

Musterlösung

Automatisierungstechnik I – SS21

Nachname:	Vorname:	Matrikel-Nr.:
Hörsaal:	Sitzplatz:	Unterschrift:

Prüfungstag: 13.08.2021 **Prüfungsumfang:** 6 Aufgaben (17 Seiten)
Prüfungsdauer: 120 Minuten
Maximalpunktzahl: 120 Punkte **Hilfsmittel:** Alle, außer Kommunikationsgeräte

- Hinweise:**
- 1.) Verlangt sind alle Aufgaben.
 - 2.) Verwenden Sie **keinen Rotstift / Grünstift / Bleistift**.
 - 3.) Tragen Sie auf diesem **Deckblatt** Ihren **Vor- und Nachnamen**, Ihre **Matrikelnummer**, die **Hörsaal-** und **Sitzplatznummer** ein und **unterschreiben** Sie anschließend.
 - 4.) Tragen Sie auf **allen Blättern** Ihre **Initialen** (1. Buchstabe von Vor- und Nachnamen) ein.
 - 5.) Verwenden Sie für **Ihre Lösungen unbedingt** die jeweiligen Lösungsfelder.
 - 6.) Geben Sie dieses **Deckblatt zusammen** mit Ihren in der **richtigen Reihenfolge sortierten Aufgabenblättern** ab.

Alle Angaben ohne Gewähr auf Richtigkeit oder Vollständigkeit.

Stand: 01.08.2022

----- Nicht von Studierenden auszufüllen -----

Aufgabe	1	2	3	4	5	6		
Maximal	16	18	16,5	18	21,5	30		
Erreicht								

Aufgabe 1: CAN-Bus (16 Punkte)

Hinweis: Die Teilaufgaben in Aufgabe 1 können unabhängig voneinander bearbeitet werden.

Aufgabe 1.1: Bus-Pegel-Analyse (9 Punkte)

Analysieren Sie den in Tabelle 1 dargestellten Verlauf des Bus-Pegels. Bezeichnen Sie die einzelnen Telegramm(-sub-)segmente und kennzeichnen Sie Stuffing-Bits mit einem „*“.

Tabelle 1: Empfangener Bus-Pegel

Bezeichnung	S O F	ID											S R S	I D E	*
Bit-Wert	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
Bit-Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Bezeichnung	ExID														
Bit-Wert	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
Bit-Nummer	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Bezeichnung	ExID				R T R	F D F	r	D L C	*	DLC			CRC		*	C R C
Bit-Wert	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Bit-Nummer	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46

Bezeichnung	CRC				*	CRC								D E L	A C K
Bit-Wert	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0
Bit-Nummer	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Bezeichnung	D E L	EOF							IFS						
Bit-Wert	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
Bit-Nummer	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75

Aufgabe 1.2: Arbitrierung (7 Punkte)

Zwei Knoten beginnen zeitgleich Telegramme mit den Identifiern 004 (hex) und 048 (hex) auf den Bus zu schreiben.

a) Geben Sie die Arbitrierungsfelder so an, wie sie auf dem Bus übertragen würden, und berücksichtigen Sie dabei auch eventuelle Sicherheitsmechanismen.

Raum für Nebenrechnungen:

0 = 0000 1 = 0001 2 = 0010 3 = 0011 4 = 0100 5 = 0101 6 = 0110 7 = 0111
8 = 1000 9 = 1001 A = 1010 B = 1011 C = 1100 D = 1101 E = 1110 F = 1111

Binäre Bitfolge Identifier 004 (hex)	0000 0100 0100
Binäre Bitfolge Identifier 048 (hex)	000 0100 1000

b) Führen Sie den Arbitrierungsvorgang schrittweise durch. Zu welchem Zeitpunkt stellt der niederpriorere Knoten seinen Sendevorgang ein? Welcher Buspegel ergibt sich? Zeichnen Sie Ihre Lösung in Abbildung 1 ein. Bitte beginnen Sie mit dem Start-of-Frame-Bit und enden Sie mit dem Ende des Arbitrierungsfeldes.

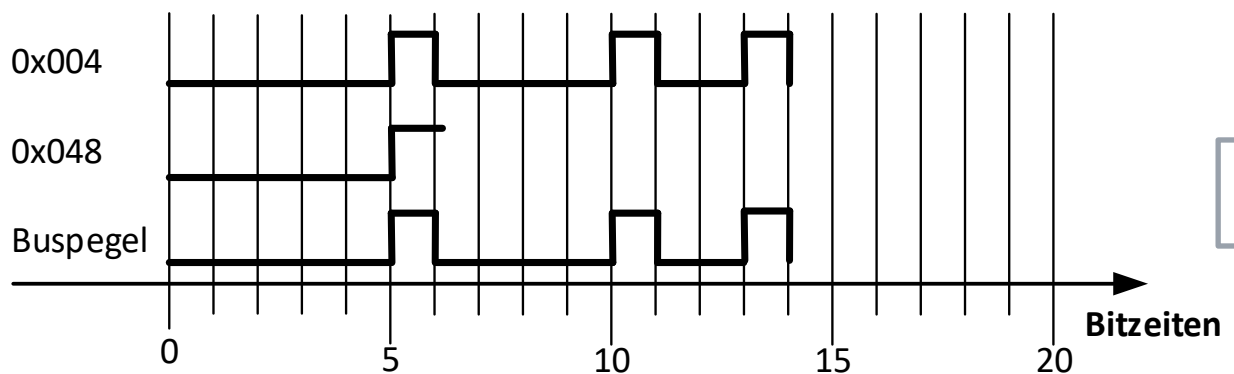


Abbildung 1: Arbitrierungsvorgang

c) Welches Telegramm setzt sich beim Arbitrierungsvorgang durch?

0x004 setzt sich durch.

Aufgabe 2: Scheduling (18 Punkte)

Hinweis: Die Teilaufgaben in Aufgabe 2 können unabhängig voneinander bearbeitet werden.

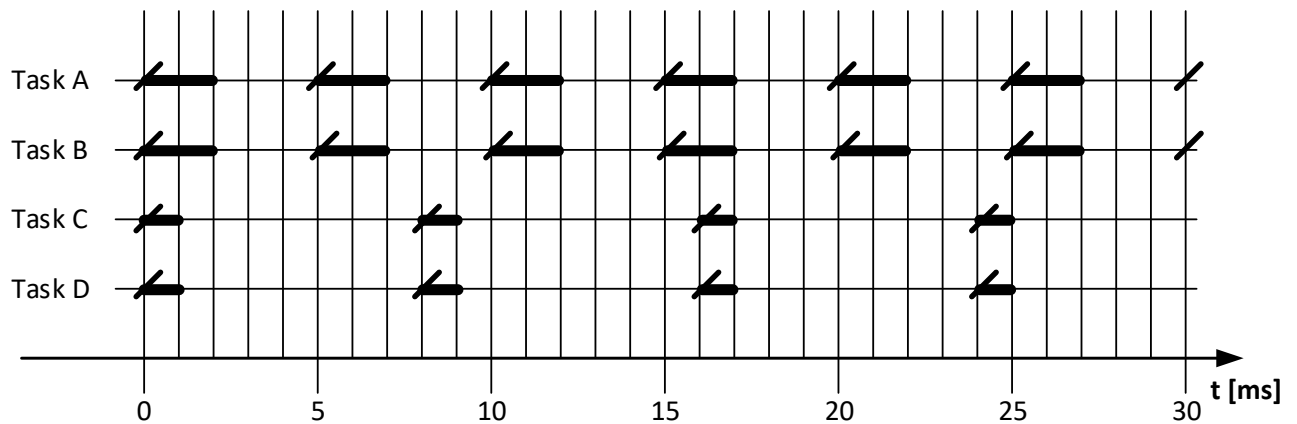


Abbildung 2: Soll-Ablauf der Tasks A, B, C und D

Gegeben sei ein periodisches Taskset mit vier Tasks und einem Soll-Ablaufverhalten entsprechend Abbildung 2. Die Periode ist gleichzeitig als Deadline für die Ausführung zu interpretieren. Die Prioritäten der Tasks können der Tabelle 2 entnommen werden (kleinste Zahl entspricht höchster Priorität). Es steht ein Rechenkern zur Verfügung.

Tabelle 2: Prioritäten

Task	Priorität
Task A	1
Task B	4
Task C	3
Task D	2

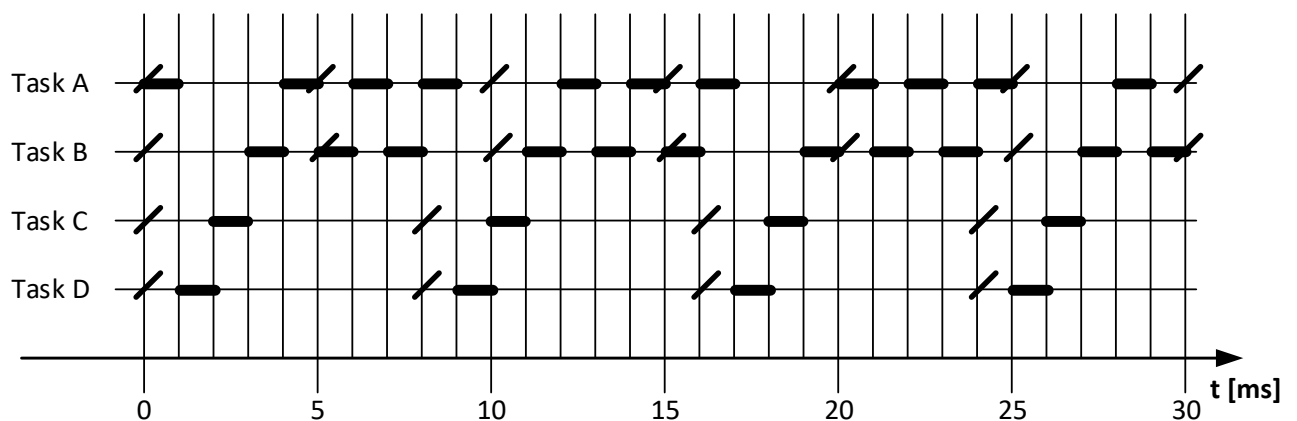


Abbildung 3: Ist-Ablauf der Tasks A, B, C und D (Zeitscheiben-Verfahren)

Aufgabe 2.1: Rechtzeitigkeit und Auslastung (3 Punkte)

a) Erfüllt die Abarbeitung der einzelnen Tasks im Bereich $0 \leq t < 30$ ms gemäß Abbildung 3 die Rechtzeitigkeits-Bedingung? Wenn nein, welche Task(s) verletzt bzw. verletztten die Rechtzeitigkeits-Bedingung wann zum ersten Mal?

Task	Rechtzeitige Abarbeitung?		Wenn nein, zu welchem Zeitpunkt wird die erste Deadline verletzt?
	Ja	Nein	
Task A	☐	☒	t = <u>20</u> ms
Task B	☐	☒	t = <u>5</u> ms
Task C	☒	☐	t = _____ ms
Task D	☒	☐	t = _____ ms

b) Bestimmen Sie die Auslastung des Rechenkerns bei einer Beauftragung entsprechend Abbildung 3 und Tabelle 2.

Raum für Nebenrechnungen:

$$\frac{2}{5} + \frac{2}{5} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = 1,05$$

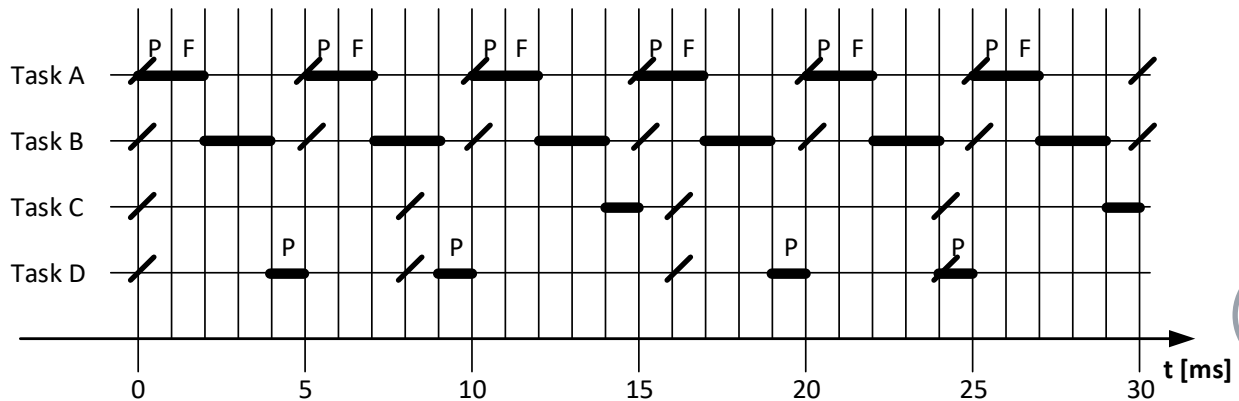
Rechenkernauslastung

105 %

Aufgabe 2.2: Ratenmonotones Scheduling (4,5 Punkte)

Hinweis: Sollten Sie sich verzeichnen, so können Sie den Diagrammvordruck aus Abbildung 7 verwenden. Er dient als Ersatz. Kennzeichnen Sie eindeutig, welche Zeichnung gewertet werden soll.

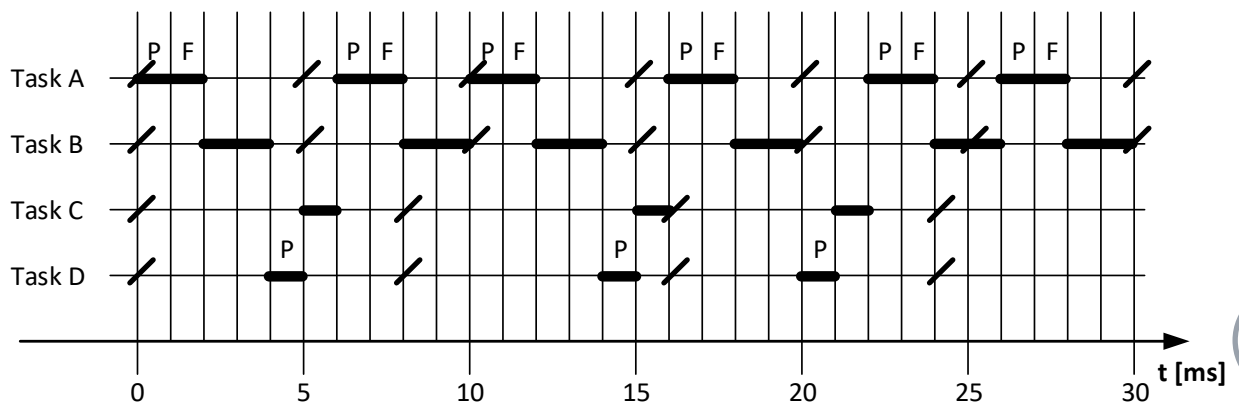
Ermitteln Sie das zeitliche Ist-Verhalten der Tasks bei einer Beauftragung entsprechend Abbildung 2 und Tabelle 2 beim ratenmonotonen Scheduling im Bereich $0 \leq t < 30$ ms. Zeichnen Sie Ihre Lösung in Abbildung 4 ein. Bitte kennzeichnen Sie dabei alle Entscheidungen, die nicht auf dem primären Entscheidungs-Kriterium des ratenmonotonen Scheduling beruhen mit „F“ bzw. „P“.



Aufgabe 2.3: Restantwortzeit-Scheduling (4,5 Punkte)

Hinweis: Sollten Sie sich verzeichnen, so können Sie den Diagrammvordruck aus Abbildung 7 verwenden. Er dient als Ersatz. Kennzeichnen Sie eindeutig, welche Zeichnung gewertet werden soll.

Ermitteln Sie das zeitliche Ist-Verhalten der Tasks bei einer Beauftragung entsprechend Abbildung 2 und Tabelle 2 beim Scheduling nach dem Verfahren der kleinsten Restantwortzeit im Bereich $0 \leq t < 30$ ms. Zeichnen Sie Ihre Lösung in Abbildung 5 ein. Bitte kennzeichnen Sie dabei alle Entscheidungen, die nicht auf dem primären Entscheidungs-Kriterium des Restantwortzeit-Schulings beruhen mit „F“ bzw. „P“.

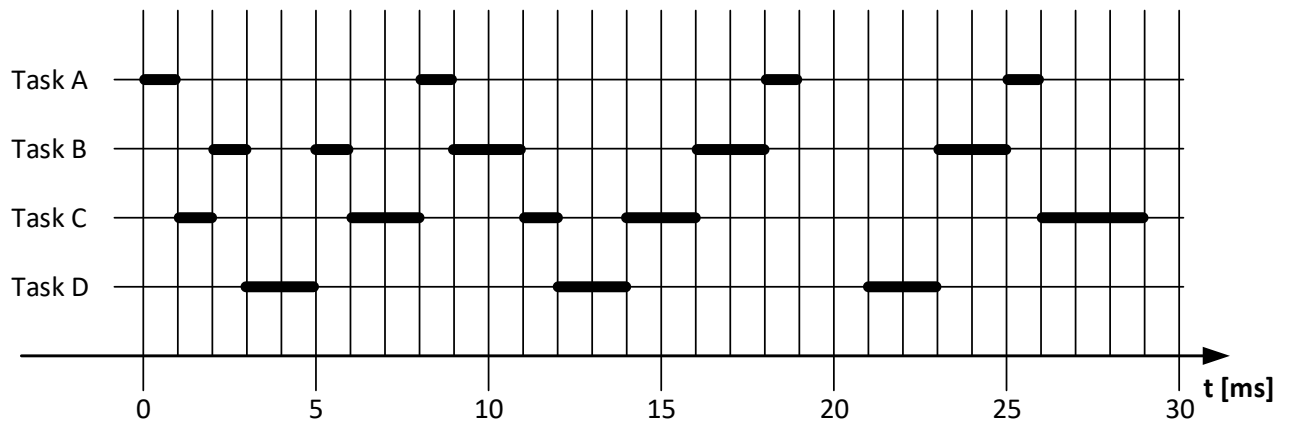


Aufgabe 2.4: Bestimmung der Prozessparameter (6 Punkte)

Gegeben ist der in Abbildung 6 dargestellte Ist-Ablauf von vier Tasks nach dem Scheduling-Verfahren mit festen Prioritäten (präemptiv). Nach der Erstbeauftragung werden die Tasks in regelmäßigen Abständen (Periode) neu beauftragt. Gehen Sie davon aus, dass die Periode einer Task konstant und gleichzeitig als die Deadline für deren Ausführung zu betrachten ist. Der Systemtakt beträgt 1 ms. Die Prioritäten der Tasks können der Tabelle 3 entnommen werden (kleinste Zahl entspricht höchster Priorität). Es steht ein Rechenkern zur Verfügung.

Tabelle 3: Prioritäten

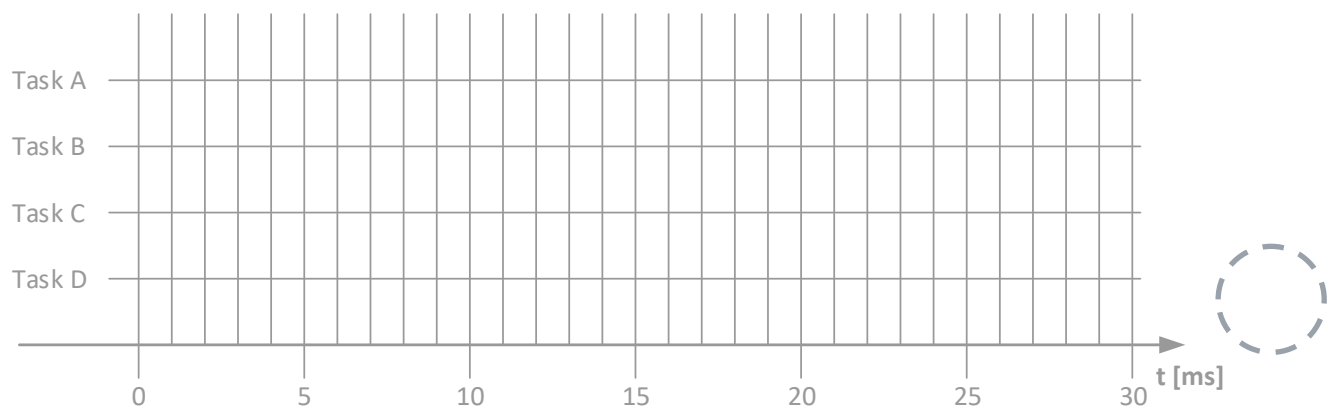
Task	Priorität
Task A	3
Task B	2
Task C	4
Task D	1

**Abbildung 6: Ist-Ablauf der Tasks A, B, C und D (feste Prioritäten)**

Ermitteln Sie den Zeitpunkt der Erstbeauftragung, die Ausführungsdauer und die Periode der einzelnen Tasks und tragen Sie Ihre Ergebnisse in Tabelle 4 ein.

Tabelle 4: Parameter des Tasksets

Task	Erstbeauftragung	Ausführungsdauer	Periode
Task A	0 ms	1 ms	8 ms
Task B	2 ms	2 ms	7 ms
Task C	0 ms	3 ms	11 ms
Task D	3 ms	2 ms	9 ms

**Abbildung 7: Ist-Ablauf der Tasks A, B, C und D (Ersatzdiagramm)**

Aufgabe 3: Systematische Evaluierung neuer Technologien (16,5 Punkte)

Ein fahrerloses Transportfahrzeug (Automated Guided Vehicle, AGV) ist im Einsatz in einer Logistikhalle. Ein Team von Ingenieur*innen überlegt, das AGV mit einem 5G-Kommunikationsmodul anstelle seines aktuellen Kommunikationsmoduls auszustatten. Diese Technologie soll die Echtzeitkommunikation des AGVs mit seinem digitalen Zwilling (einer aktualisierten digitalen Nachbildung des physischen Systems, die Simulationen und Datenanalysen ermöglicht) ermöglichen, um eine Hindernisvermeidung in Echtzeit zu realisieren und die Routenplanung innerhalb der Halle zu optimieren. Die Ingenieur*innen wollen dieses Modul installieren, um die Gesamtproduktivität bei der Auslieferung von Waren zu verbessern und Unfälle zu vermeiden.

Diskutieren Sie den Mehrwert des 5G-Moduls auf Basis der aus der Vorlesung bekannten Value Proposition Methode.

Aufgabe 3.1: Customer Segment (6 Punkte)

a) Welche Aufgaben soll das AGV erfüllen bzw. welche funktionalen Probleme löst es? Nennen Sie 2 Jobs, die das AGV hat.

- Materialtransport
- Hindernisse vermeiden
- Routeplanung

b) Welche Herausforderungen hat das AGV bei der Ausführung seiner Aufgaben. Identifizieren Sie 2 Pains, die das AGV hat. (ohne den Einsatz des 5G-Kommunikationsmoduls.)

- möglicher Kommunikationsverlust während der Fahrt → kein Fernzugriff möglich
- dynamische Umgebungen → keine Anpassung der Route möglich
- Keine Koordination in Echtzeit
- Mangelnde Datenerhebung, um aus Ausfällen und Unfällen zu lernen und den Betrieb zu optimieren

c) Nennen Sie 2 Gains; positive Ergebnisse aus der erfolgreichen Ausführung einer Aufgabe, die das AGV hat.

- effizienter und optimaler Transport, Kosten und Aufwand sparen
- Sicherheit während der Fahrt

**Aufgabe 3.2: Value Proposition (6 Punkte)**

a) Nennen Sie auf der Grundlage Ihrer identifizierten Pains 2 Pain Relievers, die durch die Ausstattung des AGVs mit dem 5G-Kommunikationsmodul ermöglicht werden.

- zuverlässige und echtzeit Kommunikation, um Unfälle zu vermeiden
- Echtzeit Routenplanung

b) Nennen Sie 2 Gain Creators, die durch das Modul ermöglicht werden.

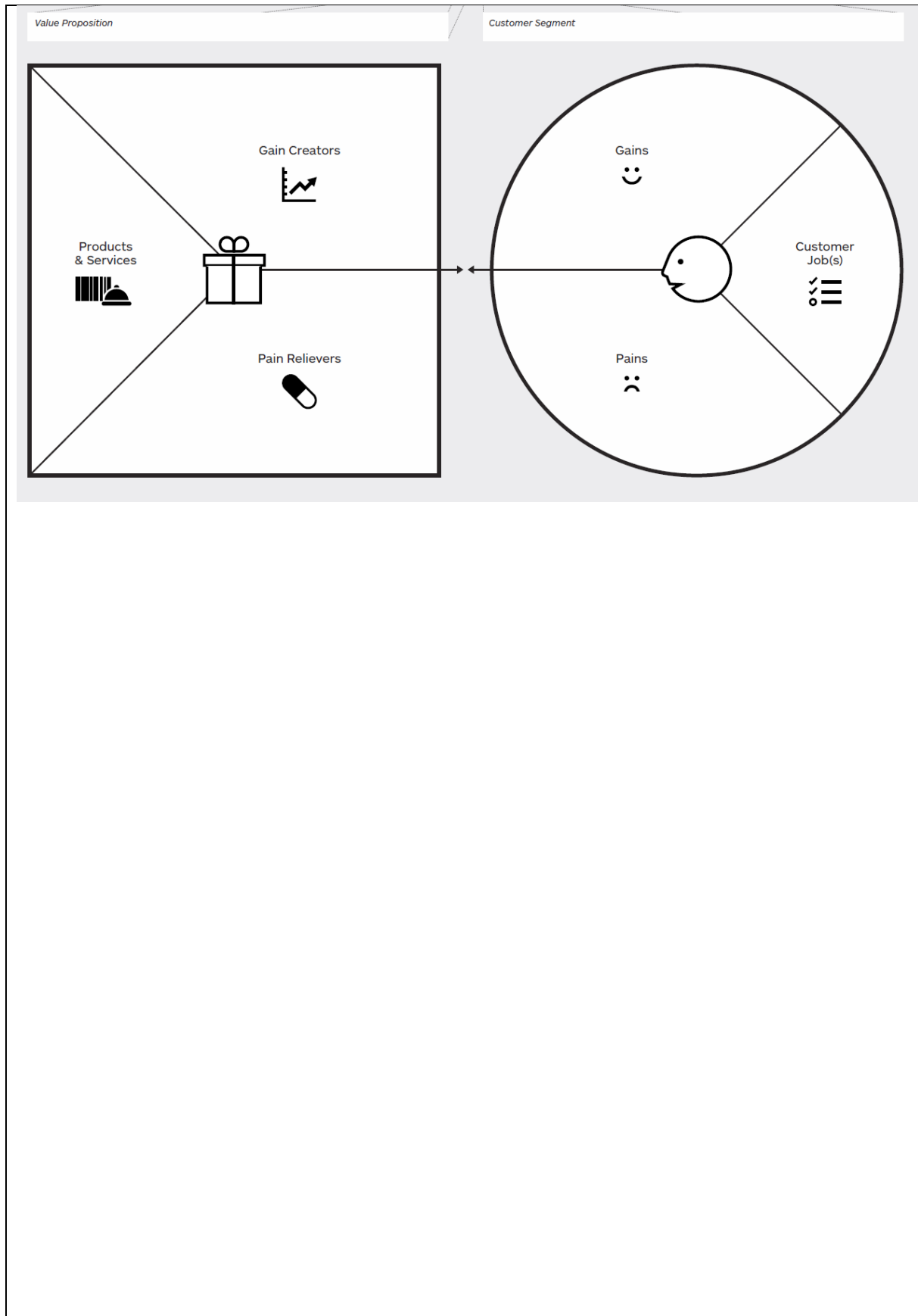
- Effiziente Routenplanung
- Verfügbare Daten für Analyse
- Mehr Sicherheit

c) Nennen Sie 2 Services oder Produkte, die das AGV dank des 5G-Moduls besitzen könnte.

- Hindernisvermeidung SW-Module
- Safety Service
- Predictive Analysis Module
- Echtzeit Simulation

**Aufgabe 3.3: Value Proposition Canvas (4,5 Punkte)**

Zeichnen Sie einen Value Proposition Canvas, beschriften Sie es und fügen Sie Ihre Antworten aus Teilaufgaben 3.1 und 3.2 ein. Für die Übertragung Ihrer Antworten können Sie geeignete Abkürzungen oder Kurzformen verwenden.



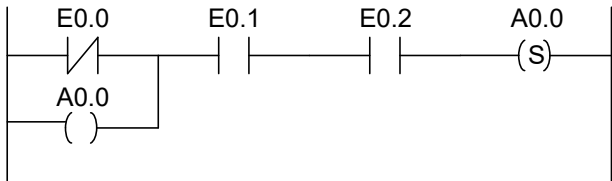
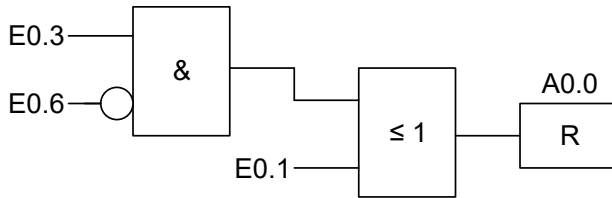
Aufgabe 4: Programmierung von Industriesteuerungen (18 Punkte)

Hinweis: Die Teilaufgaben in Aufgabe 4 können unabhängig voneinander bearbeitet werden.

Aufgabe 4.1: Korrektur von SPS Programmen (6 Punkte)

Die angegebenen SPS Programmausschnitte enthalten je einen Fehler. Bitte nennen und korrigieren Sie die Fehler in Tabelle 5.

Tabelle 5: SPS Programme

Programmausschnitt	
Netzwerk 1 	
Fehlerbeschreibung: Fehlerhafte Verwendung eines Ausgangelements als Eingang. Korrekt wäre die zusätzliche Nutzung eines Merker-Elements.	
Netzwerk 2 	
Fehlerbeschreibung: Fehlerhafte Beschriftung des Oder-Elements. Korrekt wäre „≥ 1“	
<pre> PROGRAMM Lamp VAR Switch AT E 0.0; Lamp AT A 0.0; L_Message:STRING; END_VAR IF Switch = TRUE THEN Lamp := TRUE; ELSE L_Message := `switched off`; END;</pre>	<u>Fehlerbeschreibung:</u> Fehlerhafter Abschluss der IF-Bedingung. Korrekt wäre ein Abschluss mittels „END_IF“.

Aufgabe 4.2: Entwurf einer speicherprogrammierbaren Steuerung (6 Punkte)

Ein Förderband soll mit Hilfe einer SPS gesteuert werden. Das Förderband wird durch einen Motor angetrieben und hat einen Drucksensor, um Objekte zu detektieren.

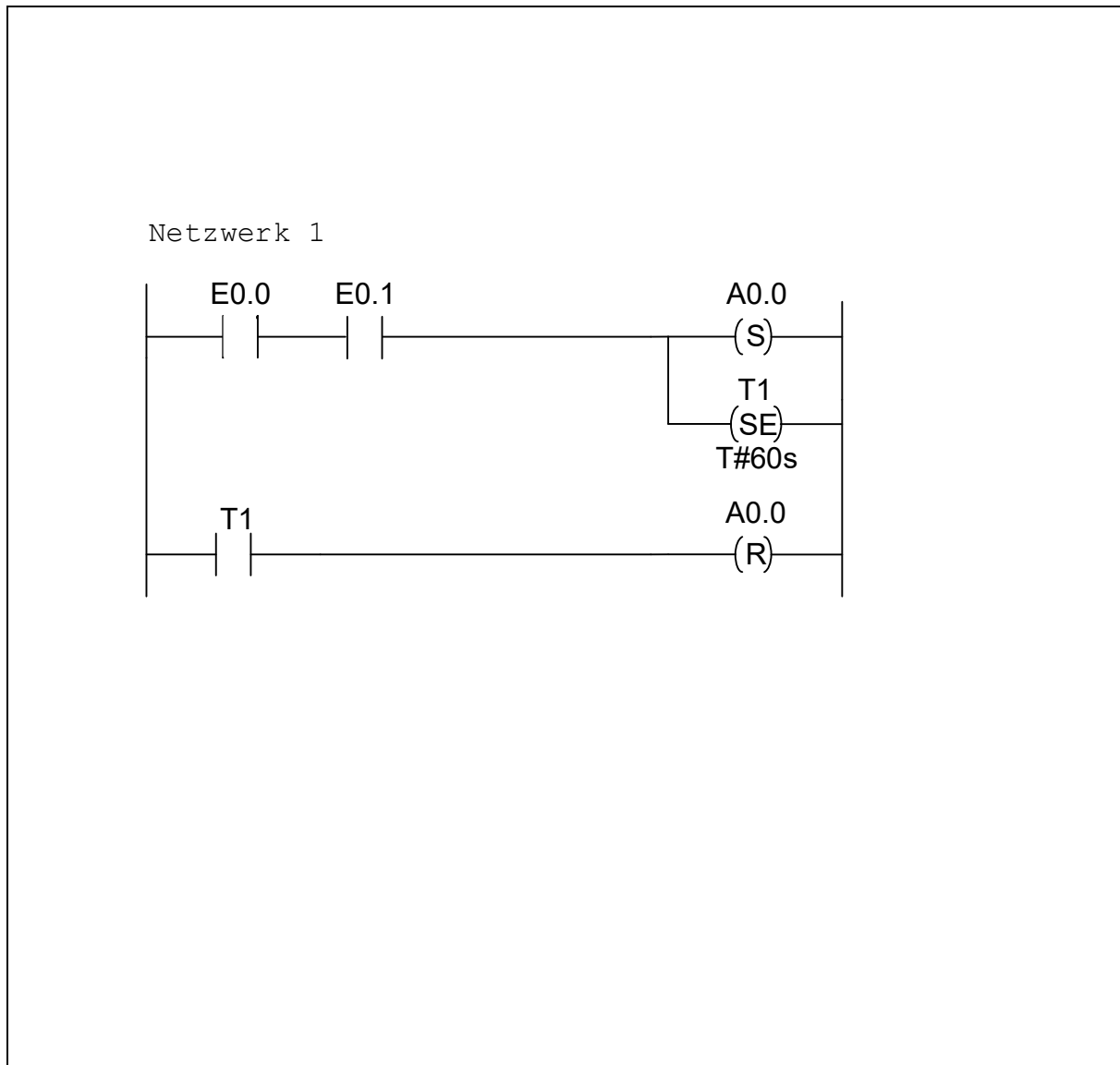
Wird ein Objekt detektiert und ist der Nottaster nicht gedrückt, so wird das Förderband aktiviert. Das Band wird dann für eine Minute aktiv. Gibt es kein weiteres Objekt auf das Band, so wird der Motor gestoppt.

a) Vervollständigen Sie Tabelle 6 mit den Bezeichnern und Typen für die Eingänge.

Tabelle 6: Ein- und Ausgänge

Name	Ein-/Ausgang	Typ	Bezeichner
Nottaster	Eingang	Öffner	E0.0
Drucksensor	Eingang	Schließer	E0.1
Förderbandmotor	Ausgang	-	A0.0

b) Entwerfen Sie ein SPS-Programm in KOP, was die Steuerlogik umsetzt.



Aufgabe 4.3: Entwurf einer pneumatischen Steuerung (6 Punkte)

Sie möchten eine Dampfmaschine bauen. Sie haben die in Abbildung 8 gezeigten Elemente zur Auswahl, um folgendes Verhalten zu realisieren: Der Zylinder soll im Betrieb dauerhaft in Bewegung sein und abwechselnd seine beiden Endpunkte anfahren. Per Knopfdruck soll die Anlage in Bewegung gesetzt werden. Ein erneuter Knopfdruck soll den Stillstand der Anlage in einer der beiden Endlagen bewirken.

Bitte vervollständigen Sie Abbildung 8. Benennen oder streichen Sie dabei die Signale.

Hinweis: Sie müssen soweit erforderlich innere Strukturen von Elementen, Verbindungen zwischen Elementen sowie Eingabelemente ergänzen. Druckleitungen können verzweigen, d.h. der Ausgang eines Elements kann mit mehreren Eingänge anderer Elemente verbunden werden.

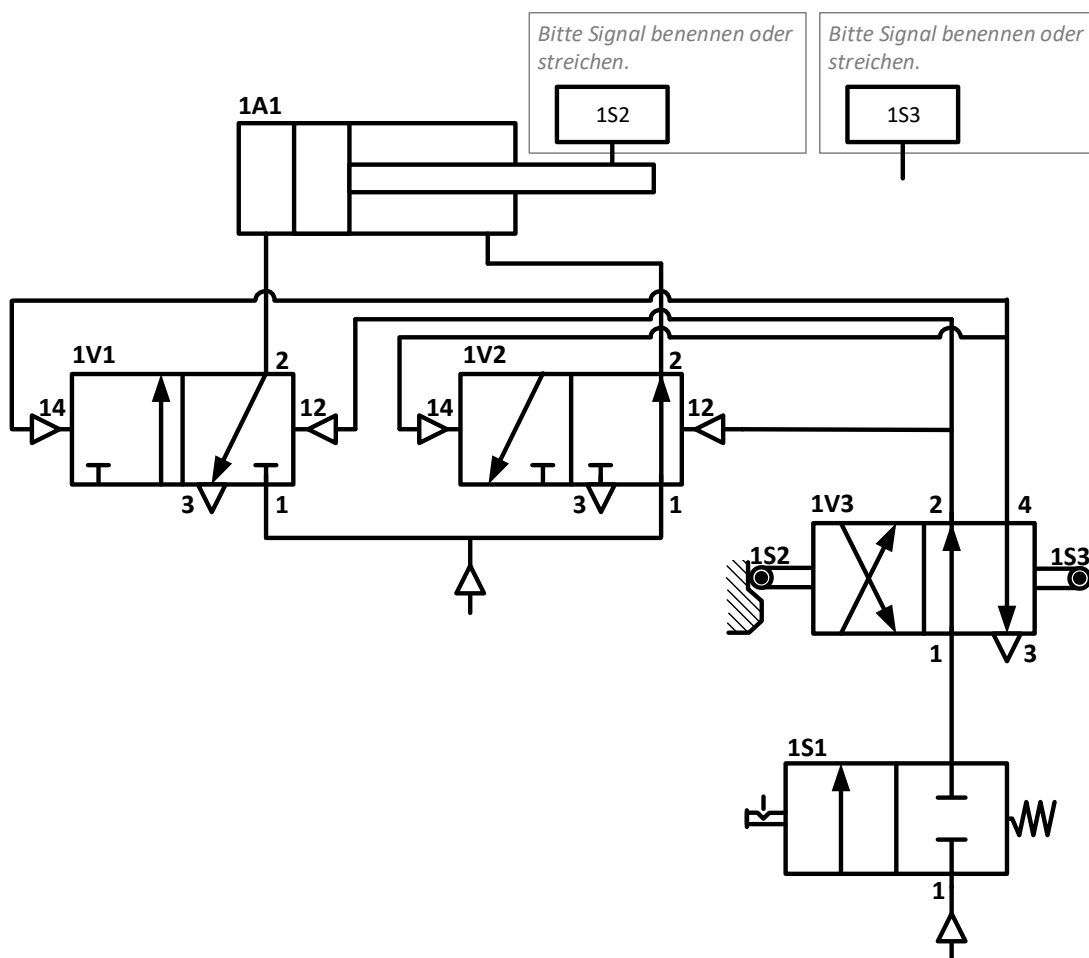


Abbildung 8: Pneumatische Steuerung

Aufgabe 5: Kurzaufgaben (21,5 Punkte)

Hinweis: Die Teilaufgaben in Aufgabe 5 können unabhängig voneinander bearbeitet werden.

Frage 5.1: MQTT (6 Punkte)

Eine MQTT-PUBLISH-Nachricht mit einer Payload von 16.360 Byte und einem Topicname mit 5 Byte Länge soll mit QoS-L1 übertragen werden. Ermitteln Sie die MQTT-Längenangabe für diese Nachricht.

Wie lautet der Zahlenwert der zu übermittelnden Längenangabe (dezimal und binär)?

<i>Raum für Nebenrechnungen:</i>	
16.360 (Payload) + 5 (Länge) + 2 (PaketID)	
Zu übermittelnder Zahlenwert (dezimal):	16 367
<i>Raum für Nebenrechnungen:</i>	
0 x 32.768 0 x 16.384 1 x 8.192 1 x 4.096 1 x 2.048 1 x 1.024 1 x 512 1 x 256 1 x 128 1 x 64 1 x 32 0 x 16 1 x 8 1 x 4 1 x 2 1 x 1	
Zu übermittelnder Zahlenwert (binär):	11 1111 1110 1111

Wie lautet die finale Längenangabe (binär und hexadezimal)?

<i>Raum für Nebenrechnungen:</i>	
Codierter Binärwert bei 7 Informationsbits pro Byte: 1111111 1101111	
Codierter Binärwert bei 7 Informationsbits pro Byte plus 1 Bit zur Signalisierung folgender Bytes: 01111111 11101111	
Längenangabe (binär):	01111111 11101111
<i>Raum für Nebenrechnungen:</i>	
0 = 0000 1 = 0001 2 = 0010 3 = 0011 4 = 0100 5 = 0101 6 = 0110 7 = 0111 8 = 1000 9 = 1001 A = 1010 B = 1011 C = 1100 D = 1101 E = 1110 F = 1111	
Codierter Hexadezimalwert:	0x7F 0xEF
Ausgegebenener Hexadezimalwert (Immer umgedreht, da niederwertigstes Byte zuerst codiert wird.):	0xEF 0x7F
Längenangabe (hexadezimal):	0xEF 0x7F

Frage 5.2: Verschlüsselung (5 Punkte)

Bob (Client B) erhält von Alice (Client A) die Nachricht

$$c || sig_{K_B^-, c} || C_A, \text{ wobei gilt } c' = E(K_B^+, m).$$

Zusätzlich gilt:

$$sig_{K_B^-, c} = 10;$$

$$D(K_A^+, sig_{K_B^-, c}) = 15;$$

$$D(K_B^-, c') = 18;$$

$$c = 8;$$

$$D(K_B^+, sig_{K_B^-, c}) = 14;$$

$$h(c') = 14$$

Das Zertifikat C_A von Alice ist gültig. Beurteilen Sie ob die Nachricht gültig ist und unverändert tatsächlich von Alice stammt. Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

Die Signatur passt nicht, da sie von Bob erstellt wurde und nicht von Alice.

Frage 5.3: Profibus (5,5 Punkte)

In einer Produktionshalle soll ein Profibus installiert werden. Der Bus hat eine Länge von 400 m und verbindet 4 Industrierobotern mit einer SPS. Jeder Roboter verfügt über 2 Motoren und 3 Sensoren. Die SPS schickt jedem Roboter eine Anfrage, um deren Status abzufragen, woraufhin diese in einer Nachricht ihre Sensorwerte (2 Bytes pro Sensor) übermitteln. Als Reaktion auf die erfassten Sensorwerte schickt die SPS Motorbefehle für die Roboter in einer einzigen Nachricht von 4 Bytes.

a) Welche Datenaustausch-Dienste eignen sich für die beschriebenen Kommunikationsabläufe?

Status-Anfrage	SRD Dienst
Sensorwert-Übermittlung	
Motorbefehl-Übermittlung	SDN Dienst

b) Warum kann die SPS für die Übermittlung der Motorbefehle, aber nicht für die Status-Abfrage eine Nachricht an alle Roboter gleichzeitig versenden?

Weil zusammen mit der Anfrage auch die Sendeberechtigung für die Antwort erteilt wird und somit bei einer Anfrage an mehrere Slaves diese gleichzeitig antworten dürften. Dies ist nicht wünschenswert.

☐

c) Wählen Sie für die 3 Telegramme die jeweils optimale Telegramstruktur aus.

Telegramm (Status Anfrage)	Telegramm ohne Datenfeld
Telegramm (Sensorwert-Übermittlung)	Telegramm mit fester Datenfeldlänge
Telegramm (Motorbefehl-Übermittlung)	Telegramm mit variabler Datenfeldlänge

☐

d) Eine Nachricht hat den Inhalt **0100 0110**. Codieren Sie das Byte im UART-Format und markieren Sie den Byteinhalt.

0 0100 0110 11

☐
☐

Frage 5.4: Amdahl (5 Punkte)

Gegeben ist ein Programm mit einem seriellen Anteil von 40 %. Bisher wurde es auf einem alten Vier-Kern-Prozessor ausgeführt und benötigte dafür 120 Sekunden.

a) Wie lange dauert die Ausführung des Programms bei Nutzung eines modernen Achtzehn-Kern-Prozessors unter den Annahmen, dass

- (I) die Prozessoren sich nicht weiter unterscheiden,
- (II) beide Rechner während der Ausführung des Programms keinerlei andere Aufgaben bearbeiten müssen.

Raum für Nebenrechnungen:

Einkern-Rechenzeit: $\frac{120}{0,4 + \frac{0,6}{4}} = 218,18 \text{ s}$
 Serieller Anteil: $40 \% \text{ von } 218,18 \text{ s} = 87,27 \text{ s}$
 Parallelisierbarer Anteil: $218,18 \text{ s} - 87,27 \text{ s} = 130,91 \text{ s} = 60 \%$

Rechnung nach Amdahl:

$$T_{18\text{-Kern}} = \left[\frac{87,27}{218,18} + \frac{\frac{130,91}{18}}{1} \right] \cdot 218,18 = 94,55 \text{ s}$$

Ausführungsdauer:	$T_{18\text{-Kern}} = 94,55 \text{ s}$
-------------------	--

b) Was ist die maximale, prozentuale Zeitersparnis gegenüber einem Vier-Kern-Prozessor, die in dem genannten Szenario unter Verwendung eines hypothetischen Unendlich-Kern-Prozessors erreichbar wäre?

Raum für Nebenrechnungen:

$$1 - \frac{87,27 \text{ s}}{120 \text{ s}} = 0,2728$$

Maximale Zeitersparnis (prozentual):	27,28 %
--------------------------------------	---------

c) Was ist die maximale, prozentuale Zeitersparnis, die in dem genannten Szenario unter Verwendung eines hypothetischen Unendlich-Kern-Prozessors und unter der Annahme, dass der serielle Anteil des Programms 100% beträgt, erreichbar wäre?

Maximale Zeitersparnis (prozentual):	0 %
--------------------------------------	-----

