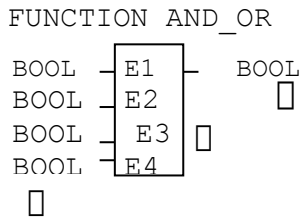


3. Engineering, Programmiersprachen nach IEC 61131

a) Grafisch

7



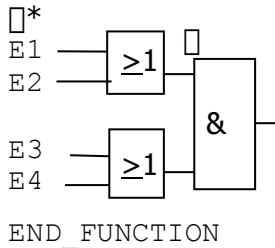
b) textlich

8

```

FUNCTION AND_OR: BOOL
  VAR_INPUT
    E1, E2, E3, E4:BOOL
  END_VAR
  LD E1
  OR E2
  AND ( E3
  OR E4
  )
END_FUNCTION

```



* oder andere
Variablen-Namen

4 EMV

a) Diode (oder Varistor)

2

b) 24V Betriebsspannung, 6 W, 5 H, max. 2 Schaltungen / Sekunde:

4

$$\text{Störenergie pro Abschaltung: } W = \frac{1}{2} Li^2 = 0,5 \cdot 5 \cdot \left(\frac{6}{24} \right)^2 = 0,156 \text{ J} \quad (2)$$

$$\text{-> aufzunehmende Leistung: } P = \frac{W}{T} = \frac{0,156}{0,5} = 0,312 \text{ W} \quad (2)$$

c) Sonstige Maßnahmen: Abstand Leistungskabel - Steuerkabel
Steuerkabel verdrillen, abschirmen

1
2

5. Kennzeichnung / Dokumentation

a)

3

b)

1

c) Anordnung und Verdrahtung sind im Anschlussplan angegeben,
darin kommen vor: Funktionskennzeichen,
Einbauplatzkennzeichen,
Anschlusskennzeichen

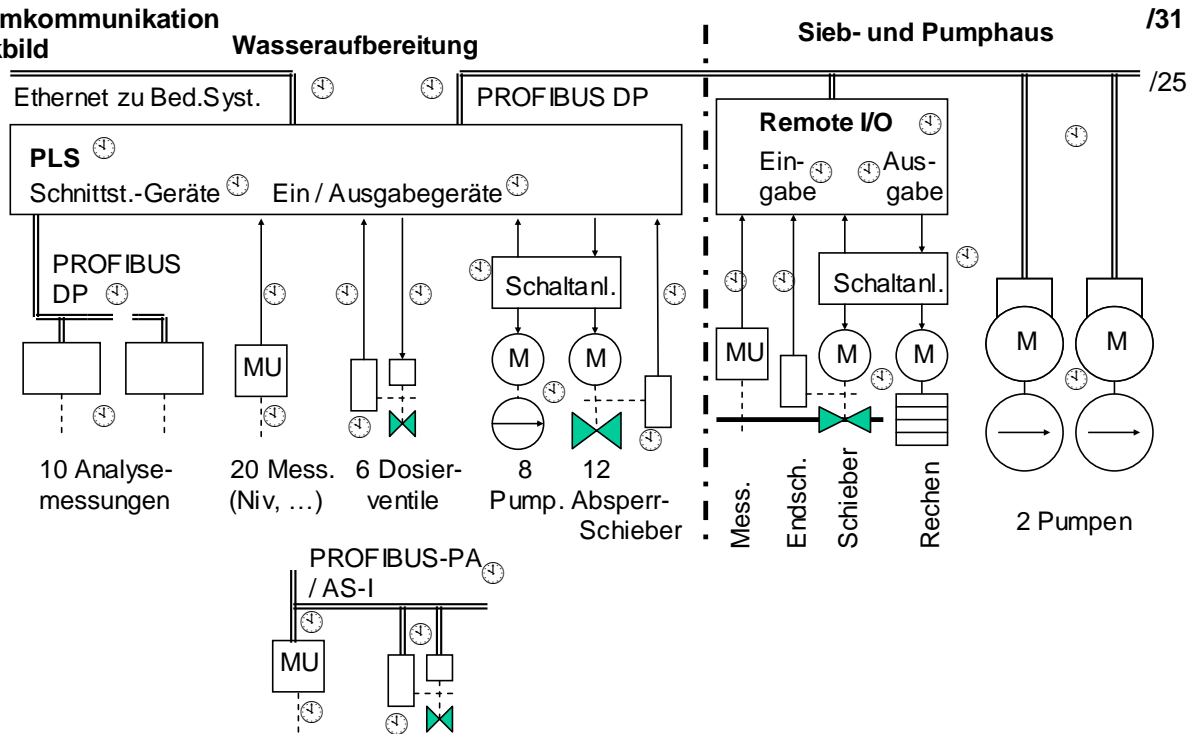
1
1
1

d) = HNA11CP005 ;H02

1

1. Systemkommunikation

a) Blockbild



b) I/O – Geräte-Kanäle (20 AI), (6 DI, 6 DO) 40 DO, 40 DI 6 AI, 12 DI, 12 DO
= 26 AI, 58 DI, 58 DO

2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit

Endschalter fiel im vergangenen Jahr durch Beschädigung 12 mal aus, die Reparatur dauerte jeweils insgesamt 4 Stunden (während der geplanten Betriebszeit von 16 Std./Tag, 20 Tage/Monat)

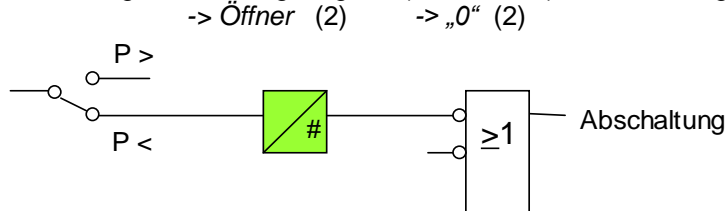
a) wie hoch war die Verfügbarkeit? -> $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{16 \cdot 20}{16 \cdot 20 + 4} = \frac{320}{324} = 0,9877$

b) Für eine bessere Lösung (optische Lageerkennung) wird ein λ von $2 \cdot 10^{-4}$ garantiert, die Umstellung würde ca. 5 000 € kosten, Reparaturzeit und -Kosten würden sich nicht ändern. in welcher (ungefähren) Zeit würde sich die Umstellung amortisieren?

neue MTBF: $\frac{1}{\lambda} = 0,5 \cdot 10^4 = 5000$ h, (neue Verfügbarkeit: $\frac{5000}{5000 + 4} = 0,999..$)

Amortisation nach $\frac{5000\epsilon}{500\epsilon} = 10$ Reparaturen der alten Lösung, = ca. $10 \cdot 320$ h = ca. 10 Monaten. (< 1 Jahr: 2)

c) Eine Heizanlage soll bei Überdruck "sicherheitsgerichtet" abgeschaltet werden. Für die Druckmessung steht ein Druckwächter mit einem Wechselkontakt zur Verfügung (als Schließer oder Öffner verwendbar). Das zugehörige Eingabegerät liefert der CPU immer "0", wenn am Eingang keine Spannung ansteht. Erstellen Sie eine Skizze, aus der erkennbar ist, welchen Kontakt Sie benutzen (Schließer oder Öffner) und bei welchem Signal vom Eingabegerät ("1" oder "0") die Steuerung abschalten müsste.



2d) Wie könnte man die Abschaltung zwar nicht sicherheitsgerichtet aber relativ sicher und verfügbar ausführen? -> 2 x Schließer über ODER (oder andere sinnvolle Lösung)

3. Fehlertolerante Systeme (Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit / Sicherheit) /12

a) Eine einkanalige Maschinensteuerung besitzt Diagnosefunktionen und ist so ausgelegt, dass bei Auftreten eines Fehlers die Maschine abgeschaltet wird.

- | | | |
|---|--|---|
| a1) Auslegungsziel: | -> <i>Sicherheit</i> | 2 |
| a2) Fehlertoleranz: | -> <i>integer</i> | 2 |
| a3) Klassifizierung / Bezeichnung nach IEC 61508: | -> (<i>Prüfredundanz</i>) <i>1oo1D</i> | 2 |

b) Ein elektro - hydraulisch verstelltes Ventil darf auch bei einem Fehler in Messung oder Verarbeitung keine falsche Stellung einnehmen. Das Analog - Ausgabegerät speichert den zuletzt von der CPU empfangenen Wert der Stellgröße für eine parametrierbare Zeit.

- | | | |
|--|---|---|
| b1) Welche preisgünstigste Ausführung eines "Fehler - toleranten" Leitsystems kommt infrage? | -> <i>Verdoppelung, Vergleich und Diagnose, 1oo2D</i> | 4 |
| b2) Wie verhält sich dieses System (integer - stetig)? -> (<i>zunächst</i>) <i>integer und (dann) stetig</i> | | 2 |

4. EMV /16

a) Welche beiden Beeinflussungen beschreibt "EMV" (besonders bei schnell arbeitender Elektronik)?

- | | | |
|--|--|----|
| Beeinflussung (wer - wen): | Beispiel: | |
| -> <i>Beeinflussung durch andere Einrichtungen</i> | -> <i>Schaltanlage beeinflusst Elektronik</i> | 2 |
| -> <i>Beeinflussung anderer Einrichtungen</i> | -> <i>Elektron.Gerät stört andere Elektronikgeräte</i> | 2 |
| | (<i>„kapazitiv / induktiv“</i> : | 1) |

b) In einer kleinen Anlage stehen Elektronik und Niederspannungsschütze (zum Schalten der Motoren) im gleichen Raum. Ein Stellantrieb ist im "Feld", ca. 60 m Kabelweg, seine Kabel (400V und Steuer-Kabel) haben also denselben Weg. Was ist bei der Verlegung des Steuerkabels zu beachten?

- | | |
|--|---|
| -> <i>Abstand > 25 cm,</i> | 1 |
| -> <i>verdrilltes und</i> | 1 |
| -> <i>abgeschirmtes Kabel benutzen,</i> | 1 |
| -> <i>Erdung des Schirms in Elektronik</i> | 1 |

c) Ein vorhandenes Regelventil wird durch einen Drehstrom - Motor verstellt, dieser wird durch zwei Schütze geschaltet. Spulen: 230 V AC, Halteleistung 12 VA, L ca. 10 H). Die Schütze werden direkt aus einer SPS angesteuert, der Ausgangskreis ist bis 60 V sicher gegen Zerstörung. Ein Schütz kann bis zu 4 mal /s geschaltet werden. Es soll direkt an der Spule eine Störunterdrückung erfolgen.

c1) Welches Bauelement würden Sie empfehlen? -> *Varistor / SHCV* 2

c2) Welche Leistung muss das Entstör - Bauelement aufnehmen können? (Leistungsberechnung reicht aus)

$$\text{Störenergie pro Abschaltung: } W = \frac{1}{2} Li^2 = 0,5 \cdot 10 \cdot \left(\frac{12}{230} \right)^2 = 0,0136 \text{ J} \quad (2)$$

$$\text{-> aufzunehmende Leistung: } P = \frac{W}{T} = \frac{0,0136}{0,25} = 0,054 \text{ W} \quad (2) \quad 4$$

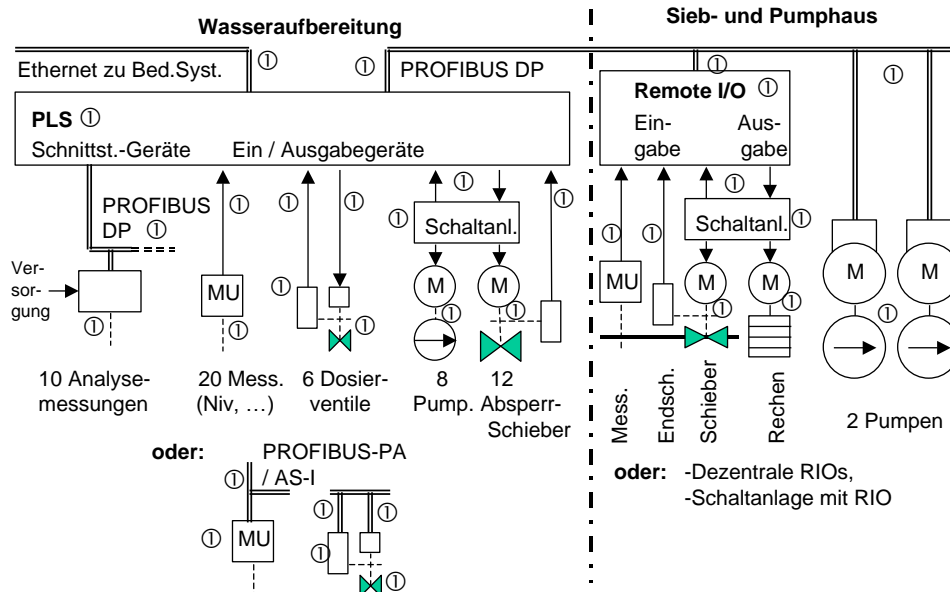
c3) Mit welcher Gerätetechnik könnte man das Regelventil besser steuern? -> *Halbleiter-Schalter* 2

5. Engineering /11

Ein Hersteller – unabhängiges Planungsbüro steht vor der Planung der Automatisierung mehrerer sehr ähnlicher Fertigungsstraßen mit SPS. Fabrikate der SPS und der Sensoren / Aktoren kann das Büro auswählen. Die verwendeten Maschinen mit teilweise integrierten Einzelsteuerungen kommen von verschiedenen Lieferanten. Im Planungsbüro gibt es Erfahrungen mit SPS kleiner Hersteller. Worauf sollte für eine möglichst wirtschaftliche Abwicklung der Planung geachtet werden:

- | | |
|---|---|
| a) Bei der Auswahl des SPS – Produkts: <i>kompatibel</i> mit SPS – Norm IEC EN DIN 61131 / <i>bekanntes Syst.</i> | 3 |
| b) Bei der Auswahl von Sensoren / Aktoren mit Feldbus – Schnittstelle: <i>GSD, EDD</i> bzw. <i>FDT</i> vorhanden | 3 |
| c) Bei der Durchführung der Planung: | |
| - <i>Gliederung in wiederholbare Teilfunktionen (Objekt – orientiert)</i> | 3 |
| - <i>Prüfung, ob gleiche / ähnliche Teilfunktionen bereits realisiert wurden,</i> | 2 |

1. Systemkommunikation



2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit

/8

Endschalter fiel im vergangenen Jahr durch Beschädigung 12 mal aus, die Reparatur dauerte jeweils insgesamt 4 Stunden (während der geplanten Betriebszeit von 16 Std./Tag, 20 Tage/Monat)

a) wie hoch war die Verfügbarkeit? ->
$$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{16 \cdot 20}{16 \cdot 20 + 4} = \frac{320}{324} = 0,9877$$
 3

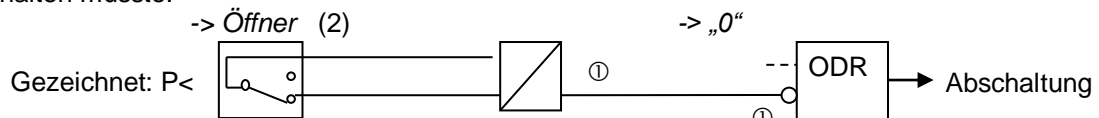
b) Für eine bessere Lösung (optische Lageerkennung) wird ein λ von $2 \cdot 10^{-4}$ garantiert, die Umstellung würde ca. 5 000 € kosten, Reparaturzeit und -Kosten würden sich nicht ändern. in welcher (ungefähren) Zeit würde sich die Umstellung amortisieren?

neue MTBF: $\frac{1}{\lambda} = 0,5 \cdot 10^4 = 5000$ h, neue Verfügbarkeit: $\frac{5000}{5000 + 4} = 0,999..$ 2

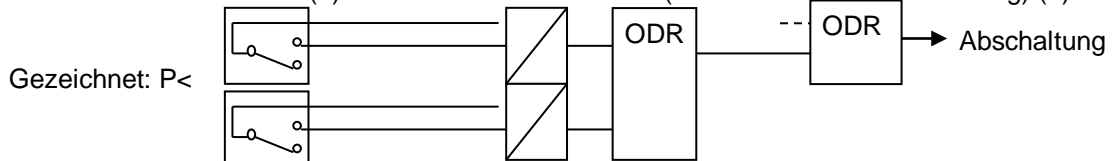
Amortisation nach $\frac{5000\epsilon}{500\epsilon} = 10$ Reparaturen der alten Lösung, = ca. $10 \cdot 320$ h = ca. 10 Monaten. 3
(<1Jahr: 1) /13

3. Sicherheit

a) Eine Heizanlage soll bei Überdruck "sicherheitsgerichtet" abgeschaltet werden. Für die Druckmessung steht ein Druckwächter mit einem Wechselkontakt zur Verfügung (als Schließer oder Öffner verwendbar). Das zugehörige Eingabegerät liefert der CPU immer "0", wenn am Eingang keine Spannung ansteht. Erstellen Sie eine Skizze, aus der erkennbar ist, welchen Kontakt Sie benutzen (Schließer oder Öffner), wie dieser bei zu hohem Druck steht und bei welchem Signal vom Eingabegerät ("1" oder "0") die Steuerung abschalten müsste.



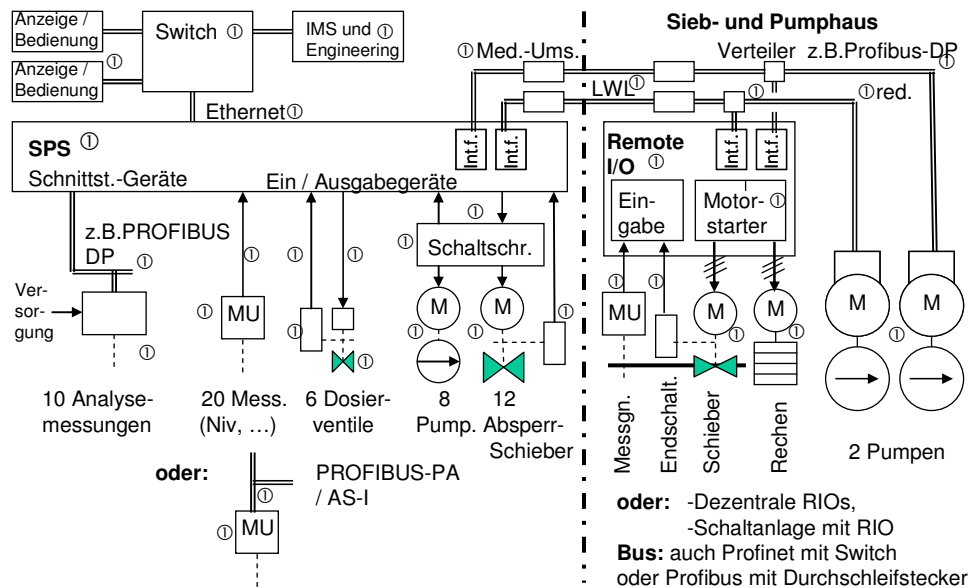
b) Wie könnte man die Abschaltung zwar nicht sicherheitsgerichtet aber relativ sicher und verfügbar ausführen? -> 2 x Schließer (2) über ODER (oder andere sinnvolle Lösung) (2) 4



c) Die gesamte Abschaltung soll SIL2 erreichen, sie ist für „kontinuierliche Anforderung“ auszulegen. Für Verarbeitung und Befehlsausgabe wurde eine Ausfallwahrscheinlichkeit von 6×10^{-7} /h ermittelt. Welche Ausfallwahrscheinlichkeit darf die Kombination aus Druckwächter und Eingabegerät haben ...

- c1) SIL2 bedeutet bei „kontinuierlicher Anforderung“: $PFH = 10^{-6}$ /h, 2
so bleibt für Druckwächter und Eingabegerät: $PFH = 4 \times 10^{-7}$ /h, 2
c2) keine Verminderung durch „Architectureinschränkungen“ 1

1. Systemkommunikation



2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit

/15

An einer Tiefzieh- Presse für komplizierte Stahlblechteile verhindert eine Lichtschranke, dass der Bediener während des Pressvorgangs in den Pressbereich hineingreift. Bei Unterbrechung wird die Maschine gestoppt.

- a) Der Lichtstrahl wird mehrfach durch Spiegel umgelenkt, die verschmutzt oder zerstört werden können. Dadurch fiel die Presse in den vergangenen 6 Monaten dreimal innerhalb ihrer geplanten Betriebszeit von 8 Std. / Tag (und 20 Tagen / Monat) aus und konnte erst nach jeweils 2 Stunden wieder in Betrieb gehen. Berechnen Sie Verfügbarkeit und Ausfallrate.

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 8}{2 \cdot 20 \cdot 8 + 2} = 0,9937 \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{2 \cdot 20 \cdot 8} = 0,00312 \text{ h}^{-1} \quad (4)$$

- b) Ein Versuch ergab, dass eine Lichtschranke ohne Spiegel nur einmal in zwei Jahren fälschlicherweise abschaltet. Statt der Umlenkung durch Spiegel könnten 4 Lichtschranken parallel angeordnet werden. Berechnen Sie auch für diesen Fall Verfügbarkeit und Ausfallrate. Die Reparaturzeit sei gleich.

Eine Schranke: $\lambda = \frac{1}{24 \cdot 20 \cdot 8} = 0,00026 \text{ h}^{-1} \quad (2)$

Vier Schranken, müssen parallel auslösen,

also für λ „in Reihe!“ $\lambda_{\text{gesamt}} = \sum \lambda_i = 4 \cdot 0,00026 = 0,001 \text{ h}^{-1} \quad MTBF = \frac{1}{0,001} = 10^3 \quad (1)$

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1000}{1000 + 2} = 0,998 \quad (2)$$

- c) Reparatur und Produktionsausfall kosten jeweils rund 1000 €, eine Umstellung auf die Lösung nach b) koste 4000 €. Berechnen Sie (grob), in welcher Zeit sich die Umstellung amortisieren würde.

Alte Lösung: alle 320 Betriebsstunden 1000 €,
also alle 960 Betriebsstunden 3000 €,

neue Lösung: alle 1000 Betriebsstunden 1000 €
d.h.: nach ca. 1000 Betriebsstunden 2000 € gespart,
Amortisation nach ca. 2000 Betriebsstunden
= 2000/8 = 250 Tage = 12,5 Monate ~ 1 Jahr (3)

3. Sicherheit

/13

Angenommen, die Lichtschranke für eine Presse (ursprüngliche, in Aufgabenstellung 2 beschriebene Lösung) könnte nach $333 \cdot 10^6$ Betriebsstunden so versagen, dass die Presse auch bei Lichtstrahlunterbrechung nicht abgeschaltet würde. Die anschließende Verarbeitung und Prozesseinwirkung habe eine Ausfallrate von $6,5 \cdot 10^{-8}$ und einen Anteil an der gesamten Ausfallwahrscheinlichkeit von 65 %.

- a) Berechnen Sie die Ausfallrate der ganzen Abschaltfunktion (Lichtschranke + Verarbeitg. und Prozesseingriff)

$$\text{Lichtschranke: MTBF} = 3,33 \cdot 10^8 \text{ h, } \lambda_1 = \frac{1}{\text{MTBF}} = 3 \cdot 10^{-8}, \text{ Verarbeitg. + Prozesseingriff: } \lambda_2 = 6,5 \cdot 10^{-8} \quad (3)$$

$$\text{Gesamt- Ausfallwahrscheinlichkeit: } \lambda_1 + \lambda_2 = 9,5 \cdot 10^{-8} \text{ d.h. } < 10^{-7} \quad (2)$$

- b) Geben Sie den „Safety Integrity Level“ an, den die gesamte Abschaltfunktion gemäß der errechneten Ausfallwahrscheinlichkeit erreicht. Sie muss dauernd abschaltbereit sein.

Eine PFH von 10^{-7} bedeutet SIL3 (2)

- c) Prüfen Sie, welche SIL – Einstufung unter Berücksichtigung sonstige Einschränkungen erlaubt ist, wenn 1 Kanal verwendet wird (N=0), der Anteil ungefährlicher Ausfälle bei 80% liegt, das Ausfallverhalten gut definiert und vollständig ermittelbar ist sowie jährlich gewartet wird.

Ein SFF von 80% erlaubt bei N = 0 nur SIL2 (2)

- d) Die beschriebene Abschaltfunktion der Presse ist einkanalig ausgeführt, besitze aber Diagnosefunktionen (Funktionsüberwachungen), die bei Feststellung eines Fehlers ebenfalls abschalten. Geben Sie an, wie diese Einrichtung im Sinne von „Fehlertoleranz“ einzustufen ist:

- | | | |
|---|---|---|
| d1) Auslegungsziel: | -> <i>Sicherheit</i> | 2 |
| d2) Fehlertoleranz: | -> <i>integer</i> | 2 |
| d3) Klassifizierung / Bezeichnung nach IEC 61508: | -> <i>Prüfredundanz 1oo1D</i>
oder „einkanalig mit Diagnose“ | 2 |

4. EMV

/13

- a) Ein vorhandenes Ventil wird als Stellglied einer Regelung verwendet. Es wird durch einen Drehstrom- Motor verstellt, der durch die zwei vorhandenen Schütze einer Wendeschützschialtung geschaltet wird.
 Spulen: 230 V AC, Halteleistung 12 VA, L ca. 10 H). Die Schütze werden direkt aus einer SPS angesteuert, die entsprechende Ausgabegeräte besitzt. Ein Schütz kann bis zu 4 mal /s geschaltet werden. Es soll direkt an den Spulen eine Störunterdrückung erfolgen, die bisher fehlte.

- a1) Welches Bauelement würden Sie empfehlen? -> *Varistor / SHCV* 2

- a2) Welche Leistung muss das Entstör - Bauelement aufnehmen? (Leistungs - Berechnung reicht), und für welche Betriebsspannung muss es ausgelegt sein?

$$\text{Störenergie pro Abschaltung: } W = \frac{1}{2} Li^2 = 0,5 \cdot 10 \cdot \left(\frac{12}{230} \right)^2 = 0,0136 \text{ J} \quad (2)$$

(mit Effektivwert des Stromes gerechnet)

$$\text{-> aufzunehmende Leistung: } P = \frac{W}{T} = \frac{0,0136}{0,25} = 0,054 \text{ W} \quad (2)$$

$$\text{-> Betriebsspannung: } U_{\max} = 325 \text{ V} \quad (1)$$

- a3) Welche Gerätetechnik (anstelle der Schütze) wäre aus EMV – Sicht besser geeignet? Warum?

-> *Halbleiter-Schalter* (1), -> „*sanfteres*“ *Schalten* (*interne Dämpfung des di/dt*) (1) 2

- b) Die Endstellungen AUF / ZU (Aufg. 4a) sollen über Initiatoren gemeldet werden. Das Ventil ist ca. 80 m Kabelweg von der SPS entfernt. Die Schütze (Aufg. 4a) sind im gleichen Raum wie die SPS, Leistungskabel zum Ventil und Endstellungskabel vom Ventil zur SPS haben also den gleichen Weg. Was ist für Auswahl und Verlegung des Endstellungs- Kabels zu beachten?

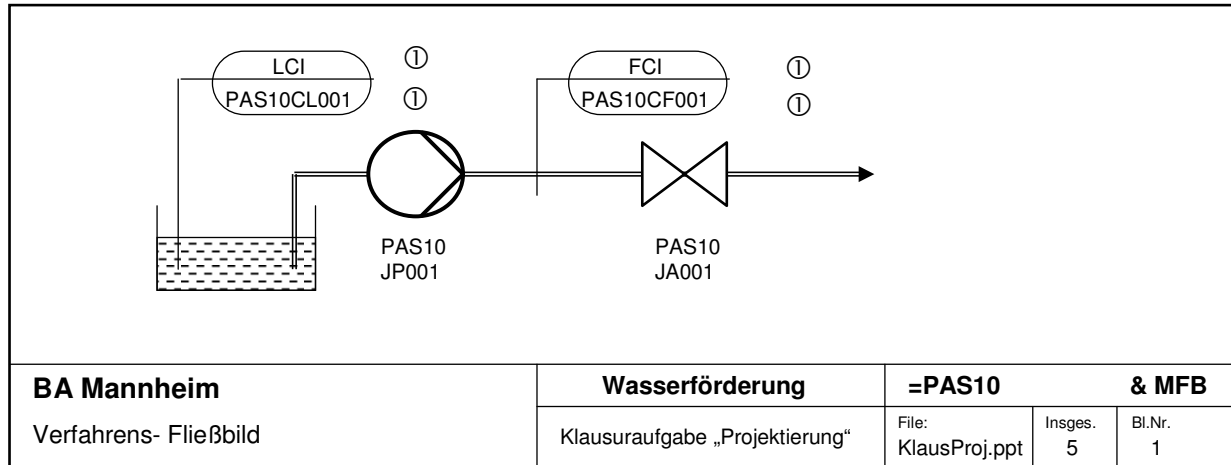
-> *Abstand > 25 cm*, 1

-> *verdrilltes und abgeschirmtes Kabel benutzen*, 2

-> *Erdung des Schirms in der Elektronik* 2

5. Engineering

a) Messungen im Anlagenfließbild, darunter: b) PLT_ Stellenliste



Kennzeichen	Bezeichnung	Sensor - Art		phys. Messbereich		el. Signal		Anschl. Plan
		Signal	Zustand	Grenzw.	Hyster.	Alarm-Prio	Bemerkung	
PAS10CL001 ①	L Wassertank			0..1 m		4..20 mA		
		H02	>TIEF					
		H51	<MIN					
PAS10CF001 ①	F Wasserpumpe			0..10 m³/s		4..20 mA		
		H02	>TIEF					

BA Mannheim	Wasserförderung	=PAS10	& EEC	
PLT - Stellenliste: Messungen	Klausuraufgabe „Projektierung“	File: KlausProj.ppt	Insges. 5	Bl.Nr. 2

d) Ablaufsteuerung

Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand		E	Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand
Taste EIN		TE	PBE	HQA00EA200	E01
		ABLS			
Taste AUS		TA		E HQA00EA200	
				Schritt 1	
Taste STOPP		STOPP			
		0 - AE	BE		E11
		0 - AA	PBA	HQA00EA200	E02
		1 - FE		E HQA00EA200	
		① 1 - FA		Schritt 51	
		① 4 - LSE	BA		E12
PAS10JP001	Q01	UND			
Wasserpumpe	EIN	①			
PAS10JA001	Q01				
Absp Schieber	OFFEN				
PAS10JP001	Q02	①			
Wasserpumpe	AUS				
					①
Änderung:	BA Mannheim	Inhalt:	= PAS10EA	& EFF /1	
	Klausuraufgabe Projektierung	Wasserförderung	File: KlausProj.ppt	insges. 5	Blatt Nr.: 3
	Dat.: gez.:	Abl Steuerg			

[illegible]

5c) Antriebssteuerung

Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand		E	Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand		
Taste EIN		<div>TE</div> <div>BE</div> <div>ANST</div> <div>TA</div> <div>AE</div> <div>BA</div> <div>AA</div> <div>FE</div> <div>FA</div> <div>SA</div> <div>RM EIN</div> <div>RM AUS</div>		PAS10JP001	E01		
					①		
Taste AUS							
PAS10EA100	EA02				PAS10JP001	E02	
PAS10CL001	S02		<div>UND</div> <div>①</div>				
L Wassertank	>TIEF						
PAS10JA001	Q02						
Absp Schieber	ZU						
		① 1					
PAS10CL001	H51	<div>①</div> <div>10s</div> <div>UND</div> <div>①</div> <div>TON</div> <div>E</div> <div>A</div> <div>TD</div> <div>①</div> <div>ODR</div> <div>①</div>					
L Wassertank	<MIN						
PAS10JP001	Q01						
Wasserpumpe	EIN						
PAS10CF001	H02						
F Wasserpumpe	>TIEF						
PAS10JP001	Q01						
Wasserpumpe	EIN						
PAS10JP001	Q02						
Wasserpumpe	AUS	①					
					①		
Änderung:	BA Mannheim Klausuraufg. Projektierung Dat.: gez.:	Inhalt: Wasserpumpe	= PAS10JP001 & EFF File: KlausProj.ppt insges. 5 Blatt Nr.: 5				

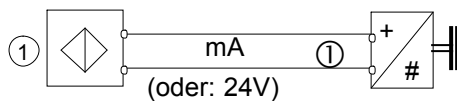
Lösungen:

1. Messwertaufbereitung, Signalausgabe und Leitanlagenaufbau 30 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten

a) Anschlusspläne Sensoren

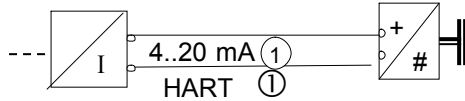
a1) **Stellungsendschalter mit Leitungsüberwachung**, zuverlässig, minimaler Verkabelungsaufwand:

14



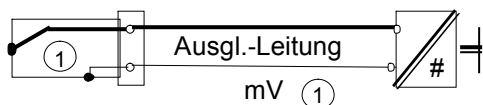
- + Eingangskreisüberwachung: Drahtbruch u. Erdschluss ①
- + Hohe Zuverlässigkeit durch kontaktlosen Schalter ①

a2) **Standard-Analogeingabe** mit Messumformer ohne Fremdspeisung, Parametrierung / Diagnose soll ohne zusätzliche Verbindungen durch Leitsystem möglich sein.



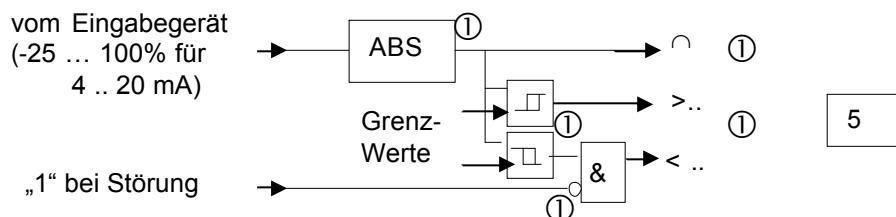
- + Eingangskreisüberwachung: Drahtbruch u. Erdschluss ①
- + keine Abhängigkeit vom Leitungswiderstand ①
- + HART für Parametrierung / Diagnose ①
- alternativ: „keine Fremdspeisung nötig“ (①)

a3) **in Lager eingeschweißtes Thermoelement** ohne Messumformer im Kopf. Worauf ist bei der Verkabelung zu achten? Welche Funktionalitäten sollte das Eingabegerät enthalten?



- + Ausgleichsleitung bis zum Eingabegerät ①
- + Vergleichsstellen- Temperaturkompensation und u. Linearisierung im Eingabegerät ①
- + Potenzialtrennung im Eingabegerät ①

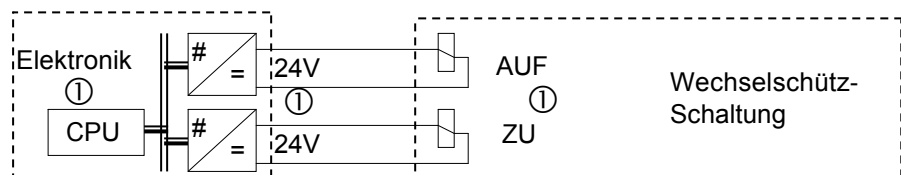
b) **Messwertaufbereitung in der CPU:** Bei Analogeingaben sollen in der CPU stets je ein > und < -Grenzsignal gebildet werden. Bei Eingangskreisstörung (als Bit verfügbar) soll das < -Signal nicht „1“ haben und das Analogsignal (in digitaler Darstellung) nicht unter 0% gehen. Stellen Sie die dazu in der CPU nötigen Funktionen in Funktionsbausteinsprache dar.



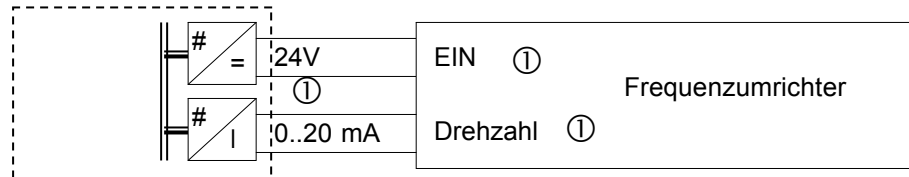
c) Anschlusspläne Signalausgabe

c1) Wechselschütze

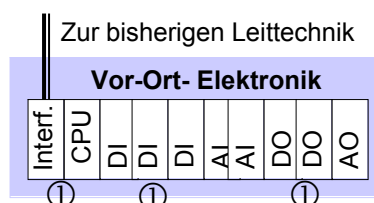
6



c2) Frequenzumrichter



d) Anordnungsskizze / Kanal- Liste



Ventil vor Ppe Endst AUF	DI
Ventil vor Ppe Endst ZU	DI
Ventil hi Ppe Endst AUF	DI
Ventil hi Ppe Endst ZU	DI
Ppe Rückm. EIN	DI
Druck hi Ppe	AI
Durchfluss	AI
Lagertemperatur	AI (ThEI.)
Ventil vor Ppe Bef. AUF	DO
Ventil vor Ppe Bef. ZU	DO
Ventil hi Ppe Bef. AUF	DO
Ventil hi Ppe Bef. ZU	DO
Pumpe Bef. EIN	DO
Pumpendrehzahl	AO

5

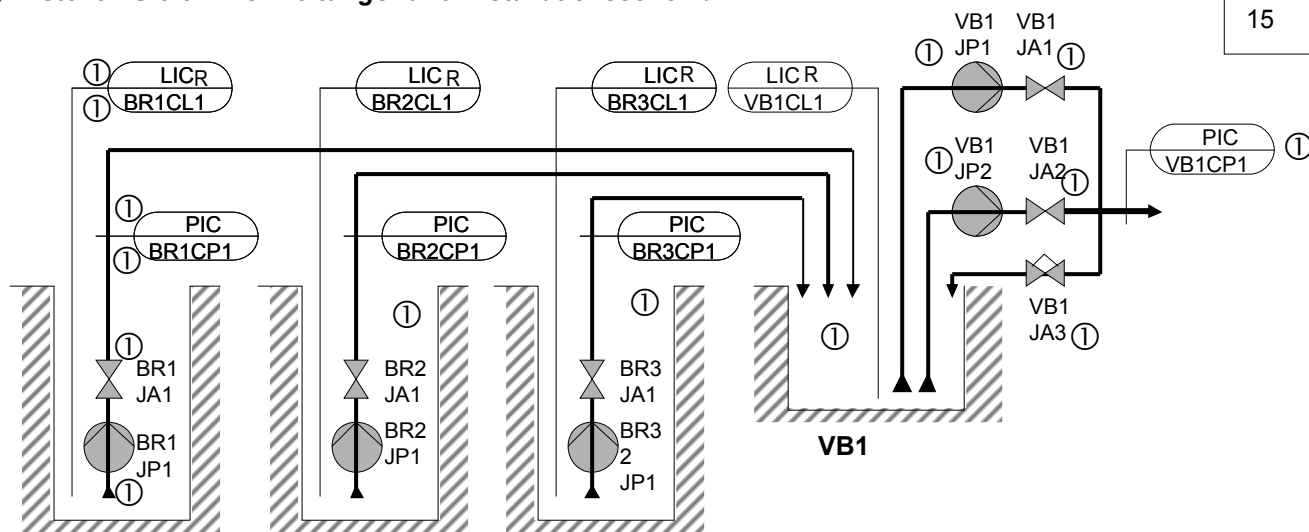
①

①

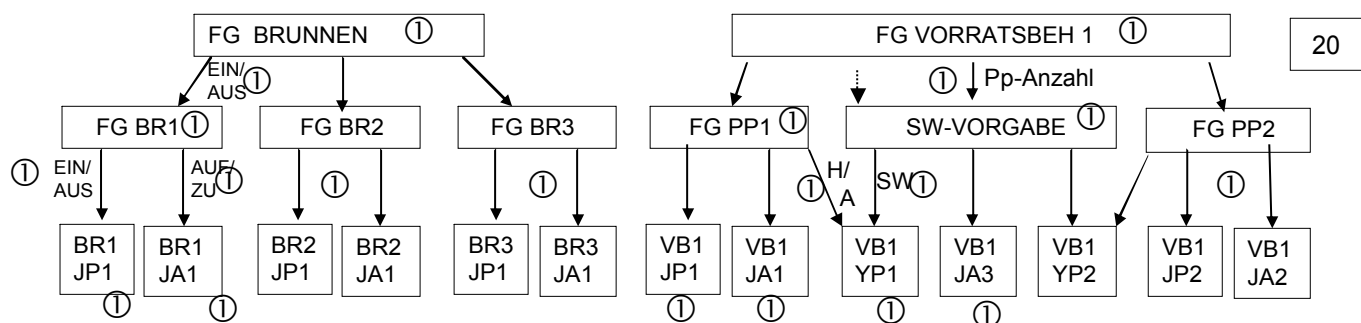
2. Steuerung, Regelung

42 Punkte, Vorgabe: 35 Minuten

a) Erstellen Sie ein Rohrleitungs- und Installationsschema



b) Erstellen Sie ein Blockschaltbild der Steuerung und Regelung für eine hierarchisch fein gegliederte Struktur: nur mit „Kästchen“ (ohne eingezeichnete Logik) mit eingetragenen Aggregate- Kennzeichen sowie Pfeilen für Befehle / Sollwerte. Schreiben Sie (exemplarisch) an die Pfeile, was sie meinen (z.B. „EIN/AUS“).



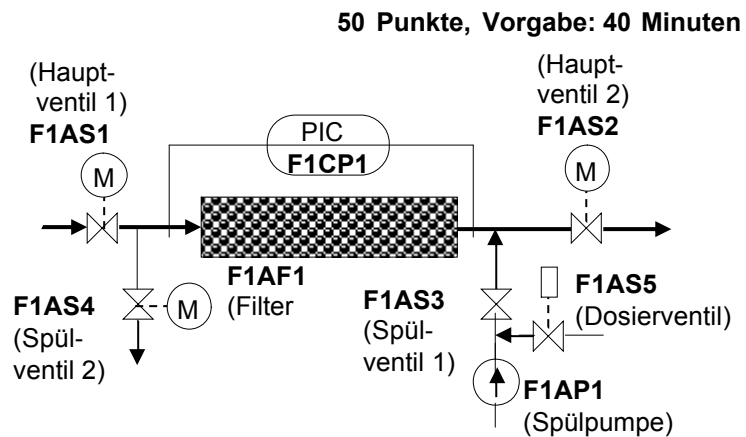
2c) Erstellen Sie eine tabellarische Steuerungs- und Regelungsstruktur (wie Windows-Explorer), „Kennzeichen“ ausreichend. Geben Sie in einer zusätzlichen Spalte die jeweilige Art der Steuerung an.

FG BRUNNEN	Verknüpfungssteuerung ①
FG BR1	Ablaufsteuerung ①
BR1JP1	Antriebssteuerung ①
BR1JA1	Antriebssteuerung
FG BR2	Ablaufsteuerung
BR2JP1	Antriebssteuerung
BR2JA2	Antriebssteuerung
FG BR3	Ablaufsteuerung
BR3JP1	Antriebssteuerung
BR3JA2	Antriebssteuerung
FG VORRATSBEHÄLTER	Verknüpfungssteuerung ①
FG PP1	Ablaufsteuerung ①
VB1JP1	Antriebssteuerung
VB1JA1	Antriebssteuerung
FG PP2	Ablaufsteuerung
VB1JP2	Antriebssteuerung
VB1JA2	Antriebssteuerung
SW-VORGABE ①	(Analogschaltung)
VB1YP1	(Einzelgrößenregler)
VB1YP2 ①	(Einzelgrößenregler)
VB1JA3	(Einzelgrößenregler)

7

3. Programmiersprachen

Für eine Industrieanlage wird Kühlwasser benötigt, das aus einem Fluss entnommen wird und gefiltert werden muss. Wenn der Differenzdruck (F1CP1) über dem Filter (F1AF1) größer als „HOCH“ wird muss das Filter durch Spülwasser gereinigt werden, das für 10 Minuten in entgegengesetzter Richtung von der Spülpumpe (F1AP1) durch das Filter gepresst wird. Vor Einschalten der Spülpumpe müssen zunächst die Hauptventile geschlossen und dann die Spülventile geöffnet werden. Außerdem soll dann auch das Dosierventil F1AS5 geöffnet werden, über das ein Spülmittel hinzugefügt wird. ...



- a) **Erstellen Sie eine textliche Variablendeklaration** gemäß DIN 61131 auf der linken Seite einer A4-Seite mit Variablennamen und Klartext- Erläuterung als Kommentar für Filter 1 (F1). Leiten Sie die Signalnamen von den Anlagenkennzeichen ab, z.B. „F1AP1_BE“ für „BefehlSpülpumpe EIN“. Verwenden Sie nur solche Signale, die in der obigen Beschreibung genannt sind. Das Grenzsinal „>HOCH“ soll im übergeordneten Programm der SPS aus der analogen Druckmessung gebildet werden.
- b) **Erstellen sie ein Programm zum automatischen Spülen des Filters 1 (F1)** in der „Ablaufsprache“ der DIN 61131 rechts neben der Deklaration. Eventuelle Verknüpfungen für die Weiterschaltbedingungen können Sie in "Strukturiertem Text" angeben. Der Funktionsbaustein „Action Control“ sei in der SPS integriert.

a) PROGRAM SPUELEN ①

```

VAR_INPUT ①
    SPUELFRG1: BOOL; (*Spuefreigabe*)
    F1CP1_HOCH: BOOL (*Diff.Druck > HOCH*)
    F1AS1_RO: BOOL;  (*Hauptventil 1 OFFEN*)
    F1AS1_RZ: BOOL;  (*Hauptventil 1 ZU*)
    F1AS2_RO: BOOL;  (*Hauptventil 2 OFFEN*)
    F1AS2_RZ: BOOL;  (*Hauptventil 2 ZU*)
    F1AS3_RO: BOOL;  (*Spülventil1 OFFEN*)
    F1AS3_RZ: BOOL;  (*Spülventil1 ZU*)
    F1AS4_RO: BOOL;  (*Spülventil 2 OFFEN*)
    F1AS4_RZ: BOOL;  (*Spülventil 2 ZU*)
    F1AP1_RE: BOOL;  (*Spülpumpe EIN*)
END_VAR ①

```

```

VAR_OUTPUT ①
    F1AS1_BO: BOOL;  (*Hauptventil 1 Bef. AUF*)
    F1AS1_BZ: BOOL;  (*Hauptventil 1 Bef. ZU*)
    F1AS2_BO: BOOL;  (*Hauptventil 2 Bef. AUF*)
    F1AS2_BZ: BOOL;  (*Hauptventil 2 Bef. ZU*)
    F1AS3_BO: BOOL;  (*Spuelventil 1 Bef. AUF*)
    F1AS3_BZ: BOOL;  (*Spuelventil 1 Bef. ZU*)
    F1AS4_BO: BOOL;  (*Spuelventil 2 Bef. AUF*)
    F1AS4_BZ: BOOL;  (*Spuelventil 2 Bef. ZU*)
    F1AP1_BE: BOOL;  (*Spuelpumpe Bef. EIN*)
    F1AS5_BO: BOOL;  (*Dosierventil Bef. AUF*)
END_VAR

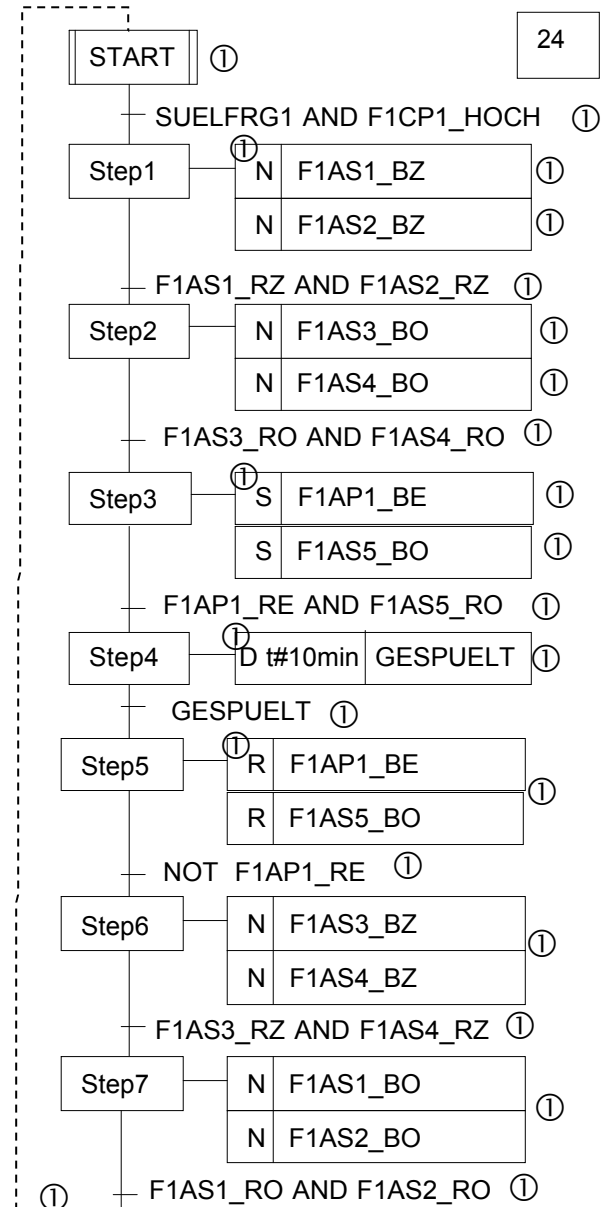
```

```

VAR
    GESPUELT: BOOL;  (*Spuelzeit zu Ende*)
END_VAR

```

b)

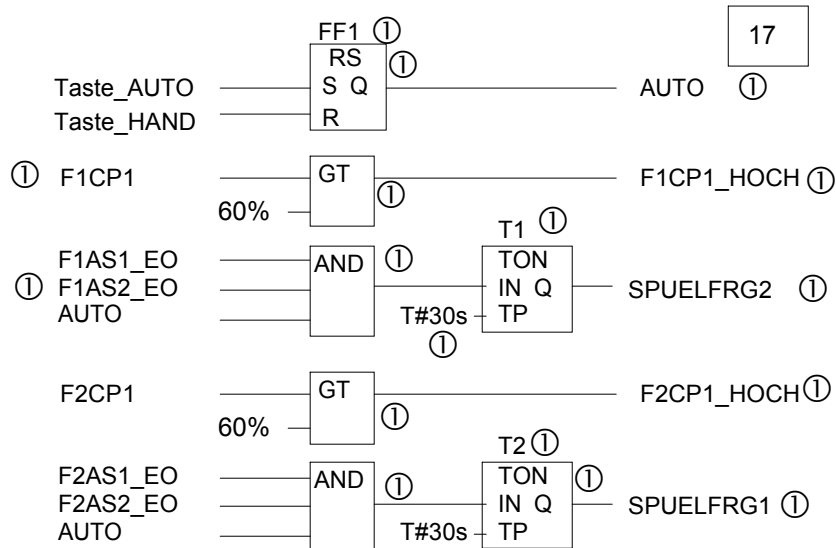


3c) skizzieren Sie in „Funktionsbausteinsprache“ der IEC 61131 das übergeordnete Programm der SPS:

```

PROGRAM SPUELFREIGABE
VAR_INPUT
  TASTE_AUTO: BOOL;
  TASTE_HAND: BOOL;
  F1CP1: REAL;
  F1AS1_RO: BOOL;
  F1AS2_RO: BOOL;
  F2CP2: REAL;
  F2AS1_RO: BOOL;
  F2AS2_RO: BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  F1CP1_HOCH: BOOL;
  SPUELFRG1: HOCH;
  F2CP1_HOCH: BOOL;
  SPUELFRG2: HOCH;
END_VAR
VAR
  AUTO: BOOL;
  FF1: RS;
  T1, T2: TON;
END_VAR

```



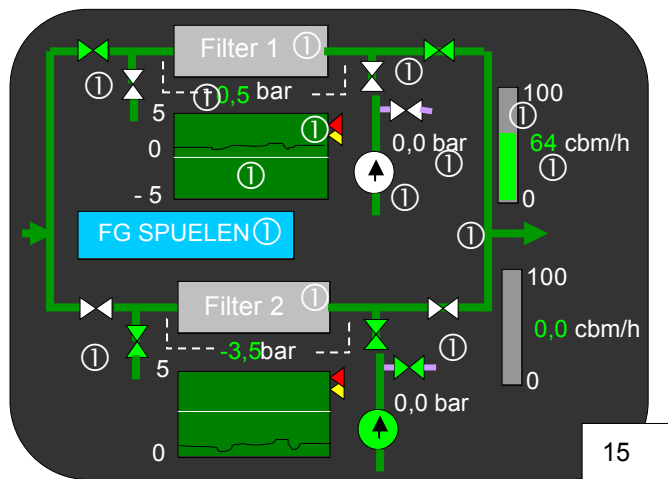
4. Mensch-Maschine-Kommunikation

28 Punkte, Vorgabe: 20 Minuten

Die Kühlwasserversorgung aus Aufgabe 3 soll – neben anderen Anlagenteilen – über einen PC bedient werden, ein zweiter PC soll für die Auswertung und Speicherung der Prozessdaten verwendet werden.

a) **Skizzieren Sie ein Prozessbild** (Fließbild), in dem die beiden Filter dargestellt sind. Beide entsprechen dem Bild des Filters 1 in Aufg. 3 und sind parallel geschaltet. Außer der Differenzdruckmessung (± 5 bar) soll es jeweils noch eine Durchflussmessung (für den Normalbetrieb, max. 100 cbm/h) und eine Druckmessung hinter Spülpumpe geben (max. 5 bar). Automatische Spülung erfolgt bei $\Delta P > 3$ bar, Alarm bei >4 bar.

Stellen Sie die Messungen geeignet dar um das Bedienpersonal optimal zu informieren. Die Bedienung soll über eine beschriftete Schaltfläche für eine den beiden Filtern übergeordnete „FG Spülen“ erfolgen.



b) **Erläutern Sie stichwortartig, warum** Sie für welche Messung welche **Darstellung** gewählt haben.

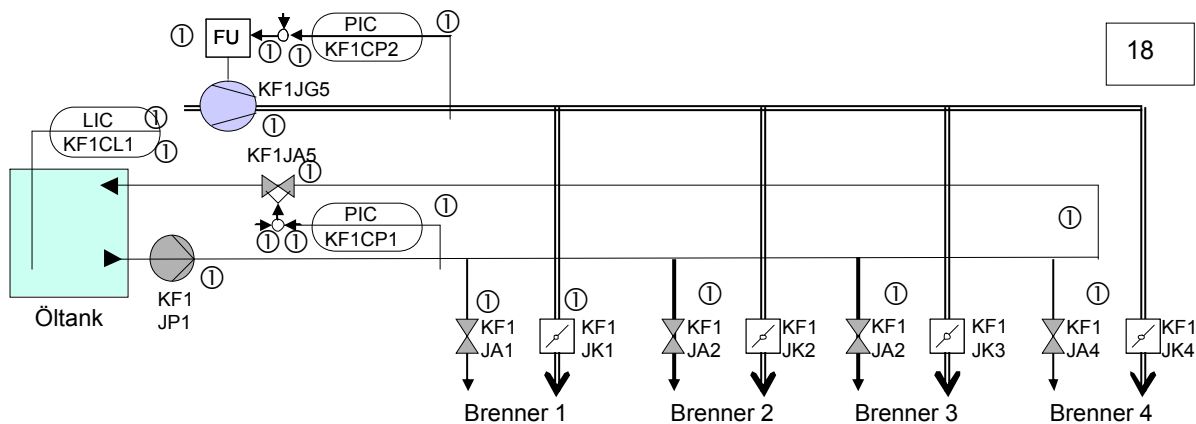
- Alle: Digitalanzeige
wegen *genauer Anzeige*, (1)
- Differenzdruck: Trend
Darstellung Prozessverlauf *über Zeit* (1)
zur *besseren Überwachung* (1)
mit *Grenzwertmarken* (1)
- Durchfluss: Balkendiagramm
schnellere Übersicht (1)

c) **Listen Sie auf**, welche **Signale** Sie in welche sinnvollen **Protokolle** der Datenauswertung aufnehmen würden: jeweils Protokollbezeichnung, übergebene Signale und Begründung.
 Fassen Sie gleichartige Signale zusammen, wie z.B. „Endstellungen“.

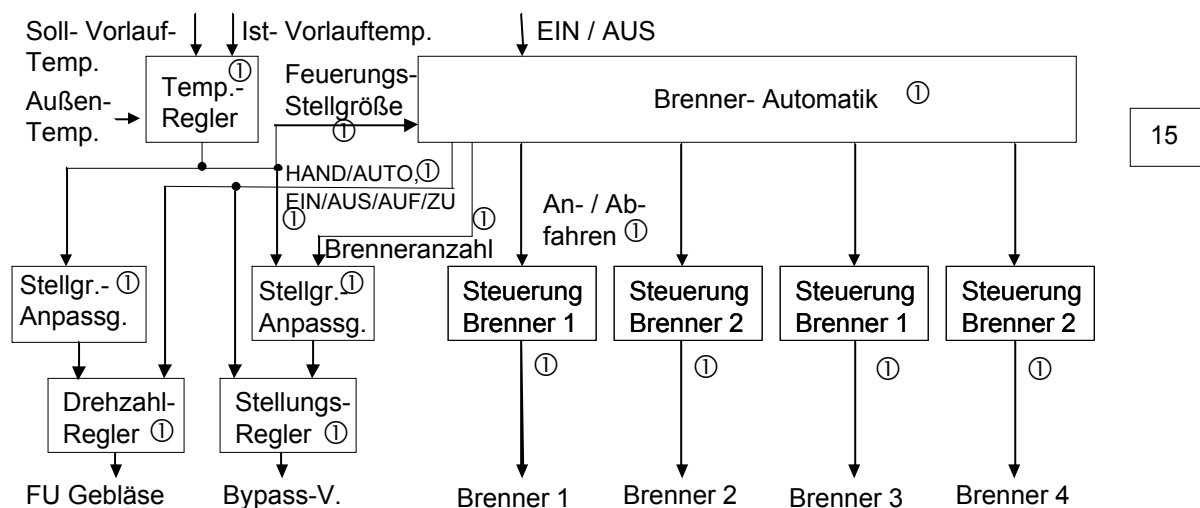
Meldefolgeprotokoll:	alle Zustandsmeldungen Alle Grenzwertüber- / Unterschreitungen	Störungsaufklärung „	(2) (1)
Betriebswertprotokoll:	Differenzdrücke, Durchflüsse	Betriebs- Beurteilung	(2)
Wartungsprotokoll:	„Pumpen EIN“ (Betriebsstunden) AUF / ZU- Befehle an Motorventile (Schaltspiele)	Wartungszeitpunkt „	(2) (1)

2. Steuerung / Regelung

- a) **Skizzieren Sie ein Rohrleitungs- und Installationsschema** (Anlagenbild) mit gekennzeichneten Aggregaten (Pumpe ..JP1, Gebläse ..JG1, Ventile ..JA1 .. 5, Klappen JK1 .. 4) sowie Messungen für Tankniveau, Öldruck und Luftdruck. Verwenden Sie als Systembezeichnung „KF1“ (Kessel- Feuerung 1). Erweitern Sie es zu einem Mess- und Regelschema.



- b) **Skizzieren Sie ein Blockschaltbild** für eine strukturierte Steuerung und Regelung, nur als „Kästchen“ ohne Einzelheiten, aber mit durch abgekürzten Text bezeichneten Verbindungen für Befehle und Wertvorgaben.



- 2c) **Erstellen Sie eine textliche Struktur:**

Brenner-Automatik 4 ①	Verknüpfungssteuerung ①
Steuerung Brenner 1	Ablaufsteuerung
Steuerung Brenner 2 ①	Ablaufsteuerung ①
Steuerung Brenner 3 ①	Ablaufsteuerung
Steuerung Brenner 4	Ablaufsteuerung
Temperaturregler ①	
Stellgrößenanpassung Drehzahl ①	
Drehzahlregler Gebläse	
Stellgrößenanpassung Stellung ①	
Stellungsregler Bypassventil	

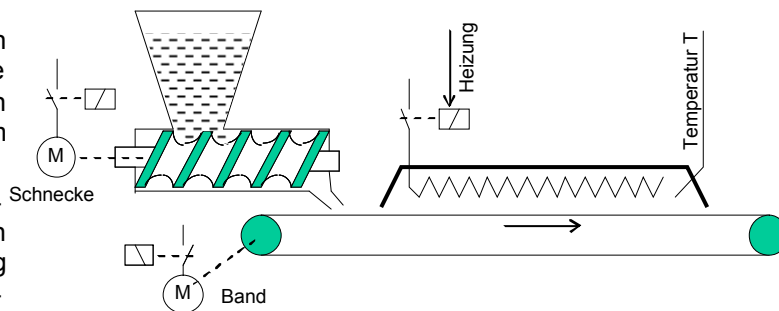
4. Engineering

Zur Herstellung von Kunststoffplatten wird Granulat mittels einer Schnecke durch einen speziellen Trichter auf ein Band gepresst und auf diesem zum Zusammenschmelzen erwärmt.

Die Heizung benötigt Zeit zum Aufwärmen auf 120°, bevor die Produktion begonnen werden kann. Messung durch Widerstandsthermometer mit eingebautem Messumformer mit Messbereich 0..200°C, entspricht in der CPU 0..100%.

Das Band muss laufen, bevor die Schnecke eingeschaltet werden darf. Beim Abstellen muss das Band 10 s länger laufen als die Schnecke.

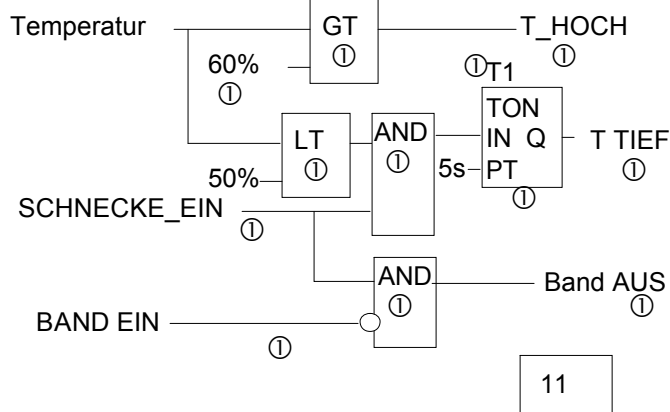
Schnecke und Band werden durch Elektro-Motoren angetrieben, die ebenso wie die Heizung mit Leistungsschützen ohne Selbsthaltung geschaltet werden. "EIN" wird jeweils durch Hilfskontakt gemeldet



- a) **Skizzieren Sie einen Funktionsbaustein „GRENZSIG“** in Funktionsbausteinsprache mit Symbolen der IEC 61131, in dem Sie sich aus der analogen Temperaturmessung ein Binärsignal für >120°C erzeugen sowie einen Alarm für den Fall, dass die Schnecke läuft und die Temperatur unter 100°C absinkt.
- b) **Erstellen Sie eine textliche Variablendeklaration** für eine Ablaufsteuerung zum An- und Abfahren der Maschine. Sie soll durch eine Taste „EIN“ gestartet und durch eine Taste „AUS“ abgestellt werden. Verwenden Sie nur solche Signale, die oben genannt sind.
- c) **Erstellen Sie das Programm** zum An- und Abfahren der Maschine **in der Ablaufsprache** der IEC 61131. Verwenden Sie nur solche Signale, die Sie in b) deklariert haben (bzw. die oben genannt sind).

a) Funktionsbaustein GRENZSIG

FUNCTION_BLOCK GRENZSIG



b) Deklaration

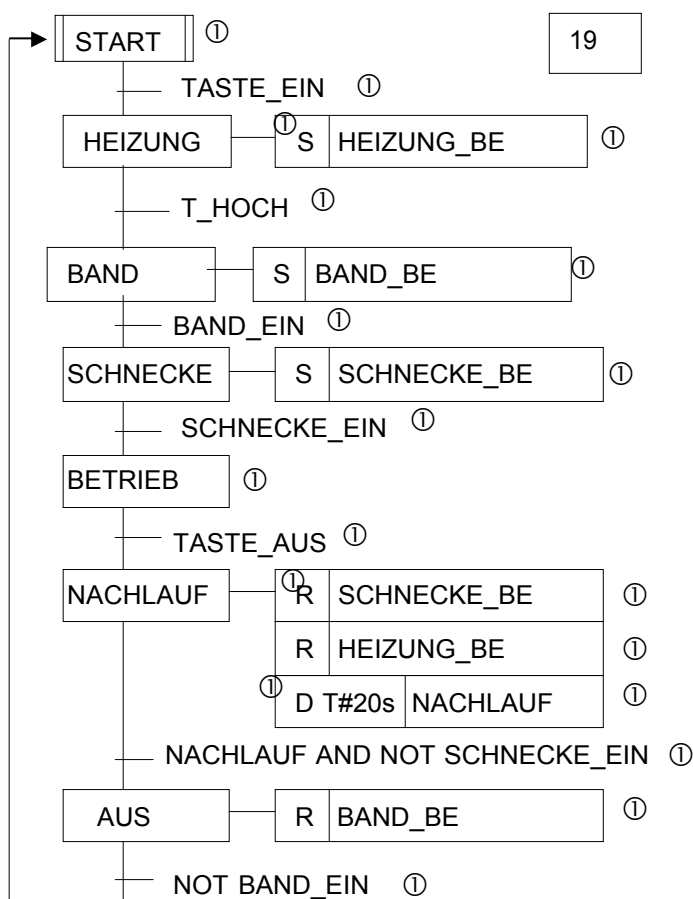
```

PROGRAM PLATTEN_PROD
VAR_INPUT
  TASTE_EIN: BOOL;
  TASTE_AUS: BOOL;
  SCHNECKE_EIN: BOOL; (*Rückm. Schnecke*)
  BAND_EIN: BOOL;      (*Rückm. Band*)
  HEIZ_EIN: BOOL;       (*Rückm. Heizung*)
  T_HOCH: BOOL;         (*Grenzsign. T > 120° *)
END_VAR

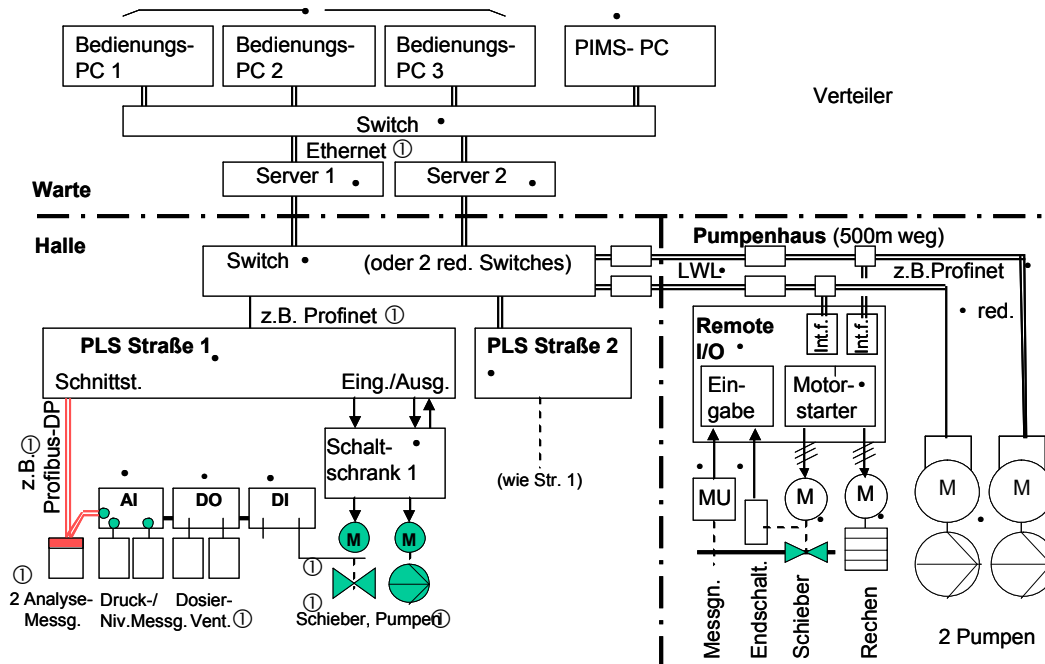
VAR_OUTPUT
  SCHNECKE_BE: BOOL; (*Befehl Schn. EIN*)
  BAND_BE: BOOL;     (*Befehl Band EIN*)
  HEIZUNG_BE: BOOL;  (*Befehl Heiz. EIN*)
END_VAR

VAR
  NACHLAUF: BOOL (*Band-Nachlaufzeit*)
END_VAR
  
```

c) Ablaufprogramm



1. Systemkommunikation



30

2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit

An einer Tiefzieh- Presse für komplizierte Stahlblechteile verhindert eine Lichtschranke, dass der Bediener während des Pressvorgangs in den Pressbereich hineingreift. Bei Unterbrechung wird die Maschine gestoppt.

- a) Der Lichtstrahl wird mehrfach durch Spiegel umgelenkt, die verschmutzt oder zerstört werden können. Dadurch fiel die Presse im vergangenen Jahr durchschnittlich einmal pro Monat aus, und zwar innerhalb ihrer geplanten Betriebszeit von 8 Std. / Tag (und 20 Tagen / Monat), und konnte erst nach jeweils 2 Stunden wieder in Betrieb gehen. **Berechnen Sie Verfügbarkeit und Ausfallrate:**

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{20 \cdot 8}{20 \cdot 8 + 2} = 0,987 \quad \text{②} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{20 \cdot 8} = 0,00625 \text{ /h}^{-1} \quad \text{②}$$

4

- b) Ein Versuch ergab, dass eine Lichtschranke ohne Spiegel nur einmal pro Jahr fälschlicherweise abschaltet. Statt der Umlenkung durch Spiegel könnten 4 Lichtschranken angeordnet werden, um den ganzen Gefahrenbereich zu überwachen. Berechnen Sie auch für diesen Fall Verfügbarkeit und Ausfallrate. Die Reparaturzeit sei gleich.

8

Eine Schranke: $\lambda = \frac{1}{12 \cdot 20 \cdot 8} = 0,00052 \text{ /h}^{-1} \quad (\text{MTBF} = 1920 \text{ /h}) \quad \text{②}$

Vier Schranken, können parallel auslösen, müssen also alle „OK“ melden ①

also für λ „in Reihe!“ $\lambda_{\text{gesamt}} = \sum \lambda_i = 4 \cdot 0,00052 = 0,00208 \text{ h}^{-1} \quad \text{①} \quad MTBF = \frac{1}{0,00208} = 480,7 \text{ /h} \quad \text{②}$

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{961}{961 + 2} = 0,998 \quad \text{②} \quad \text{oder: } \frac{MTBF_1}{4} = \frac{3840}{4} = 960$$

- c) Reparatur und Produktionsausfall kosten jeweils rund 800€, eine Umstellung g auf die Lösung nach b) koste 5000€. Berechnen Sie (grob) , in welcher Zeit sich die Umstellung amortisieren würde.

3

Alte Lösung: alle 160 Betriebsstunden 800 €, neue Lösung: alle 480 Betriebsstunden 800 €
also alle 480 Betriebsstunden 2403,50 €, d.h.: nach ca. 480 Betriebsstunden 1603 € gespart,
Amortisation nach $5000/1603 \cdot 480 = 1499 \text{ Betr.Std.}$
 $= 1499/8 = 187 \text{ Tage} = 9,37 \text{ Monate} < 1 \text{ Jahr} \quad \text{③}$

3. Sicherheit

Eine Lichtschranken-Kombination an einer Presse, die bei Hineingreifen in den gefährlichen Bereich die Presse stoppen muss (neue, in Aufgabenstellung 2 beschriebene Lösung), könnte auch so versagen, dass auch bei Lichtstrahlunterbrechung nicht abgeschaltet würde. Dafür wurde ein PFH von $2 \cdot 10^{-7}$ ermittelt. Für das Eingabegerät, die Verarbeitung, die Signalausgabe und die Abschaltung des Motors wurde zusammen ein PFH von $7,5 \cdot 10^{-7}$ festgestellt.

a) wie hoch ist die **Ausfallwahrscheinlichkeit** für die gesamte Schutzfunktion?

$$\text{PFH}_{\text{ges}} = 2 \cdot 10^{-7} + 7,5 \cdot 10^{-7} = 9,5 \cdot 10^{-7} < 10^{-6} \quad \textcircled{2}$$

2

b) **welcher SIL ist zu fordern** mit welcher Ausfallwahrscheinlichkeit, wenn der praktisch dauernd an der Presse stehende Bediener beim Hineingreifen eine schwere, irreversible Verletzung erleiden kann, eine Gefahrenabwehrung praktisch nicht möglich ist, die Eintrittswahrscheinlichkeit jedoch gering ist?

$$\text{C2} - \text{F2} - \text{P2} - \text{W2: } \textbf{SIL 2}, \quad \textcircled{1} \quad \rightarrow \text{PFH} \leq 10^{-6} \quad \textcircled{1}$$

3

Wird dieser Level bezüglich PFH erreicht? **ja** $\textcircled{1}$

c) **Ergeben sich Einschränkungen nach FMEDA?** Es sind zwar mehrere Lichtschranken installiert, aber schon die Unterbrechung einer Schranke muss auslösen. Der Anteil ungefährlicher Fehler beträgt 98%, es liegen Erfahrungswerte vor, das Verhalten ist vollständig ermittelbar und gut definiert.

Mit $N = 0$, $\text{SFF} = 98\%$ und **Sich.Integrität Typ A** wäre **SIL3** möglich, also **keine Einschränkung**. $\textcircled{1}$

2

d) Die beschriebene Abschaltfunktion der Presse ist einkanalig ausgeführt, besitze aber Diagnosefunktionen (Funktionsüberwachungen), die bei Feststellung eines Fehlers ebenfalls abschalten. Geben Sie an, wie diese Einrichtung im Sinne von „Fehlertoleranz“ einzustufen ist:

- d1) Auslegungsziel: \rightarrow **Sicherheit** $\textcircled{1}$
 d2) Fehlertoleranz: \rightarrow **integer** $\textcircled{1}$
 d3) Klassifizierung / Bezeichnung nach IEC 61508: \rightarrow **Prüfredundanz 1oo1D** $\textcircled{1}$
 oder „einkanalig mit Diagnose“

3

4. EMV

a) Eine Lichtschranke ist in 3-Leiter-Schaltung (+ / geschaltete Leitung / -) über 20 m Kabel ...

a1) **Erstellen Sie eine Kopplungsmatrix und prüfen Sie, ob die Beeinflussungen stören**

Quellen \	Einstreuung	Spann.Vers.
Senken (Störfest.)	$\textcircled{1}$	$\textcircled{1}$
Eingangskreis (5 V) $\textcircled{1}$	8 V $\textcircled{1}$	0,1 V $\textcircled{1}$
Eing.-Gerät (100 mV) $\textcircled{1}$		0,02 V $\textcircled{1}$

Ohne Eingangsfilter ist die Einstreuung $> U_{0\text{max}}$
Also stört die Einstreuung $\textcircled{1}$

10

a2) **Wenn eine Störung erfolgt: was könnte man dagegen tun?**

- anderes Eingabegerät mit Eingangssignal-Filter $\textcircled{1}$
- Abschirmung / Abstand $\textcircled{1}$

b) Ein vorhandenes Ventil ...

b1) **Welches Bauelement würden Sie empfehlen?** \rightarrow **Varistor / SHCV** da AC und kleine Verzögerung (auch: RC-Glied) $\textcircled{2}$

b2) **Welche Leistung muss das Entstör - Bauelement aufnehmen?** (Leistungs - Berechnung reicht), und für welche Betriebsspannung muss es ausgelegt sein?

$$Z = \frac{U_B}{I_B} = \frac{230}{0,036} = 6,389 \text{ k}\Omega \quad L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{40,8 \cdot 10^6 - 1,85 \cdot 10^6}}{314} = 19,8 \text{ Hy} \quad \textcircled{1}$$

$$\text{Störenergie pro Abschaltung: } W = \frac{1}{2} Li^2 = 0,5 \cdot 19,8 \cdot 0,036^2 = 0,0128 \text{ J}$$

$$\rightarrow \text{aufzunehmende Leistung: } P = \frac{W}{T} = \frac{0,0128}{0,25} = 0,051 \text{ W} \quad \textcircled{3}$$

$$\rightarrow \text{Betriebsspannung: } U_{\text{max}} \geq 230 \cdot 1,41 \geq 325 \text{ V} \quad \textcircled{2}$$

b3) **Welche Gerätetechnik** (anstelle der Schütze) wäre aus EMV - Sicht besser geeignet? Warum?

\rightarrow **Halbleiter-Schalter**, $\textcircled{1}$ \rightarrow „sanfteres“ Schalten (interne Dämpfung des di/dt) $\textcircled{1}$

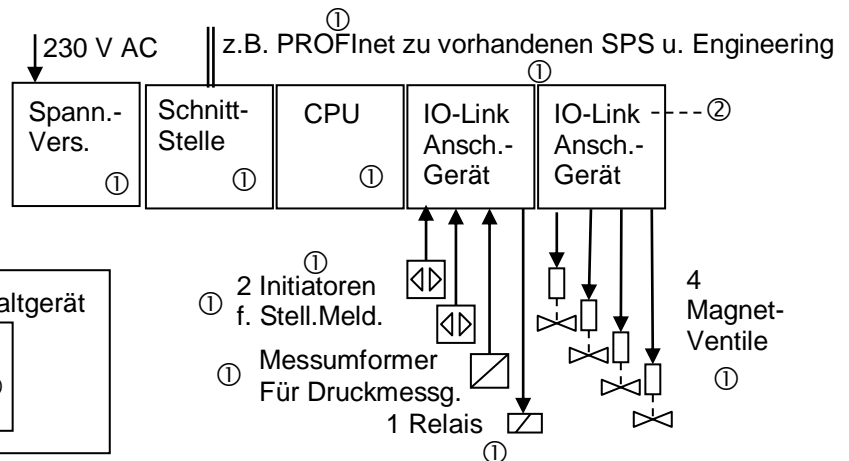
10

Lösungen:

1. Messweraufbereitung / Signalausgabe

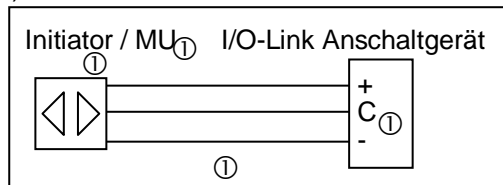
12

1a) Anordnungsskizze

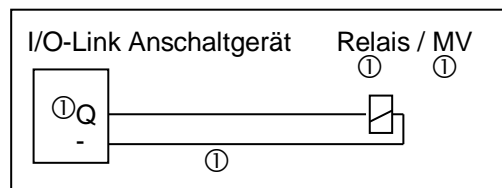


1b) Anschlusspläne

1b1) Initiatoren



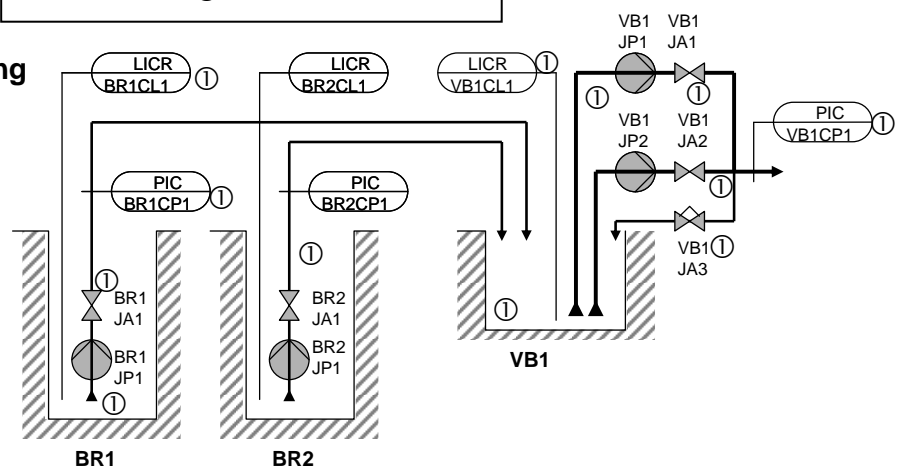
1b2) Relais / Manetventil



8

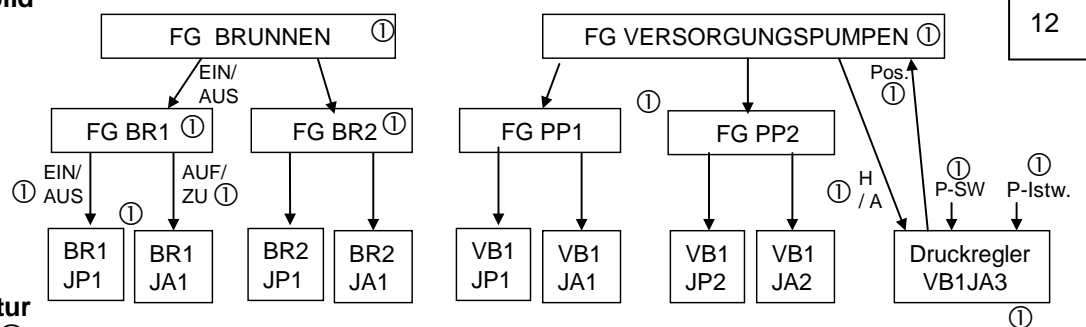
2. Steuerung / Regelung

2a) R&I- Diagramm



12

2b) Blockschaltbild



12

2c) Tabell. Struktur

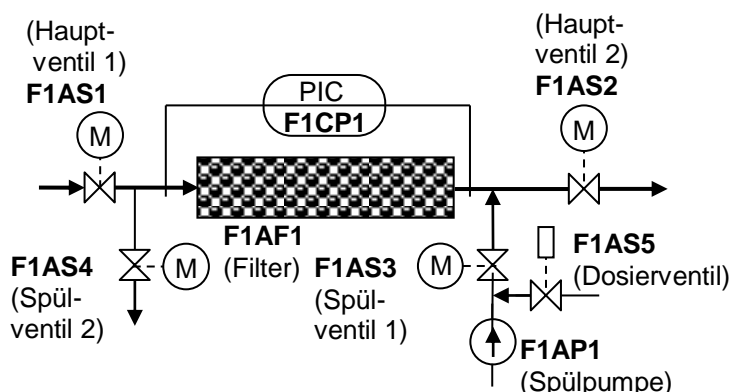
FG BRUNNEN ①	Verknüpfungssteuerung ①
FG BR1 ①	Ablaufsteuerung ①
BR1JP1 ①	Antriebssteuerung
BR1JA1	Antriebssteuerung
FG BR2 ①	Ablaufsteuerung
BR2JP1 ①	Antriebssteuerung
BR2JA2	Antriebssteuerung
FG VORRATSBEHÄLTER	Verknüpfungssteuerung
FG PP1	Ablaufsteuerung
VB1JP1	Antriebssteuerung
VB1JA1	Antriebssteuerung
FG PP2	Ablaufsteuerung
VB1JP2	Antriebssteuerung
VB1JA2	Antriebssteuerung
VB1JA3 ①	(Einzelgrößenregler)

6

3. Programmiersprachen

Für eine Industrieanlage wird Kühlwasser benötigt, das aus einem Fluss entnommen wird und gefiltert werden muss. Wenn der Differenzdruck (F1CP1) über dem Filter (F1AF1) größer als „HOCH“ wird muss das Filter durch Spülwasser gereinigt werden, das für 10 Minuten in entgegengesetzter Richtung von der Spülpumpe (F1AP1) durch das Filter gepresst wird. Vor Einschalten der Spülpumpe müssen zunächst die Hauptventile geschlossen und dann die Spülventile geöffnet werden. Außerdem soll dann auch das Dosierventil F1AS5 geöffnet werden, über das ein Spülmittel hinzugefügt wird. ...

34 Punkte, Vorgabe: 30 Minuten



a) Erstellen Sie eine textliche Variablendeklaration gemäß DIN 61131 mit Variablennamen und Klartext-Erläuterung als Kommentar für Filter 1 (F1). Leiten Sie die Signalnamen von den Anlagenkennzeichen ab, z.B. „F1AP1_BE“ für „Befehl Spülpumpe EIN“. Verwenden Sie nur solche Signale, die in der obigen Beschreibung genannt sind. Das Grenzsinal „>HOCH“ soll im übergeordneten Programm der SPS aus der analogen Druckmessung gebildet werden.

b) Erstellen sie ein Programm zum automatischen Spülen des Filters 1 (F1) in der „Ablaufsprache“ der DIN 61131. Eventuelle Verknüpfungen für die Weiterschaltbedingungen können Sie in "Strukturiertem Text" angeben. Der Funktionsbaustein „Action Control“ sei in der SPS integriert.

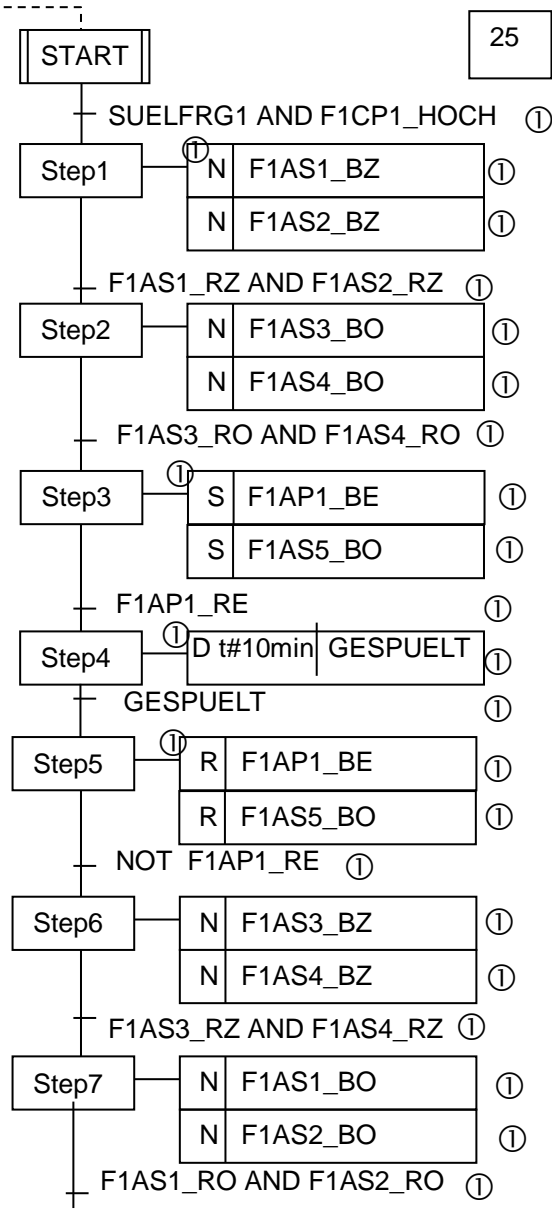
a) PROGRAM SPUELEN ①

```
VAR_INPUT ①
    SPUELFRG1: BOOL; (*Spülfreigabe*)
    F1CP1_HOCH: BOOL (*Diff.Druck > HOCH*)
    F1AS1_RO: BOOL; (*Hauptventil 1 OFFEN*)
    F1AS1_RZ: BOOL; (*Hauptventil 1 ZU*)
    F1AS2_RO: BOOL; (*Hauptventil 2 OFFEN*)
    F1AS2_RZ: BOOL; (*Hauptventil 2 ZU*)
    F1AS3_RO: BOOL; (*Spülventil1 OFFEN*)
    F1AS3_RZ: BOOL; (*Spülventil1 ZU*)
    F1AS4_RO: BOOL; (*Spülventil 2 OFFEN*)
    F1AS4_RZ: BOOL; (*Spülventil 2 ZU*)
    F1AP1_RE: BOOL; (*Spülpumpe EIN*)
END_VAR ①
```

```
VAR_OUTPUT ①
    F1AS1_BO: BOOL; (*Hauptventil 1 Bef. AUF*)
    F1AS1_BZ: BOOL; (*Hauptventil 1 Bef. ZU*)
    F1AS2_BO: BOOL; (*Hauptventil 2 Bef. AUF*)
    F1AS2_BZ: BOOL; (*Hauptventil 2 Bef. ZU*)
    F1AS3_BO: BOOL; (*Spuelventil 1 Bef. AUF*)
    F1AS3_BZ: BOOL; (*Spuelventil 1 Bef. ZU*)
    F1AS4_BO: BOOL; (*Spuelventil 2 Bef. AUF*)
    F1AS4_BZ: BOOL; (*Spuelventil 2 Bef. ZU*)
    F1AP1_BE: BOOL; (*Spuelpumpe Bef. EIN*)
    F1AS5_BO: BOOL; (*Dosierventil Bef. AUF*)
END_VAR
```

```
VAR
    GESPUELT: BOOL; (*Spuelzeit zu Ende*)
END_VAR
```

b)



4. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit

15 Punkte, Vorgabe: 15 Minuten

An einer Tiefzieh- Presse für komplizierte Stahlblechteile verhindert eine Lichtschranke, dass der Bediener während des Pressvorgangs in den Pressbereich hineingreift. Bei Unterbrechung wird die Maschine gestoppt.

- a) Der Lichtstrahl wird mehrfach durch Spiegel umgelenkt, die verschmutzt oder zerstört werden können. Dadurch fiel die Presse im vergangenen Jahr durchschnittlich alle 2 Monate aus, und zwar innerhalb ihrer geplanten Betriebszeit von 16 Std. / Tag (und 20 Tagen / Monat), und konnte erst nach jeweils 2 Stunden wieder in Betrieb gehen. **Berechnen Sie Verfügbarkeit und Ausfallrate:**

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{40 \cdot 16 - 2}{40 \cdot 16 - 2 + 2} = 0,9968 \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{40 \cdot 16 - 2} = 0,00156 \text{ /h}^{-1}$$

4

- b) Ein Versuch ergab, dass eine Lichtschranke ohne Spiegel nur einmal in 2 Jahren fälschlicherweise abschaltet. Statt der Umlenkung durch Spiegel könnten 4 Lichtschranken angeordnet werden, um den ganzen Gefahrenbereich zu überwachen.

Berechnen Sie auch für diesen Fall Verfügbarkeit und Ausfallrate. Die Reparaturzeit sei gleich.

8

Eine Schranke: $\lambda = \frac{1}{24 \cdot 20 \cdot 16 - 2} = 0,00013 \text{ /h}^{-1}$ (MTBF = 7678 /h)

Vier Schranken, können parallel auslösen, müssen also alle „OK“ melden

also für λ „in Reihe!“ $\lambda_{\text{gesamt}} = \sum \lambda_i = 4 \cdot 0,00013 = 0,00052 \text{ h}^{-1}$ $MTBF = \frac{1}{0,00052} = 1923 \text{ /h}$
 oder: $MTBF = \frac{MTBF_1}{4} = \frac{7678}{4} = 1919,5 \text{ /h}$
 alternativ: ②

- c) Reparatur und Produktionsausfall kosten jeweils rund 800 €, eine Umstellung auf die Lösung nach b) koste 5000 €. Berechnen Sie (grob), in welcher Zeit sich die Umstellung amortisieren würde.

Alte Lösung: alle 640 Betriebsstunden 800 €,
also alle 1920 Betriebsstunden 2400€,

neue Lösung: alle 1920 Betriebsstunden 800 €
d.h.: nach ca. 1920 Betriebsstunden 1600 € gespart,
Amortisation nach $5000 / 1600 \cdot 1920 = 6000 \text{ Betr. Std.}$
 $= 6000 / 16 = 375 \text{ Tage} = 18,75 \text{ Monate} \sim 1,5 \text{ Jahr}$

oder: Reparatur 800€ + Ausfall 800€ = 1600€

9,37 Monate ~ 0,78 Jahr

5. Sicherheit

15 Punkte, Vorgabe: 15 Minuten

An einer automatischen Tiefzieh- Presse (vgl. Aufg. 4, „neue Lösung“)

- a) **Bestimmen Sie die erlaubte Ausfallwahrscheinlichkeit (SIL, PFD / PFH und Wert) gemäß IEC 61508** unter folgenden Annahmen: Es kann zu schweren Verletzungen einer Person kommen, die häufig zur Aufsicht an der Maschine steht. Eine Abwendung der Gefahr ist mit anderen Mitteln nicht möglich, die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls sei gering. Die Sicherheitseinrichtung muss hohen Anforderungen genügen (dauernd wirksam sein).

Bei C2 / F2 / P2 / W2 ergibt sich **SIL 2**, bei **PFH** bedeutet das $< 10^{-6}$ Versagen pro Stunde.

3

- b) **Welche Ausfallwahrscheinlichkeit** ist für den **Sensor** erlaubt, wenn dieser über „sichere“ Eingabegeräte, eine CPU mit sicherheitsgerichteten Funktionen und sicherheitsgerichtete Ausgabegeräte in die Schaltanlage eingreift? Verwenden Sie die Fehlerwahrscheinlichkeiten aus der Norm (siehe Skript) mit 25%, 10%, 15%, 10% u. 40%.

$$25\% \text{ von } 10^{-6} = 2,5 \cdot 10^{-7}$$

2

- c) **Erfüllt die Lichtschranke die Anforderung?** Es wurden 1000 Lichtschranken über 5000 Stunden getestet. Dabei meldeten 5 fälschlicherweise Lichtstrahl- Unterbrechung (Bauelementefehler, Reflektorverschmutzung) und 1 meldete wegen Bauelementeausfalls eine Unterbrechung nicht. Dieser Fehler lässt sich nicht entdecken. Betrachten Sie hier nur den Näherungswert für die Ausfallwahrscheinlichkeit.

-> Interessant: nur „Dangerous Failors, Undetected“: 2

$$\lambda_{du} = \frac{1}{1000 \cdot 5000} = 2 \cdot 10^{-7} \quad PFH \cong \lambda_{DU} = 2 \cdot 10^{-7} \quad \rightarrow \text{Anforderung erfüllt.}$$

5

d) **Erfüllt die Lichtschranke auch die Anforderung nach FMEDA** wenn die zwei nicht gemeldeten Unterbrechungen aus c) nicht entdeckt werden können und die einzigen gefährlichen Fehler sind, die Sicherheitsintegrität dem Typ A entspricht, aber die Lichtschranke nur einkanalig eingesetzt ist? Wie hoch ist SFF?

5

$$\lambda_s = \frac{5}{1000 \cdot 5000} = 1 \cdot 10^{-6} \quad \textcircled{1}$$

$$SFF = \frac{\lambda_s + \lambda_{dd}}{\lambda_s + \lambda_d} = \frac{1 + 0}{1 + 0,2} = 0,83 \quad \textcircled{2} \rightarrow \text{erlaubt SIL2} \quad \textcircled{2}$$

6. EMV

16 Punkte, 15 Minuten

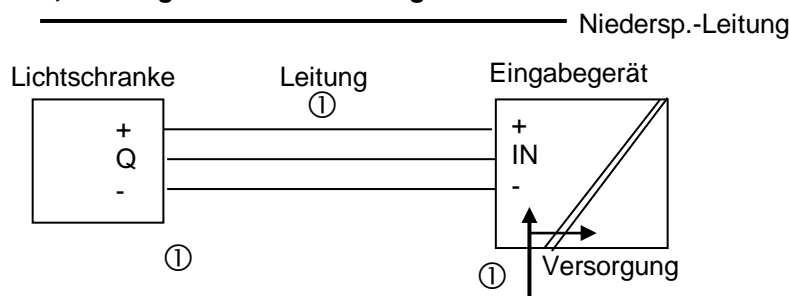
Eine Lichtschranke ist in 3-Leiter-Schaltung (+ / geschaltete Leitung / -) über 20 m Kabel (ungeschirmt unverdrillt) an ein Binär- Eingabegerät angeschlossen (log„0“: 0..5 V, log„1“: 15..30 V DC). Sie ist in einem geerdeten Metallgehäuse eingebaut.

Beim Schalten von Motoren können auf dem Sensorkabel Spannungsspitzen von 8 V auftreten.

Die Spannungsversorgung des Eingabegerätes (24 V DC) besitzt eine Restwelligkeit von 0,5 V und wird unmittelbar zur Speisung der Lichtschranke benutzt. Diese „verträgt“ 20 ... 30 V Speisespannung. Sein Verarbeitungsteil wird über ein Filter versorgt, das die Restwelligkeit auf 100 mV begrenzt.

Das Eingabegerät besitzt kein Eingangsfilter für die Leitung vom Sensor, wohl aber eine Potentialtrennung mit Optokoppler zu seiner Verarbeitung in TTL- Technik mit log„0“- Pegel von max. 1,2 V. Es ist keine schnelle Auswertung des Sensorsignals notwendig.

a) **Skizzieren Sie ein Blockschaltbild, um mögliche Beeinflussungen zu erkennen**



3

b) **Erstellen Sie eine Kopplungsmatrix und prüfen Sie, ob die Beeinflussungen stören**

Quellen Senken (Stör- festigkeit)	Niederspann.- Leitung	Spannungs- versorgung
Lichtschranke (-4 / +6 V) $\textcircled{1}$		0,5 V $\textcircled{1}$
Leitung (5 V) $\textcircled{1}$	<u>8 V Spitzen</u> $\textcircled{1}$	
Eingabe- schaltung (1,2 V) $\textcircled{1}$		100 mV $\textcircled{1}$

$\textcircled{1}$ Form

7

c) **Wenn eine Störung erfolgt: welcher Teil wird gestört und was könnte man dagegen tun?**

Gestört wird **der Eingabegeräte- Eingang**

- Mögliche Maßnahmen:
- **Eingabegerät mit Eingangsfilter** verwenden / Filter ergänzen (1)
 - **Kabel abschirmen, Abstand** zu Niederspannungsleitungen vergrößern, (2)
 - **4-Leiter- Schaltung** benutzen mit 2 **verdrillten Paaren** (2)

6

Lösungen

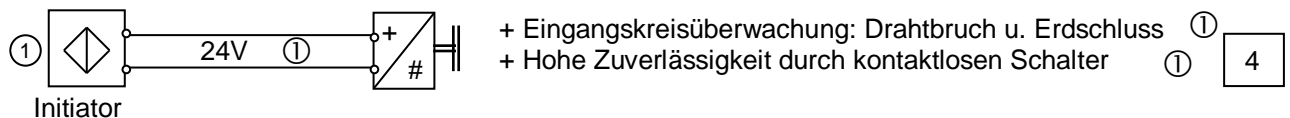
1. Messwertaufbereitung, Signalausgabe und Leitanlagenaufbau 30 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten

In einer ausgedehnten Anlage sollen zwei große Drehzahl- geregelte Pumpen mit je einem Ventil vor und hinter Pumpe ergänzt werden. Es sollen jeweils Durchfluss, Druck hinter Pumpe und Lagertemperatur analog gemessen werden. Die Endstellungen der Ventile werden über Endschalter gemeldet.

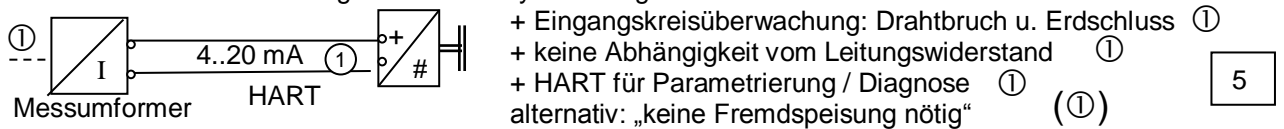
Das vorhandene Prozessleitsystem bietet keinen Platz mehr, darum soll jede Pumpe eine eigene vor-Ort-Elektronik erhalten: CPU (für Steuerung und Regelung), Ein / Ausgabegeräte und Schnittstellengerät (Verbindung zu bisheriger Anlage). In einem daneben angebrachten Wandgehäuse befinden sich Leistungsschaltgeräte für die Ventile (Wechselschütze) und Frequenzumrichter für die Pumpen.

a) Erstellen Sie Standard- Anschlusspläne (je einen pro Typ) mit allen Anschlüssen und Verbindungen zwischen Sensoren und Eingabegeräten (in der Elektronik) für die nachfolgenden Fälle. Geben Sie jeweils einen geeigneten Sensortyp und das elektrische Abbild des Signals an, und nennen Sie jeweils in Stichworten die wichtigsten Eigenschaften. Die Elektronik besitze entsprechende Eingabegeräte mit Speisemöglichkeit für die Sensoren.

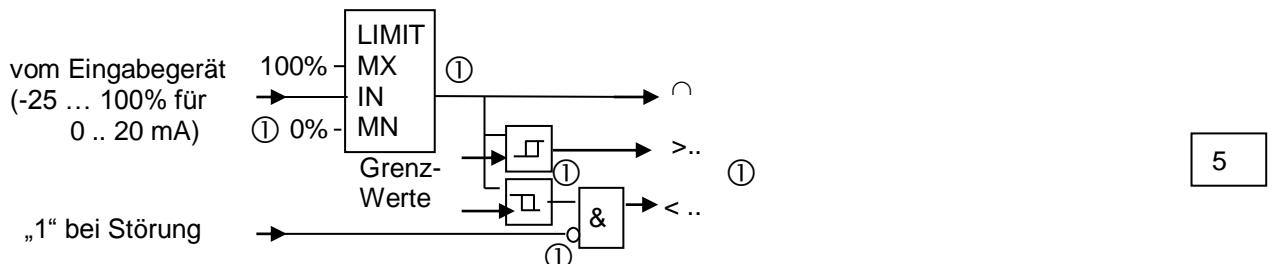
a1) Stellungsendschalter: zuverlässig, überwachbar, minimaler Verkabelungsaufwand:



a2) Standard- Analogeingabe, überwachbar, mit minimaler Verkabelung, Parametrierung / Diagnose soll ohne zusätzliche Verbindungen durch Leitsystem möglich sein.

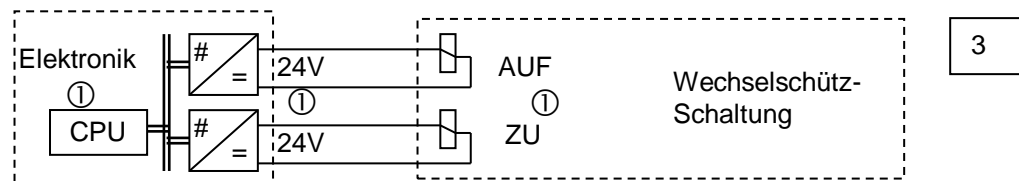


b) Erstellen Sie einen Funktionsplan für die Messwertaufbereitung in der CPU: Bei Analogeingaben sollen in der CPU stets je ein > und < -Grenzsinal gebildet werden. Bei Eingangskreisstörung wie z.B. Leitungsbruch (als Binärsignal vorhanden) soll das < -Signal nicht „1“ haben und das Analogsignal (in digitaler Darstellung) nicht unter 0% gehen.

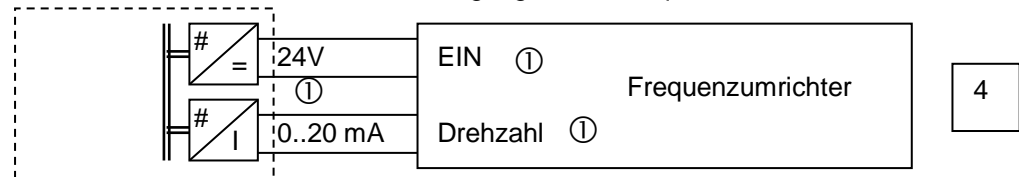


c) Erstellen Sie Standard- Anschlusspläne für die Signalausgabe für die nachfolgend angegebenen Fälle:

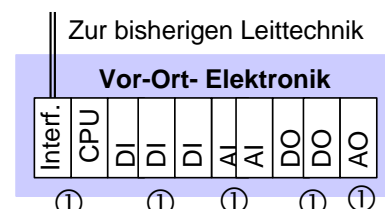
c1) „Wechselschütze“ für die Ventile: In den Leistungsschaltgeräten gibt es Koppelrelais für die Befehle AUF und ZU mit potentialfreien 24V-Spulen. Nur bis zu diesen Relais darstellen, ohne 230V- Teil.



c2) Frequenzumrichter für die Pumpen: Diese benötigen ein 24V-Signal für einen Optokoppler für „EIN“ und ein 20mA-Signal für die Drehzahl. Nur bis zu beschrifteten Eingängen des Frequenzumrichters darstellen.



d) Erstellen Sie eine Anordnungsskizze einer vor-Ort- Elektronik für eine Pumpe mit ihren Ventilen und Messungen mit Angabe der nötigen Geräte (Abkürzung, z.B. „DI“), ohne „Prozess“-Darstellung. Ein Ein- / Ausgabegerät besitze zwei Kanäle. Überlegen Sie, wie viele Geräte der verschiedenen Typen benötigt werden.



2. Steuerungs- / Regelungs- Struktur, Kennzeichnung (35 Punkte, Vorgabe: 35 Minuten)

Die Belüftung einer Halle soll durch je ein Zuluft- und ein Abluftgebläse realisiert werden. Ihr Luftdurchsatz wird jeweils über ihre Drehzahl geregelt. Vor dem Zuluftgebläse und nach dem Abluftgebläse sind Absperrklappen vorzusehen. Die Zuluft kann in einem Wärmetauscher durch Heizungswasser erwärmt werden.

Eine Druckregelung regelt den Luftdruck in der Halle über die Differenz der Gebläse- Drehzahlen auf einen einstellbaren Sollwert. Eine ebenfalls dieser Regelung zugeführte Durchfluss- Vorgabe steuert zusätzlich beide Drehzahlen gleichermaßen.

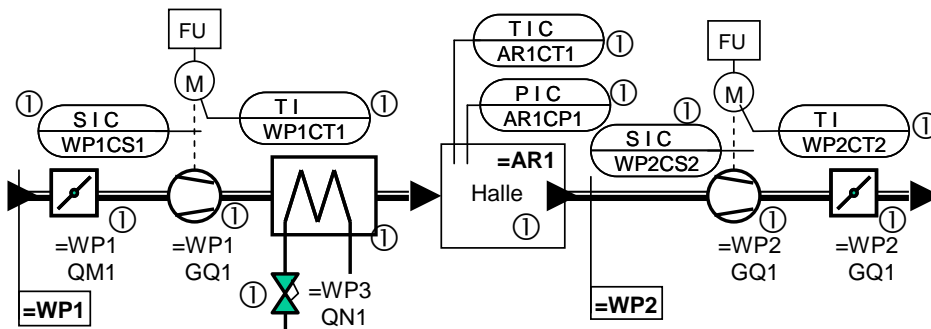
Eine Temperaturregelung regelt die Hallentemperatur über ein Regelventil in der Heizwasser- Leitung auf einen einstellbaren Sollwert.

Jeder Antrieb soll eine eigene Antriebssteuerung erhalten, über die er per Bedienstation einzeln bedient werden kann. Jedes Gebläse soll zusammen mit seiner Klappe und seiner Drehzahlregelung automatisch angefahren werden können. Außerdem soll auch die gesamte Lüftung automatisch betrieben werden.

- a) **Skizzieren Sie ein „Rohrleitungs- und Instrumentierungs- Schema“** mit eingezeichneten Aggregaten und Messungen. Kennzeichnen Sie diese gemäß der DIN und benutzen Sie dabei für Gebläse „GQ“, für Klappen „QM“, für Regelventile „QN“. Bezeichnen Sie die Drehzahlregler als Produkt KF1 der Funktion der jeweiligen Pumpe, und bezeichnen Sie die Temperaturregelung nach dem Regelventil.

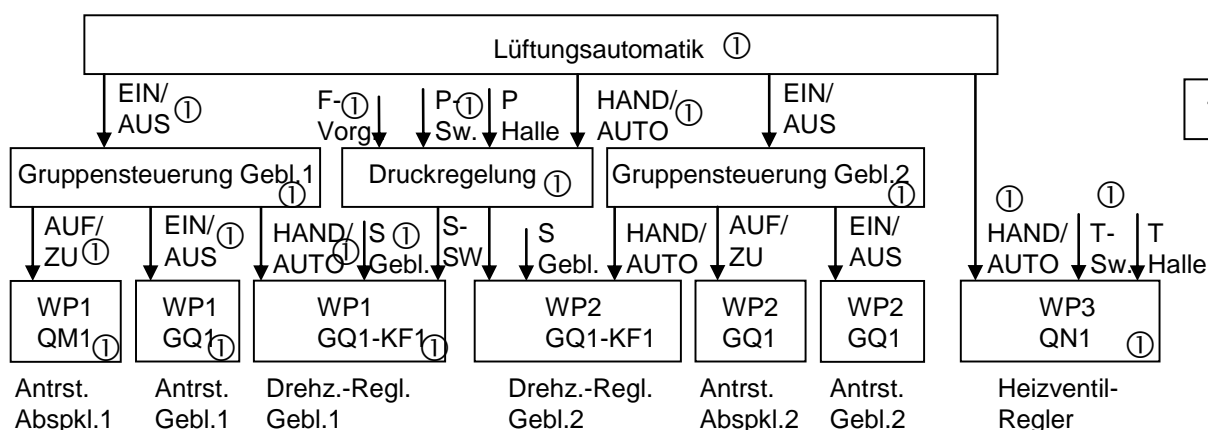
Die Zuluftleitung heiße „WP1“, die Abluftleitung „WP2“, die Lufterwärmung „WP3“, und die Halle „AR1“.

Die oben genannten Messungen an den Gebläsen werden für Anzeige und Steuerung / Regelung benötigt. Zusätzlich sollen die Temperaturen der Gebläselager auf der Bedienstation angezeigt werden.



14

- b) **Skizzieren Sie ein Blockschaltbild der Steuerungen und Regelungen** als fein gegliederte Struktur. Stellen Sie Steuerungen und Regelungen nur als Kästchen dar (ohne Logik usw.) und zeichnen Sie Befehle bzw. Vorgaben als Pfeil- Verbindungen zwischen ihnen oder Hand-Eingaben an die Kästchen. Die Tastenbefehle von der Bedienstation brauchen nicht dargestellt zu werden (Standard).



18

- c) Eine Verstellung des Heizungsventils ist erst Minuten später im Saal messbar, so dass besonders bei Verstellung des Durchfluss- Sollwertes immer wieder Temperaturschwankungen auftreten.
Durch welche regelungstechnische Maßnahme könnten sie verhindert werden? (Stichworte reichen)
 → Störgrößenaufschaltung (1) der Durchfluss- Vorgabe auf die Heizungsregelung (2)
 → Oder Gradientenbegrenzung für Drehzahländerung (1)

3

4. Engineering: Ablaufsteuerung

28 Pkte, Vorgabe: 30 Min.

Die Herstellung von Kleinteilen aus Stahlblech mittels einer kleinen hydr. Presse soll automatisiert werden. Start durch Schalter S_EIN wenn Initiator HS_R die Ruhelage des Horizontalstößels meldet. Der Transportmotor TM schiebt Blech in die Presse bis der Endschalter TM_R eine ausgeführte Umdrehung meldet. Da TM_R auch anfangs „1“ hat muss zum Anhalten die pos. Flanke benutzt werden.

Nun wird die Presse mittels Ventilen PRE für 2 s gesenkt, schneidet dabei das Blech ab und presst es in die Form. Danach wird die Presse mittels PRA wieder gehoben, Ruhestellung wird durch PR_R gemeldet, Ventile PRA werden geschlossen.

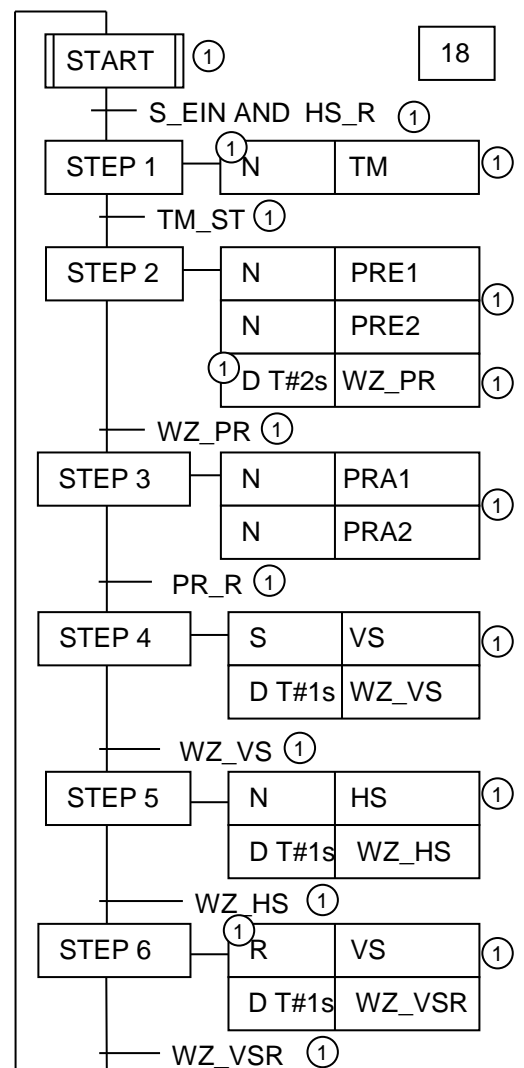
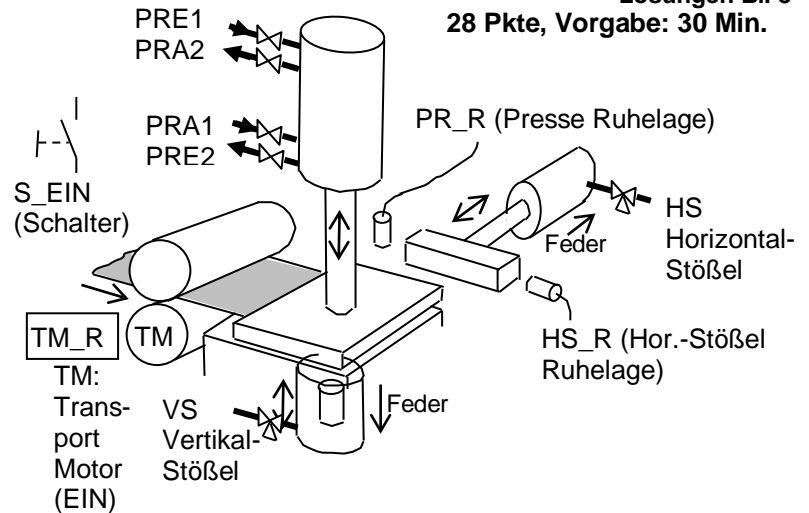
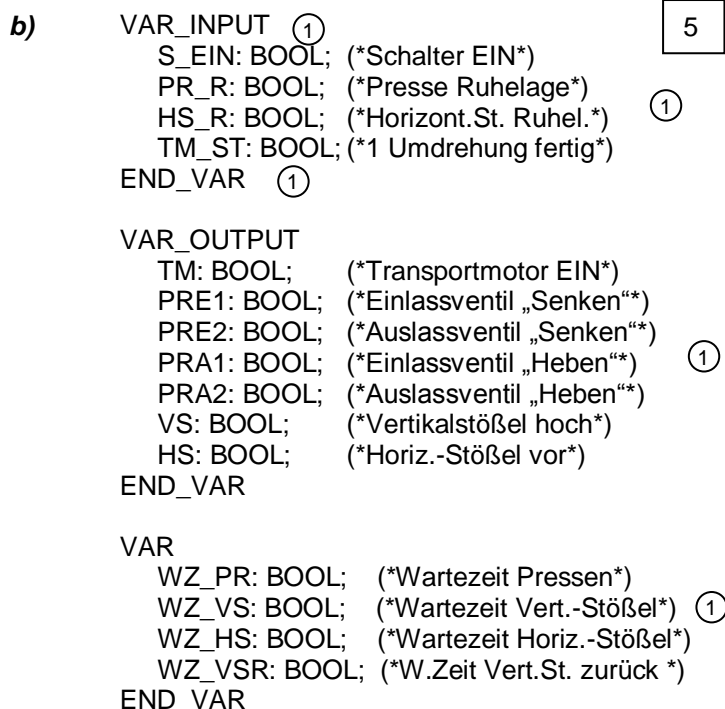
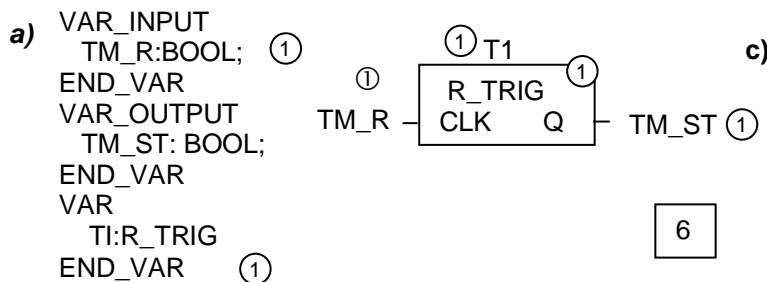
Nun wird mittels Magnetventil VS das Formteil durch den Vertikalstößel aus dem Werkzeug gehoben, wird oben gehalten und dann durch den Horizontalstößel ausgestoßen. Für diese Bewegungen ist je 1 s zu berücksichtigen. Danach werden die Stößel wieder in Ruhelage gebracht. Wenn S_EIN noch eingeschaltet ist wird der nächste Pressvorgang gestartet.

Der Transportmotor läuft solange er angesteuert wird. Die Presse wird durch Ventile PRE gesenkt und durch PRA gehoben. Die Stößel werden bei aktiviertem Magnetventil aus ihrem Zylinder hinausbewegt und gehen bei abgeschaltetem Magnetventil zurück.

Die Realisierung soll durch eine SPS erfolgen, die geeignete Ausgabegeräte besitzt um direkt den Motor und die Magnetventile anzusteuern. Der „Action Control“ – Funktionsbaustein sei vorhanden. (Eine Strukturierung mit Antriebssteuerungen für die Magnetventile und den Motor ist *nicht* vorzusehen.)

a) Skizzieren Sie in Funktionsbausteinsprache die Signalbildung zum Anhalten von TM, mit textl. Var.Dekl.
b) Erstellen Sie eine textliche Variablendeklaration für c) mit Kommentaren, verwenden Sie nur die oben genannten Signale.

c) Stellen Sie das Programm für Pressen und Auswerfen in AS ("Ablaufsprache" der Norm 61131) dar.



3. Systemkommunikation

In einer Fertigungsstraße soll eine Zelle ergänzt werden, die von einer neuen SPS gesteuert werden soll.

Als Sensoren werden Kontakte, Näherungsgeber und einige Messumformer verwendet, als Aktoren kleine Magnetventile (24 V). Alle Sensoren und Aktoren sollen IO-Link-fähig sein, damit Parameter und Diagnosedaten über Bedienrechner zugänglich sind.

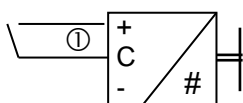
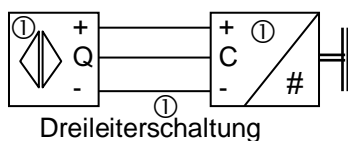
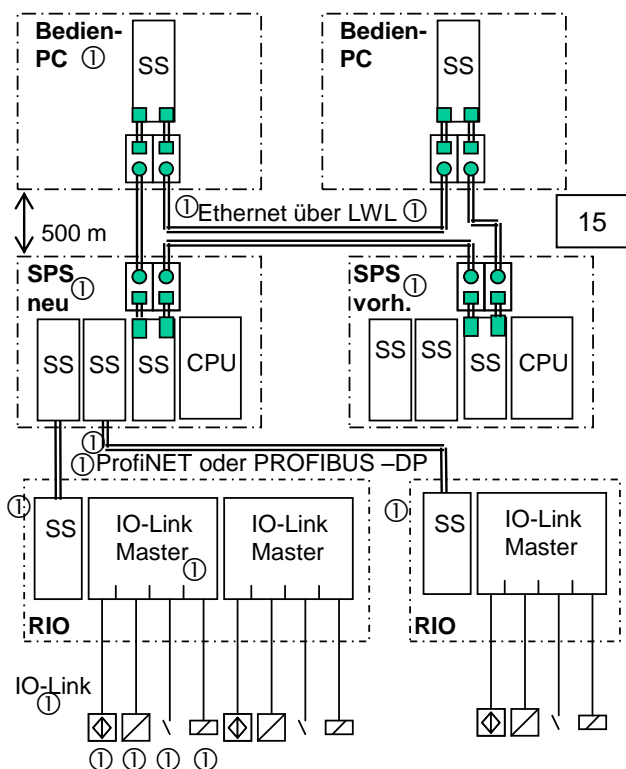
Etwa die Hälfte der Sensoren und Aktoren sollen komplett redundant angeordnet werden. Dies soll sich auf Sensoren / Aktoren, Schnittstellengeräte und Busverbindungen beziehen.

Die neue SPS soll zusammen mit einer vorhandenen SPS mit zwei 500 m entfernten Bedienrechnern verbunden werden. Über diese Verbindung werden keine Steuerungssignale zwischen den SPS ausgetauscht. Sie soll möglichst billig aber trotzdem mit Redundanz ausgeführt werden. In den dafür zur Verfügung stehenden Schnittstellengeräten sind Switches mit je zwei Außenanschlüssen integriert.

a) Skizzieren Sie die Anordnung der Geräte mit BUS-Verbindungen. Geben Sie geeignete Busse / Verbindungen an. Einpolige Darstellung reicht aus.

b) Skizzieren Sie allpolig den Anschlussplan eines Näherungsgebers und eines Kontaktes

19 Punkte, Vorgabe: 20 Minuten



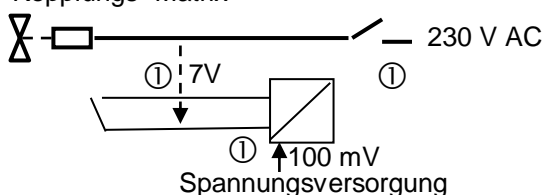
4

5. Elektro-Magnetische Verträglichkeit

Ein Signalkabel (schwach verdreht, ungeschirmt) mit Rückmeldungen von Hilfskontakten an Leistungsschaltern liegt aus Platzgründen auf ca. 10 m Länge nahe an einem Niederspannungskabel, über das ungeschaltete Magnetventile geschaltet werden. Bei deren Abschalten werden auf dem Signalkabel Spannungsspitzen von ca. 7 V induziert. Die Rückmeldungen sind mit Digital-Eingabegeräten für 24V DC verbunden, die bis 5 V sicher „L“ erkennen und ab 12 V sicher „H“. Die Spannungsversorgung der Eingabegeräte-Eingangskreise hat eine Restwelligkeit von 100 mV.

13 Punkte, Vorgabe: 10 Minuten

a) Gibt es hier eine unzulässig hohe Beeinflussung? Skizzieren Sie die Situation und erstellen Sie eine Kopplungs-Matrix



Senken	Quellen	Magn.Vent.Leit.	Spann.Vers.
Signaleingang (5 V)		7 V Zu hoch!	0,1 V

6

b) Wie könnten Sie die Magnetventile beschalten? Die Spulen nehmen bei 230 V AC / 50 Hz 40 mA auf und bei 24 V DC 22 mA. Die Magnetventile werden maximal einmal pro Sekunde geschaltet

$$R = \frac{24}{22} = 1,091 k\Omega \quad Z = \frac{230}{0,040} = 5.750 \Omega$$

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{33 \cdot 10^6 - 1,19 \cdot 10^6}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = \frac{5640}{314} = 17,96 H$$

$$P = \frac{0,5 \cdot L \cdot I^2}{T} = \frac{0,5 \cdot 17,96 \cdot 0,0016}{1} = 0,014 W \quad \text{Varistor: } 14 mW / 250 V$$

5

c) Was könnte man am Signalkabel verbessern?

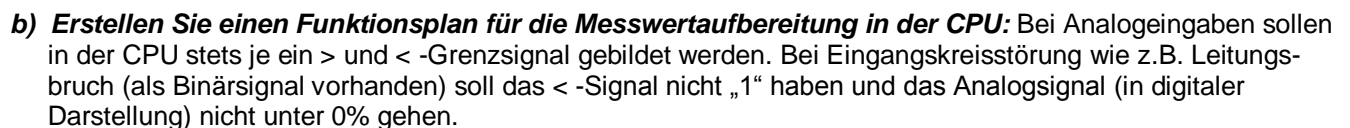
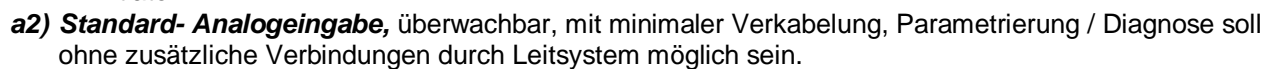
-> auswechseln gegen eines mit höherer Verdrehung und Abschirmung

2

26 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten

Das vorhandene Prozessleitsystem bietet keinen Platz mehr, darum soll jede Pumpe eine eigene vor-Ort-Elektronik erhalten: CPU (für Steuerung und Regelung), Ein / Ausgabegeräte und Schnittstellengerät (Verbindung zu bisheriger Anlage). In einem daneben angebrachten Wandgehäuse befinden sich Leistungsschaltgeräte für die Ventile (Wechselschütze) und Frequenzumrichter für die Pumpen.

a1) Stellungsendschalter: zuverlässig, überwachbar, minimaler Verkabelungsaufwand:



Zur bisherigen Leittechnik

Vor-Ort- Elektronik

Interf.	CPU	DI	DI	DI	AI	AI	DO	DO	AO
Ⓢ		Ⓢ			Ⓢ		Ⓢ		Ⓢ

2. Steuerungs- / Regelungs- Struktur, Kennzeichnung (35 Punkte, Vorgabe: 35 Minuten)

Die Belüftung einer Halle soll durch je ein Zuluft- und ein Abluftgebläse realisiert werden. Ihr Luftdurchsatz wird jeweils über ihre Drehzahl geregelt. Vor dem Zuluftgebläse und nach dem Abluftgebläse sind Absperrklappen vorzusehen. Die Zuluft kann in einem Wärmetauscher durch Heizungswasser erwärmt werden.

Eine Druckregelung regelt den Luftdruck in der Halle über die Differenz der Gebläse- Drehzahlen auf einen einstellbaren Sollwert. Eine ebenfalls dieser Regelung zugeführte Durchfluss- Vorgabe steuert zusätzlich beide Drehzahlen gleichermaßen.

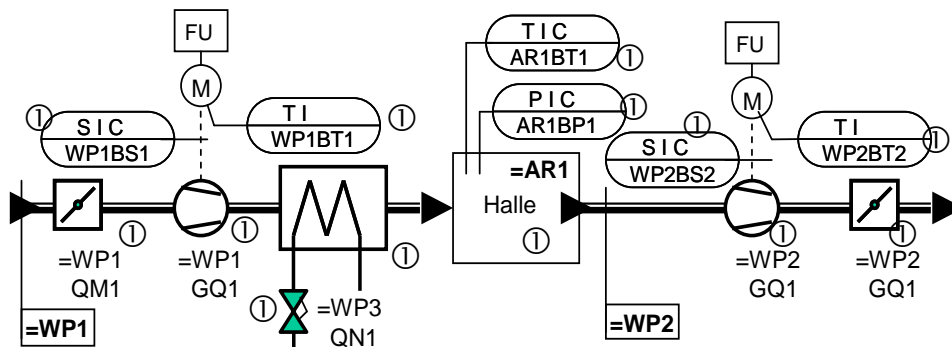
Eine Temperaturregelung regelt die Hallentemperatur über ein Regelventil in der Heizwasser- Leitung auf einen einstellbaren Sollwert.

Jeder Antrieb soll eine eigene Antriebssteuerung erhalten, über die er per Bedienstation einzeln bedient werden kann. Jedes Gebläse soll zusammen mit seiner Klappe und seiner Drehzahlregelung automatisch angefahren werden können. Außerdem soll auch die gesamte Lüftung automatisch betrieben werden.

- a) **Skizzieren Sie ein „Rohrleitungs- und Instrumentierungs- Schema“** mit eingezeichneten Aggregaten und Messungen. Kennzeichnen Sie diese gemäß der DIN und benutzen Sie dabei für Gebläse „GQ“, für Klappen „QM“, für Regelventile „QN“. Bezeichnen Sie die Drehzahlregler als Produkt KF1 der Funktion der jeweiligen Pumpe, und bezeichnen Sie die Temperaturregelung nach dem Regelventil.

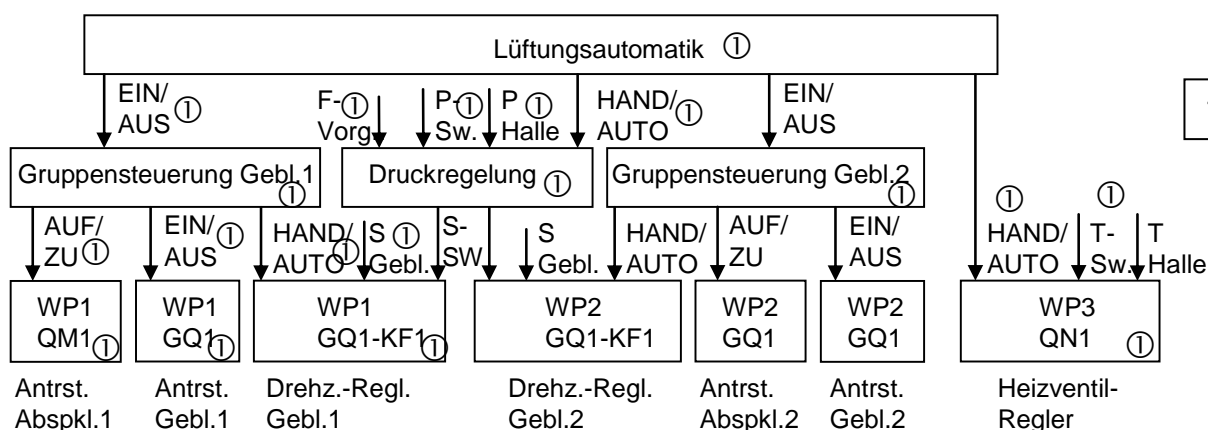
Die Zuluftleitung heiße „WP1“, die Abluftleitung „WP2“, die Lufterwärmung „WP3“, und die Halle „AR1“.

Die oben genannten Messungen an den Gebläsen werden für Anzeige und Steuerung / Regelung benötigt. Zusätzlich sollen die Temperaturen der Gebläselager auf der Bedienstation angezeigt werden.



13

- b) **Skizzieren Sie ein Blockschaltbild der Steuerungen und Regelungen** als fein gegliederte Struktur. Stellen Sie Steuerungen und Regelungen nur als Kästchen dar (ohne Logik usw.) und zeichnen Sie Befehle bzw. Vorgaben als Pfeil- Verbindungen zwischen ihnen oder Hand-Eingaben an die Kästchen. Die Tastenbefehle von der Bedienstation brauchen nicht dargestellt zu werden (Standard).



19

- c) Eine Verstellung des Heizungsventils ist erst Minuten später im Saal messbar, so dass besonders bei Verstellung des Durchfluss- Sollwertes immer wieder Temperaturschwankungen auftreten.
Durch welche regelungstechnische Maßnahme könnten sie verhindert werden? (Stichworte reichen)
 → Störgrößenaufschaltung (1) der Durchfluss- Vorgabe auf die Heizungsregelung (2)
 → Oder Gradientenbegrenzung für Drehzahländerung (1)

3

3. Systemkommunikation

20 Punkte, Vorgabe: 20 Minuten

In einer Fertigungsstraße soll eine Zelle ergänzt werden, die von einer neuen SPS gesteuert werden soll.

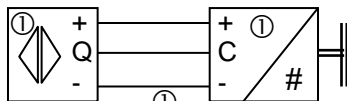
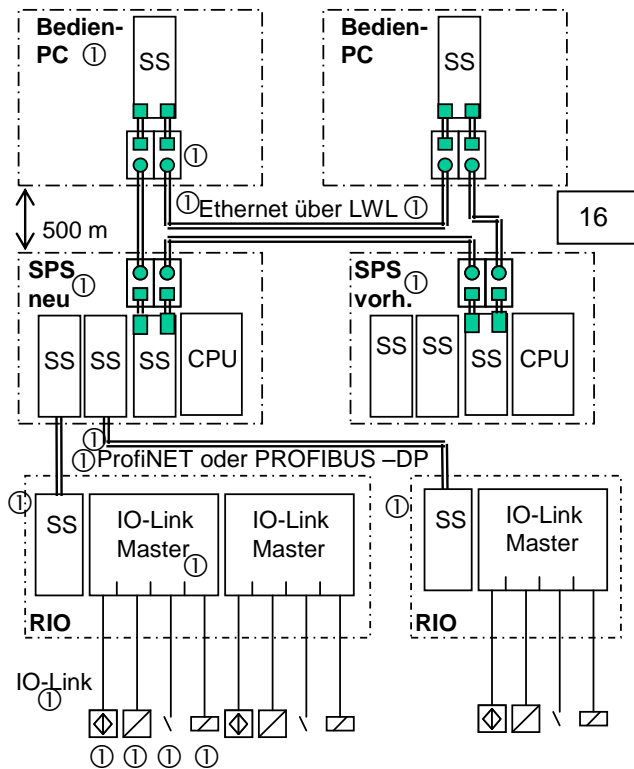
Als Sensoren werden Kontakte, Näherungsgeber und einige Messumformer verwendet, als Aktoren kleine Magnetventile (24 V). Alle Sensoren und Aktoren sollen IO-Link-fähig sein, damit Parameter und Diagnosedaten über Bedienrechner zugänglich sind.

Etwa die Hälfte der Sensoren und Aktoren sollen komplett redundant angeordnet werden. Dies soll sich auf Sensoren / Aktoren, Schnittstellengeräte und Busverbindungen beziehen.

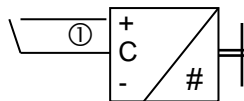
Die neue SPS soll zusammen mit einer vorhandenen SPS mit zwei 500 m entfernten Bedienrechnern verbunden werden. Über diese Verbindung werden keine Steuerungssignale zwischen den SPS ausgetauscht. Sie soll möglichst billig aber trotzdem mit Redundanz ausgeführt werden. In den dafür zur Verfügung stehenden Schnittstellengeräten sind Switches mit je zwei Außenanschlüssen für Kabelanschluss integriert.

a) Skizzieren Sie die Anordnung der Geräte mit BUS-Verbindungen. Geben Sie geeignete Busse / Verbindungen an. Einpolige Darstellung reicht aus.

b) Skizzieren Sie *allpolig* den Anschlussplan eines Näherungsgebers und eines Kontaktes



Dreileiterschaltung



4

6) Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit

15 Punkte, Vorgabe 10 Minuten

a) Der Lichtstrahl wird mehrfach durch Spiegel umgelenkt, die verschmutzt oder zerstört werden können. Dadurch fiel die Presse im vergangenen Jahr durchschnittlich ein Mal pro Monat innerhalb ihrer geplanten Betriebszeit von 24 Std. / Tag und 20 Tagen / Monat aus und konnte erst nach jeweils 5 Stunden wieder in Betrieb gehen. **Berechnen Sie Verfügbarkeit und Ausfallrate.**

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{24 \cdot 20}{24 \cdot 20 + 5} = \frac{480}{485} = 0,989 \quad \text{①} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{480} = 2 \cdot 10^{-3} \quad \text{①}$$

2

b) Eine bessere Lösung wären evtl. zwei Flächen- Lichtschranken, die, übereinander angeordnet, den gefährlichen Bereich überwachen könnten. Solche Geräte wurden getestet. Dabei meldete ein Gerät von 20 getesteten nach 1000 Std. fälschlicherweise eine Unterbrechung. **Wie groß sind Ausfallrate und Verfügbarkeit dieser Lösung, wenn die Presse nach jeweils 2 Std. wieder in Betrieb wäre?**

$$\text{Ein Gerät: } \lambda_1 = \frac{1}{20 \cdot 1000} = 0,5 \cdot 10^{-4} \quad \text{①} \quad \text{Zwei Geräte: } \lambda_2 = 2 \cdot \lambda_1 = 1 \cdot 10^{-4} \quad \text{②}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{10^{-4}} = 10^4 \text{ Std (20,8 Monate)} \quad \text{①} \quad V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{10000}{10002} = 0,999 \quad \text{①}$$

5

c) Was dürfte der Austausch kosten, wenn er sich in 6 Monaten amortisieren soll? Die Reparaturstunde koste 100 €, die Ausfallstunde 1000 €.

$$\text{Kosten der alten Lösung pro Monat: } 5 \text{ Std.} \cdot 1.100 \text{ €/Std.} = 5.500 \text{ €} \quad \text{In 6 Monaten: } 33.000 \text{ €} \quad \text{②}$$

2

d) Bei einem Test mit 40 Geräten meldete 1 Gerät nach 20.000 Std. eine Unterbrechung nicht. Nehmen Sie an, dass die übrigen Teile der Auslösekette gleich gut / schlecht sind wie die Sensorkombination (b). Die Abschaltung durch die Lichtschranken soll als Schutzeinrichtung dauernd wirksam sein. **Welchen SIL kann man damit erreichen?** (nur gemäß PFD/PFH ohne die anderen FMEDA- Kriterien)

$$\text{PFH} \sim \lambda_{DU} \quad 1 \text{ Sensor: } \lambda_{DU} = \frac{1}{40 \cdot 20000} = 0,125 \cdot 10^{-5} \quad \text{①} \quad 2 \text{ Sensoren in Reihe: } 0,25 \cdot 10^{-5} \quad \text{②}$$

6

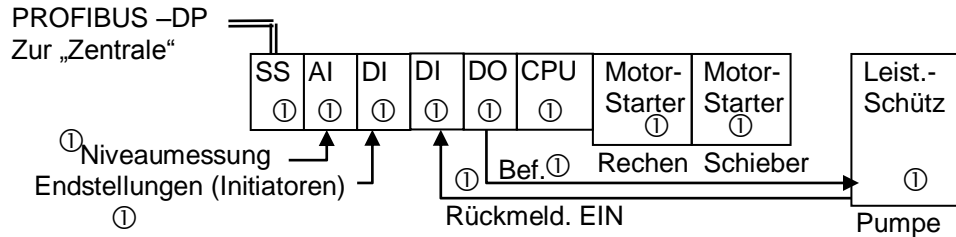
$$\text{Gesamte Kette: } 1 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{SIL 1} \quad \text{②}$$

Lösungen

1. Messwertaufbereitung / Signalausgabe / Aufbau

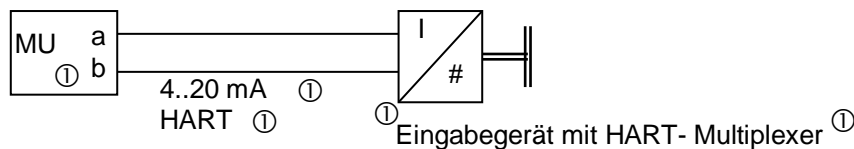
27 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten

- a) **Skizzieren Sie die Geräte einer örtlichen SPS** für Signalein-/Ausgabe sowie Steuerung u. Bus-Verbindung (nur Kästchen mit abgekürzter Beschriftung und Angabe, was daran angeschlossen werden soll). Benutzen Sie eine moderne Lösung für Rechen- und Schieberantrieb.



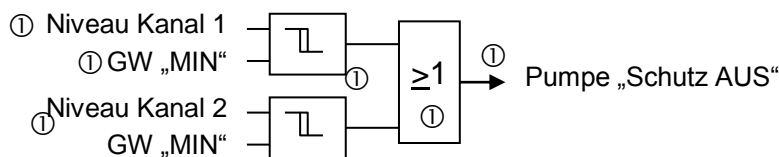
13

- b) **Skizzieren Sie einen Anschlussplan für den Niveau- Messumformer.** Parameter schreiben / Diagnose-
daten lesen soll über die SPS von der Zentrale aus möglich sein. Geben Sie den elektr. Messbereich an.



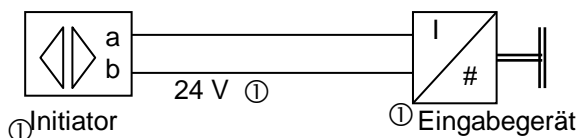
5

- c) **Skizzieren Sie die nötigen Funktionen** in der CPU, damit auch bei einer defekten Niveaumessung (analog!) die Pumpe bei „Niveau < MIN“ abgeschaltet wird. Evtl. nötiger erhöhter HW- Aufwand würde akzeptiert



6

- d) **Skizzieren Sie einen Anschlussplan für Endstellungen.** Geben Sie einen heute sinnvollen Geber- Typ und den elektr. Messbereich an.



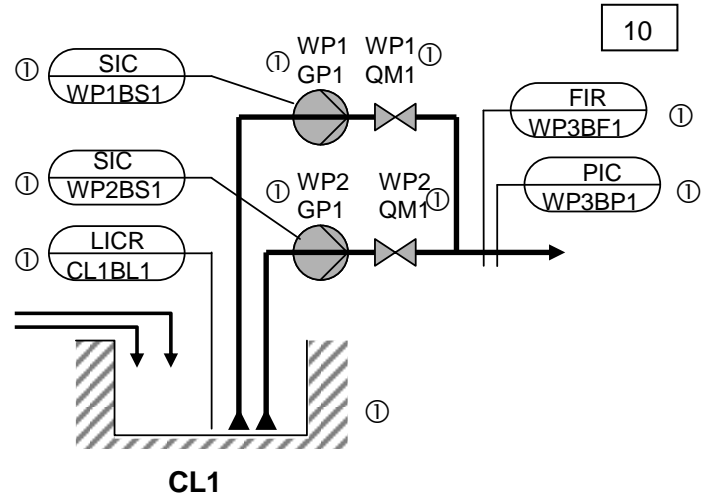
3

2. Steuerung / Regelung, Struktur

36 Punkte, Vorgabe: 35 Minuten

- a) **Skizzieren Sie ein R&I- Diagramm** mit dem Vorratsbehälter, den beiden Versorgungspumpen und ihren Absperrschiebern sowie den nötigen Messungen.
Kennzeichnen Sie darin Antriebe und notwendige Messungen. Der Vorratsbehälter heiße **CL1**, die Rohrleitung mit Pumpe 1 **WP1**, denken Sie bei den Nummern an Kopier-Möglichkeit für Leittechnik- Pläne!

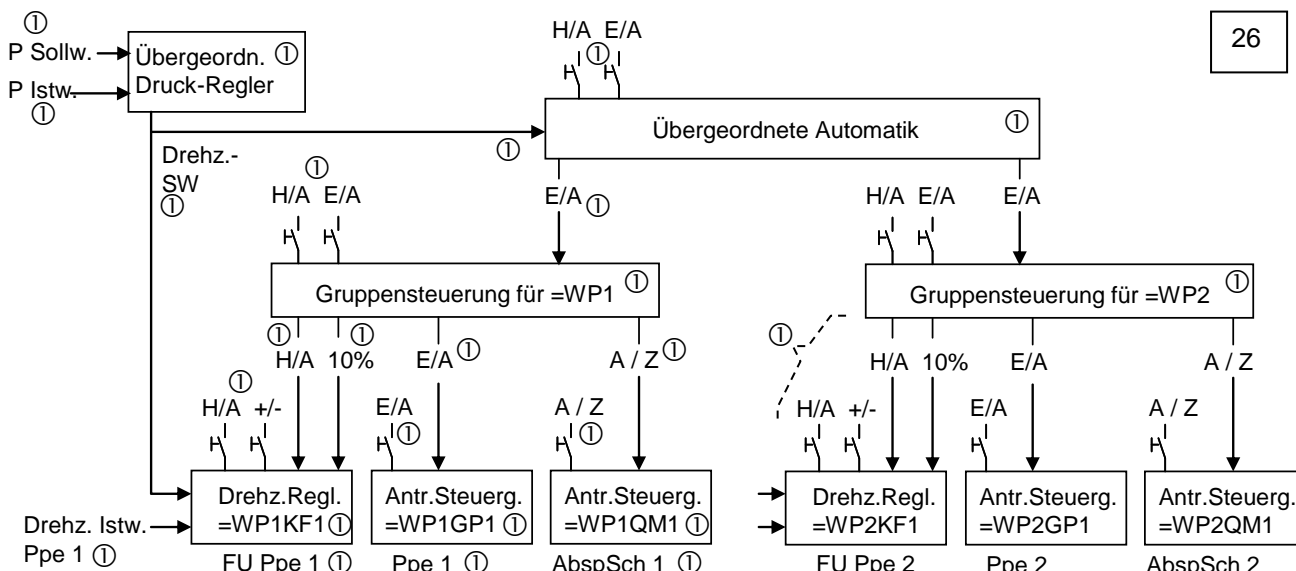
Die Messungen sind direkte Prozess-Messungen. Sie dienen der Anzeige in der Warte und – außer einer Durchflussmessung in der Weiterleitung - der Steuerung / Regelung. Niveau und Gesamtdurchfluss werden über längere Zeit dokumentiert. Bezeichnung: Level (L), Pressure (P), Flow (F) und Speed (S).



10

2b) Skizzieren Sie ein Blockschaltbild einer fein strukturierten Steuerung / Regelung, nur mit "Kästchen" ohne Einzelheiten (z.B. Logik) und ohne Berücksichtigung der HW – Anordnung. Schreiben Sie in die Kästchen deren jeweilige Aufgabe in Klartext und in der Einzelleitebene zusätzlich das Kennzeichen (Regler: **KF)**

Stellen Sie Handeingriffe durch Tasten- Symbole dar, sowie innerhalb der Struktur Befehle (Steuerung) sowie Sollwerte / Istwerte (Regelung) durch Pfeile, und beschriften Sie diese. Handeingriffs- und Befehls- paare wie EIN/AUS (auch abgekürzt E/A) können mit nur einer Taste / einem Pfeil dargestellt werden.

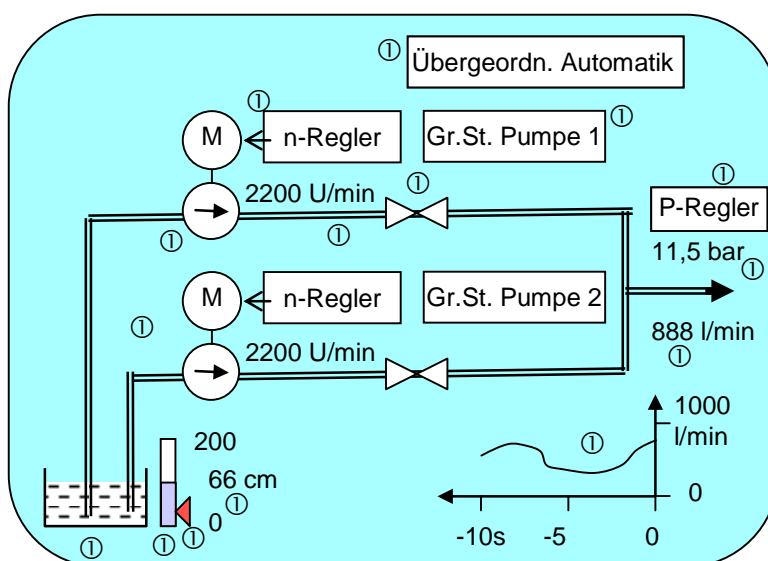


3. Mensch - Maschine - Schnittstelle

15 Punkte, 15 Minuten

Angenommen, Sie hätten die Bildschirm - Bedienung und Datenauswertung für die Wasserversorgung zu gestalten (ab Vorratsbehälter), die in der Aufgabe 2 beschrieben ist.

a) Entwerfen Sie ein Prozessbild („Fließbild“) für die Wasserversorgung, in dem auch die interessanten Analogsignale in geeigneter Form dargestellt sind. Außerdem soll in diesem Bild die Bedienung der Anfahrautomatiken (jeweils Pumpe, Drehzahlregler und Absperrschieber), der übergeordneten Automatik und des Drehzahlreglers möglich sein und ihr Zustand soll dargestellt werden. Benutzen Sie dazu Kästchen mit Text, wenn es kein geeignetes Symbol gibt.



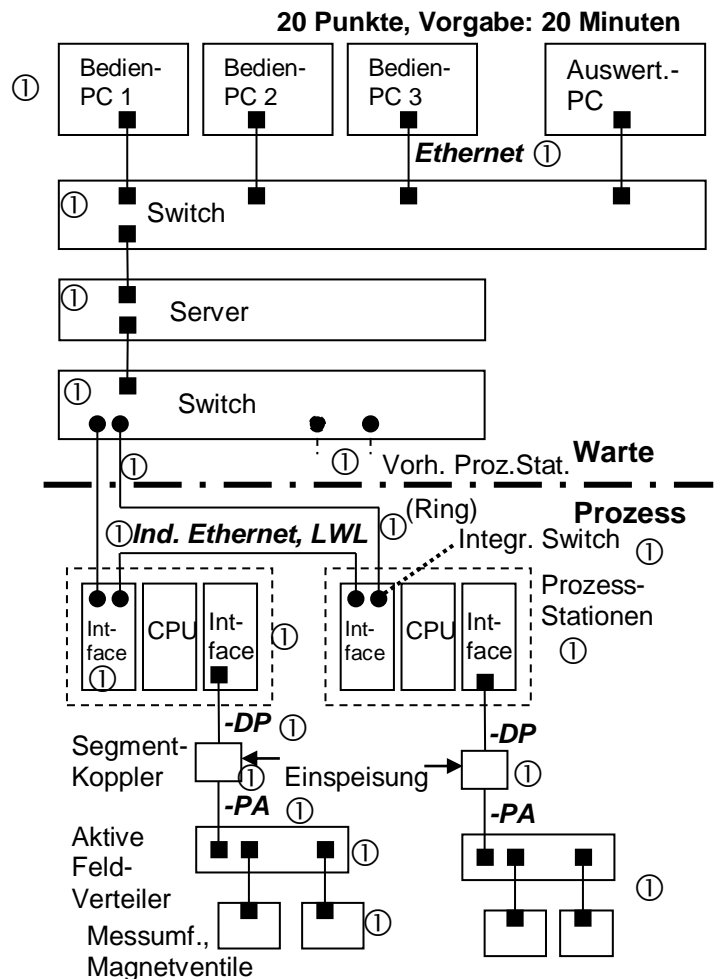
4. Systemkommunikation

In einer Industrieanlage wird eine Wasseraufbereitung ergänzt. Diese besteht aus zwei „Straßen“, die jeweils durch eine eigene Prozessstation eines Prozessleitsystems gesteuert werden sollen. Im Bereich einer zentralen Warte gibt es drei Bedien-PCs und einen Auswert-PC, die geeignet (kurze Leitungen) einkanalig mit einem Server zu verbinden sind. Der Server soll mit den neuen und mit bereits vorhandenen Prozessstationen verbunden werden.

Die beiden neuen Prozessstationen sind ca. 800 m von der Warte entfernt in der Wasseraufbereitungsanlage angeordnet und sollen geeignet mit dem Server verbunden werden (wenig Kabelaufwand, trotzdem verfügbarer als Einzelleitung, sicher gegen elektrische Einstreuungen).

An die beiden Prozessstationen sind busfähige Messumformer sowie kleine Pumpen und Magnetventile kabelsparend über aktive Verteiler anzuschließen (IP65). Da zwei Wasseraufbereitungsstraßen vorhanden sind können diese Verbindung ohne Redundanz ausgeführt sein.

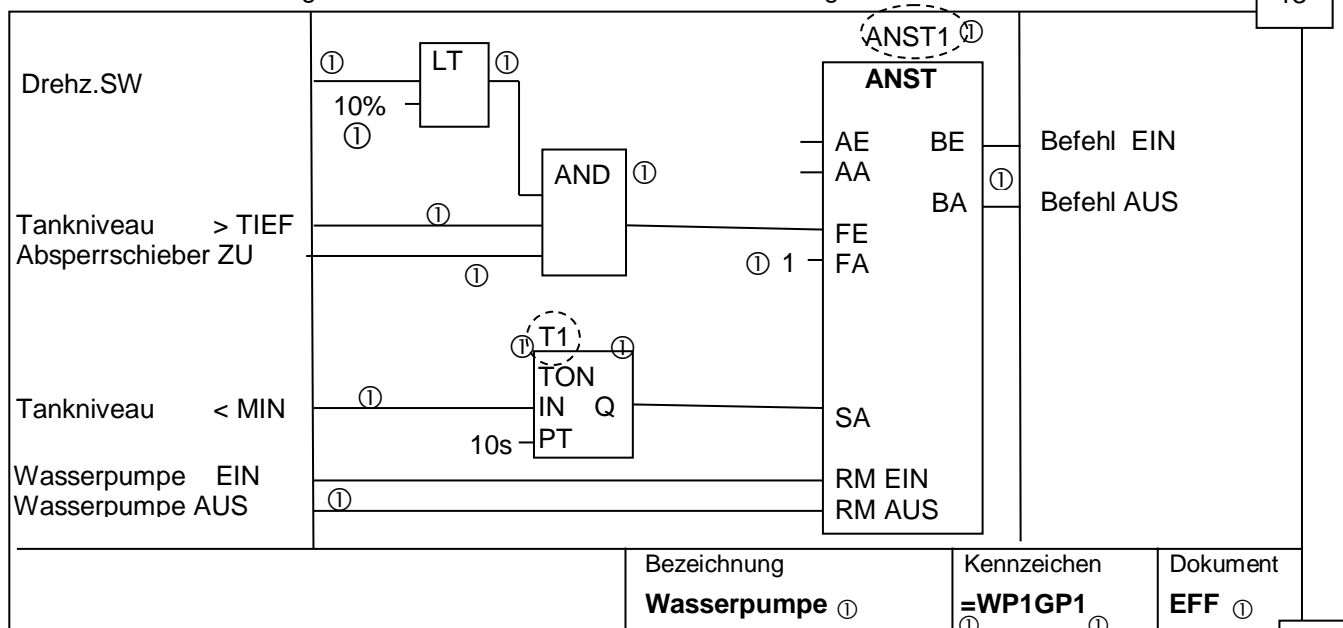
(a) **Skizzieren Sie die Anordnung** der genannten Komponenten samt den Busverbindungen, geben Sie geeignete Bustypen an.



5. Engineering, Programmiersprachen nach IEC EN DIN 61131

17 Punkte, 15 Minuten

a) **Skizzieren Sie einen Funktionsplan** für die Antriebssteuerung einer „Wasserpumpe“ mittels des Funktionsbausteins ANST sowie zusätzlicher Funktionen / Funktionsbausteine gemäß der Norm IEC 61131, aber als „Continuous Function Chart“ (ohne „Netzwerke“). Benennen Sie die Signale mit Klartext (anstelle eines Signalkennzeichens). Automatensteuerungen frei lassen. Rückmeldungen kommen von Hilfskontakten des Leistungsschützes.



b) **Füllen Sie den Zeichnungskopf des Funktionsplans normgerecht aus** (Bezeichn., Kennz., Dokum.art). Die Wasserpumpe sei die erste Pumpe (GP) im Teilsystem WP1. Es gebe nur 1 Ebene und 1 Blatt

6) Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit

15 Punkte, Vorgabe 10 Minuten

In eine automatische Tiefzieh- Presse für komplizierte Stahlblechteile müssen die Rohteile von Hand eingelegt werden. Sie wird durch eine Lichtschranke gestoppt, wenn während des Pressvorgangs in den Pressbereich hineingegriffen wird.

- a) Der Lichtstrahl wird mehrfach durch Spiegel umgelenkt, die verschmutzt oder zerstört werden können. Dadurch fiel die Presse im vergangenen Jahr durchschnittlich ein Mal pro Monat innerhalb ihrer geplanten Betriebszeit von 24 Std. / Tag und 20 Tagen / Monat aus und konnte erst nach jeweils 5 Stunden wieder in Betrieb gehen. **Berechnen Sie Verfügbarkeit und Ausfallrate.**

$$V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{24 \cdot 20}{24 \cdot 20 + 5} = \frac{480}{485} = 0,989 \text{ ①} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{480} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ ①}$$

2

- b) Eine bessere Lösung wären evtl. zwei Flächen- Lichtschranken, die, übereinander angeordnet, den gefährlichen Bereich überwachen könnten. Solche Geräte wurden getestet. Dabei meldete ein Gerät von 20 getesteten nach 1000 Std. fälschlicherweise eine Unterbrechung. **Wie groß sind Ausfallrate und Verfügbarkeit dieser Lösung, wenn die Presse nach jeweils 2 Std. wieder in Betrieb wäre?**

$$\text{Ein Gerät: } \lambda_1 = \frac{1}{20 \cdot 1000} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ ①} \quad \text{Zwei Geräte: } \lambda_2 = 2 \cdot \lambda_1 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ ②}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{10^{-4}} = 10^4 \text{ Std (20,8 Monate)} \quad V = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{10000}{10002} = 0,999 \text{ ①}$$

5

- c) **Was dürfte der Austausch kosten, wenn er sich in 6 Monaten amortisieren soll?** Die Reparaturstunde koste 100 €, die Ausfallstunde 1000 €.

$$\text{Kosten der alten Lösung pro Monat: } 5 \text{ Std.} \cdot 1.100 \text{ €/Std.} = 5.500 \text{ €} \quad \text{In 6 Monaten: } 33.000 \text{ € ②}$$

2

- d) Bei einem Test mit 40 Geräten meldete 1 Gerät nach 20.000 Std. eine Unterbrechung nicht. Nehmen Sie an, dass die übrigen Teile der Auslösekette gleich gut / schlecht sind wie die Sensorkombination (b). Die Abschaltung durch die Lichtschranken soll als Schutzeinrichtung dauernd wirksam sein. **Welchen SIL kann man damit erreichen?** (nur gemäß PFD/PFH ohne die anderen FMEDA- Kriterien)

$$\text{PFH} \sim \lambda_{DU} \quad 1 \text{ Sensor: } \lambda_{DU} = \frac{1}{40 \cdot 20000} = 0,125 \cdot 10^{-5} \text{ ①} \quad 2 \text{ Sensoren in Reihe: } 0,25 \cdot 10^{-5} \text{ ②}$$

6

$$\text{Gesamte Kette: } 1 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{SIL 1 ②}$$

26 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten

Die beiden SPS sollen untereinander und mit einem Server in der ca. 600 m entfernten Warte redundant aber preiswert verbunden werden. Die Schnittstellengeräte der SPS sowie der Server sollen integrierte Switches besitzen. Die Schnittstellengeräte haben Ports für Tw.Pair, der Server auch für LWL. An den Server sind zwei Bedien- PCs anzuschließen. Diese, Server und Verbindungen brauchen nicht redundant ausgeführt zu sein.

Pro Gerätetyp braucht nur je eines dargestellt zu werden, die 2. SPŠ nur andeuten.



Statt Motorstarter: DO mit Schütz (1)

5

Kontakt ①

3

①

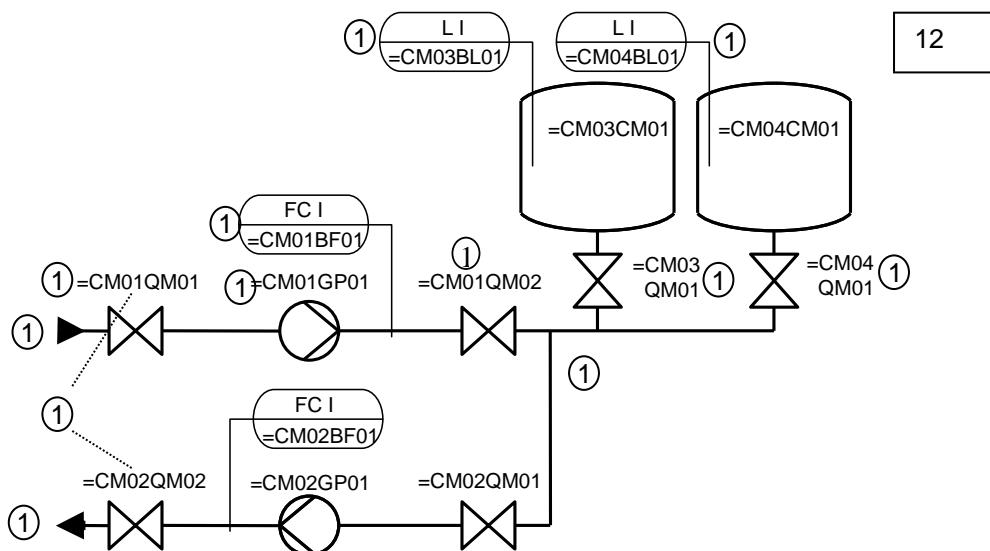
①

2. Engineering: R&I, Steuerungs- Entwurf, Kennzeichnung

35 Punkte, Vorgabe: 35 Minuten

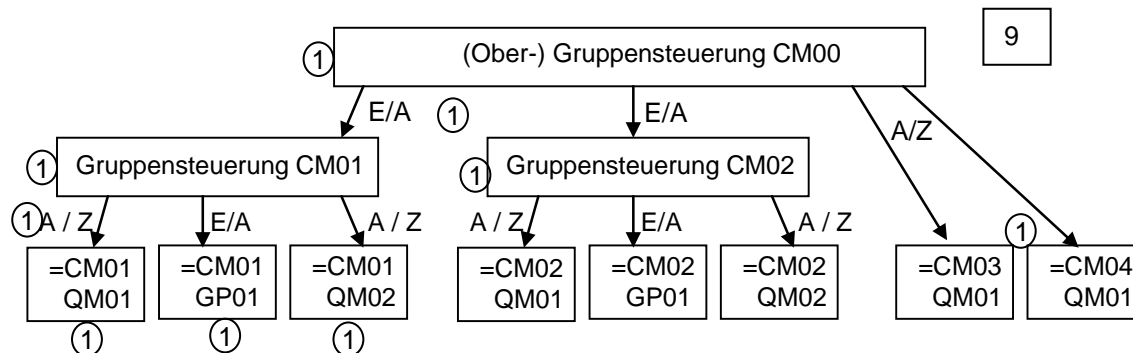
Ein Tanklager in einem Industriebetrieb hat 2 Tanks. Jeder ist über ein Absperrventil mit einer Sammelleitung verbunden, an der auch eine Pumpe zum Füllen und eine weitere zum Leeren angeschlossen sind. Vor und hinter jeder Pumpe befindet sich je ein Absperrventil. Jeder Tank hat eine Niveaumessung, hinter jeder Pumpe gibt es eine Durchflussmessung. (Anlage und Betriebsweise sind vereinfacht)

- a) **Skizzieren Sie ein R&I- Fließschema** mit Rohrleitungen, Ventilen, Pumpen, Tanks und Messungen.
Bezeichnen Sie Ventile, Pumpen und Messungen nach Norm mit Referenzkennzeichen L2 und L3 so, dass sich duplizierbare Teile (z.B. Tank mit Ventil) nur in L2 unterscheiden und so leicht dupliziert werden können. Verwenden Sie als Buchstaben in L2 „CM“, in L3 für Absperrventile „QM“ und für Pumpen „GP“. Die Durchflussmessungen werden für Steuerung und Anzeige benötigt, die Niveaumessungen zur Anzeige.



Alternativ:
 einfach durchnummeriert

- b) **Skizzieren Sie eine** fein gegliederte hierarchische **Steuerungsstruktur**: je ein mit dem Kennzeichen bezeichnetes Kästchen für jede Steuerungseinheit, Pfeile für Befehle mit Beschriftung (z.B. A/Z für AUF/ZU). Jeder Antrieb soll einzeln ansteuerbar sein (Tasten nicht darstellen), jede Pumpe soll mit ihren Absperrventilen automatisch angefahren werden können, und ebenso die gesamte Anlage. Kennzeichnen Sie übergeordnete Steuerungen nur mit dem Kennzeichen-Level L2 bzw. L2 mit Ziffern 00.



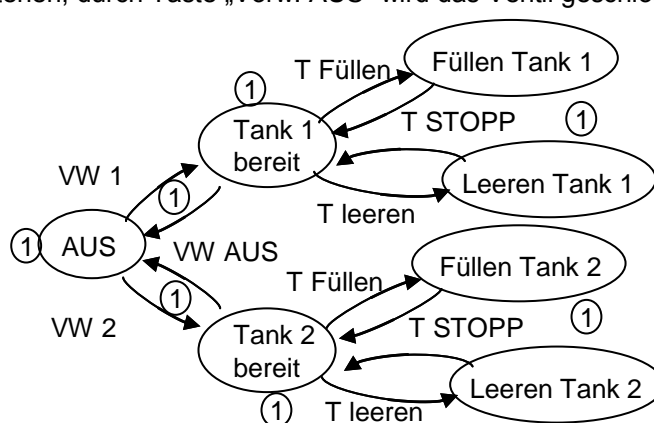
- c) **Skizzieren Sie ein Zustandsdiagramm** für den automatischen Betrieb: Es darf immer nur eine Pumpe laufen und nur ein Tankventil geöffnet sein.

Zunächst muss ein Tank ausgewählt werden (von nicht darzustellenden Bedingungen abhängig, nicht gleichzeitig beide Tanks), dadurch wird das entspr. Tank-Absperrventil geöffnet. In diesem Zustand kann die Anlage eine gewisse Zeit stehen, durch Taste „Vorw. AUS“ wird das Ventil geschlossen.

Wenn ein Tankventil geöffnet ist kann über die Tasten „Füllen“ bzw.

„Leeren“ gefüllt und geleert werden, bis dies durch Taste „STOPP“ beendet wird.

Stellen Sie Zustände und mögliche Wege („Kanten“) zwischen ihnen dar, geben Sie an den Kanten die Tasten an, durch die diese Wege gestartet werden.



2d) Skizzieren Sie den Funktionsplan einer Antriebssteuerung für die Füll- Pumpe. Verwenden Sie darin einen unterstellten Funktionsbaustein „ANST“ (Antriebssteuerung) mit Eingängen für Automatikbefehle, Freigaben und Prozessrückmeldungen für jeweils EIN und AUS sowie einen für Schutz-AUS. Die Ausgänge brauchen nicht dargestellt zu werden. Bezeichnen Sie die Funktionsbaustein- Eingänge mit geeigneten Abkürzungen.

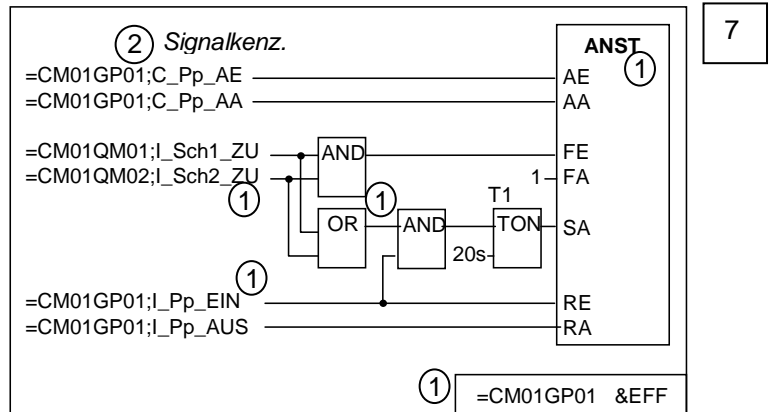
Die Pumpe darf nur eingeschaltet werden, wenn ihre beiden Absperrventile ZU sind. Sie muss per Schutz-AUS abgeschaltet werden, wenn zumindest ein Absperrventil nach dem Einschalten der Pumpe länger als 20s geschlossen bleibt.

Kennzeichnen Sie die Eingangssignale nach allg. Norm mit Referenzkennzeichen (aus a) und Signalnamen. Benutzen Sie dabei „C“ für Befehle an die Antriebssteuerung (mit nachfolgender Aggregate-Abkürzung und Eingangsabkürzung) und „I“ für Prozessrückmeldungen (mit nachfolgender Aggregate-Abkürzung und Zustand, z.B.

„CM01GP01;I_Pp_EIN).

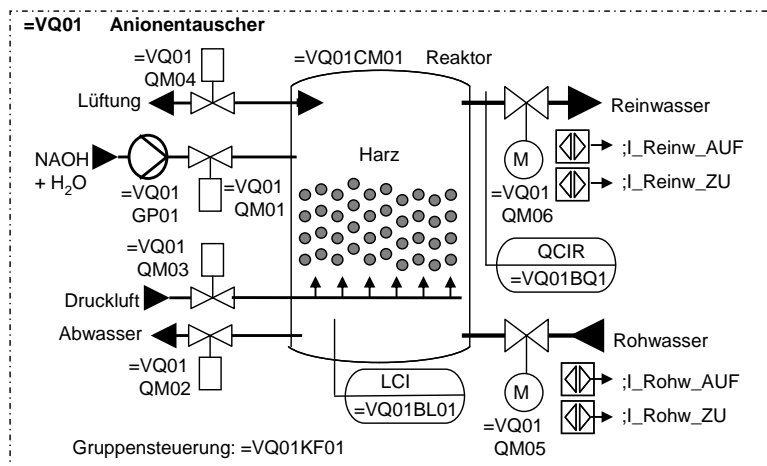
Alternativ können Sie auch abgekürzten Klartext verwenden (-2Pkte.)

Beschriften Sie den „Zeichnungskopf“ mit Referenzkennzeichen und Dokumentenart.



3. Programmiersprachen

25 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten



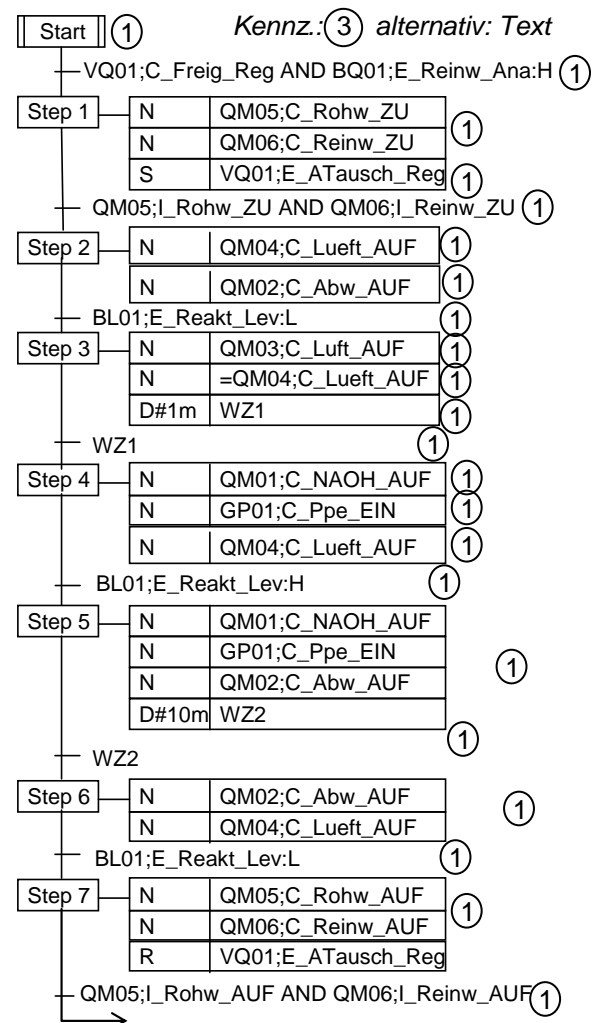
(Für Variablen-Namen kann „=“ und „VQ01“ weggelassen werden, z.B. QM05;I_Rohw_ZU)

Das obige Bild zeigt das R&I- Fließschema des Anionentauschers einer Wasseraufbereitung für vollentsalztes Wasser (vgl. Aufg. 1). Roh- und Reinwasserventile werden durch Elektromotoren ver- stellt (AUF / ZU- Befehle, A / Z- Rückmeldungen von Initiatoren), die übrigen Ventile sind Magnetventile ohne Rückmeldungen. Die Pumpe hat keine elektr. Selbsthaltung. Niveau und Wasser- Reinheit (BQ) werden analog gemessen, unterstellen Sie in der CPU gebildete binäre Grenzsingale.

Die Regenerierung wird gestartet, wenn die Freigabe vorliegt (VQ1;C_Freig_Reg) und die Analysenmessung hohen Salzgehalt meldet (BQ01;E_Reinw_Ana:H).

Zur Regenerierung müssen zunächst Roh- und Reinwasser- ventile geschlossen werden. Danach wird das Niveau auf „<TIEF“ abgesenkt und dann das Harz für 1 Minute mit Druckluft aufgelockert. Nun wird bis Niveau „>HOCH“ verdünnte Natron- lauge (NaOH) eingefüllt und dann für 10 Minuten gespült (Lauge eingefüllt und abgelassen). Dann wird der Reaktor bis „<TIEF“ geleert und der Wasserdurchfluss wieder gestartet. Solange die Regenerierung läuft soll die Meldung „VQ01;E_ATausch_Reg“ ausgegeben werden.

Erstellen Sie das Programm zum „Regenerieren“ in Ablaufsprache der DIN 61131, verknüpfte Transitionen in ST. Verwenden Sie als Variablenbezeichnungen Signalkennzeichnungen nach Norm (nur Signalnamen, z.B. „QM05;C_Rohw_ZU“ und „QM05;I_Rohw_ZU“), alternativ abgekürzten Klartext (-3 Pkt.). Vermeiden Sie bis auf die Meldung „Regenerieren läuft“ Speicherungen, geben Sie besser den gleichen Befehl in mehreren Schritten.

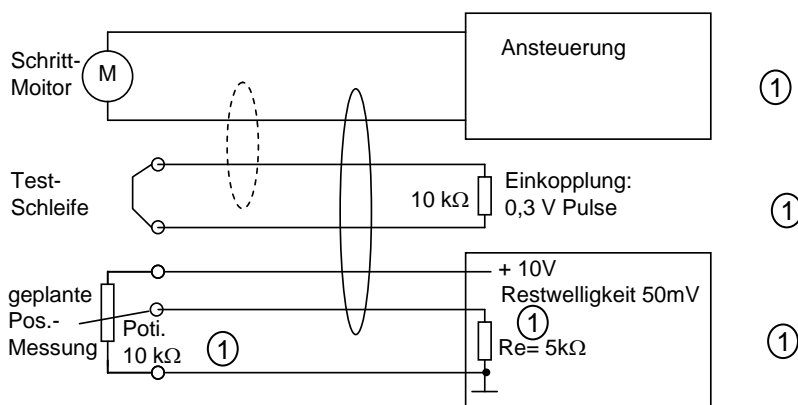


4. EMV

20 Punkte, Vorgabe: 20 Minuten

Ein Schrittmotor soll über ein 10 m langes normales Niederspannungskabel angesteuert werden (ungeschirmt, unverdrillt). Die Position soll mit einem Potentiometer in 3-Leiter-Schaltung gemessen werden (+10V, Abgriff, Null). Es soll über das gleiche Kabel angeschlossen werden. Der Schrittmotor wird mit ca. 10 Pulsen pro Sekunde angesteuert, die Positionsmessung soll nicht mehr benötigte Pulse verhindern und kann dazu max. 1% Störspannung (vom Maximalwert) verkraften. Um die Beeinflussung der Positionsmessung durch die Pulse an den Motor zu testen wurden zwei Kabeladern auf einer Seite verbunden und auf der anderen mit einem Widerstand von 10 k Ω abgeschlossen, an dem bei Motoransteuerung Pulse von 0,3 V gemessen wurden. Geplant ist ein Potentiometer von 10 k Ω und eine Auswerteschaltung mit einem Ersatz- Eingangswiderstand gegen Null von 5 k Ω . Die Spannungsversorgung für das Potentiometer hat eine Restwelligkeit von 50 mV.

a) Skizzieren Sie die Anordnung (Motoransteuerung, Testmessung, Positionsmessung)



5

b) Welche Störspannung ist am Eingang der geplanten Positionsmessung zu erwarten?

Beide Anschlüsse der Stromversorgung sind für Störspannungen ein Kurzschluss.

Der höchste Widerstand des Messkreises ergibt sich mit 5 k Ω bei Mittelstellung des Potentiometers, der Kreis hat dann 10 k Ω , entspricht also der Testschleife, an Re also: 0,15 V

2

2

c) Erstellen Sie eine Kopplungsmatrix

① Quellen Senken	Motorleitung	Spannungsversorgung
① Potentiometer (0,1 V)		0,05 V ①
① Messleitung (0,1 V)	0,15 V ①	

7

d) Wie könnte man die Beeinflussung in dieser Anordnung verringern, wenn mit einer unzulässig hohen Beeinflussung zu rechnen ist? Auf welchen Wert könnte die Maßnahme die Störspannung verringern? (Bei veränderter Auslegung des Messkreises können Sie mit gleicher Störleistung rechnen!)

6

- Poti und Re niederohmig auslegen, z.B. je 1 k Ω ; ① geschätzt: ca. 1/5 = ca. 0,03 V (①)

$$\text{Störleistung an } 10 \text{ k}\Omega: P = \frac{U^2}{R} = \frac{0,0225}{10 \cdot 10^3} = 2,25 \cdot 10^{-6} \text{ W} \quad ①$$

$$\text{bei } 0,5 \text{ und } 1 \text{ k}\Omega: I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{2,25 \cdot 10^{-6}}{1,5 \cdot 10^3}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \quad U = I \cdot R = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^3 = 15 \text{ mV} \quad ②$$

- Alternative: Strom- Übertragung, mit einer Bürde von < 1 k Ω : sicher unter der Störfestigkeit ②

alternativ

5. Sicherheit

14 Punkte, Vorgabe 15 Minuten

An einer automatischen Fräsmaschine muss ein Arbeiter während einer ganzen Schicht die Werkstücke ein- und ausspannen. Während die Maschine fräst wäre es möglich, dass er in den Arbeitsbereich hineingreift und dabei einen Finger verliert. Eine Vermeidung wäre ihm natürlich möglich.

Der Arbeitsbereich der Maschine ist durch eine Abdeckung gesichert, die geschlossen sein muss, damit der Motor Spannung erhält. Ob die Abdeckung geschlossen ist prüft ein Initiator (Dreileiterschaltung), ein angeschlossenes Auswertegerät liefert bei geschlossener Abdeckung 24 V / max. 1 A an ein Relais, das dann die Spannungszufuhr zum Motor durchschaltet. Für den Initiator mit Auswertegerät ist das folgende Auftreten von Fehlern bekannt:

- keine Spannung am Ausgang, obwohl die Abdeckung geschlossen ist: 7 mal in 10^7 Stunden,
 - Spannung am Ausgang, obwohl die Abdeckung nicht geschlossen ist: 4 mal in 10^7 Stunden.
- Beide Fehler können nicht überwacht (entdeckt) werden.

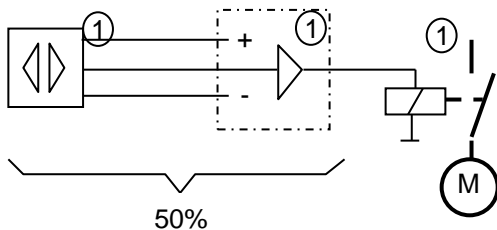
a) Bestimmen Sie den zu fordernden SIL anhand der DIN 62061

2

$S=3$; $F=5$; $W=3$; $P=3$; somit $K=11$; bei $S=3$ ergibt sich SIL2

②

b) Skizzieren Sie sich die Anordnung. Welche Ausfallwahrscheinlichkeit ist für Sensor + Auswertegerät zulässig? (Verwenden Sie die Fehlerrisiko- Aufteilung nach Norm)



Hohe Anforderungsrate, daher PFH ①

8

Bei SIL2: $PFH = 10^{-6}$ ①

Sensor + Eingabe + Verarbeitung: 50% (alternativ: 60%) ②

Das bedeutet $PFH = 0,5 \cdot 10^{-6} / 0,65 \cdot 10^{-6}$ ①

c) Genügen der Initiator mit seinem Auswertegerät den Sicherheitsanforderungen?

(nur die Ausfallwahrscheinlichkeit betrachten, nicht FMEDA usw.)

4

$\lambda_{DU} = 4 \cdot 10^{-7}$, mit $PFH \cong \lambda_{DU}$ $PFH = 0,4 \cdot 10^{-6}$ ① d.h. ausreichend ②

①

Lösungen

1. Messwertaufbereitung, Signalausgabe, Systemkommunikation **30 Punkte, Vorgabe: 30 Minuten**

In einer Industrieanlage wird vollentsalztes Wasser benötigt, das durch zwei zueinander redundante Wasseraufbereitungsstraßen mit Anionen- und Kationentauscher erzeugt werden soll (siehe Prozessbild Aufg. 3). Jede Straße soll von einer eigenen SPS gesteuert werden, die in je einen Schrank vor-Ort einzubauen ist. Dadurch sind Sensoren und Aktoren max. 6 m von der SPS entfernt. Pro Straße sind zu berücksichtigen:

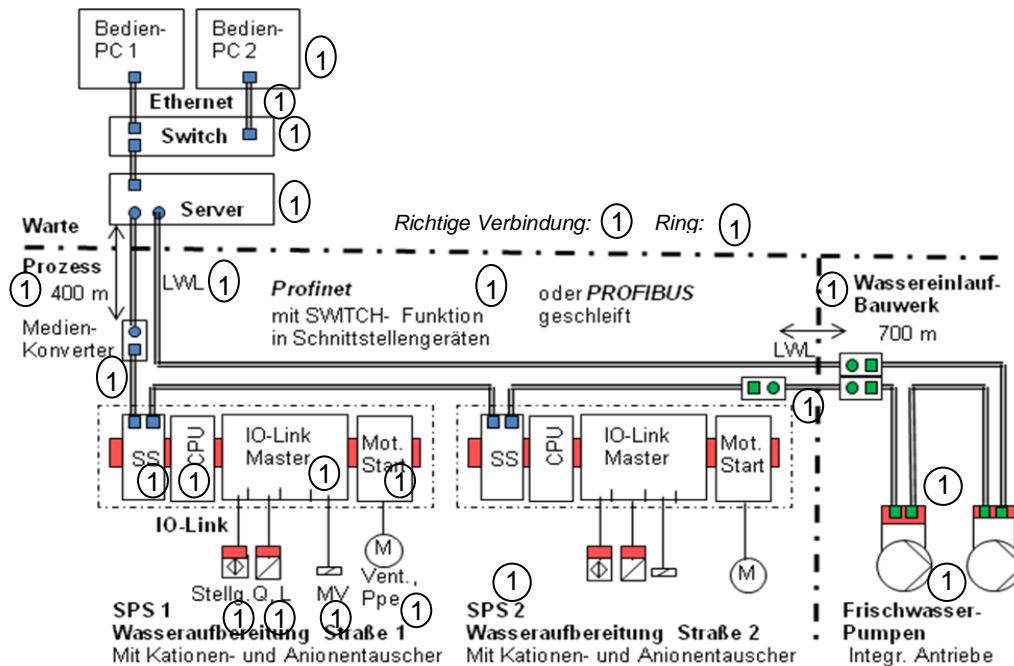
- 4 Stellungsmeldungen und 2 analoge Messungen (Analyse, Niveau),
 - 4 Magnetventile (24 V, 1 A), 2 Stellantriebe (230 V, 1,5 kW), 1 Pumpe (400 V Drehstr., 3 kW, ungeregelt).
- Es können moderne Geräte eingesetzt werden (IO-Link, Motor-Starter), mit digitalem Zugang bis ins Feld.

Die beiden SPS sollen untereinander (stehen nebeneinander), mit zwei Frischwasserpumpen (Integrierte Antriebe, 700 m entfernt) und mit einem Server in der ca. 600 m entfernten Warte störungsgeschützt und preiswert so miteinander verbunden werden, dass der Ausfall einer Leitung den Betrieb nicht unterbricht. Die Schnittstellen brauchen nicht besonders geschützt zu sein.

Die Schnittstellengeräte der SPS, der Server sowie die integrierten Antriebe sollen integrierte Switches besitzen. Die Schnittstellengeräte und die integrierten Antriebe haben Ports für Twisted Pair, der Server auch für LWL.

An den Server sind zwei Bedien- PCs anzuschließen. Diese, der Server und die Verbindungen unter ihnen brauchen nicht gegen Ausfall geschützt zu sein.

- a) **Erstellen Sie eine Anordnungsskizze** aller Geräte und Verbindungen (einpölig), geben Sie mögliche Bus-Arten an. Pro Gerätetyp braucht nur je eines dargestellt zu werden, geben Sie aber Arten der Sensoren / Aktoren an. Die zweite. SPS braucht nur angedeutet zu werden.



Alternativen:

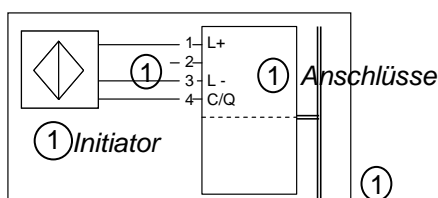
Interbus, ..

Parallele Linie

Statt IO-Link-Master:
DI / AI mit HART-MU

Statt Motorstarter: DO mit Schütz

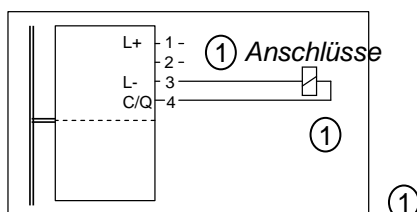
- b) Skizzieren Sie ein Anschlussbild einer Stellungsmeldung**, allpolig, mit modernen Geräten, soweit vorhanden (Skript) mit Anschlussbezeichnungen und –Nummern.



4

Alternative: Kontakt mit DI (2)

- c) **Skizzieren Sie ein Anschlussbild für ein Magnetventil**, allpolig, mit modernen Geräten, soweit vorhanden mit Anschlussbezeichnungen und –Nummern.



3

DO ohne Anschl.-Bez. (1)

2. Engineering: R&I, Gliederung, Kennzeichnung

36 Punkte, Vorgabe: 35 Minuten

Ein Industriebetrieb gewinnt Wasser durch Brunnen in einem nahegelegenen Waldstück. Diese fördern in einen oberirdischen Vorratsbehälter („VB“). Von dort fördern zwei 75%- Pumpen mit jeweils nachgeschaltetem Absperrventil das Wasser über eine gemeinsame Leitung zum Betrieb. Da der Wasserbedarf stark schwankt wird der Druck auf der gemeinsamen Leitung gleich hinter den Pumpen gemessen und über ein Bypassventil konstant gehalten. Das Niveau im Vorratsbehälter und der Durchfluss jeder Pumpe werden analog gemessen.

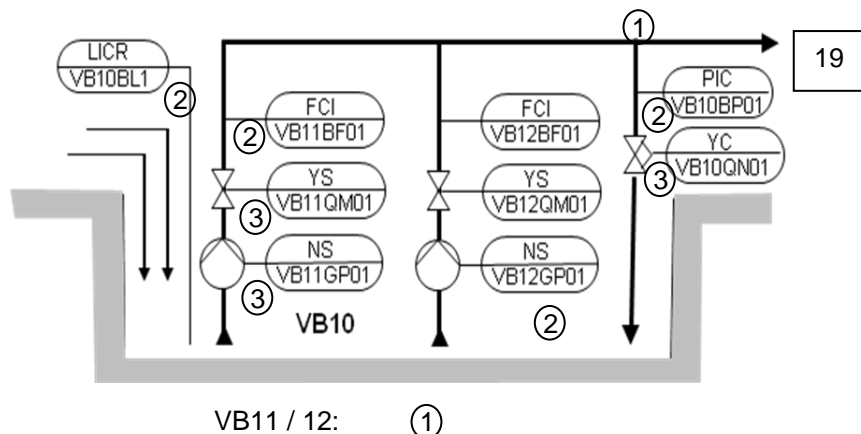
- a) **Skizzieren Sie ein R&I- Fließschema** mit Rohrleitungen, Ventilen, Pumpen, Behälter und Messungen. Zusatzinformationen (z.B. Grenzschnalle) und Wirkungslinien zwischen Sensoren und Aktoren weglassen.

Bezeichnen Sie Ventile, Pumpen und Messungen nach Norm mit Referenzkennzeichen in zwei Ebenen.

Die erste, Projekt- spezifische Ebene sei „VBnn“. Für die nächste verwenden Sie die Buchstaben aus der Norm: für Absperrventile „QM“, Regelventile „QN“ und für Pumpen „GP“.

Kennzeichnen Sie so, dass sich duplizierbare Teile (z.B. Pumpe mit Ventil und Messung) nur in der ersten Ebene unterscheiden und so leicht dupliziert werden können.

Die Durchflussmessungen werden für Steuerung und Anzeige benötigt, das Niveau zusätzlich registriert.

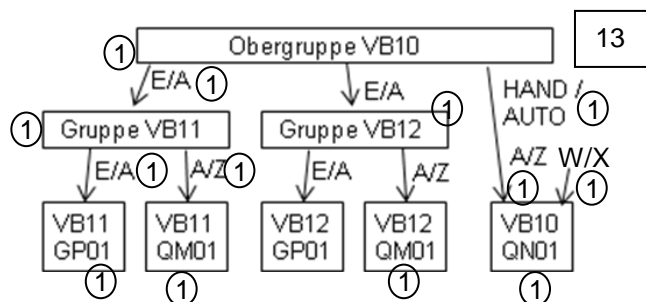


- b) **Skizzieren Sie eine fein gegliederte hierarchische Steuerungsstruktur:** je ein mit dem Kennzeichen bezeichnetes Kästchen für jede Steuerungseinheit, und Pfeile für Befehle von übergeordneten an untergeordnete Instanzen mit Abkürzungen für die Befehlsart, z.B. „E/A“ für EIN / AUS.

Jeder Antrieb soll einzeln ansteuerbar sein (Tasten nicht darstellen), jede Pumpe soll mit ihren Absperrventilen automatisch angefahren werden können, und ebenso die gesamte Pumpen- Anlage.

Das Bypassventil benötigt einen Einzelgrößenregler mit Steuerungsfunktionen: Beim Anfahren der ganzen Pumpenanlage muss der Bypass geschlossen und der Regler auf Hand gestellt werden. Stellen Sie für den Einzelgrößenregler auch Soll- und Istwert mit Pfeilen dar.

Kennzeichnen Sie übergeordnete Instanzen nur mit der ersten Kennzeichen- Ebene und passenden Ziffern.



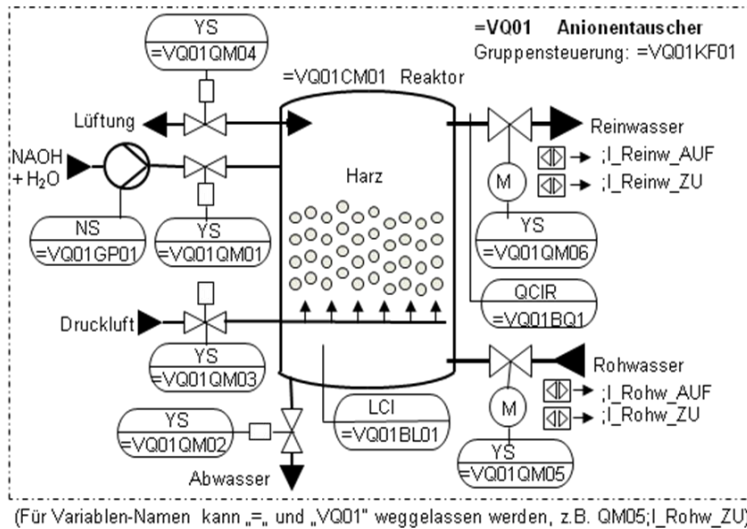
- c) Angenommen, es läuft z.Zt. nur eine Pumpe, das Bypassventil ist fast ganz zu und der Wasserdruck sinkt.

Welche Instanz muss jetzt was tun? Welche Info braucht sie von welcher anderen?

->Die Obergruppe muss die Gruppe der anderen Pumpe starten (2) und braucht dazu die Position des Bypass-Ventils (1) und den Druck von der Druckmessung (1).

3. Programmiersprachen

25 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten

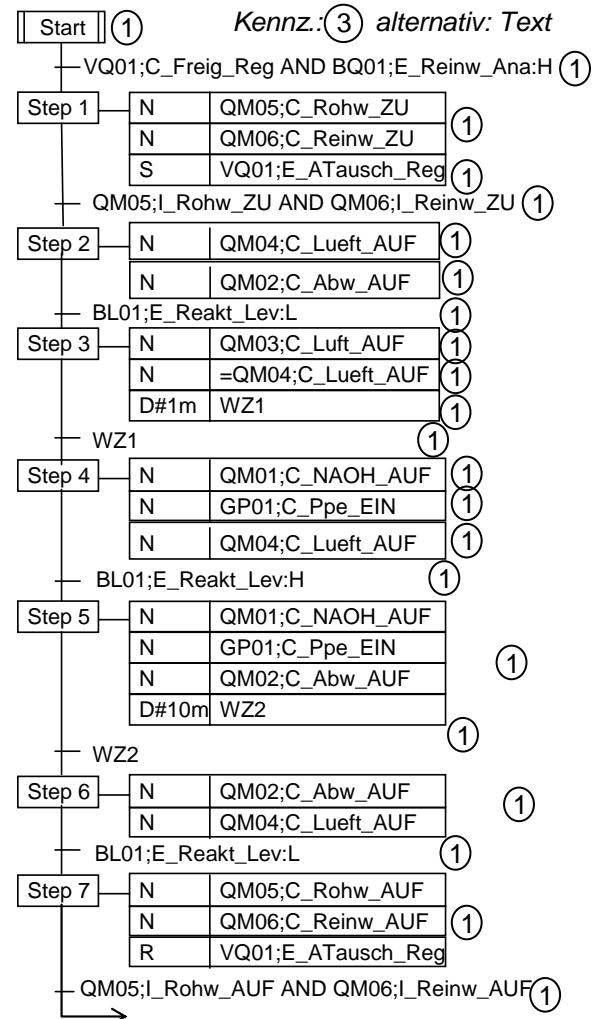


Das obige Bild zeigt das R&I-Fließschema des Anionentauschers einer Wasseraufbereitung für vollentsalztes Wasser (vgl. Aufg.1). Roh- und Reinwasserventile werden durch Elektromotoren verstellt (AUF / ZU- Befehle, A / Z- Rückmeldungen von Initiatoren), die übrigen Ventile sind Magnetventile ohne Rückmeldungen. Die Pumpe hat keine elektr. Selbsthaltung. Niveau und Wasser-Reinheit (BQ) werden analog gemessen, unterstellen Sie aber (in der CPU gebildete) vorhandene binäre Grenzschnale.

Die Regenerierung wird automatisch gestartet, wenn die Freigabe vorliegt (VQ1;C_Freig_Reg) und die Analysenmessung hohen Salzgehalt meldet (BQ01;E_Reinw_Ana:H). Zur Regenerierung müssen zunächst Roh- und Reinwasser geschlossen werden. Danach wird das Niveau auf „<TIEF“ abgesenkt und dann das Harz für 1 Minute mit Druckluft aufgelockert. Nun wird bis Niveau „>HOCH“ verdünnte Natronlauge (NAOH) eingefüllt und dann für 10 Minuten gespült (Lauge eingefüllt und gleichzeitig abgelassen). Dann wird der Reaktor bis „<TIEF“ geleert und der Wasserdurchfluss wieder gestartet. Solange die Regenerierung läuft soll die Meldung „VQ01;E_ATausch_Reg“ ausgegeben werden.

Erstellen Sie das Programm zum „Regenerieren“ in Ablaufsprache der DIN 61131, verknüpfte Transitionen in Strukturiertem Text. Verwenden Sie als Variablenbezeichnungen Signalkennzeichnungen nach Norm (nur letzten Teil des Referenzkennzeichens und Signalnamen, z.B. „QM05;C_Rohw_ZU“ und „QM05;I_Rohw_ZU“), alternativ abgekürzten Klartext (-3 Pkt.). Vermeiden Sie bis auf die Meldung „Regenerieren läuft“ Speicherungen, geben Sie besser den gleichen Befehl in mehreren Schritten.

25



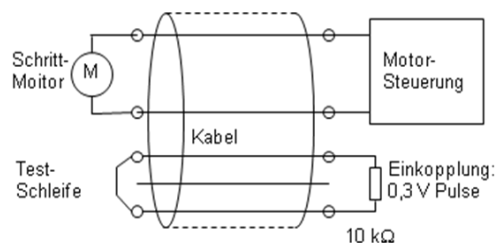
4. EMV

19 Punkte, Vorgabe: 20 Minuten

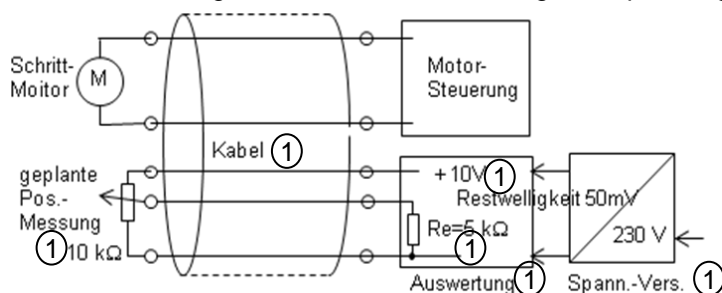
Ein Schrittmotor soll über ein 10 m langes normales, mehradriges Niederspannungskabel (ungeschirmt, unverdrillt) mit ca. 10 Pulsen pro Sekunde angesteuert werden. Seine Position soll über ein Potentiometer in 3-Leiter-Schaltung gemessen werden (+10V, Abgriff, Null). Geplant ist ein Potentiometer von 10 kΩ und eine Auswerteschaltung mit einem Ersatz-Eingangswiderstand gegen Null von 5 kΩ. Die vorgesehene Spannungsversorgung für Potentiometer und Auswerteschaltung hat eine Restwelligkeit von 50 mV.

Aus Kostengründen soll die Messung über das gleiche Kabel angeschlossen werden. Für einen fehlerfreien Betrieb „verträgt“ die Messung eine Störspannung von max. 1% des Maximalwertes (10V). Geht das?

Um die tatsächliche Beeinflussung zu testen wurde aus zwei Leitungen des Kabels eine Leiterschleife gebildet und mit 10 kΩ abgeschlossen (siehe Abbildung). An diesem Widerstand wurden bei Motoransteuerung 0,3 V Impulse gemessen.



a) Skizzieren Sie die geplante Anordnung Schrittmotor – Kabel – Motorsteuerung mit Positionsmessung, Kabel, Auswerteschaltung und Spannungsversorgung.



6

b) Welche Störspannung ist am Eingang der geplanten Positionsmessung zu erwarten? Stellen Sie sich dazu vor, der Abgriff des Potentiometers stehe dabei in Mittelstellung!

Beide Anschlüsse der Stromversorgung sind für Störspannungen ein Kurzschluss.

Der höchste Widerstand des Messkreises ergibt sich mit 5 kΩ bei Mittelstellung des Potentiometers, der Kreis hat dann 10 kΩ, entspricht also der Testschleife, an Re also: 0,15 V

(2)

2

c) Erstellen Sie eine Kopplungsmatrix

Quellen Senken	Motorleitung	Spannungsversorgung
Potentiometer (0,1 V)		0,05 V
Messleitung (0,1 V)	0,15 V	

7

d) Wie könnte man die Beeinflussung in dieser Anordnung verringern, wenn mit einer unzulässig hohen Beeinflussung zu rechnen ist? Auf welchen Wert könnte die Maßnahme die Störspannung verringern? (Bei veränderter Auslegung des Messkreises können Sie mit gleicher Störleistung der Quelle rechnen!) Eine begründete Schätzung reicht!

4

- Poti und Re niederohmig auslegen, z.B. je 1 kΩ; geschätzt: ca. 1/5 = ca. 0,03 V

$$\text{Störleistung an } 10 \text{ k}\Omega: P = \frac{U^2}{R} = \frac{0,0225}{10 \cdot 10^3} = 2,25 \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

$$\text{bei } 0,5 \text{ und } 1 \text{ k}\Omega: I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{2,25 \cdot 10^{-6}}{1,5 \cdot 10^3}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \quad U = I \cdot R = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^3 = 15 \text{ mV}$$

alternativ

5. Sicherheit

10 Punkte, Vorgabe 10 Minuten

An einer automatischen Fräsmaschine muss ein Arbeiter während einer ganzen Schicht die Werkstücke ein- und ausspannen. Während die Maschine fräst wäre es möglich, dass er in den Arbeitsbereich hineingreift und dabei einen Finger verliert. Eine Vermeidung wäre ihm natürlich möglich.

Der Arbeitsbereich der Maschine ist durch eine Abdeckung gesichert, die geschlossen sein muss, damit der Motor Spannung erhält. Ob die Abdeckung geschlossen ist prüft ein Initiator (Dreileiterschaltung), ein angeschlossenes Auswertegerät liefert bei geschlossener Abdeckung 24 V / max. 1 A an ein Relais, das dann die Spannungszufuhr zum Motor durchschaltet. Für den Initiator mit Auswertegerät ist das folgende Auftreten von Fehlern bekannt:

- keine Spannung am Ausgang, obwohl die Abdeckung geschlossen ist: 7 mal in 10^7 Stunden,
 - Spannung am Ausgang, obwohl die Abdeckung nicht geschlossen ist: 4 mal in 10^7 Stunden.
- Beide Fehler können nicht überwacht (entdeckt) werden.

a) Bestimmen Sie den zu fordernden SIL anhand der Tabellen in DIN 62061

2

$S=3$; $F=5$; $W=3$; $P=3$; somit $K=11$; bei $S=3$ ergibt sich SIL2 (2)

b) Welche Ausfallwahrscheinlichkeit ist für Sensor + Auswertegerät zulässig? Verwenden Sie die Fehlerrisiko- Aufteilung nach Norm

Hohe Anforderungsrate, daher PFH (1)

5

Bei SIL2: $PFH = 10^{-6}$ (1)

Sensor + Eingabe + Verarbeitung: 50% (alternativ: 60%) (2)

Das bedeutet $PFH = 0,5 \cdot 10^{-6} / 0,6 \cdot 10^{-6}$ (1)

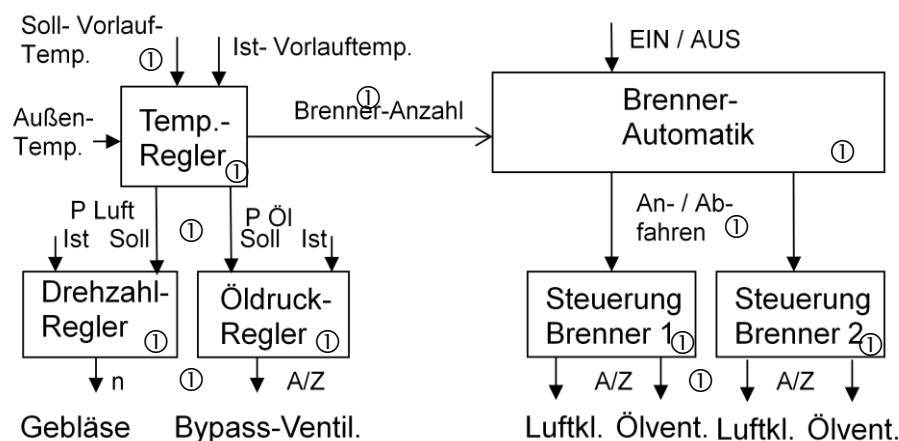
c) Genügt der Initiator mit seinem Auswertegerät den Sicherheitsanforderungen?

(nur die Ausfallwahrscheinlichkeit betrachten, nicht FMEDA usw.)

3

$\lambda_{DU} = 4 \cdot 10^{-7}$, mit $PFH \cong \lambda_{DU}$ $PFH = 0,4 \cdot 10^{-6}$ (1) d.h. ausreichend (1)

(1)



2. Programmiersprachen (vgl. Aufg. 1, Nr.2 ist aber unabhängig lösbar)**25 Punkte, 25 Minuten**

Ein Leichtöl- Brenner soll durch eine Ablaufsteuerung an- und abgefahren werden. Er besitzt:

- eine Absperrklappe für die Verbrennungsluft (Stellantrieb mit Motorantrieb, Endschalter für AUF und ZU),
- ein Magnetventil für die Leichtöl-Zufuhr, ohne Endschalter,
- einen Zünd-Transformator, ohne Rückmeldung, der über eine Funkenstrecke das Öl zündet, und
- einen Flammwächter, der ein Binärsignal TRUE für „Flamme brennt“ liefert.

Der folgende, hier vereinfachte Ablauf soll realisiert werden: Durch den Befehl „Anfahren“ soll die Luftklappe geöffnet werden und der Feuerraum 15s lang belüftet werden. Die Luftklappe bleibt nun bis zum Abfahren geöffnet. Dann wird das Ölventil geöffnet und der Zündtransformator eingeschaltet.

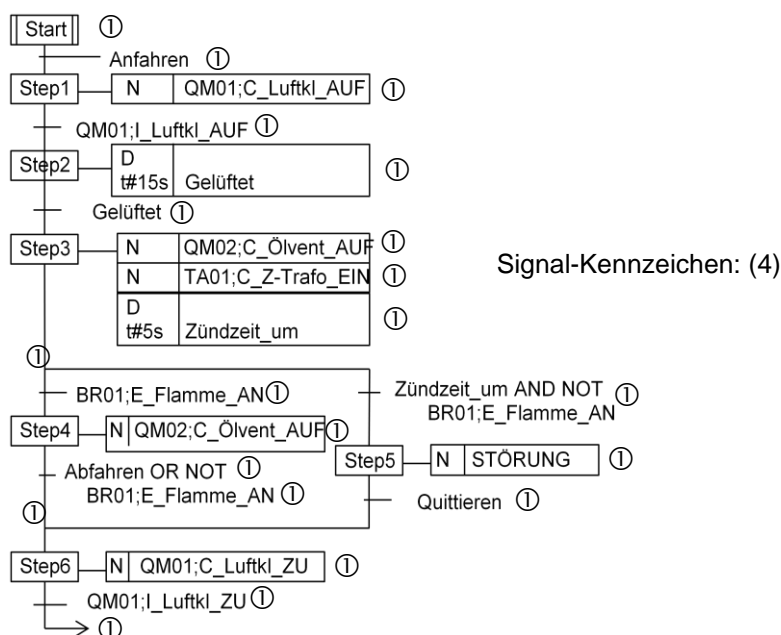
Wenn die Flamme brennt bleibt das Ölventil geöffnet, der Zündtransformator wird nicht mehr benötigt.

Meldet der Flammwächter keine Flamme mehr oder kommt der Befehl „Abfahren“, so werden das Ölventil und die Luftklappe geschlossen und die Steuerung geht wieder in den Start-Zustand.

Meldet der Flammwächter 5s nach Öffnen des Ölventils keine Flamme, so wird das Ölventil geschlossen und die Steuerung geht in den Zustand „STÖRUNG“. Nach Betätigung einer Taste „Quittierung“ wird wie beim Abfahren die Luftklappe geschlossen und die Steuerung geht in den Start-Zustand.

Skizzieren Sie eine Ablaufsteuerung für den Brenner in der entsprechenden Sprache der Norm DIN IEC 61131. Benutzen Sie die Möglichkeit der Verzweigung / Zusammenführung. Die Signale können Sie mit abgekürztem Klartext bezeichnen, Verwendung von Referenz- und Signalkennzeichen bringt 4 Punkte mehr. In diesem Fall reicht für das Referenzkennzeichen ein Bezeichnungslevel, also z.B. „BR01“ für den Flammwächter oder „TA01“ für den Zündtransformator. Die eigentlich nötige sicherheitsgerichtete Behandlung der Flammüberwachung sei hier nicht berücksichtigt.

25

**3. Geräteeinsatz, Systemkommunikation****31 Punkte, 30 Minuten**

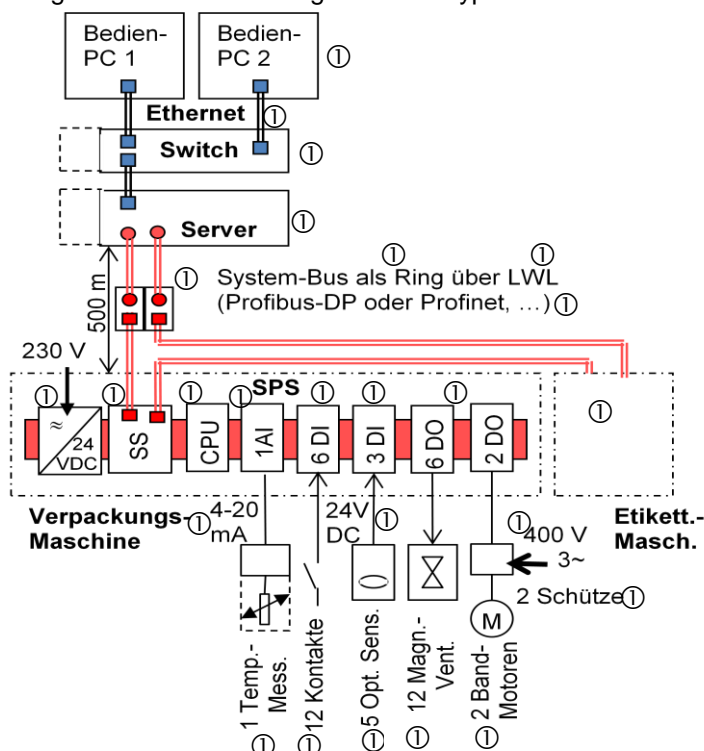
In einem Fertigungsbetrieb soll eine Verpackungs- und eine Etikettiermaschine ergänzt werden. Die Verpackungsmaschine besitzt 5 Lichtschranken, 12 Endkontakte, 1 Temperaturmessung (PT100 mit integriertem MU), Magnetventile für 6 Pneumatik-Zylinder (je 1 Ventil für jede Richtung), 2 Bandantriebs-Motoren von 3,5 kW / 400 V AC 3~. Die Etikettiermaschine ist ähnlich bestückt. Es müssen etliche Signale zwischen den beiden Maschinen ausgetauscht werden.

Jede Maschine soll von einer eigenen, vor-Ort angebrachten SPS gesteuert werden. Beide sollen möglichst verfügbar und störungsfrei miteinander und an eine 500 m entfernte Warte angeschlossen werden, in der es bereits einen Server und mehrere Bedien-PCs gibt. Die SPS haben Schnittstellen für Twisted Pair, der Server auch, und zusätzlich LWL-Schnittstellen.

a) Erstellen Sie für die Verpackungsmaschine eine Anordnungsskizze aller nötigen Geräte einschl. Spannungsversorgung und Bediengeräte (Server usw.). Deuten Sie die Etikettiermaschine nur als „Kästchen“ ohne Einzelgeräte an.

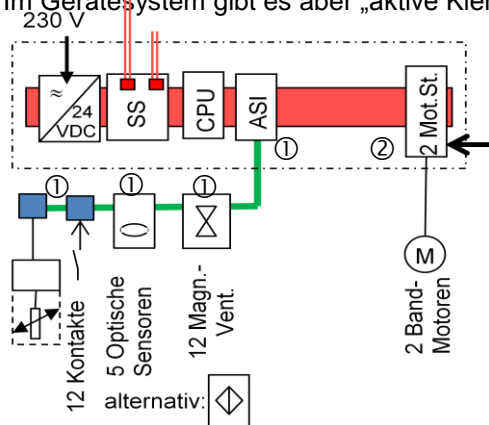
Es steht ein Gerätesystem für DIN-Schienen-Montage zur Verfügung, bei dem die I/O-Geräte je 2 Kanäle besitzen. Geben Sie die Geräte-Arten mit Abkürzungen an wie z.B. „DI“. Ein „Kästchen“ pro Gerätetyp reicht, und schreiben Sie die angeschlossenen Messungen / Prozesseingriffe dazu.

Sensoren / Aktoren sollen konventionell sein (nicht Bus-fähig), Anschluß: verdrahtet. Stellen Sie alle Verbindungen einpolig dar, auch die zwischen den SPS und dem Server. Geben Sie dabei elektrische Signalbereiche bzw. mögliche Bus-Typen an.



25

- b) Erstellen Sie eine zweite Geräte-Anordnungsskizze nur für die SPS der Verpackungsmaschine für den Fall, dass Sie moderne Geräte und Verbindungen für Sensoren / Aktoren verwenden können. Die Verbindungen zur Peripherie sollen möglichst billig sein (Material und Arbeit), z.B. mit AS-I. Mechanische Kontakte und Messumformer haben keine AS-I – Schnittstelle, optische Sensoren und Magnetventile haben eine. Im Gerätesystem gibt es aber „aktive Klemmen“ für Binär- und Analogsignale.



6

4. EMV

24 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten

Ein Schrittmotor soll über ein 15 m langes normales Niederspannungskabel (ungeschirmt, unverdrillt) von einem elektronischen Steuergerät angesteuert werden. Die Position soll mit einem Potentiometer von in 3-Leiter-Schaltung gemessen werden (+10V, Abgriff, Null). Es soll aus Kostengründen über das gleiche Kabel angeschlossen werden. Die Auswertung erfolgt in einem metallgekapselften Gerät neben dem Steuergerät durch einen Verstärker, der die Potentiometer-Stellung mit einer Soll-Position vergleicht. Für eine sichere Funktion darf eine Einstreuung max. 1% vom Maximalwert des Messbereichs betragen. Die Spannungsversorgung des Auswertegerätes hat eine Restwelligkeit von 50 mV.

Geplant sind ein 10 kΩ- Potentiometer und ein Verstärker- Eingangswiderstand von 10 kΩ.

Bei einer Simulation wurden während der Motoransteuerung auf der Leitung 200 mV Störspannung gemessen, im gekapselten Verstärker-Gerät 10 mV.

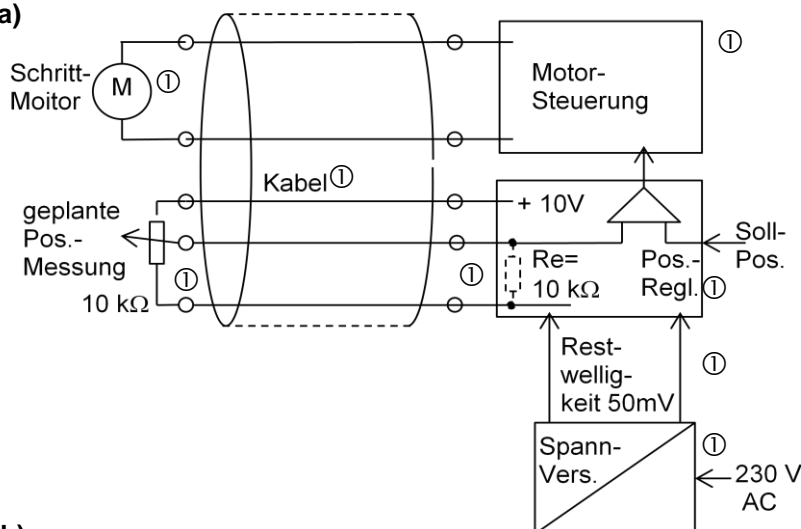
- Skizzieren Sie die Anordnung (Motoransteuerung, Positionsmessung).
- Erstellen Sie eine Kopplungsmatrix
- Wie könnte man die Beeinflussung in dieser Anordnung verringern, wenn sie sich als unzulässig hoch erweist?
Die Verwendung von nur einem Kabel soll beibehalten werden.

(8 Pkte)

(9 Pkte)

(7 Pkte)

zu a)



8

Zu b)

	Quellen	Mot.-Leitung	Spann.Vers.
Senken			
Mess-Leitg. (100 mV)		200 mV	50 mV
Verstärker (100 mV)		10 mV	50 mV

9

- Zu c) Maßnahmen:
- anderes Kabel: Messleitungen (abgeschirmt (1), besser verdreht) (1)
 - Beschaltung des Motors (1), z.B. mit einem SHCV (1)
 - anderer Positionsgeber mit Stromausgang (1)
 - kleinere Widerstände für Poti (1) und Verstärker- Eingang (1)

7

5. Sicherheit (vgl. Aufg. 1 u. 2, aber unabhängig lösbar)

10 Punkte, 10 Minuten

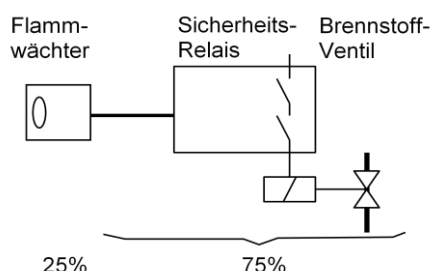
Die Brenner eines Industriekessels werden durch eine nicht sicherheitsgerichtete SPS gesteuert. Die Flammenüberwachung muss jedoch Sicherheits- Anforderungen für niedrige Ausfallrate entsprechen. Dazu ist hier der Sicherheitsgraph nach DIN 61508 anzuwenden.

Wenn die Flamme eines Brenners erlischt und weiterhin Brennstoff in den Feuerraum gelangt, kann durch die Flamme eines anderen Brenners eine Explosion ausgelöst werden, bei der mehrere Personen zu Tode kommen könnten. Allerdings halten sich nur selten Personen beim Kessel auf, und die Wahrscheinlichkeit einer Explosion ist gering.

Das Schließen des Brennstoff-Ventils erfolgt durch ein Sicherheitsrelais, das die Zündzeit überbrückt. Es erfüllt die Aufgaben der Verarbeitung, der Signalausgabe und mit einem speziellen Magnetventil die des Aktors, das entspricht 75% der Ausfall-Verteilung gemäß Norm. Für diese Aufgaben ist es bis SIL3 zugelassen.

Für die Erfassung der Flamme soll ein Flammwächter eingesetzt werden, der gemäß Tests einmal in 10^5 Stunden durch Verschmutzung unnötigerweise Flammen-Ausfall meldet, und max. 5 mal in 10^6 Stunden fälschlicherweise keinen Flammenausfall meldet. Durch regelmäßigen Test kann eine „Unklarzeit“ t_{CE} von 44 Std. angenommen werden.

- a) Welcher Sicherheits-Integrity-Level ist für den Flammwächter notwendig, und welche Ausfallwahrscheinlichkeit (PFD oder PFH und Wert) ist zulässig?



Nach Sicherheitsgraph: C3 – F1 – W2: e, -> **SIL3** (2)

„Niedrige“ Anforderungsrate: **PFD** (1)

PFD_{gesamt} bei SIL3: **10^{-3}** (1)

$PFD_{Flammw.} = 25\% = 0,25 \cdot 10^{-3}$ (2)

b) Ist der beschriebene Flammwächter geeignet? (nur nach PFD / PFH bewerten)

$$\lambda_D = 5 * 10^{-6} \quad PFD = \lambda_D * t_{CE} = 5 * 10^{-6} * 44 = 0,22 * 10^{-3} \quad (2)$$

ist kleiner als zulässig, Flammwächter ist geeignet (2)