

Beantworten Sie bitte nachstehende Fragen (kurz) bzw. erstellen Sie Hand – Skizzen auf gesonderten, mit Ihrem Namen gekennzeichneten Blättern unter Angabe der jew. Aufgaben – Nr.:

### 1. Systemkommunikation

26 Punkte, 30 Minuten

Erstellen Sie eine HW- Anordnungsskizze mit Geräten und Verbindungen (konventionell und Bus) für eine sinnvolle Lösung der folgenden Aufgabenstellung in einer Ausschreibung für ein Angebot. Gleichartige Geräte (z.B. „Analysemessungen“) können zu einem „Kästchen“ zusammengefasst werden.

**Wasseraufbereitungsanlage**, in eigenem Gebäude, mit einer SPS zu steuern, im Prozess:

- 10 Analysemessungen (mit PROFIBUS – Anschluss, umfangreiche Diagnosefunktionen),
- 20 sonstige Messungen wie Niveau, Druck usw. (analog, keine Fremd- Spannungsversorgung zusätzlich zur Messleitung vorsehen, mit oder ohne Feldbus – Anschluss)
- 6 Dosierventile: Magnetventile, ohne Feldbusanschluss, direkt von Elektronik-Ausgabegeräten steuerbar, jeweils nur mit „OFFEN“- Endschalter als kontaktlose Schalter mit 2-Leiter – Anschl. (oder Bus-Anschl.)
- 8 Pumpen (DS-Asynchr.-Motoren, ohne Regelung, ohne Bus-Schnittst.), über Schaltanlage im gleichen Gebäude (Raum neben „Elektronik- Raum), Rückmeldungen EIN und AUS vom Leistungsschutz
- 12 Absperrschieber (E-Motoren über gleiche Schaltanlage wie Pumpen) mit Weg- Endschaltern (Kontaktlose Geber, mit noch zu wählendem Bus-Anschluss oder verdrahtetem 2-Leiter – Anschluss)

**Sieb- und Pumphaus** (für Frischwasser von einem Fluss, ca. 600 m entfernt), von SPS mit zu steuern:

- 2 Pumpen mit „integriertem Antrieb“ (Leistungsteil und Steuerung), mit Feldbusanschluss
- 2 Rechen – Antriebe: DS-Asynchr.-Motoren, eine Richtung laufend, über örtliche Schaltanlage im Sieb- und Pumphaus, ohne Feldbus- Anschluss, mit Kontakt- Rückmeld. „EIN“ von den Leistungsschützen,
- 4 Absperrschieber: DS-Asynchr.-Motoren über örtl. Schaltanlage im Sieb- und Pumphaus, ohne Regelung, ohne Bus-Schnittstelle, mit Rückmeldungen „AUF“ und „ZU“ über Weg-End- schalter als kontaktlose Geber, 2-Leiter- Anschluss (oder Bus-Anschl.), ohne Fremdspeisung auszuführen
- 2 Niveau- und 4 Druckmessungen (Messumformer mit 20 mA – Ausgang / Bus-Anschl.), ohne Fremdsp.

**Anzeige / Bedienung** über vorhandenes Bediensystem, das mit einem eigenem Terminalbus (Ethernet, TCP/IP) ausgestattet ist.

### 2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit

8 Pkte., 10 Minuten

An einer Werkzeugmaschine wird der Weitertransport des Werkstücks durch einen mechanischen Endschalter ausgelöst. Dieser fiel im vergangenen Jahr durch mech. Beschädigung im Schnitt pro Monat einmal aus, die Reparatur dauerte jeweils insgesamt 4 Stunden und kostete jeweils ca. 500 €. (Rechnen Sie nur mit einer geplanten Betriebszeit von 16 Std./Tag und 20 Tg./Monat)

a) wie hoch war die Verfügbarkeit?

b) Für eine bessere Lösung mit optischer Lageerkennung wird ein  $\lambda$  von  $2 \cdot 10^{-4}$  garantiert, die Umstellung würde ca. 5.000 € kosten, Reparaturzeit und Reparaturkosten würden sich nicht ändern. Welche Verfügbarkeit ergibt sich nun und nach welcher Zeit (bezogen auf die alte Lösung) würde sich die Umstellung amortisieren?

### 3. Sicherheit (Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit / Sicherheit)

13 Pkte, 15 Minuten

Eine Heizanlage soll bei Überdruck "sicherheitsgerichtet" abgeschaltet werden, dazu ist innerhalb der Steuerung an einem Eingang eines ODER – Gatters eine "1" nötig. 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 an seinem Eingang keine Spannung ansteht.

- a) Erstellen Sie eine Skizze, aus der erkennbar ist, welchen Kontakt Sie benutzen (Schließer oder Öffner), welchen physikalischen Zustand die gezeichnete Kontaktstellung bedeutet 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, wenn ein zweiter Druckwächter zur Verfügung stünde? Skizzieren Sie die Lösung.
- c) Die gesamte Abschaltung soll SIL2 erreichen, sie ist für „kontinuierliche Anforderung“ auszulegen. Für Verarbeitung und Befehlsausgabe wurde eine Ausfallwahrscheinlichkeit von  $6 \times 10^{-7}/h$  ermittelt.
- c1) Welche Ausfallwahrscheinlichkeit darf die Kombination aus Druckwächter und Eingabegerät haben?
- c2) Gibt es sonstige Einschränkungen, wenn 1 Kanal verwendet wird (N=1), der Anteil ungefährlicher Ausfälle bei 80% liegt, das Ausfallverhalten gut definiert und vollständig ermittelbar ist sowie jährlich gewartet wird?

### 4. Fehlertolerante Systeme (Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit / Sicherheit)

10 Punkte, 10 Minuten

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

- a1) Welchem Auslegungsziel (Verfügbarkeit oder Sicherheit) dient das?
- a2) Wie verhält sich diese Steuerung im Sinne der Fehlertoleranz (integer / stetig)?
- a3) Wie würde sie nach IEC 61508 (Fehlertoleranz) bezeichnet / klassifiziert? (1 oo ?)

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 programmierbare Zeit.

b1) Welche preisgünstigste Ausführung eines "Fehler - toleranten" Leitsystems kann hier eingesetzt werden? (Bezeichnung und Klassifikation, z.B. 100...?)

b2) Wie verhält sich dieses System: integer oder stetig?

## 5. EMV

16 Punkte, 20 Minuten

a) Welche beiden Beeinflussungen beschreibt "EMV" (besonders bei schnell arbeitender Elektronik)? Nennen Sie je ein Beispiel.

b) 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.

b1) Welches Bauelement würden Sie empfehlen?

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

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

c) Die Endstellungen AUF / ZU sollen über Initiatoren gemeldet werden. Das Ventil (Aufg. 5b) ist ca. 80 m Kabelweg von der SPS entfernt. Die Schütze (Aufg. 5b) 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?

## 6. Projektierung einschließlich Kennzeichnung und Dokumentation

27 Punkte, 35 Minuten

Auf dem beiliegenden Vordruck- Blatt ist als „Blatt 1“ ein kleiner, vereinfachter Teil einer verfahrenstechnischen Anlage „**Wasserförderung**“ als Verfahrens- Fließbild dargestellt. Diese Teilanlage soll mit einem Prozessleitsystem gesteuert werden, das komplexe Standard- Funktionsbausteine für Antriebs- und Gruppensteuerung enthält (siehe Projektierungsübung in der Vorlesung).

Die SW soll fein strukturiert werden: Pumpe und Stellantrieb erhalten eigene Antriebssteuerungen mit Freigaben / Schutz-Aus- Befehlen soweit nötig und können vom Bediener über ein Bildschirm- HMI- System einzeln gesteuert werden. Für den Normalfall gibt es eine Gruppensteuerung, die die Pumpe anfahren soll.

### Anforderungen:

**Pumpenantrieb:** Nur einschaltbar, wenn Tankniveau > TIEF und Absperrschieber ZU, wird per SCHUTZ- AUS abgeschaltet wenn Tankniveau < MIN oder wenn Förderleistung (Durchfluss) der Pumpe nach 30s nicht mindestens >TIEF ist. Selbsthaltung in der Schaltanlage (0,4 kV)

**Stellantrieb:** keine besonderen Anforderungen, normale Stellzeit für 0 .. 100%: 30 s

**Gruppensteuerung:** (soll auch nach Anfahren „von Hand“ ohne Prozess- Unterbrechung startbar sein!)

**Anfahren:** Absperrschieber schließen, dann Pumpe einschalten, dann Absperrschieber öffnen.

(Abfahren: Pumpe abschalten und Absperrschieber schließen, wird in der Klausur weggelassen).

**Messungen:** Analoge Messungen für Tankniveau und Durchfluss Wasserpumpe, in HMI anzuzeigen. (Rückmeldungen der Pumpe durch Hilfskontakte, Schieber- Endlagen durch Initiatoren.)

**Aufgaben:** Wenden Sie die gleichen Standard- Funktionsbausteine und Kennzeichnung wie in der im Rahmen der Vorlesung durchgeführten Übung an (vereinfacht nach DIN 6779-2)

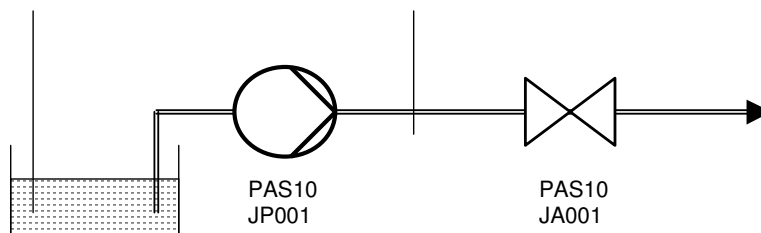
a) Ergänzen Sie im „Blatt 1“ Klassifizierung und Kennzeichnung der beiden analogen Messungen.

b) Tragen Sie in die „PLT- Stellenliste Messungen“ (Blatt 2) die analogen Messungen und die daraus zu bildenden Binärsignale ein. Messbereiche: Niveau 0..1 m, Durchfluss 0..10 m<sup>3</sup>/s, Unbekanntes weglassen.

c) Ergänzen Sie den Antriebssteuerplan der Wasserpumpe (Blatt 5) gemäß o.a. Anforderungen.

d) Ergänzen Sie die Blätter für den Ablaufsteuerungs- Kopf (Blatt 3) „PAS10EA100“ und das EIN- Programm (Blatt 4) gemäß oben angegebener Anforderungen mit Befehlen EA01, EA02, ..

Viel Erfolg!

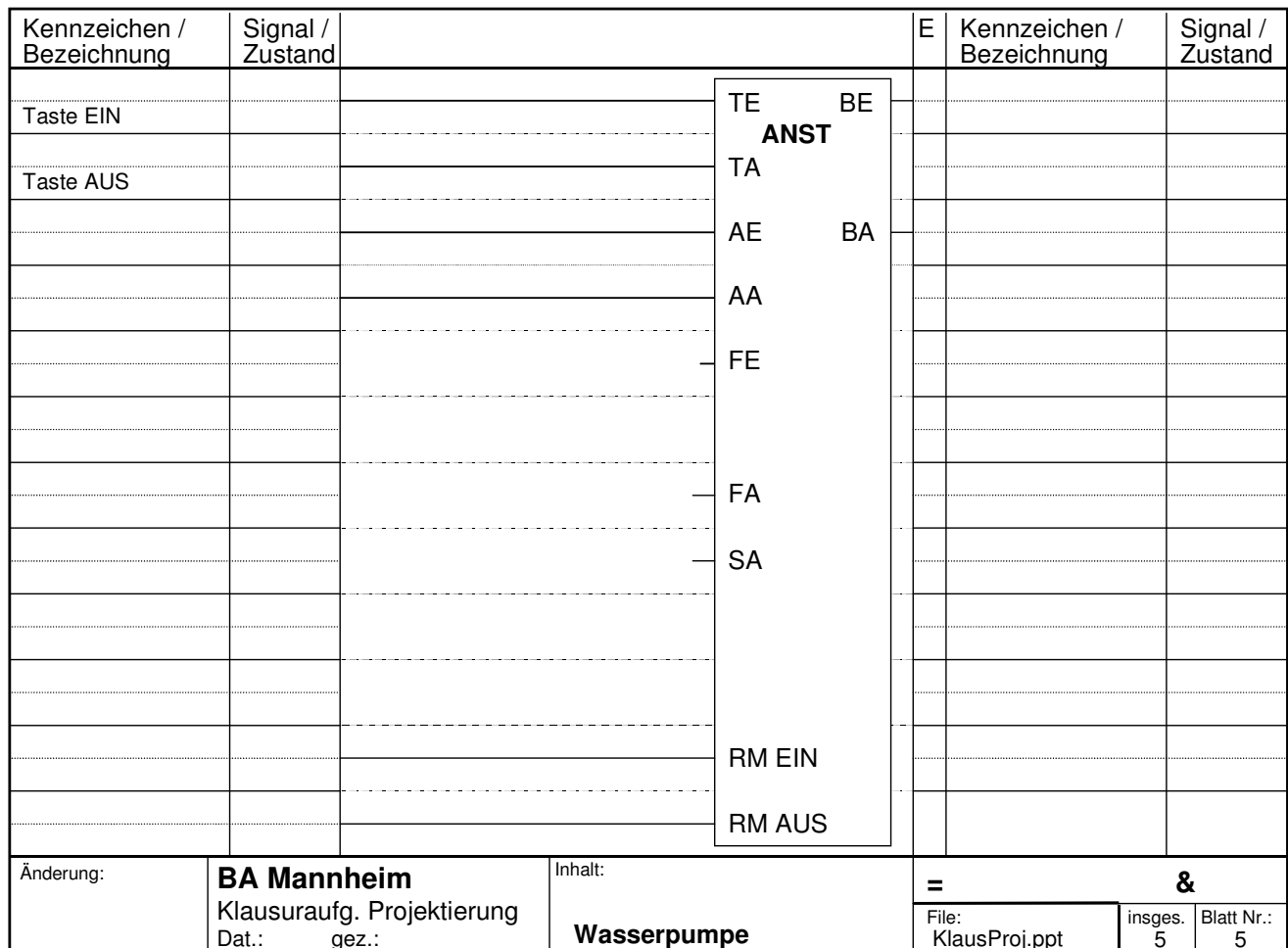


<b>BA Mannheim</b>	<b>Wasserförderung</b>	<b>PAS10</b>	<b>&amp; MFB</b>
Verfahrens- Fließbild	Klausuraufgabe „Projektierung“	File: KlausProj.ppt	Insges. 5 Bl.Nr. 1

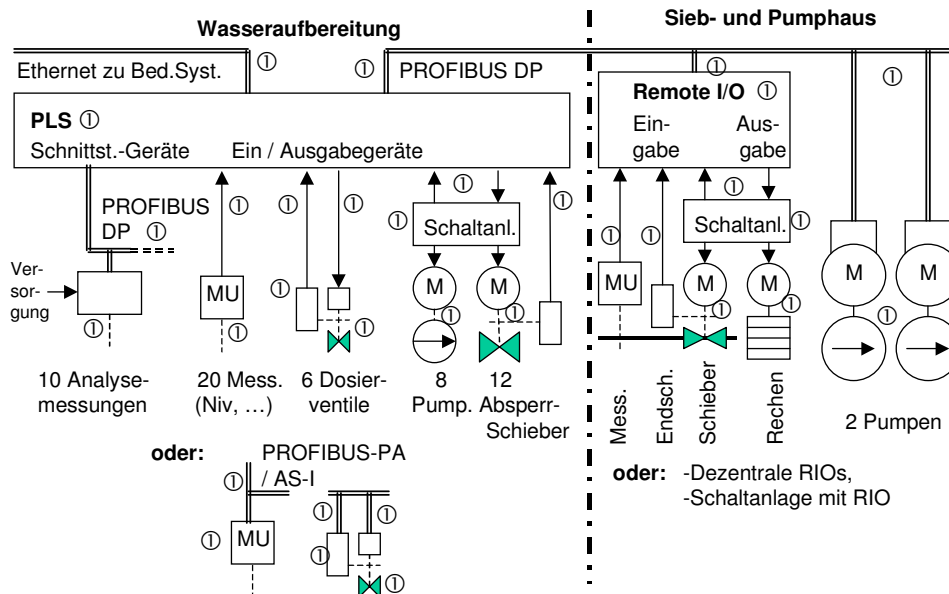
Kennzeichen	Bezeichnung	Sensor - Art		phys. Messbereich		el. Signal		Anschl. Plan
		Signal	Zustand	Grenzw.	Hyster.	Alarm-Prio	Bemerkung	

<b>BA Mannheim</b>	<b>Wasserförderung</b>	<b>PAS10</b>	<b>&amp; EEC</b>
PLT - Stellenliste: Messungen	Klausuraufgabe „Projektierung“	File: KlausProj.ppt	Insges. 5 Bl.Nr. 2

Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand		E	Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand
Taste EIN		TE PBE			
		<b>ABLST</b>			
Taste AUS		TA			
Taste STOPP		STOPP			
		AE BE			
		AA PBA			
		FE			
		FA			
		LSE BA			
		LSA			
		RM EIN			
		RM AUS			
Änderung:	<b>BA Mannheim</b>	Inhalt:		<b>=</b>	<b>&amp;</b>
	Klausuraufgabe Projektierung	<b>Wasserförderung</b>		File:	insges.
	Dat.: gez.:	<b>Abl Steuerg</b>		KlausProj.ppt	5
					Blatt Nr.: 3



## 1. Systemkommunikation



## 2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit

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

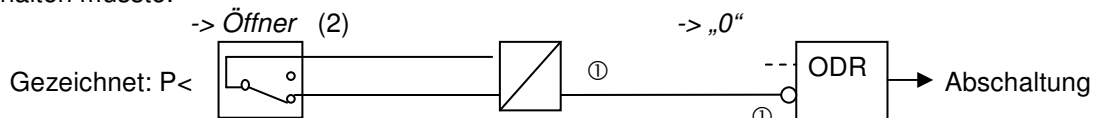
b) Für eine bessere Lösung (optische Lageerkennung) wird ein  $\lambda$  von  $2 \cdot 10^{-4}$  garantiert, die Umstellung würde ca. 5 000 € kosten, Reparaturzeit und -Kosten würden sich nicht ändern. in welcher (ungefähren) Zeit würde sich die Umstellung amortisieren?

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

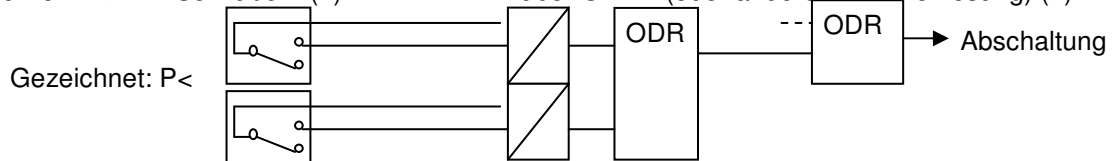
Amortisation nach  $\frac{5000\text{€}}{500\text{€}} = 10$  Reparaturen der alten Lösung, = ca.  $10 \cdot 320$  h = ca. 10 Monaten. 3  
( <1Jahr: 1 )

## 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  $6 \times 10^{-7}$  /h ermittelt. Welche Ausfallwahrscheinlichkeit darf die Kombination aus Druckwächter und Eingabegerät haben ...

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

#### 4. Fehlertolerante Systeme (Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit / Sicherheit)

/10

- a) Eine einkanaleige 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 1oo1D</i><br>oder „ <i>einkanalig mit Diagnose</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? | -> Verdoppelung, Vergleich und Diagnose, 1oo2D | 2 |
| b2) Wie verhält sich dieses System (integer - stetig)?                                       | -> (zunächst) integer und (dann) stetig        | 2 |

## 5. 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  |
|  | (oder: „kapazitiv / induktiv“:                         | 1) |

- b) 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.

- b1) Welches Bauelement würden Sie empfehlen? -> Varistor / SHCV 2
- b2) Welche Leistung muss das Entstör - Bauelement aufnehmen? (Leistungs - Berechnung reicht),  
und für welche Betriebsspannung muss es ausgelegt sein?

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

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

(mit Effektivwert des Stromes gerechnet)

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

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

- b3) Welche Gerätetechnik (anstelle der Schütze) wäre aus EMV – Sicht besser geeignet? Warum?  
 -> Halbleiter-Schalter (1), -> „sanfteres“ Schalten (interne Dämpfung des  $di/dt$ ) (1) 2

- c) Die Endstellungen AUF / ZU (Aufg. 5b) sollen über Initiatoren gemeldet werden. Das Ventil ist ca. 80 m Kabelweg von der SPS entfernt. Die Schütze (Aufg. 5b) 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
- > verdichtetes und abgeschirmtes Kabel benutzen od. RD-Y(ST)Y, 2
- > Erdung des Schirms in Elektronik 1

**6. Projektierungsaufgabe (Engineering, Dok., Kennz.)** siehe Lösungsformulare (nächstes Blatt)

/27

Summe:	mögl.Punkte	Minuten	Std. Vorl./Übung.		
1. Systemkommunikation	26	30	7		
2. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit	8	10	}	5	
3. Sicherheit	13	15			
4. Fehlertolerante Systeme	10	10			
5. EMV	16	20		4	
6. Engineering, Dok., Kennz.	33	35		12	
				<u>16</u>	(and. Themen)
Gesamt: (erwartet: 100)	<u>106</u>	<u>120</u>		<u>44</u>	

Änderung:	<b>BA Mannheim</b> Klausuraufgabe Projektierung Dat.:                   gez.:	Inhalt: <b>Wasserförderung</b> <b>Abl Steuerg</b>	= PAS10EA ① & EFF /1		
			File: KlausProj.ppt	insges. 5	Blatt Nr.: 3



[illegible]

Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand		E	Kennzeichen / Bezeichnung	Signal / Zustand
Taste EIN			TE	PAS10JP001	E01
			BE		
			ANST	①	
Taste AUS			TA		
PAS10EA100	EA02	①	AE	PAS10JP001	E02
			BA		
			AA		
PAS10CL001	S02		FE		
L Wassertank	>TIEF	UND ①			
PAS10JA001	Q02				
Abbsp Schieber	ZU				
			FA		
		1			
PAS10CL001	H51		SA		
L Wassertank	<MIN				
PAS10JP001	Q01	UND ①			
Wasserpumpe	EIN	30s			
PAS10CF001	H02	①			
F Wasserpumpe	>TIEF	TON ①			
PAS10JP001	Q01				
Wasserpumpe	EIN		RM EIN		
PAS10JP001	Q01	⊕			
Wasserpumpe	AUS		RM AUS		
				①	

Änderung:

**BA Mannheim**

Klausuraufg. Projektierung

Dat.:      gez.:

Inhalt:

**Wasserpumpe**

**= PAS10JP001 & EFF**

File: KlausProj.ppt	insges. 5	Blatt Nr.: 5
------------------------	--------------	-----------------