

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. Messwertaufbereitung / Signalausgabe

**30 Punkte, Vorgabe: 30 Minuten**

In einer Fertigungsstraße soll eine automatisierte Wascheinrichtung ergänzt werden. Sensoren und Aktoren sollen an Ein- und Ausgabegeräte angeschlossen werden, die in IP67 ausgeführt sind (Schraub-Stecker M8), vor- Ort angeordnet und per Feldbus mit einer Steuerung verbunden sind. Ihre binären Ein- und Ausgabekanäle sind für 3-Leiter-Anschluss ausgelegt: Anschl. 1: "+", Anschl. 3: "-", Anschl. 4: Signal- Leitung (Eingang / Ausgang). Analoge Eingaben haben 4-Leiter-Anschluss: zusätzlich Anschl. 2 für Eingangssignal +, dann ist Anschl. 4 Eingangssignal -

**a) Skizzieren Sie Anschluss- Schaltpläne** mit jeweils allen Leitungen und bezeichneten Anschlüssen für die untenstehenden Fälle. Geben Sie die Art der Ein-/Ausgabekanäle mit den Abkürzung AI / AO / DI / DO an.

- a1) Manometer mit einfachen Wechslerkontakten zur Kontrolle von Wasser- und Pressluftdruck. Darstellen im drucklosen Zustand. Zu kleiner Druck sowie Drahtbruch sollen einen Eingriff auslösen.
- a2) Lichtschranken mit Elektronik- Ausgang (20 V gegen Bezugsleiter) für „nicht unterbrochen“, mit ca. 15 mA Eigenbedarf. Schrankenunterbrechung sowie Drahtbruch sollen einen Eingriff auslösen.
- a3) Widerstandsthermometer (mit eingebautem Messumformer, 4-Leiter-Anschluss für Widerstandsthermometer und Messumformer) zur Kontrolle der Wassertemperatur. Zu kleine Temperatur sowie Drahtbruch sollen einen Eingriff auslösen.
- a4) Magnetventile, bei Anliegen von 24 V an der Spule öffnend, Strombedarf ca. 0,5 A

**b) Angenommen, Sensoren und Aktoren sowie Ein-/Ausgabegeräte seien bei ungefähr gleichem Preis in IO-Link- fähiger Ausführung zu erhalten. Welche Vorteile könnte das im Vergleich zur oben dargestellten konventionellen Lösung haben? (nur Stichworte!)**

**c) Skizzieren Sie die notwendige Logik** in Funktionsbausteinsprache mit Symbolen der Norm IEC 61131 zur Bildung eines Signals „Freigabe“ (mit log. „1“) der Wascheinrichtung. Bei länger als 5 s zu geringem Luft- oder Wasserdruck sowie sofort bei Unterbrechung einer von zwei Lichtschranken sowie zu geringer Wassertemperatur soll die Freigabe auf „0“ gehen und dadurch der Betrieb gestoppt werden. Benennen Sie Ein- und Ausgänge mit Text jeweils für denjenigen Zustand, bei dem das Signal den Pegel „1“ haben soll.

## 2. Steuerung / Regelung

**25 Punkte, Vorgabe: 25 Minuten**

Ein größerer Heizkessel wird durch zwei Ölbrenner beheizt. Das Heizöl wird aus einem Tank durch eine ungeregelte Pumpe zu den Einlass- Magnetventilen der Brenner und dann über ein geregeltes Bypassventil zurück in den Tank gepumpt. Über das Bypassventil wird der Druck in der Ölleitung und damit die Brennerleistung eingestellt. Bei Schwachlast wird nur ein Brenner benutzt, da für eine gute Verbrennung eine Mindestleistung notwendig ist. Die Verbrennungsluft wird durch ein Drehzahl- geregeltes Gebläse angesaugt und den Einlassklappen der Brenner zugeführt.

**a) Skizzieren Sie ein Rohrleitungs- und Installationsschema** (Anlagenbild) mit gekennzeichneten Aggregaten (Pumpe ..JP1, Gebläse ..JG1, Ventile ..JA1 .. 3) sowie Messungen für Tankniveau, Öldruck und Luftdruck. Verwenden Sie als Systembezeichnung „KF1“ (Kessel- Feuerung 1).

**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.

Jeder Brenner wird durch eine eigene Steuerung mit mehreren Befehlen in vorgegebener Reihenfolge in Betrieb gesetzt bzw. abgefahren. Die Befehle gehen direkt über Ausgabegeräte an Ölventil, Luftklappe und Zündung, die in der Skizze zu „Brenner“ zusammengefasst werden können.

Ein Temperaturregler berechnet aus Soll- und Ist- Vorlauftemperatur sowie der Außentemperatur eine „Feuerungs- Stellgröße“, aus der eine den Brennern übergeordnete Brennerautomatik die Anzahl der benötigten Brenner erkennt. Über eine Stellgrößenanpassung wird aus der Feuerungs- Stellgröße der Drehzahl- Sollwert für den Frequenzumrichter des Gebläses errechnet, und durch eine weitere Anpassung ein Analogwert für die Position des Bypassventils, das mit proportionaler Ansteuerung arbeitet.

Die den Brennern übergeordnete Brennerautomatik kann von Hand ein- und ausgeschaltet werden und startet die Brenner bzw. stellt sie ab. Außerdem steuert sie über die Sollwertanpassungen Gebläse (EIN / AUS) und Bypassventil (HAND / AUTO). Diese benötigen daher keine eigenen Steuerungen.

**3. Sicherheit****15 Punkte, Vorgabe: 15 Minuten**

Jeder Brenner eines Heizkessels (Aufg. 2) besitzt zur Einhaltung der geforderten Sicherheit bei Erlöschen der Flamme eine Sicherheitseinrichtung zur Unterbrechung der Brennölzufuhr, bestehend aus folgenden Teilen (mit jew. angegebener Ausfallrate  $\lambda$ ): Flammwächter ( $2 \cdot 10^{-4}$ ), Eingabe- und Ausgabegerät jeweils einschl. Leitungen (je  $1 \cdot 10^{-4}$ ), sowie Verarbeitung ( $1 \cdot 10^{-4}$ ), und Magnetventil in der Öl- Zuleitung des Brenners. Der Magnetventil- Typ wurde bei fortlaufendem Öffnen / Schließen getestet: von 100 Stück fielen 6 innerhalb 100 Std. aus.

- a) **Prüfen Sie, ob die gesamte Sicherheitseinrichtung die Sicherheitsanforderung erfüllt.** Für diese Anwendung sei SIL3 bei „Anforderung“ verlangt. Berücksichtigen Sie die prozentuale Aufteilung der erlaubten Ausfallwahrscheinlichkeiten auf die einzelnen Komponenten gemäß Norm. Setzen Sie (stark vereinfacht) PFD bzw. PFH gleich Ausfallrate  $\lambda$ .
- b) **Wie kann die Zuverlässigkeit des Prozesseingriffs verbessert werden** falls das Magnetventil den Anforderungen nicht entspricht? (z.B. doppelte Absperrung?) Prüfen Sie, ob nun SIL3 erreicht wird. (PFD =  $\lambda$ )

**4. Systemkommunikation****20 Punkte, Vorgabe: 20 Minuten**

Für eine Fertigungsstraßen- Erweiterung (Aufgabe 1) werden 8 binäre Sensoren (Kontakte und Lichtschranken), zwei analoge Temperaturmessungen sowie 4 Magnetventile direkt an vor- Ort montierte flache Eingabegeräte eines speziellen Signalerfassungs- Systems in IP67- Ausführung angeschlossen. Jedes Gerät enthält 8 Kanäle eines Typs (AI, AO, DI oder DO). Die Geräte sind untereinander durch einen speziellen „Systembus“ sowie eine Stromversorgung über vorkonfektionierte, steckbare Kabel verbunden. Es wird immer ein „Koppler“ zu einem Feldbus (oder z.B. Profinet) benötigt. Dieser ist der Master des Systembusses, enthält selbst 8 binäre Eingänge und eine CPU für kleinere Verarbeitungsprogramme (in unserem Fall für die notwendige Steuerung ausreichend).

Der bisher vorhandene Teil der Straße wird durch zwei ebenfalls vor- Ort montierte SPS gesteuert. Zwischen ihnen und der Erweiterung sind einige Signale in Echtzeit auszutauschen.

Die beiden SPS und die Erweiterung sollen nun mit drei Bedien- und Beobachtungsplätzen mit IMS- Funktionalität in der 400 m entfernten zentralen Warte verbunden werden. Von dort aus soll auch eine Verbindung zum Betriebsnetz des Betreibers hergestellt werden.

**Skizzieren Sie die Anordnung aller Geräte** (SPS nur als Kästchen, Sensoren / Aktoren nur Text) und ihre Datenverbindungen, geben Sie die Art der verwendeten Busse und ggf. Leitungen an. Es wird keine Redundanz verlangt.

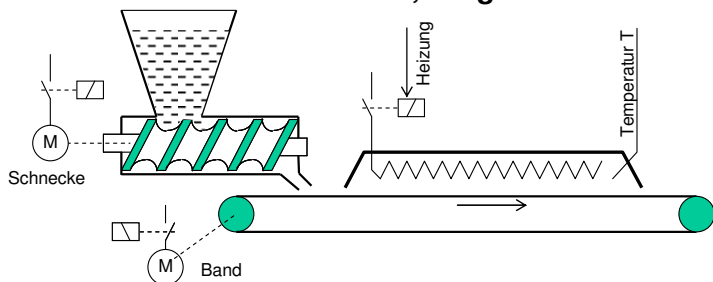
**5. Engineering****33 Punkte, Vorgabe: 30 Minuten**

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  $120^\circ$ , bevor die Produktion begonnen werden kann. Messung durch Widerstandsthermometer mit eingebautem Messumformer, Messbereich  $0..200^\circ\text{C}$ , 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  $>120^\circ\text{C}$  erzeugen sowie einen Alarm für den Fall, dass die Schnecke läuft und die Temperatur unter  $100^\circ\text{C}$  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.

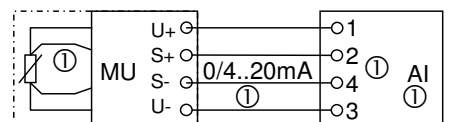
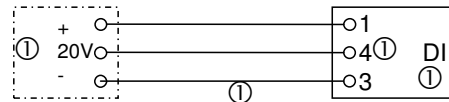
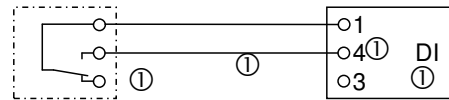
- c) **Erstellen Sie das Programm** zum An- und Abfahren der Maschine **in der Ablaufsprache** der IEC 61131. Verwenden Sie nur solche Signale, die Sie in b) deklariert haben (bzw. die oben genannt sind). Diese Steuerung gibt ihre Befehle über Ausgabegeräte direkt an die Leistungsschütze, also muss sie evtl. nötige Befehlsspeicherungen enthalten.

Viel Erfolg!

**Lösungen:****1. Messwertaufbereitung / Signalausgabe**

a) **Skizzieren Sie Anschluss- Schaltpläne** mit jeweils allen Leitungen und bezeichneten Anschlüssen für die untenstehenden Fälle. Geben Sie die Art der Ein-/Ausgabekanäle mit den Abkürzung AI / AO / DI / DO an.

- a1) Manometer mit einfachen Wechslerkontakten zur Kontrolle von Wasser- und Pressluftdruck. Darstellen im drucklosen Zustand. Zu kleiner Druck sowie Drahtbruch sollen einen Eingriff auslösen.
- a2) Lichtschranken mit Elektronik- Ausgang (20 V gegen Bezugsleiter) für „nicht unterbrochen“, mit ca. 15 mA Eigenbedarf. Schrankenunterbrechung sowie Drahtbruch sollen einen Eingriff auslösen.
- a3) Widerstandsthermometer (ohne eingebautem Messumformer, 4-Leiter-Anschluss) zur Kontrolle der Wassertemperatur. Zu kleine Temperatur sowie Drahtbruch sollen einen Eingriff auslösen. Ein Eingabegerät für Widerstandsthermometeranschluss sei vorhanden.
- a4) Magnetventile, bei Anliegen von 24 V an der Spule öffnend, Strombedarf ca. 0,5 A



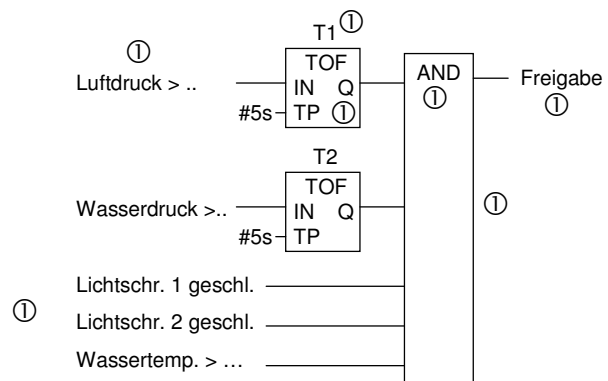
15

b) Angenommen, Sensoren und Aktoren sowie Ein-/Ausgabegeräte seien bei ungefähr gleichem Preis in **IO-Link**- fähiger Ausführung zu erhalten. Welche Vorteile könnte das im Vergleich zur oben dargestellten konventionellen Lösung haben? (nur Stichworte!)

- + nur eine Sorte „Anschaltgeräte“ [1] statt verschiedener Ein- und Ausgabegeräte [1]
- + mehr Informationen: Parameter [1] und Diagnose [1] zum / vom Sensor / Aktor, nicht nur vom E/A-Gerät [1]

5

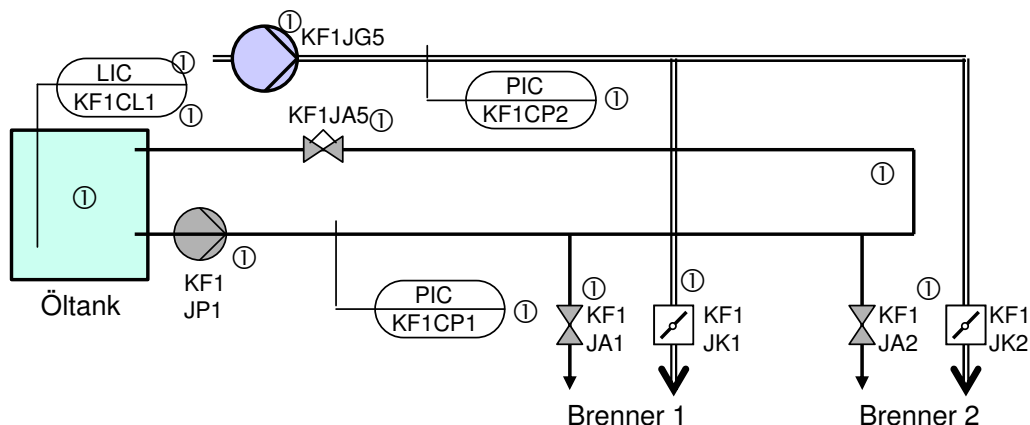
c) **Logik für Unterbrechung der „Freigabe“** in Funktionsbausteinsprache nach IEC 61131



7

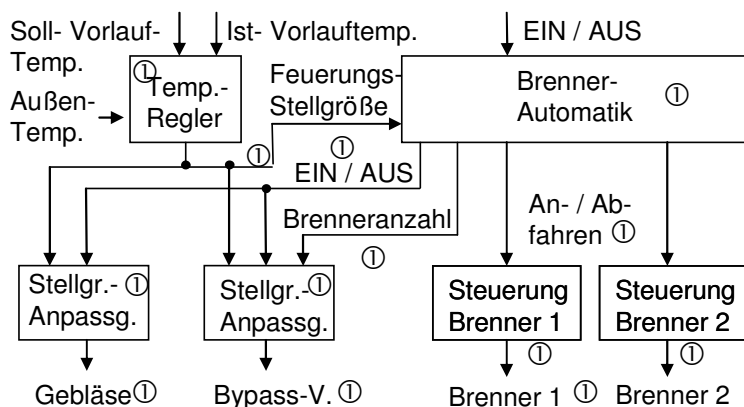
**2. Steuerung / Regelung**

a) **Skizzieren Sie ein Rohrleitungs- und Installationsschema** (Anlagenbild) mit gekennzeichneten Aggregaten (Pumpe ..JP1, Gebläse ..JG1, Ventile ..JA1 .. 3) sowie Messungen für Tankniveau (..CL), Öldruck und Luftdruck (..CP). Verwenden Sie als Systembezeichnung „KF1“ (Kessel- Feuerung 1).



12

2b) Skizzieren Sie ein Blockschaltbild für Steuerung / Regelung (nur „Kästchen“ mit Befehlsverbindungen).



13

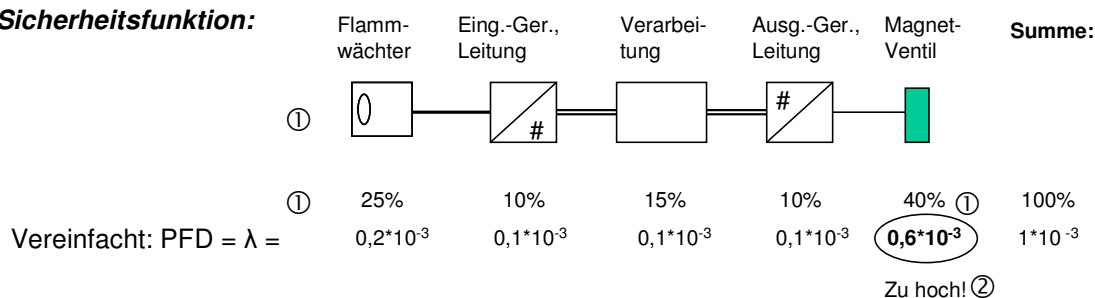
### 3. Sicherheit

Jeder Brenner eines Heizkessels (Aufg. 2) besitzt zur Einhaltung der geforderten Sicherheit bei Erlöschen der Flamme eine Sicherheitseinrichtung zur Unterbrechung der Brennstoffzufuhr, bestehend aus folgenden Teilen (mit jew. angegebener Ausfallrate  $\lambda$ ): Flammwächter ( $2 \cdot 10^{-7}$ ), Eingabe- und Ausgabegerät samt Leitungen sowie Verarbeitung (je  $1 \cdot 10^{-7}$ ), und Magnetventil in der Öl-Zuleitung des Brenners. Der Magnetventil-Typ wurde bei fortlaufendem Öffnen / Schließen getestet: von 100 Stück fielen 6 innerhalb 100 Std. aus.

a) Prüfen Sie, ob die gesamte Sicherheitseinrichtung die Sicherheitsanforderung erfüllt. Für diese Anwendung sei SIL3 bei „Anforderung“ vorgeschrieben. Berücksichtigen Sie die prozentuale Aufteilung.

Ventil:  $\lambda_{\text{test}} = \frac{r}{n \cdot t} = \frac{6}{100 \cdot 100} = 6 \cdot 10^{-4}$  ②      SIL3 bedeutet für PFD:  $\text{PFD} \leq 1 \cdot 10^{-3} / \text{h}^{-1}$  ②

Ganze Sicherheitsfunktion:



b) Wie kann die Zuverlässigkeit des Prozesseingriffs verbessert werden falls das Magnetventil den Anforderungen nicht entspricht? Prüfen Sie, ob nun SIL3 erreicht wird.

Zwei Ventile in Reihe geschaltet ②, entspricht Parallelwirkung zur Abschaltung, da ein geschlossenes Ventil bereits absperst).

6

$$\lambda_{\text{gesamt}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{i \cdot \lambda_i}} = \frac{1}{\frac{1}{1 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-4}}} = \frac{1}{\frac{3}{12} \cdot 10^4} = 4 \cdot 10^{-4} \quad ②$$

$0,4 \cdot 10^{-3} = 40\% \text{ von } 1 \cdot 10^{-3}$ , also wird SIL3 erreicht ②

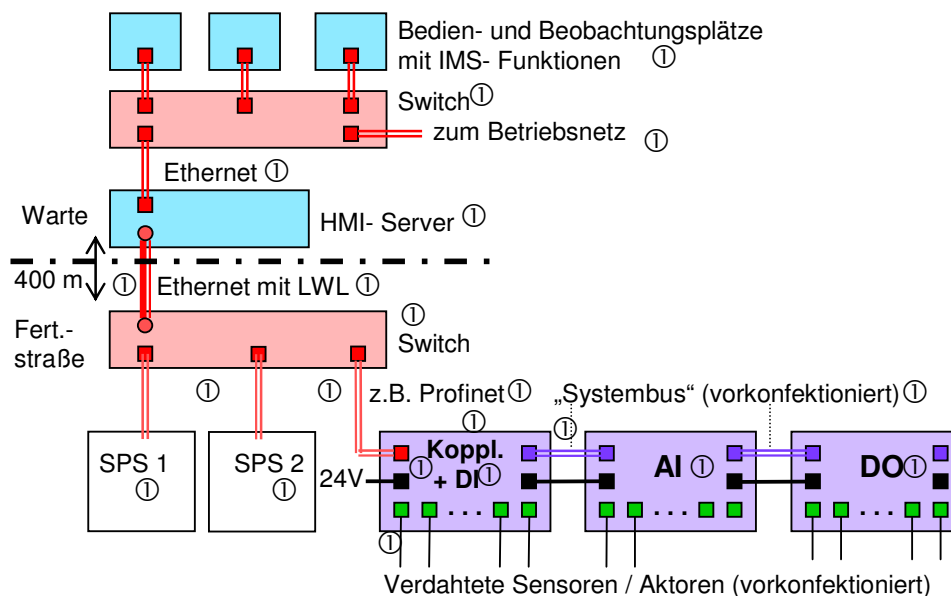
#### 4. Systemkommunikation

Für eine Fertigungsstraßen- Erweiterung (Aufgabe 1) werden 8 binäre Sensoren (Kontakte und Lichtschranken), zwei analoge Temperaturmessungen sowie 4 Magnetventile direkt an vor-Ort montierte flache Eingabegeräte eines speziellen Signalerfassungs- Systems in IP67- Ausführung angeschlossen. Jedes Gerät enthält 8 Kanäle eines Typs (AI, AO, DI oder DO). Sie sind untereinander durch einen speziellen „Systembus“ sowie eine Stromversorgung über vorkonfektionierte, steckbare Kabel verbunden. Es wird immer ein „Koppler“ zu einem Feldbus (oder z.B. Profinet) benötigt. Dieser ist der Master des Systembusses, enthält selbst 8 binäre Eingänge und eine CPU für kleinere Verarbeitungsprogramme (in unserem Fall ausreichend).

Der bisher vorhandene Teil der Straße wird durch zwei ebenfalls vor- Ort montierte SPS gesteuert. Zwischen ihnen und der Erweiterung sind einige Signale in Echtzeit auszutauschen.

Die beiden SPS und die Erweiterung sollen nun mit drei Bedien- und Beobachtungsplätzen mit IMS- Funktionalität in der 400 m entfernten zentralen Warte verbunden werden. Von dort aus soll auch eine Verbindung zum Betriebsnetz des Betreibers hergestellt werden.

**Skizzieren Sie die Anordnung aller Geräte** (SPS nur als Kästchen, Sensoren / Aktoren nur Text) und ihre Datenverbindungen, geben Sie die Art verwendeter Busse an. Es wird keine Redundanz verlangt.



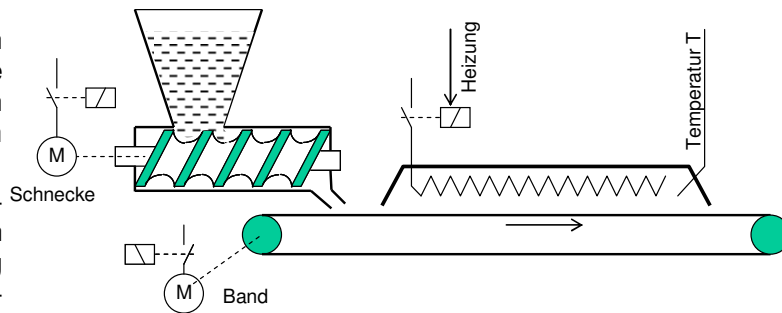
## 5. Engineering

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, 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



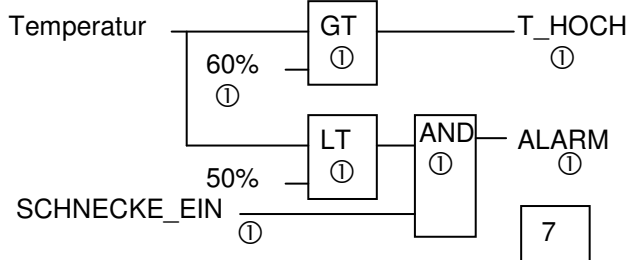
a) **Skizzieren Sie einen Funktionsbaustein „GRENZSIG“** in Funktionsbausteinsprache mit Symbolen der IEC 61131, in dem Sie sich aus der analogen Temperaturmessung ein Binärsignal für >120°C erzeugen sowie einen Alarm für den Fall, dass die Schnecke läuft und die Temperatur unter 100°C absinkt.

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

