschaft ändert sich nicht ✓, die Effizienz sinkt ✓

d)\* Welches Ziel wird mit der Quellenkodierung verfolgt?

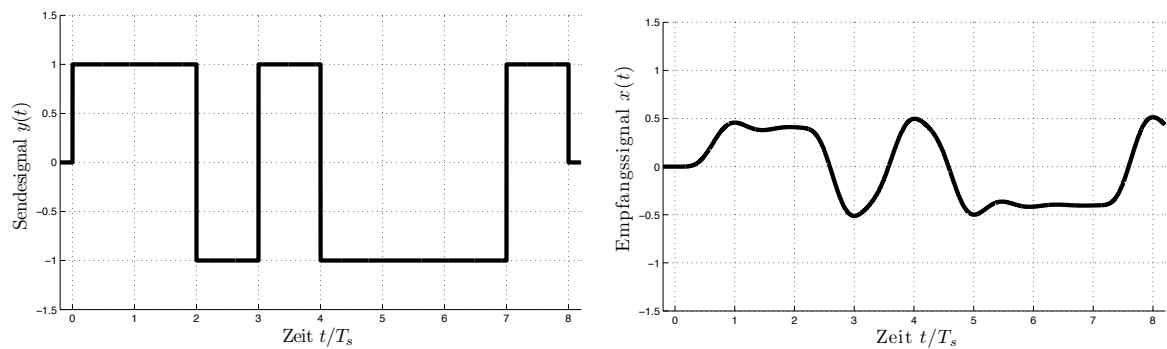
Entfernung von Redundanz aus einem Datenstrom (Kompression) ✓

e)\* Welches Ziel wird mit der Kanalkodierung verfolgt?

Gezieltes Hinzufügen von Redundanz (Fehlerkorrektur) ✓

1

f)\* Die untenstehende Grafik zeigt das Sendesignal  $y(t)$  sowie das Empfangssignal  $x(t)$  nach der Übertragung über einen nicht-idealen Kanal. Welche beiden Kanaleinflüsse sind sichtbar?



Tiefpassfilterung ✓ und Dämpfung ✓

1/2

g)\* Was ist ein Shortest Path Tree?

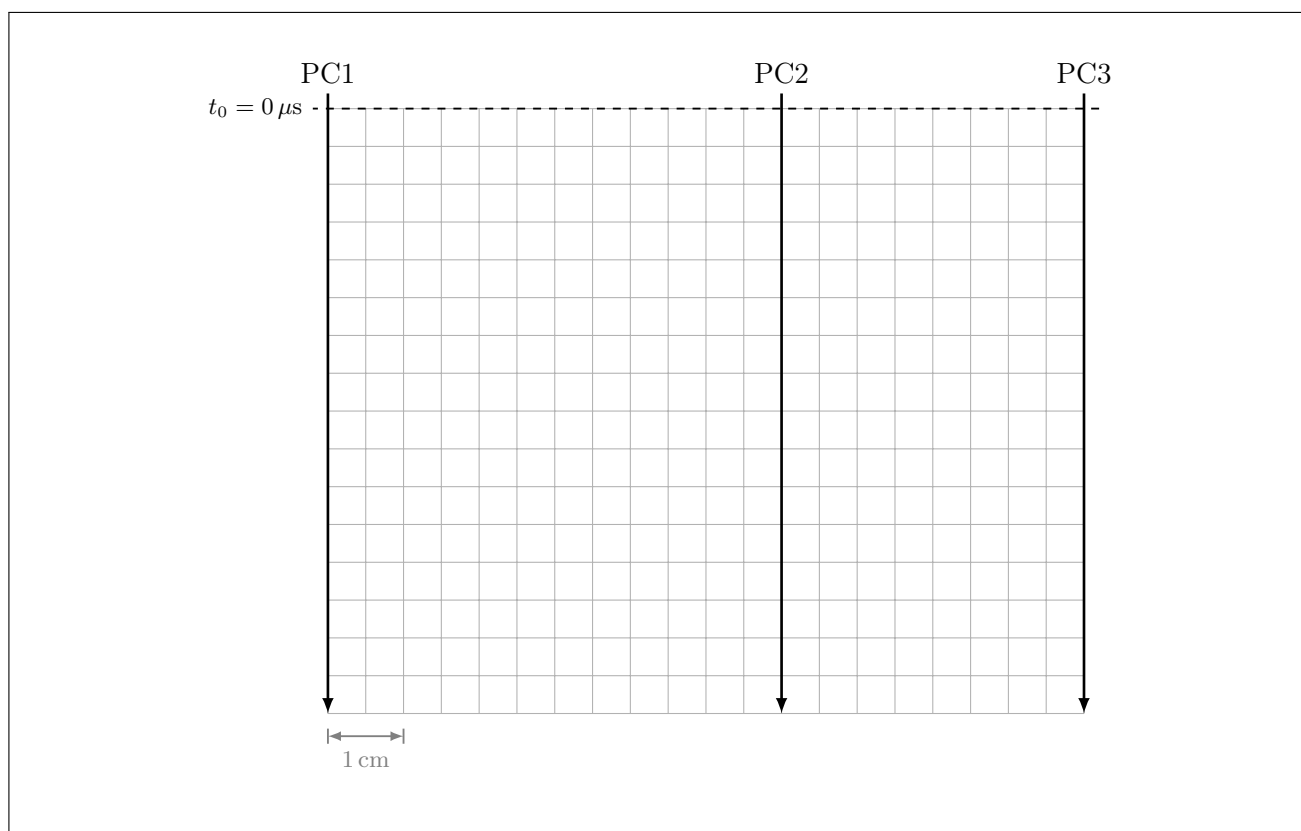
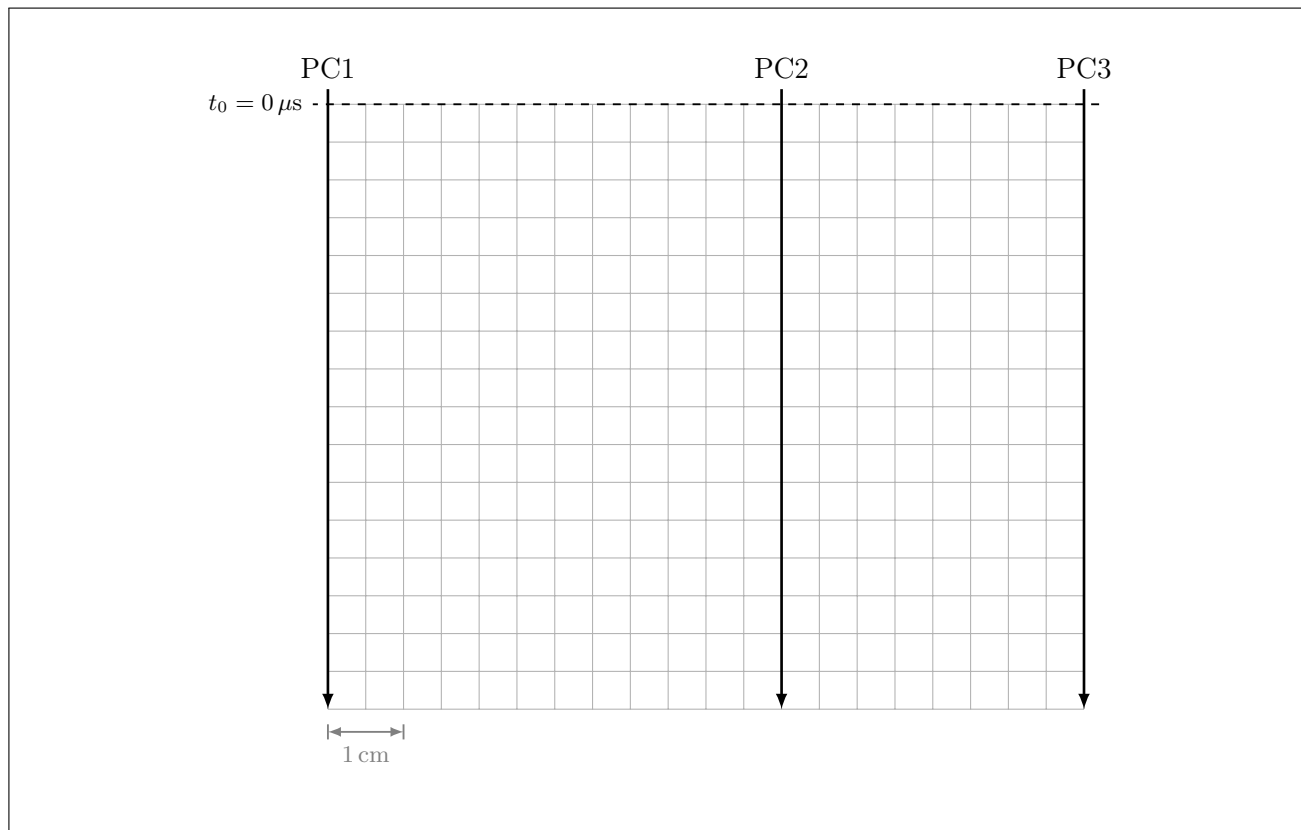
Spannbaum mit minimalen Pfadkosten von einer Wurzel zu allen anderen Knoten ✓

1/2

h)\* Was ist ein Minimum Spanning Tree?

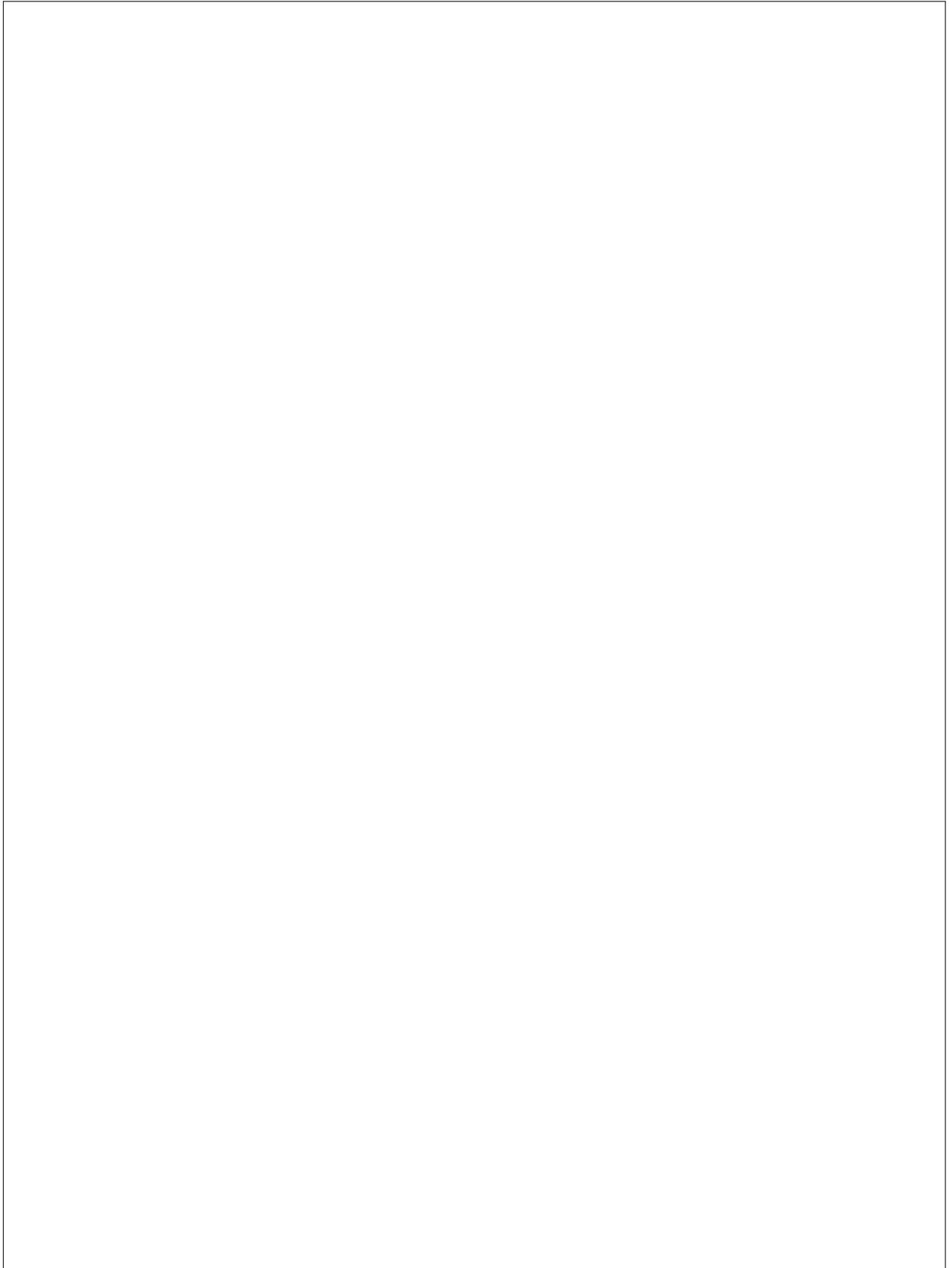
Spannbaum mit insgesamt minimalen Kantenkosten ✓

**Zusätzlicher Platz für Lösungen – bitte markieren Sie deutlich die Zugehörigkeit zur jeweiligen Aufgabe und streichen Sie ungültige Lösungen!**







A large, empty rectangular box with a thin black border, occupying the central portion of the page. It is intended for a student to draw a diagram or write an answer.