

Beantworten Sie bitte nachstehende Fragen (kurz) bzw. erstellen Sie Hand – Skizzen auf gesonderten, mit Ihrer Matrikel-Nummer gekennzeichneten Blättern unter Angabe der jeweiligen Aufgaben – Nr.:

### 1. R&I-Schema, Kennzeichnung

In einer Industrieanlage wird für einige Vorgänge Prozessdampf in zeitlich unterschiedlicher Menge benötigt, der in einem Kessel mit zwei Öl-Brennern erzeugt wird.

Das Öl wird durch eine Pumpe aus einem Öltank gepumpt, an ein Ölventile je Brenner (Magnetventil) geleitet und über ein Regelventil (als „Bypass“) wieder in den Behälter zurückgeleitet. Die Pumpe läuft mit gleicher Drehzahl durch, der Öldruck (und damit die Feuerleistung) wird über das Bypassventil geregelt. Dazu wird der Druck hinter der Pumpe gemessen.

Die Verbrennungsluft wird durch ein Drehzahl-geregeltes Gebläse angesaugt und über je eine Absperrklappe pro Brenner der Verbrennung zugeführt. Der Druck wird zur Luftregelung hinter dem Gebläse gemessen.

Außerdem ist jedem Brenner ein Zündtransformator („TA“) und ein Flammwächter („BR“) zugeordnet.

Die genannten Messungen und eine zusätzl. Füllstandsmessung im Öltank werden in einer Warte angezeigt.

**a) Skizzieren Sie ein „Rohrleitungs- und Installations- Schema“** mit Behälter, Rohrleitungen, Messungen und allen Aggregaten. Deuten Sie mit gestrichelten Linien an, über welche Messung welches Stellglied geregelt wird. Kennzeichnen Sie Messungen, Gebläse / Pumpe, Ventile, und Zündtrafos mit ihren Referenzkennzeichen. Dazu genügen die Level 2 und 3. Unterscheiden Sie dabei die zentralen Teile (z.B. Gebläse) von den Brennern. Verwenden Sie „EM“ im Level 2 und die Kennungen für Ventile usw. im Level 3. Für den können Sie in Level 3 ....TA nehmen, für den Flammw.: ....BR.

**b) Skizzieren Sie ein Strukturbild von Steuerung und Regelung**, nur mit „Kästchen“, ohne Logik usw. Die Einzelaggregate (Ventile, Klappen) brauchen nicht einzeln steuerbar sein. Lassen Sie HAND / AUTO – Umschaltungen weg. Bezeichnen Sie die Kästchen gemäß ihrer Aufgabe in Klartext, und geben Sie Befehle / Sollwerte an / zwischen den Kästchen mit Pfeilen und Text an.

Ein Regler für die Vorlauftemperatur, auf den die Außentemperatur als Störgröße wirkt, gibt die Anzahl der einzuschaltenden Brenner und die Sollwerte für Gebläsedrehzahl-Regelung und Bypassventil- Regelung vor.

Jeder Brenner hat eine eigene Ablaufsteuerung für das An- und Abfahren. Die Brenner sollen je nach Vorgabe des Temperaturreglers automatisch eingesetzt werden, wenn diese Automatik eingeschaltet wurde. (Bei Schwachlast soll nur ein Brenner in Betrieb sein).

### 2. Programmiersprachen (vgl. Aufg. 1, 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.

### 3. Geräteinsatz, 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.

- 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.

#### 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 metallgekapselten 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 k $\Omega$ - Potentiometer und ein Verstärker- Eingangswiderstand von 10 k $\Omega$ .

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

- a) **Skizzieren Sie die Anordnung** (Motoransteuerung, Positionsmessung). (8 Pkte)
- b) **Erstellen Sie eine Kopplungsmatrix** (9 Pkte)
- c) **Wie könnte man die Beeinflussung in dieser Anordnung verringern**, (7 Pkte)  
wenn sie sich als unzulässig hoch erweist?  
Die Verwendung von nur einem Kabel soll beibehalten werden.

#### 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.

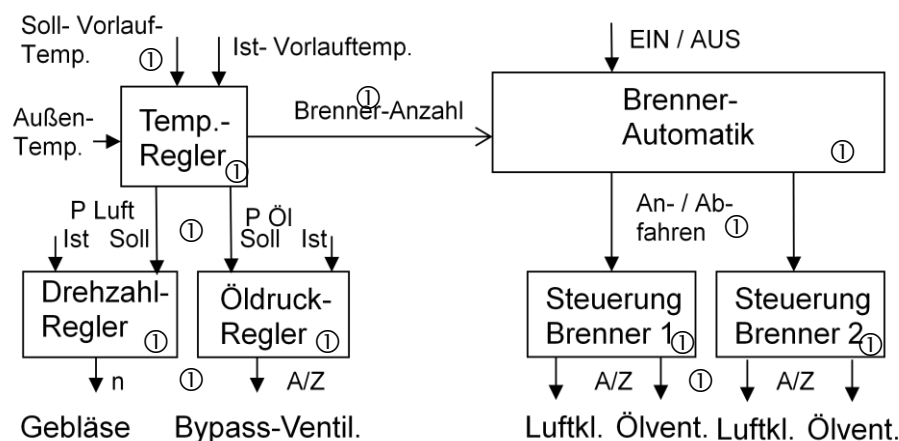
Wenn die Flamme eines Brenners erlischt und weiterhin Brennstoff in den Feuerraum gelangt, kann durch die Flamme eines anderen Brenners eine Explosion ausgelöst werden, bei der mehrere Personen zu Tode kommen könnten. Allerdings halten sich nur selten Personen beim Kessel auf, und die Wahrscheinlichkeit 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?
- b) **Ist der beschriebene Flammwächter geeignet?** (nur nach PFD / PFH bewerten)

Viel Erfolg!



**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.

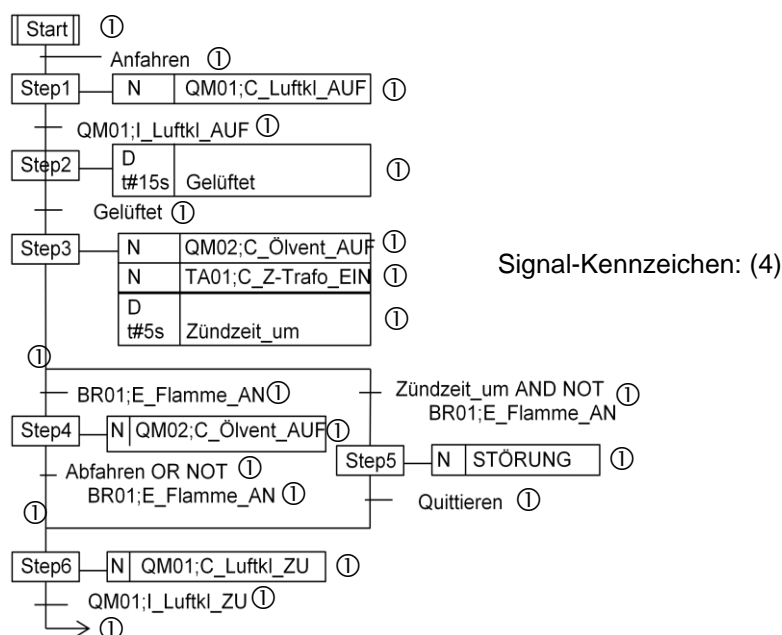
Wenn die Flamme brennt bleibt das Ölventil geöffnet, der Zündtransformator wird nicht mehr benötigt.

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**

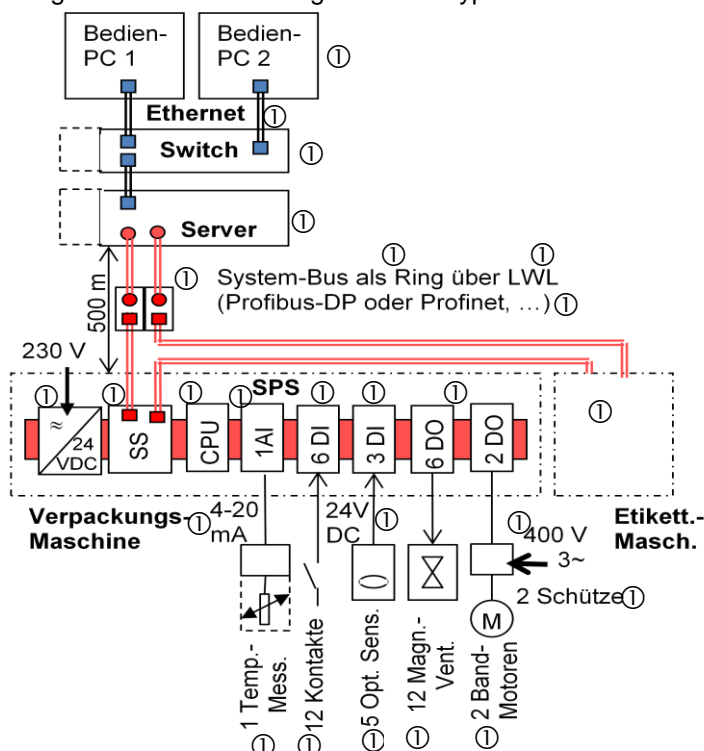
In einem Fertigungsbetrieb soll eine Verpackungs- und eine Etikettiermaschine ergänzt werden. Die Verpackungsmaschine besitzt 5 Lichtschranken, 12 Endkontakte, 1 Temperaturmessung (PT100 mit integriertem MU), Magnetventile für 6 Pneumatik-Zylinder (je 1 Ventil für jede Richtung), 2 Bandantriebs-Motoren 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.

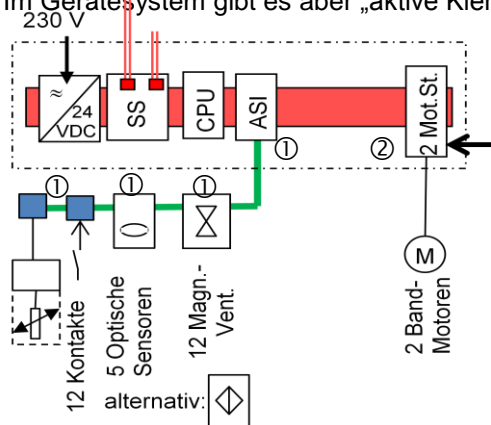
Es steht ein Gerätesystem für DIN-Schienen-Montage zur Verfügung, bei dem die I/O-Geräte je 2 Kanäle besitzen. Geben Sie die Geräte-Arten mit Abkürzungen an wie z.B. „DI“. Ein „Kästchen“ pro Gerätetyp reicht, und schreiben Sie die angeschlossenen Messungen / Prozesseingriffe dazu.

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 metallgekapselten 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.

- a) Skizzieren Sie die Anordnung (Motoransteuerung, Positionsmessung).

(8 Pkte)

- b) Erstellen Sie eine Kopplungsmatrix

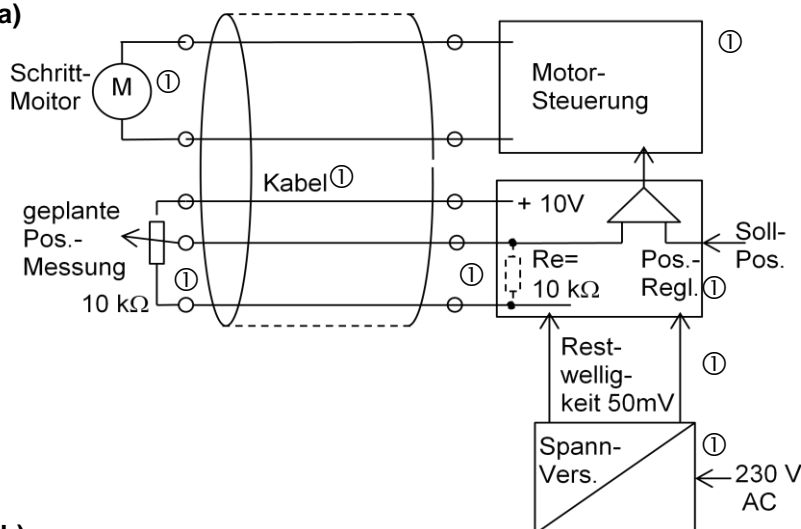
(9 Pkte)

- c) Wie könnte man die Beeinflussung in dieser Anordnung verringern, wenn sie sich als unzulässig hoch erweist?

(7 Pkte)

Die Verwendung von nur einem Kabel soll beibehalten werden.

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

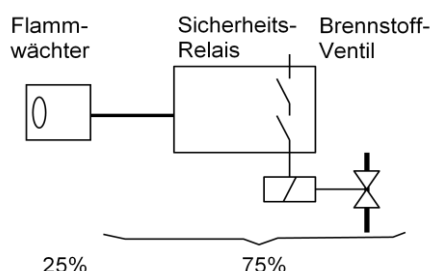
Die Brenner eines Industriekessels werden durch eine nicht sicherheitsgerichtete SPS gesteuert. Die Flammenüberwachung muss jedoch Sicherheits- Anforderungen für niedrige Ausfallrate entsprechen. Dazu ist hier der Sicherheitsgraph nach DIN 61508 anzuwenden.

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)