

Industrieautomation

Dr. Ing. Detlef Hummes

detlef.hummes@thga.de

Wissenschaftsbereich III Elektro- und Informationstechnik
Technische Fachhochschule Georg Agricola



11. Juni 2024

Ablaufsteuerung

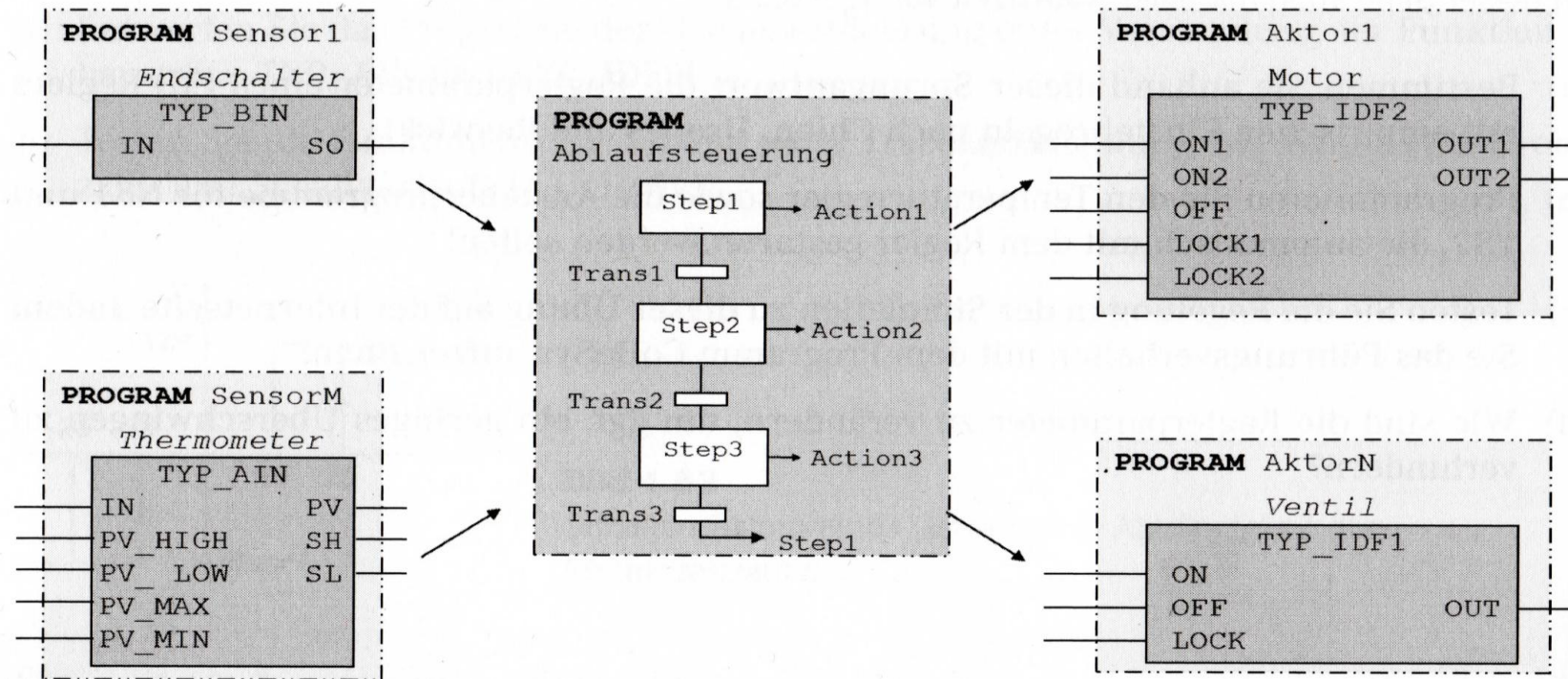
- Ablaufsteuerungen laufen schrittweise ab
- Sie basieren auf dem Prinzip der Petrinetze
- Die Schritte werden als Kette abgearbeitet
- Zwei aufeinander folgende Schritte sind durch die Weiterschaltbedingung (Transition) voneinander getrennt
- Nur wenn die Transition erfüllt ist, aktiviert die Ablaufsteuerung den nächsten Schritt

Ablaufsteuerung

Typische Anwendungsbeispiele:

- Chemische Mischprozesse
Schritt1: Zuführung der Substanzen
Schritt2: Mischen der Substanzen
Schritt3: Leeren des Behälters
- Waschmaschine
Schritt 1: Vorwäsche
Schritt 2: Hauptwäsche
Schritt 3: Spülen
Schritt 4:

Ablaufsteuerung



- In den Schritten können die Aktoren durch *Actions* aktiviert werden
- In den Transitionen werden die Signale ausgewertet um gegebenenfalls in den nächsten Schritt zu schalten

Ablaufsteuerung

Verknüpfungssteuerung

- EVA-Zyklus, quasi kontinuierlich
- Alle Sensoren werden ausgelesen
- Alle Aktoren bekommen die Befehle

Ablaufsteuerung

- Schritte werden sequentiell ausgeführt
- Nur Aktionen des aktiven Schrittes werden abgearbeitet

Ablaufsteuerung

Die IEC 61131 sieht für die Programmierung von Ablaufsteuerungen eine eigene Sprache vor

- Die Ablaufsprache AS wurde definiert um komplexe Aufgaben in überschaubare Einheiten zu zerlegen.
- Basiert auf dem Prinzip der Petri-Netze
- Es können sequentielle und parallele Prozesse formuliert werden
- Die Einheiten selbst werden in einer der vier Sprachen programmiert
- AS ist die Weiterentwicklung der Schrittkettenprogrammierung
- Die Ausführungszeitpunkte dieser Einheiten unterliegen statischen und/oder dynamischen Bedingungen.
- AS ist eine typische graphische Programmiersprache

Ablaufsteuerung

- AS besteht aus Netzwerken
- Eine POE kann ein oder mehrere Netzwerke besitzen
- Die Elemente des Netzwerkes bestehen aus Schritten und Transitionen
- Ein Schritt ist aktiv oder inaktiv
- Inaktivierung eines Schrittes entscheidet die Transition am Ausgang des Schritts mittels der Transitionsbedingung
- Danach entscheidet sich welcher nächste Schritt aktiviert wird

Ablaufsteuerung

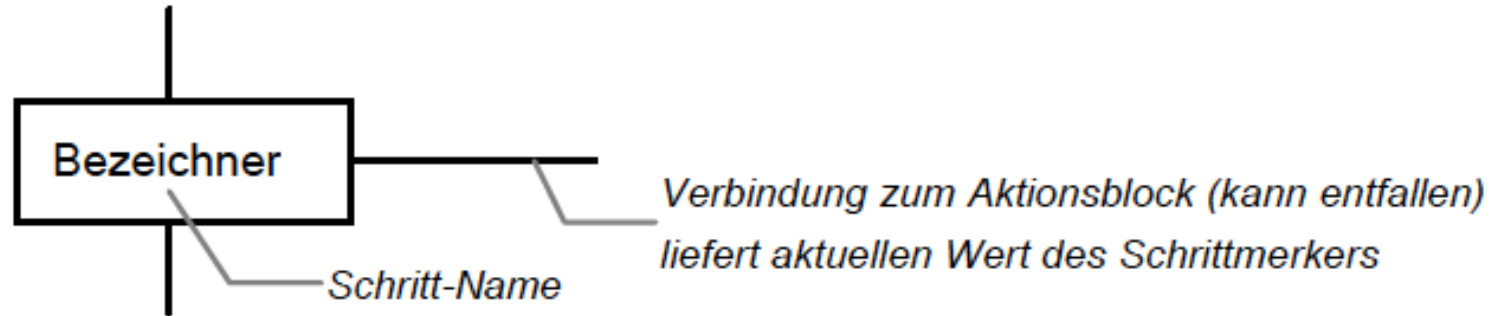
Grundelemente der AS

- Schritt
- Transition

Ist ein Schritt aktiv, so werden in ihm Anweisungen bearbeitet.

Die zugehörige Transition bestimmt die Aktivierung und Deaktivierung des Schrittes und bestimmt welcher Folgeschritt oder welche Folgeschritte aktiviert werden

Ablaufsteuerung



a) grafische Variante

STEP Bezeichner:

(* Schrittrumpf, Aktionsbeschreibung siehe Bsp. 4.55 *)

END_STEP

b) textuelle Variante

Ablaufsteuerung

Schrittname: identifiziert einen Schritt

Schrittmarker: TRUE/FALSE
wird zur Steuerung der im Schritt ablaufenden Aktionen verwendet
kann über eine Systemvariable abgerufen werden

Zeitwert seit dem Aktivierungszeitpunkt

Schrittname.X (Schrittzustand)

Schrittname.T (Schrittzeit)

Ablaufsteuerung

```
PROGRAM AMPEL
```

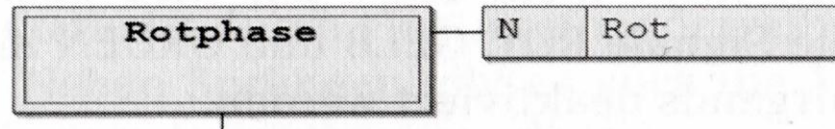
```
VAR
```

```
  ROT    AT%X0.0 : BOOL;
```

```
  GELB   AT%X0.1 : BOOL;
```

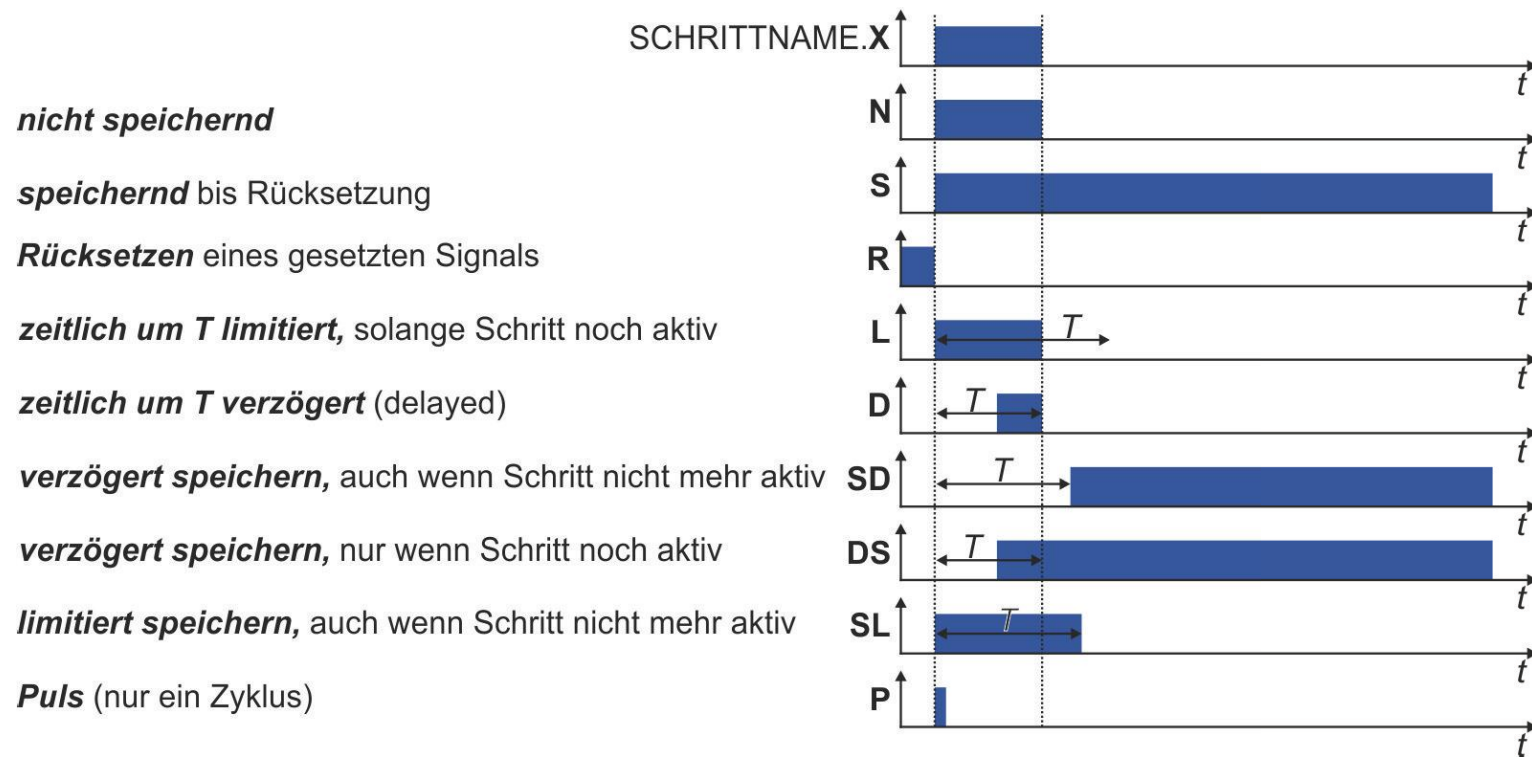
```
  GRUEN  AT%X0.2 : BOOL;
```

```
END_VAR
```



Ablaufsteuerung

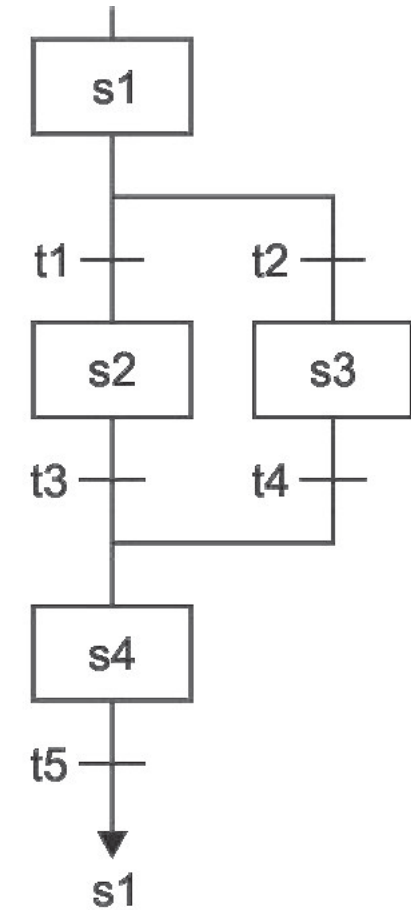
Aktionen enthalten vor dem zu aktivierenden Steuersignal ein Bestimmungszeichen z.B. ein N für nicht speichernd was bedeutet, dass das Signal nicht speichernd gesetzt wird und ist damit nicht mehr aktiv sowie der Schritt nicht mehr aktiv ist.



Ablaufsteuerung

Alternativ- und Parallelverzweigung

- Bei der Alternativverzweigung wird stets nur ein Zweig abgearbeitet und zwar dessen erste Transition TRUE ist
- Sind mehrere Transitionen TRUE dann werden die Transitionen von links nach rechts ausgewertet und nur die erste mit der Auswertung TRUE wird abgearbeitet
- Die Verzweigungen beginnen und enden mit Transitionen

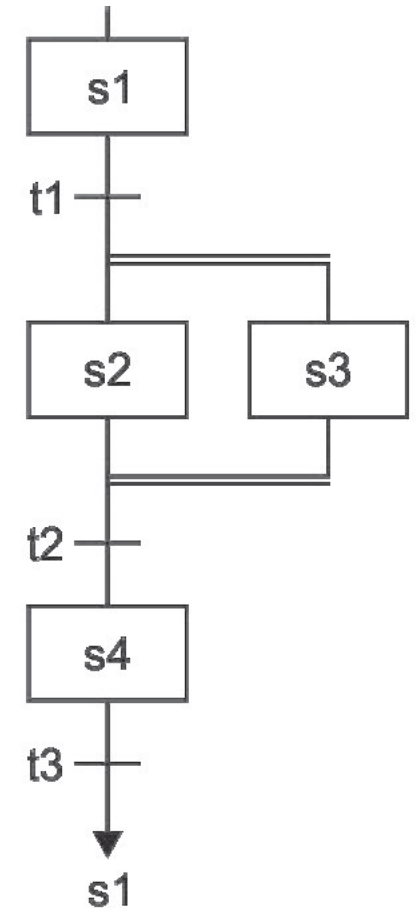


a) Alternativverzweigung

Ablaufsteuerung

Alternativ- und Parallelverzweigung

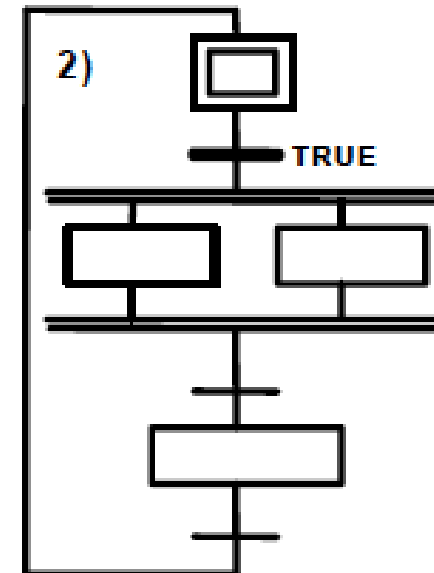
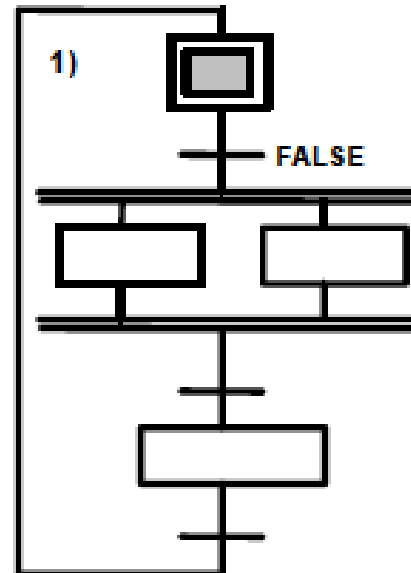
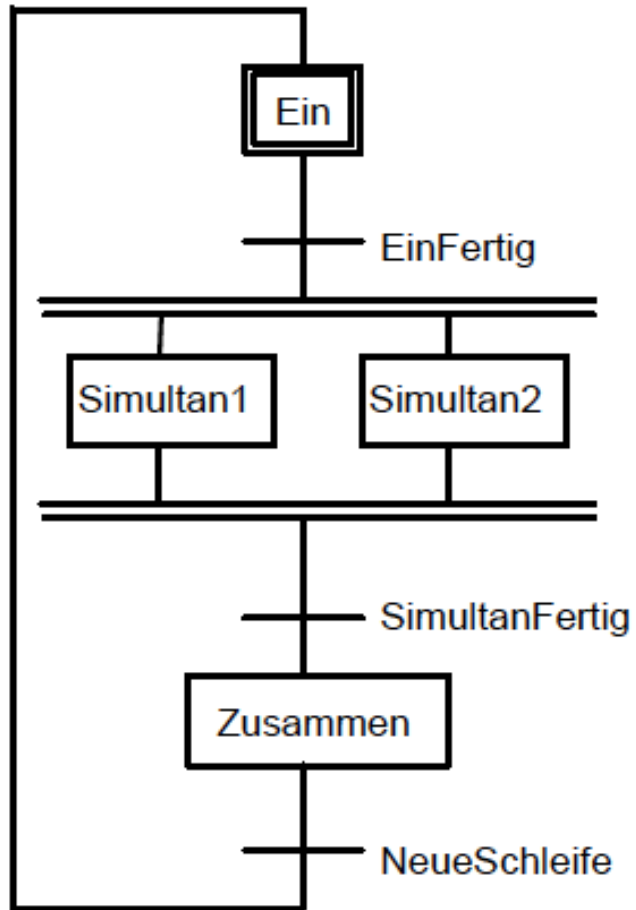
- Bei der Parallelverzweigung werden stets alle Ketten abgearbeitet
- Eine Zusammenführung der Zweige kann erst erfolgen wenn alle Schritte abgearbeitet wurden
- Parallelverzweigungen beginnen und enden mit Aktionen
- In den Parallelzweigen



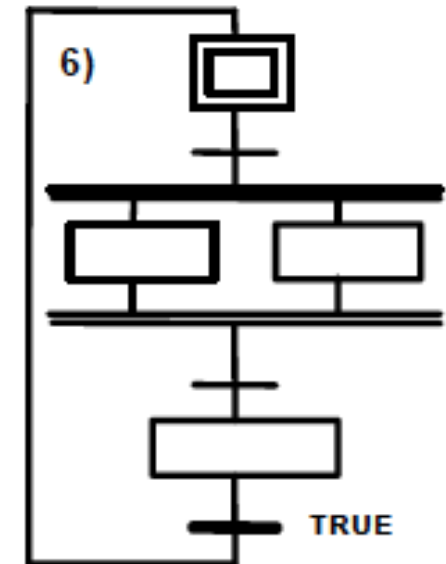
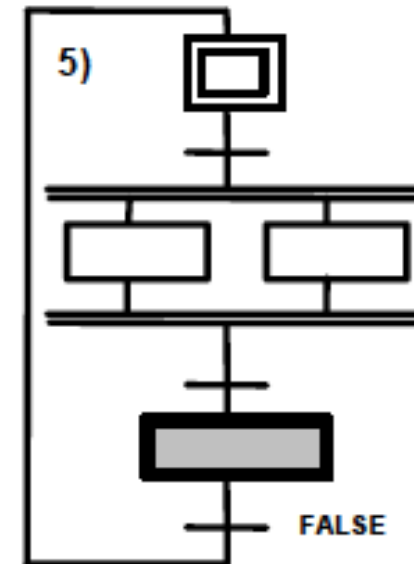
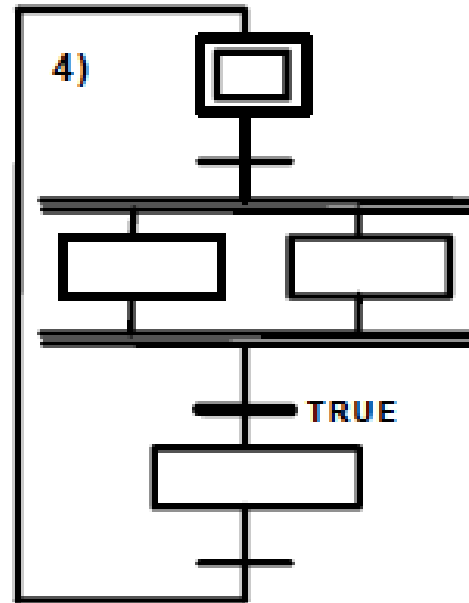
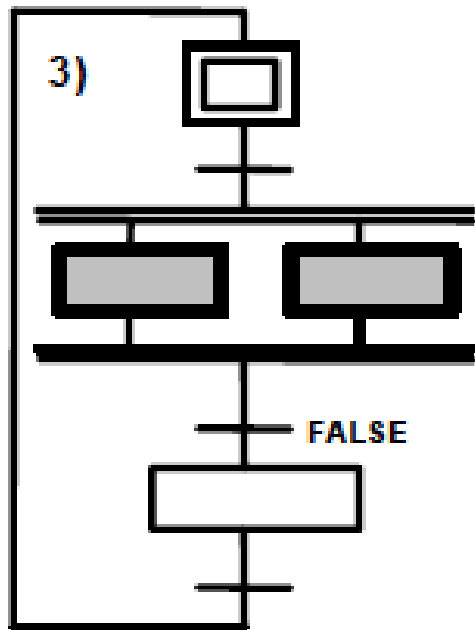
b) Parallelverzweigung

Ablaufsteuerung

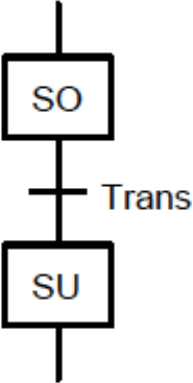
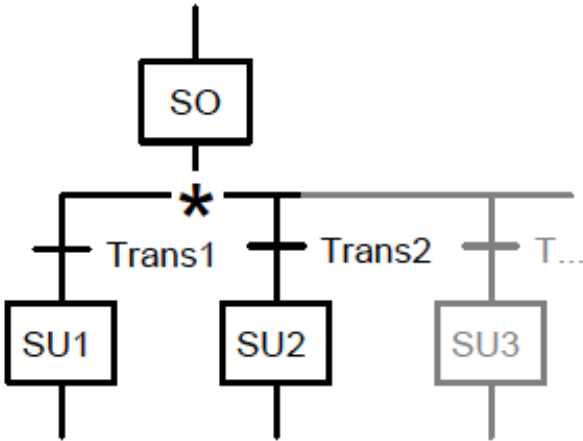
Beispiel



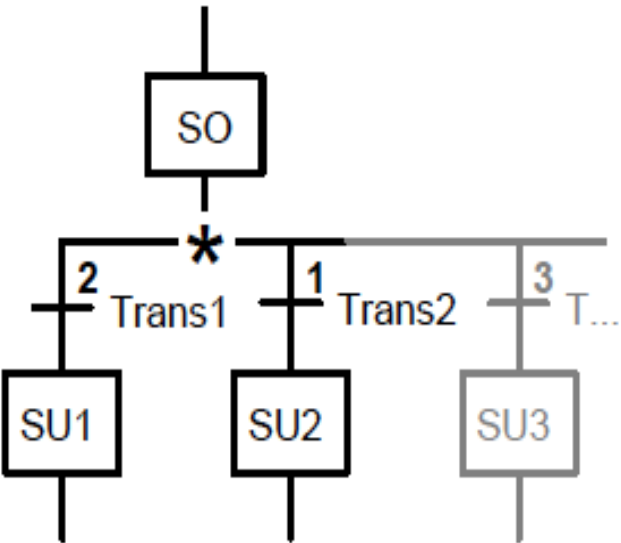
Ablaufsteuerung



Ablaufsteuerung

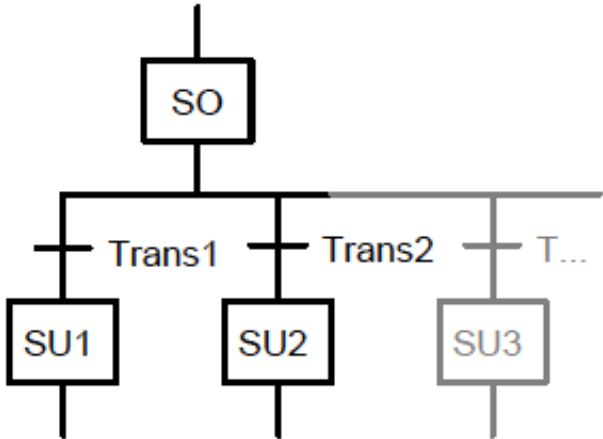
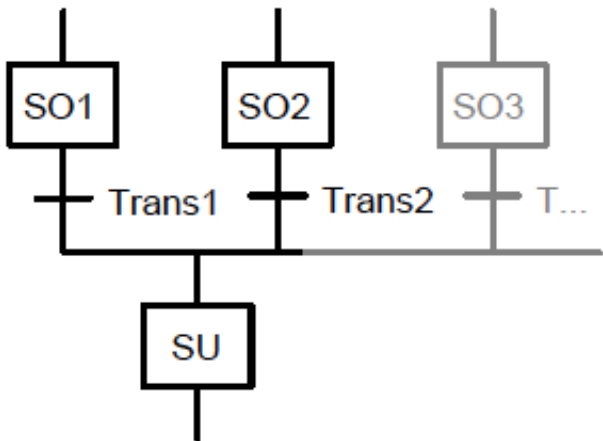
Grafische Darstellung	Namen mit Kommentierung
 The diagram shows a vertical flow starting with a line entering a box labeled 'SO'. Below 'SO' is a horizontal bar representing a transition, labeled 'Trans' to its right. Below the transition is another box labeled 'SU', which then continues with a line.	Einfache Kette: Einzelement Zusammenstellung von Schritt → Transition → Schritt in Folge SO^a wird inaktiv, sobald Trans gleich TRUE. SU^a wird aktiv, sobald Trans gleich TRUE.
 The diagram shows a vertical flow starting with a line entering a box labeled 'SO'. Below 'SO' is a horizontal bar representing a transition, marked with an asterisk (*) above it. From this transition, three parallel paths emerge. Each path consists of a transition (labeled 'Trans1', 'Trans2', and 'T...' respectively) leading to a step node (labeled 'SU1', 'SU2', and 'SU3' respectively). Each step node then continues with a line.	Alternativ-Kettenauswahl: Auswahl <i>einer</i> Folgeschrittkette. Ist SO aktiv, erfolgt eine Auswertung der Transitionen von links nach rechts (durch den Stern * gekennzeichnet). Die erste Transition mit TRUE inaktiviert SO und schaltet ihren Nachfolgeschritt aktiv.

Ablaufsteuerung

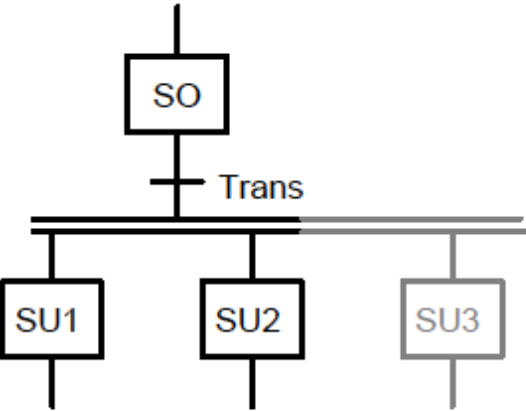
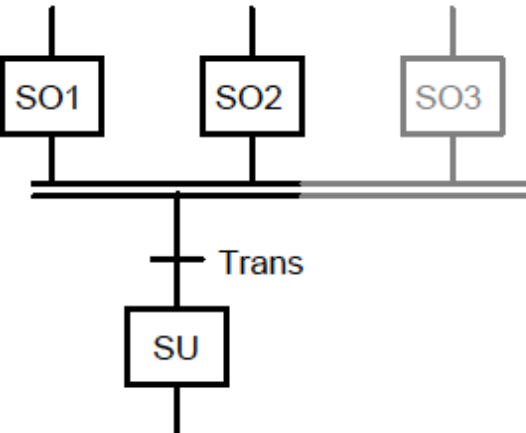
Grafische Darstellung	Namen mit Kommentierung
	Alternativ-Kettenauswahl, anwender-priorisiert: entspricht der Alternativ-Kettenauswahl mit der Ausnahme, dass der Anwender durch die Angabe von Zahlen die Reihenfolge der Transitions-Auswertungen steuern kann; die niedrigste Zahl besitzt die höchste Priorität.

- a SO: Schritt Oberhalb der Transition
 SU: Schritt Unterhalb der Transition

Ablaufsteuerung

Grafische Darstellung	Namen mit Kommentierung
	Kettenauswahl, willkürliche Reihenfolge: entspricht der Alternativ-Kettenauswahl mit der Ausnahme, dass die Transitionen in keiner vorgegebenen Reihenfolge berechnet werden. Der Anwender muss dafür sorgen, dass sich die einzelnen Transitionen gegenseitig ausschließen und sich damit das Programm deterministisch verhält.
	Zusammenführung Alternativ-Kettenauswahl: Die Pfade einer Alternativ-Kettenauswahl werden zusammengeführt. Sobald einer der SO aktiv ist und die zugehörige Transitionsbedingung TRUE liefert, erfolgt eine Deaktivierung des Schritts und die Aktivierung von SU.

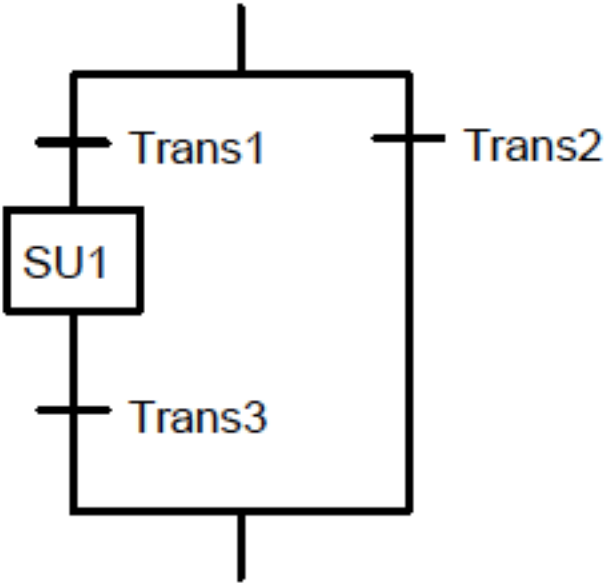
Ablaufsteuerung

Grafische Darstellung	Namen mit Kommentierung
	Simultan-Verzweigung: Gemeinsame Freigabe von mehreren Schrittketten. Ist SO aktiv und Trans liefert TRUE, wird SO inaktiv. Alle von Trans abhängigen Schritte SU werden aktiviert. Die neu aktivierten Teilnetzwerke laufen unabhängig voneinander ab.
	Zusammenführung Simultan-Verzweigung: Die Pfade einer Simultan-Verzweigung werden zusammengeführt. Sobald alle der SO aktiv sind und die zugehörige Transitionsbedingung Trans TRUE liefert, erfolgt eine Deaktivierung der Schritte und die Aktivierung von SU.

Ablaufsteuerung

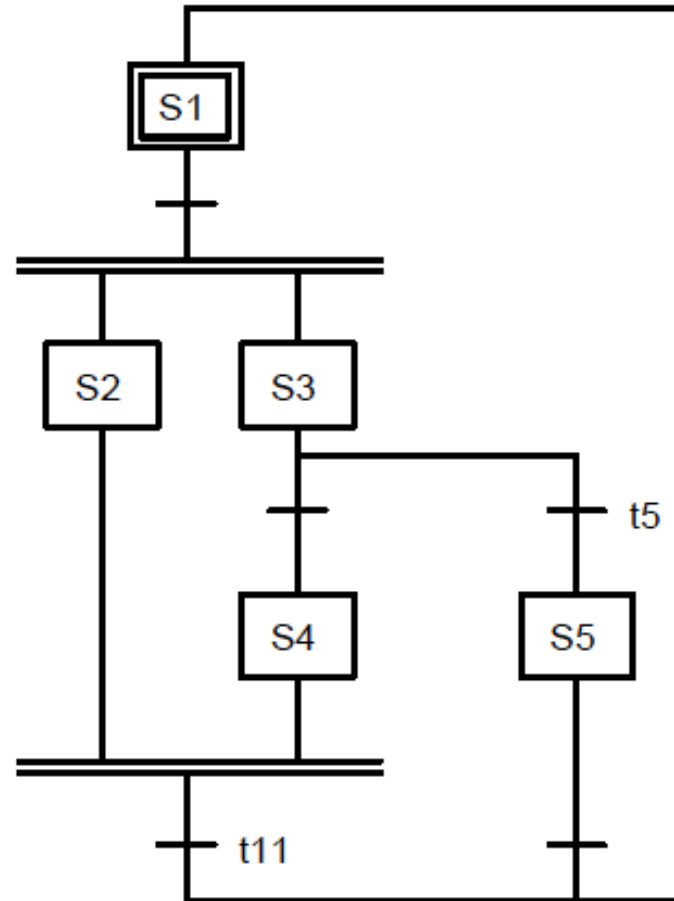
Grafische Darstellung	Namen mit Kommentierung
The diagram illustrates a control flow sequence. It starts with a box labeled 'SO' at the top. A vertical line descends from 'SO' through a transition labeled 'TransO'. This line then splits: one path continues down through a box labeled 'SM1' and a transition labeled 'TransM1' to a box labeled 'SM2'. From 'SM2', the line goes down through an asterisk '*' and a transition labeled 'TransM21' to a box labeled 'SU' at the bottom. A second path from the split point after 'TransO' goes right and then down to a transition labeled 'TransM22', which then goes left and up to join the line between 'TransO' and 'SM1', forming a feedback loop.	Kettenschleife (Rückführung): Eine Transition (im Beispiel TransM22) führt zu einem Vorgängerschritt zurück. Die Transitionsbearbeitung erfolgt in gleicher Weise wie bei der Alternativ-Kettenauswahl. Zusätzlich zum Beispiel links sind auch die Arten “anwenderpriorisiert” (mit *) und “willkürlich” möglich. Um den Kontrollfluss besser darstellen zu können (z.B. von TransM22 nach SM1), sind Richtungspfeile erlaubt.

Ablaufsteuerung

Grafische Darstellung	Namen mit Kommentierung
	Kettensprung Enthält ein Pfad einer Kettenauswahl (gilt für alle drei Typen) keinen Schritt (sondern nur eine Transition), heißt dieser Pfad Kettensprung (rechts nach Trans2).

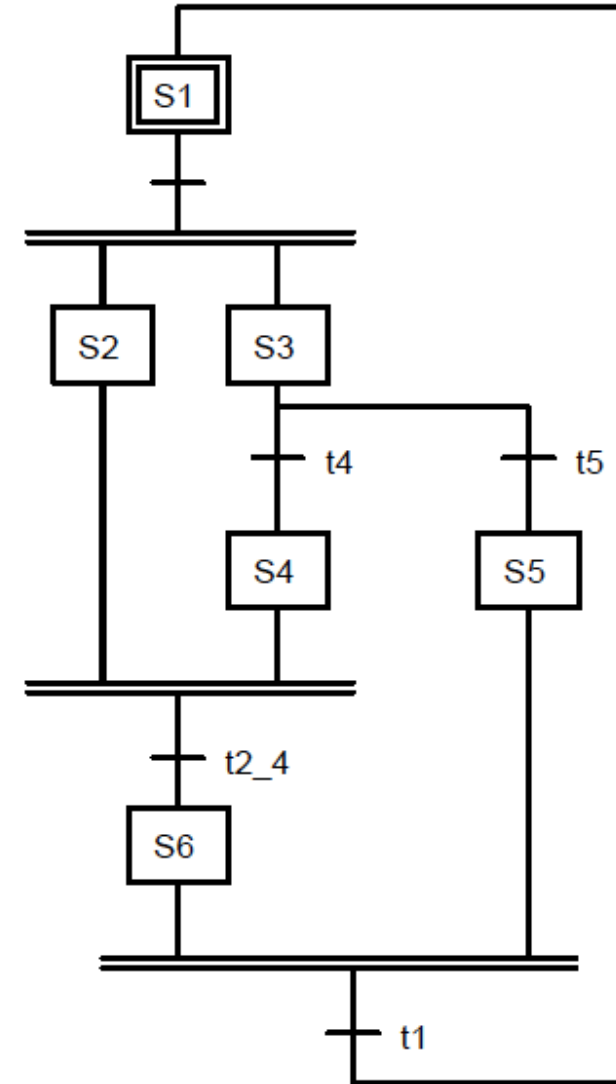
Ablaufsteuerung

Unsicheres Netzwerk



Ablaufsteuerung

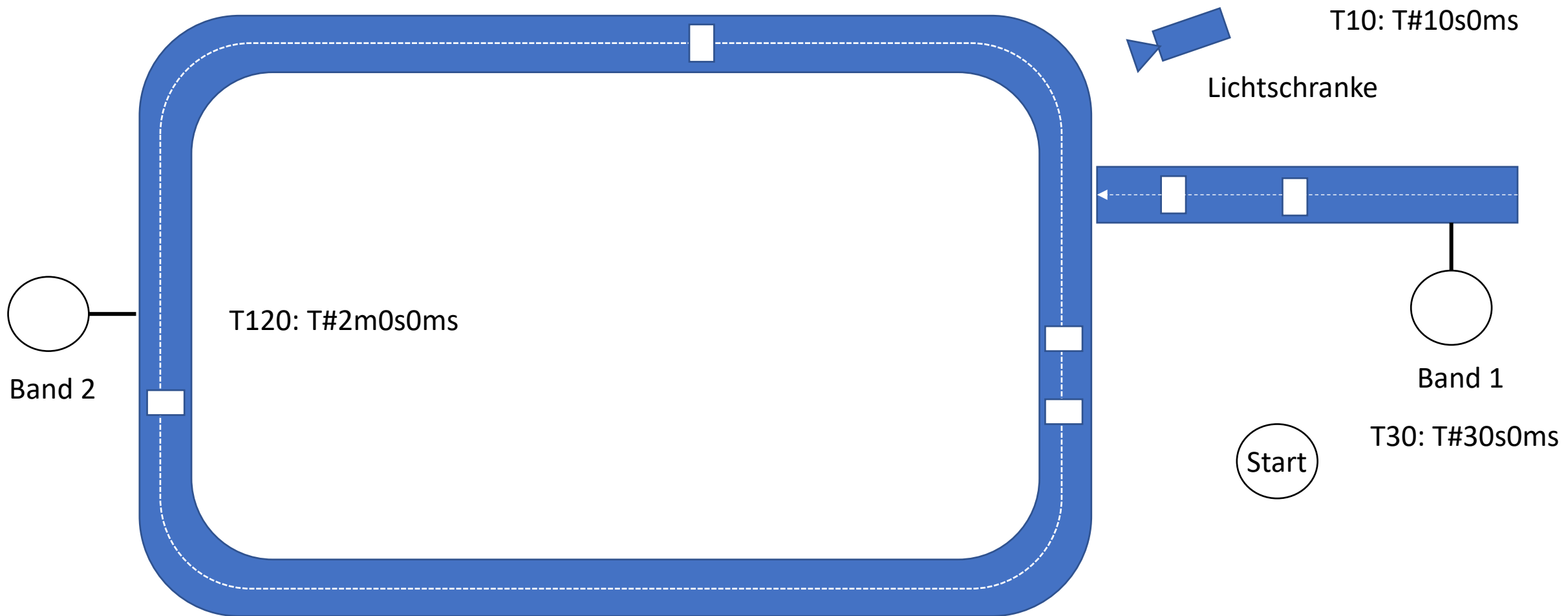
Netzwerk mit unerreichbarer Ablaufkette



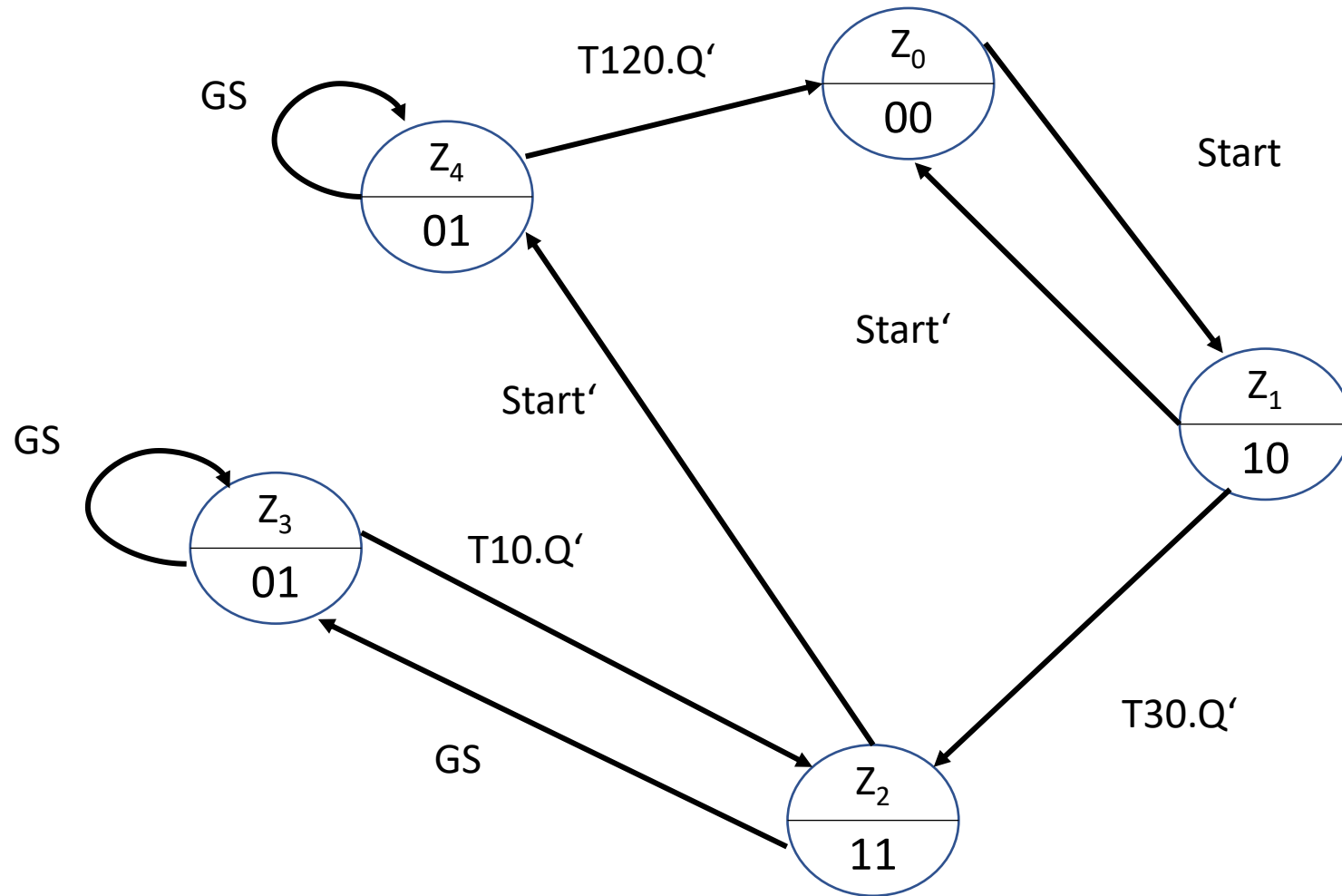
Ablaufsteuerung

Für die Gepäckausgabe an einem Flughafen ist das SPS-Programm zu entwerfen. Nach Aktivierung des Start Schalters soll das Förderband Band 1 loslaufen und 30s später auch das Förderband Band 2. Wenn der Sensor GS einen Koffer detektiert muss das Förderband Band 1 anhalten. Wird nach 10s kein Koffer detektiert läuft Band 1 wieder an. Nachdem alle Koffer auf das Band gelegt sind kann der Start Schalter wieder zurückgesetzt werden, so dass Band 1 anhält. Band 2 muss aber noch so lange laufen bis 120 s kein Koffer mehr detektiert wurde.

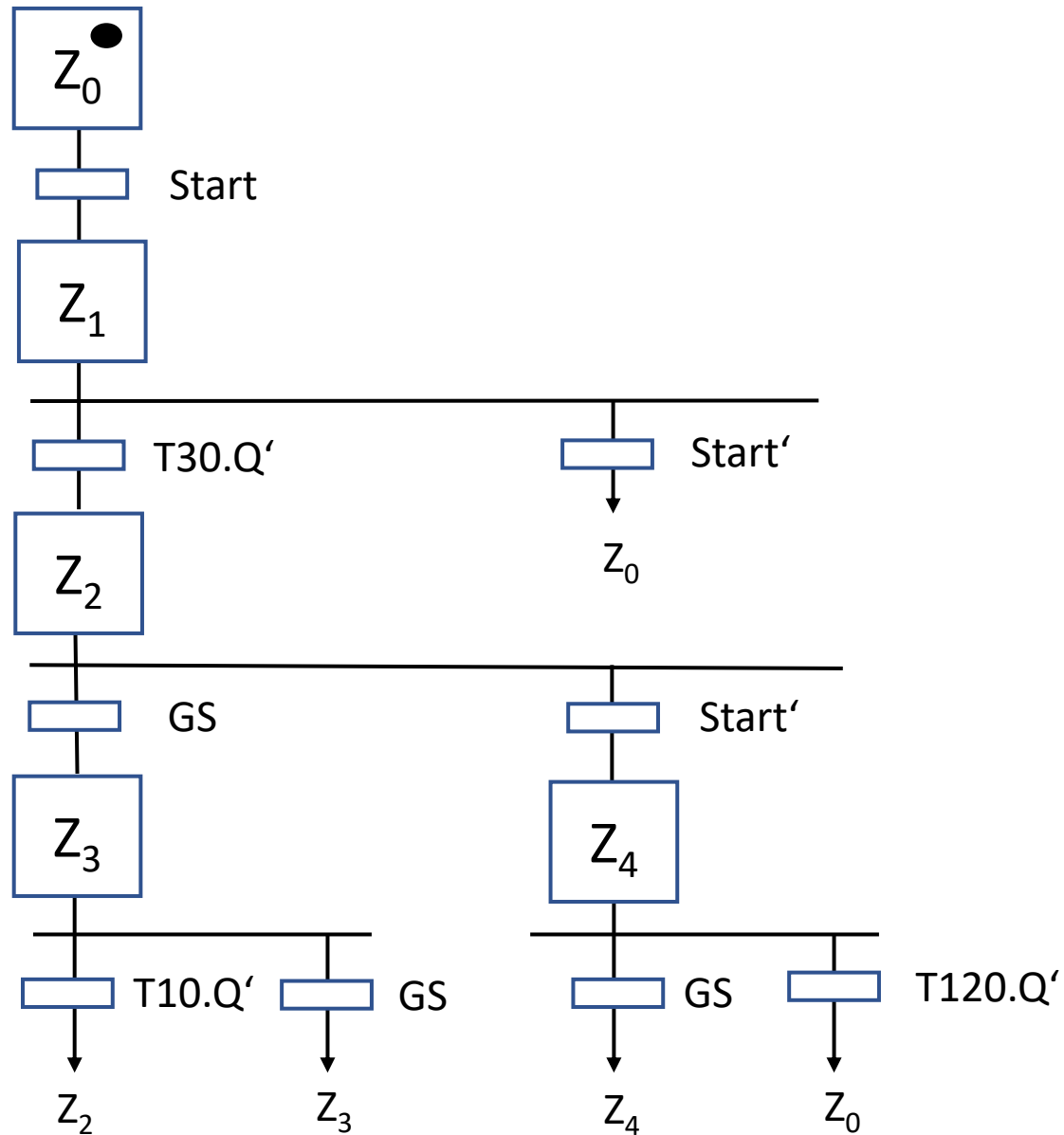
Ablaufsteuerung



Ablaufsteuerung



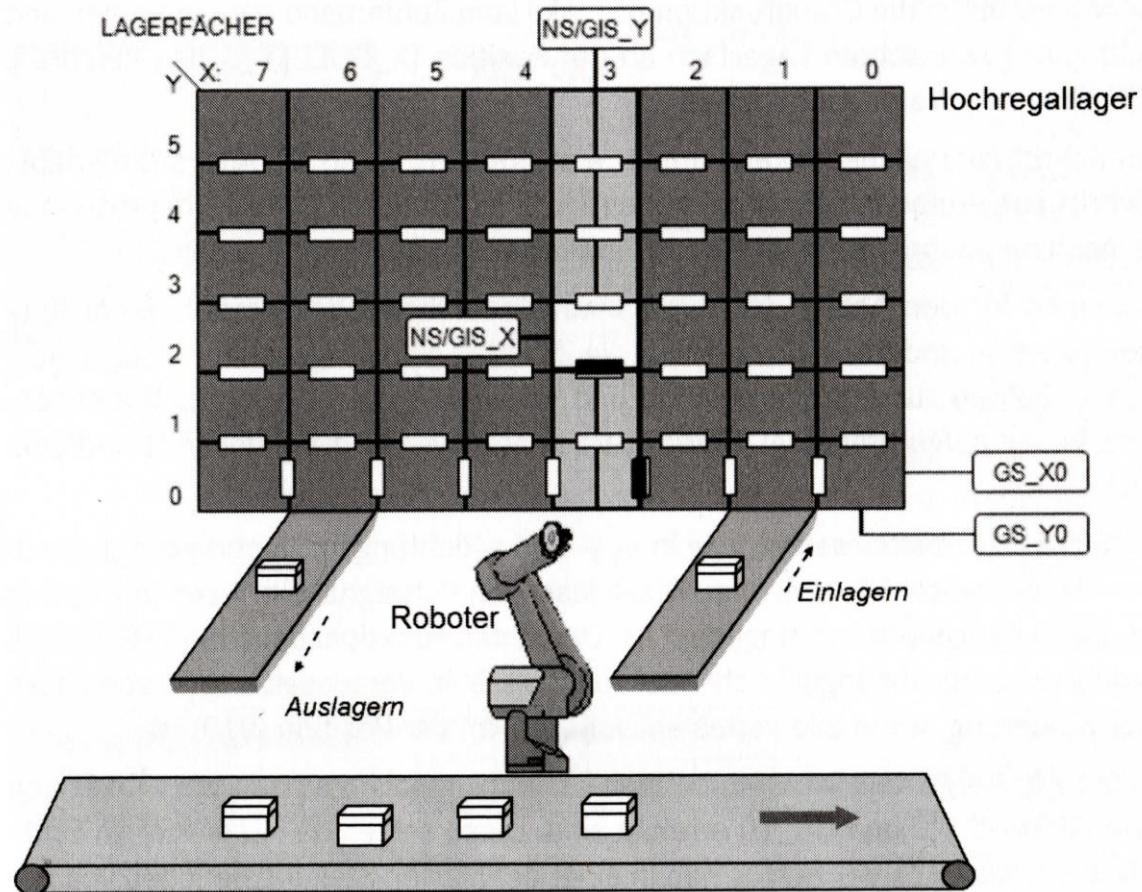
Ablaufsteuerung



Ablaufsteuerung

Parallele Prozessabläufe

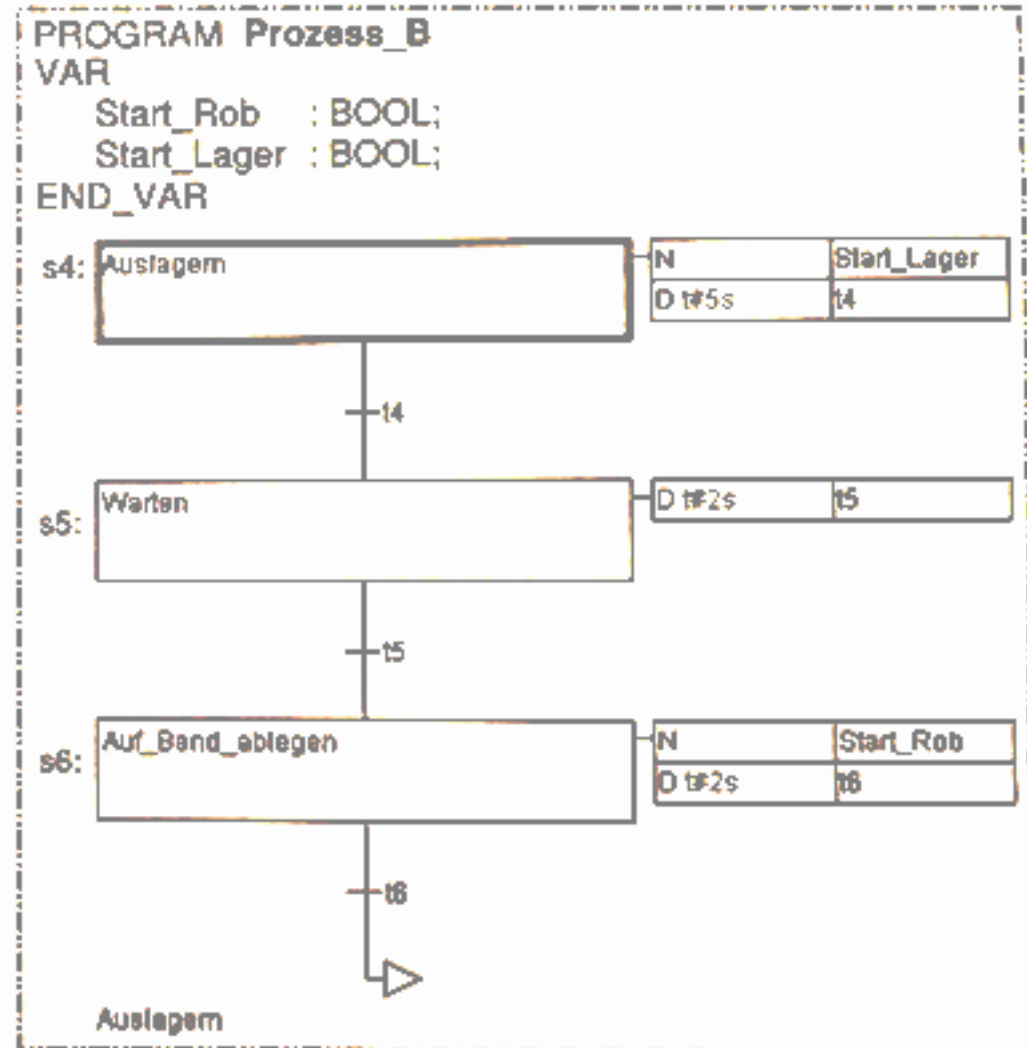
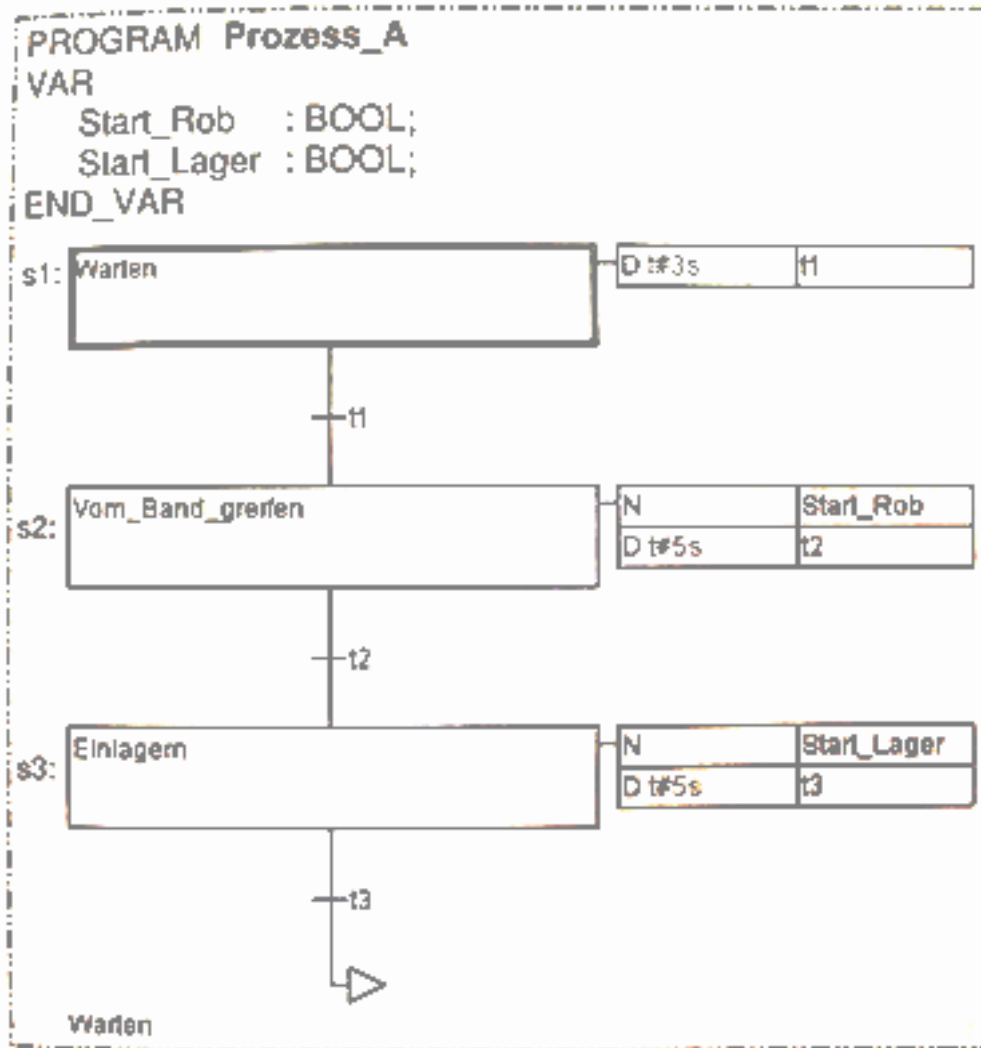
Problem: Parallele Abläufe könnten den selben Anlagenteil nutzen wollen



Ablaufsteuerung

Die Kisten sollen mit hergestellten Produkten von einem Roboter gegriffen und in einem Hochregallager eingelagert werden. Parallel dazu sollen Kisten mit Rohlingen aus dem Lager ausgelagert und zur Bearbeitung auf dem Foerderband abgelegt werden. Vor dem Greifen und vor dem Ablegen werden Objekte bzw. freie Plaetze auf dem Foerderband von einer Kamera inspiziert, was eine gewisse Wartezeit in Anspruch nimmt

Ablaufsteuerung



Ablaufsteuerung

Dynamisches Verhalten von Petrinetzen

$$s(k + 1) = s(k) + \Delta s(k) = s(k) + N \cdot t(k)$$

Die Matrix N heißt Netzmatrix, denn sie beschreibt, wie die Markierungen im Petrinetz durch das Schalten der Transitionen verändert werden.

Ablaufsteuerung

Beispiel:

Kamera inspiziert das Band (Schritt 1 Prozess A) und ein Rohling wird ausgelagert (Schritt 4 Prozess B)

Einfügen der Zusatzzustände S7 (Roboter frei) und S8 (Lager frei)

Anfangsmarkierung:

$$s(k=0) = (1,0,0,1,0,0)$$

Zuerst wird ein Objekt gesichtet (Transition t1 schaltet)

$$t(k=0)=(1,0,0,0,0,0)$$

$$s(k=1)=(0,1,0,1,0,0)$$

$$\Delta s(k = 0) = s(k = 1) - s(k = 0) = (-1,1,0,0,0,0)$$

Ablaufsteuerung

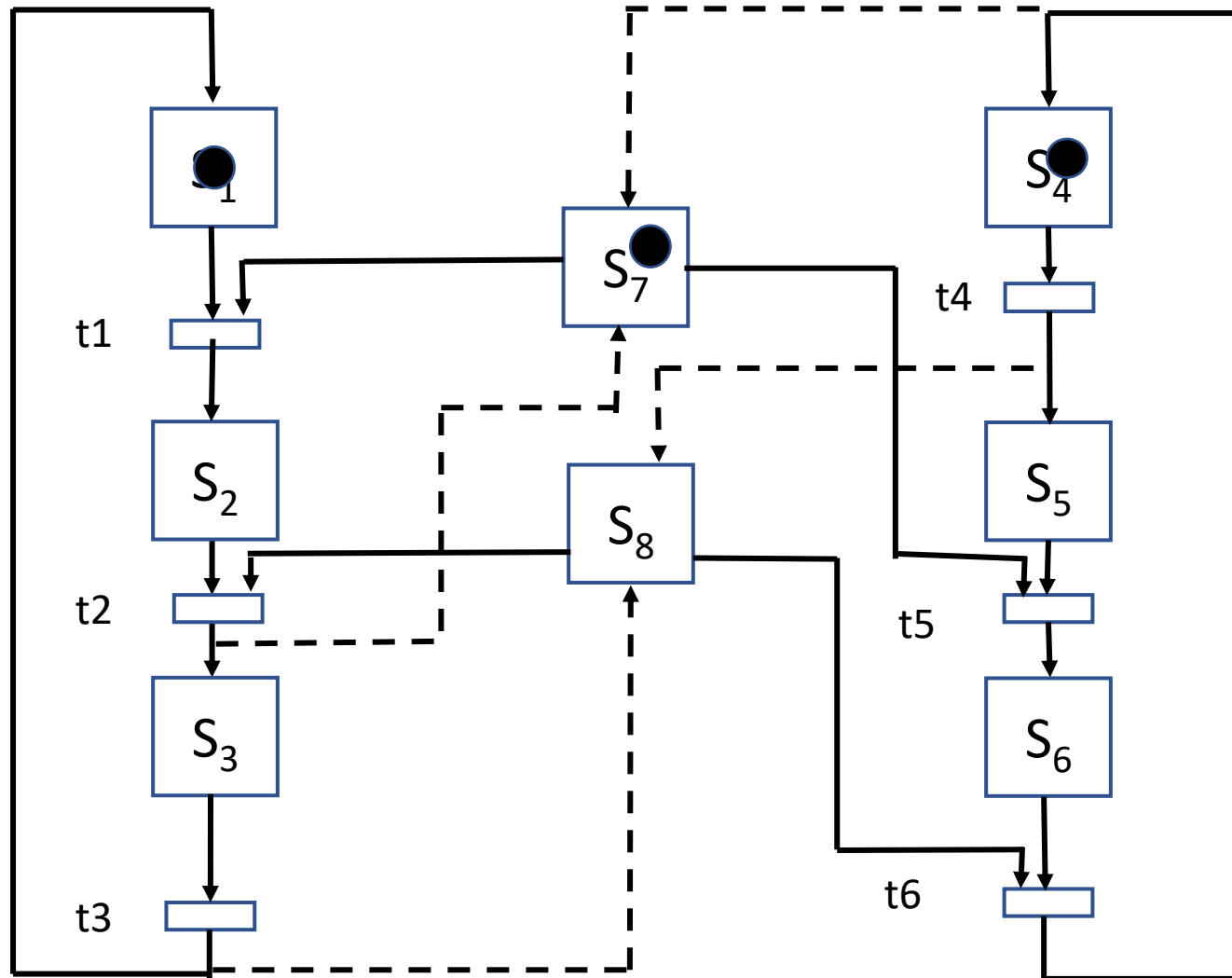
$$t(k=1) = (0,0,0,1,0,0) \rightarrow s(k=2) = (0,1,0,0,1,0)$$

$$t(k=2) = (0,0,0,0,1,0) \rightarrow s(k=3) = (0,1,0,0,0,1)$$

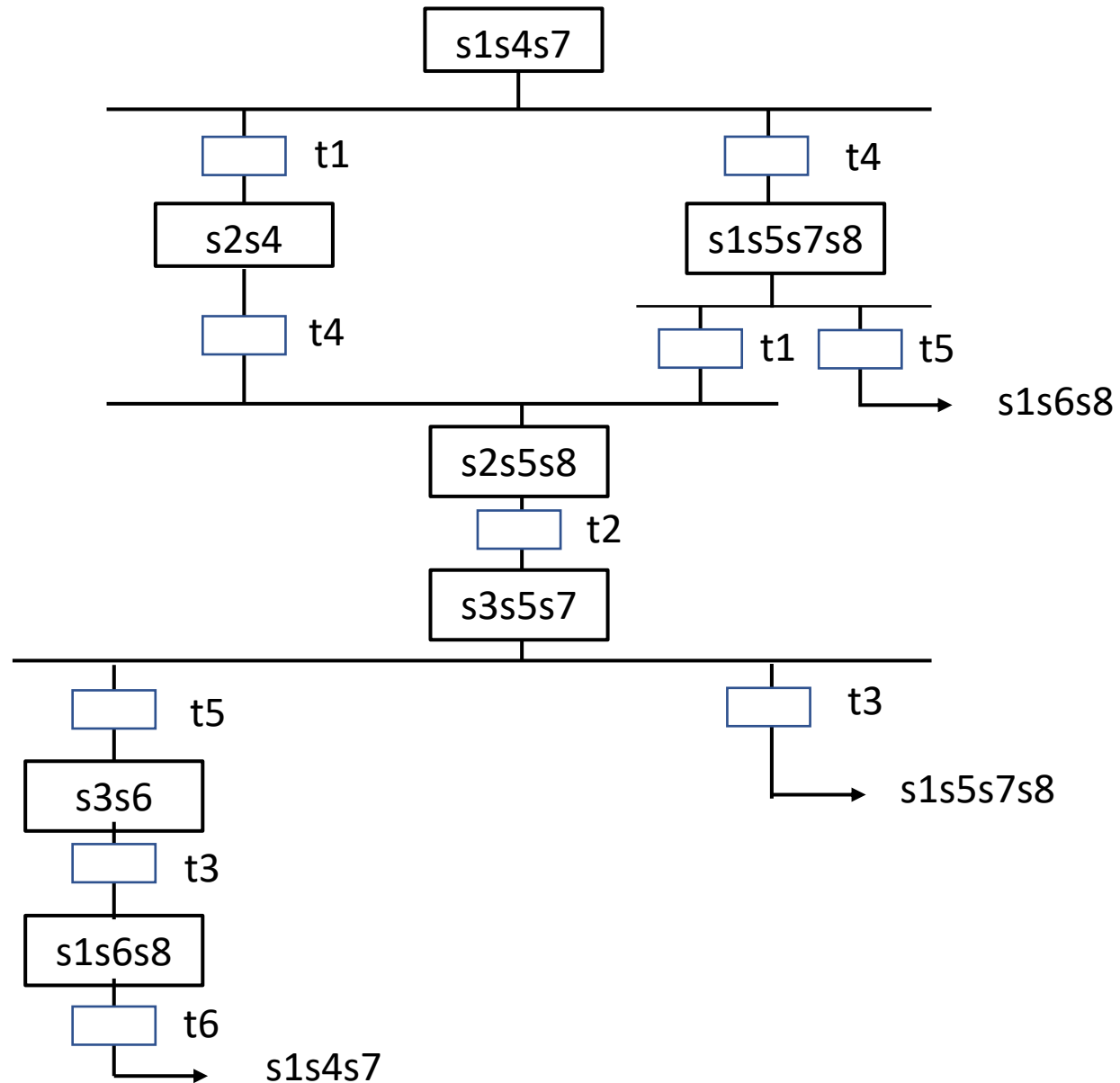
$$t(k=3) = (0,1,0,0,0,0) \rightarrow s(k=4) = (0,0,1,0,0,1)$$

$$t(k=4) = (0,0,0,0,0,1) \rightarrow s(k=5) = (0,0,1,1,0,0)$$

Ablaufsteuerung



Ablaufsteuerung



Ablaufsteuerung

Autowaschanlage

Die Anzeige H1 (Einfahren) zeigt die Betriebsbereitschaft der Waschanlage. Ein Auto kann bis zu der durch Lichtschranken kontrollierten Waschposition vorfahren, die beim Aufleuchten der Anzeige H2 (Stopp) erreicht ist. Wurde das Auto zu weit vorgefahren, leuchtet die Anzeige H3 (Zurück) auf. Durch Einstecken der Waschkarte wird das Programm gestartet. Nach Beendigung der Autowäsche erscheint die Anzeige H4 (Ausfahren).

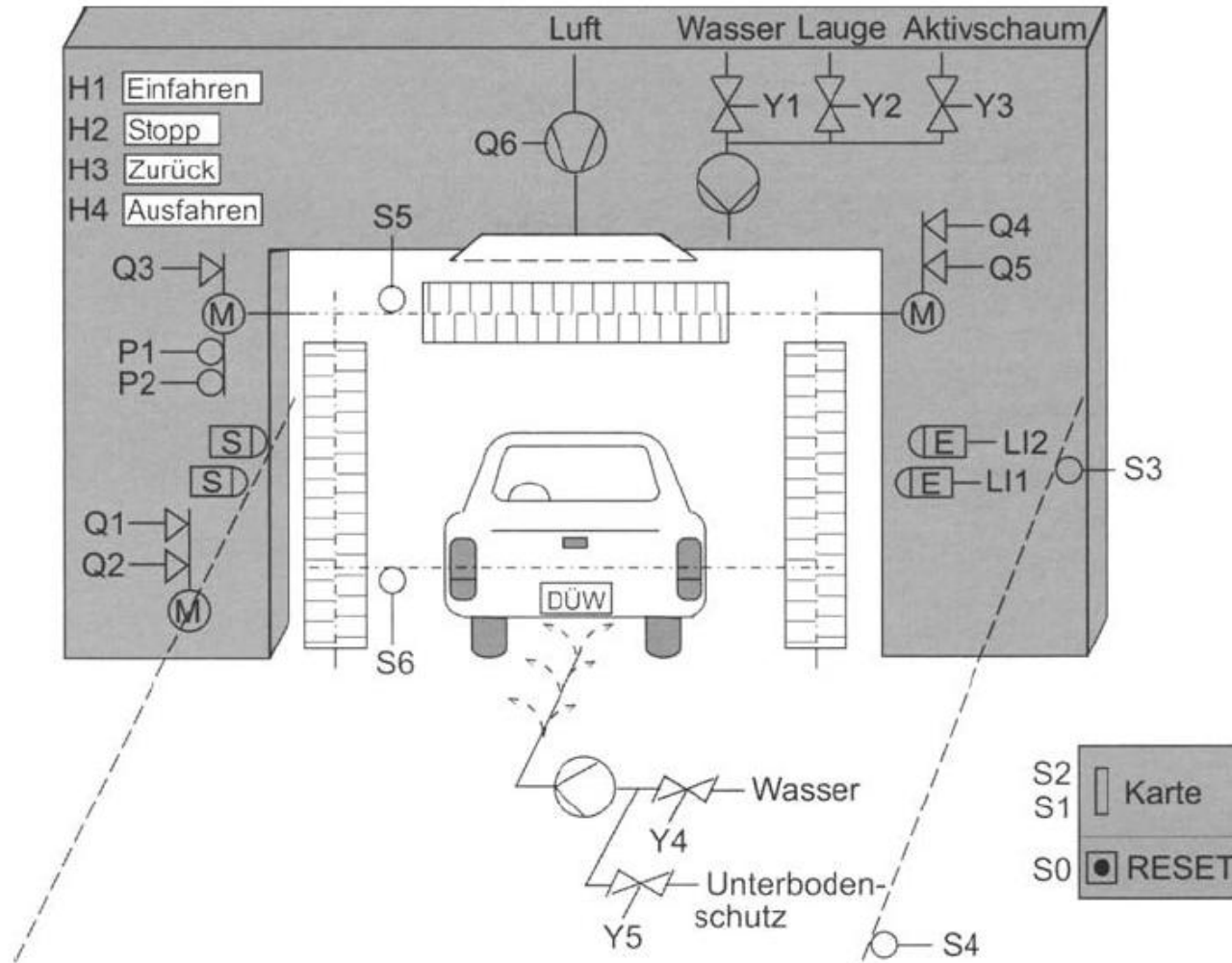
Die Autowäsche besteht entsprechend der gesteckten Waschkarte aus einer Vorwäsche mit Aktivschaum oder ohne Vorwaschgang und einer Hauptwäsche mit parallel ablaufender Unterbodenwäsche, sowie dem Klarspülen und Trocknen. Bei der Vorwäsche und Hauptwäsche wird die Waschportal je einmal vor- und zurückgefahren. Eine weitere Vorwärtsfahrt wird zum Klarspülen und die anschließende Rückwärtsfahrt zum Trocknen genutzt. Die Vorwäsche besteht aus Einsprühen und Abspülen. Bei der Hauptwäsche mit Waschlauge werden die Waschbürsten entlang der Fahrzeugkontur geführt. Die Ansteuerung der beiden seitlichen Waschbürsten entspricht der Dachwaschbürstensteuerung und ist deshalb mit ihren Aktoren hier nicht ausgeführt. Bei Betätigung des AUS-Tasters wird die Ablaufkette in die Grundstellung gesetzt (RESET).

Aufgaben:

1. Entwurf eines Ablauf-Funktionsplans
2. Ablaufkette mit RS-Speichern und Aktionsausgabe im FB 10

Ablaufsteuerung

Technologieschema:



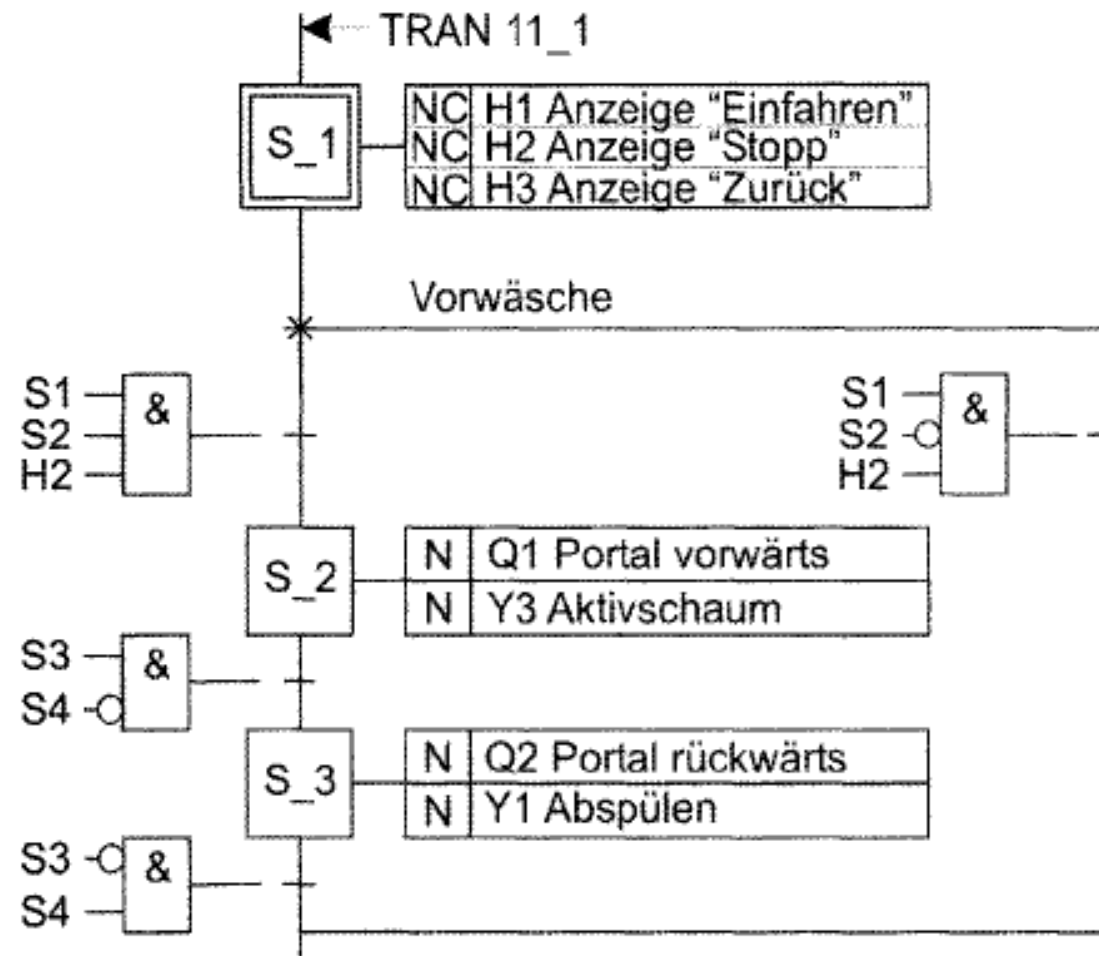
Ablaufsteuerung

Eingangsvariable	Symbol	Datentyp	Logische Zuordnung	Adresse
RESET	S0	BOOL	Betätigt S0 = 0	E 0.0
Waschkarte: Start	S1	BOOL	Betätigt S1 = 1	E 0.1
Waschkarte: Vorwäschewahl	S2	BOOL	Mit Vorwäsche S2 = 1	E 0.2
Endschalter Portal hinten	S3	BOOL	Betätigt S3 = 0	E 0.3
Endschalter Portal vorne	S4	BOOL	Betätigt S4 = 0	E 0.4
Endschalter Dachbürste oben	S5	BOOL	Betätigt S5 = 0	E 0.5
Endschalter Dachbürste unten	S6	BOOL	Betätigt S6 = 0	E 0.6
Lichtschranke 1	LI1	BOOL	Unterbrochen LI1 = 1	E 1.0
Lichtschranke 2	LI2	BOOL	Unterbrochen LI2 = 1	E 1.1
Andruck Dachrolle (min)	P1	BOOL	Druck zu klein P1 = 1	E 1.2
Andruck Dachrolle (max)	P2	BOOL	Druck zu groß P2 = 1	E 1.3

Ablaufsteuerung

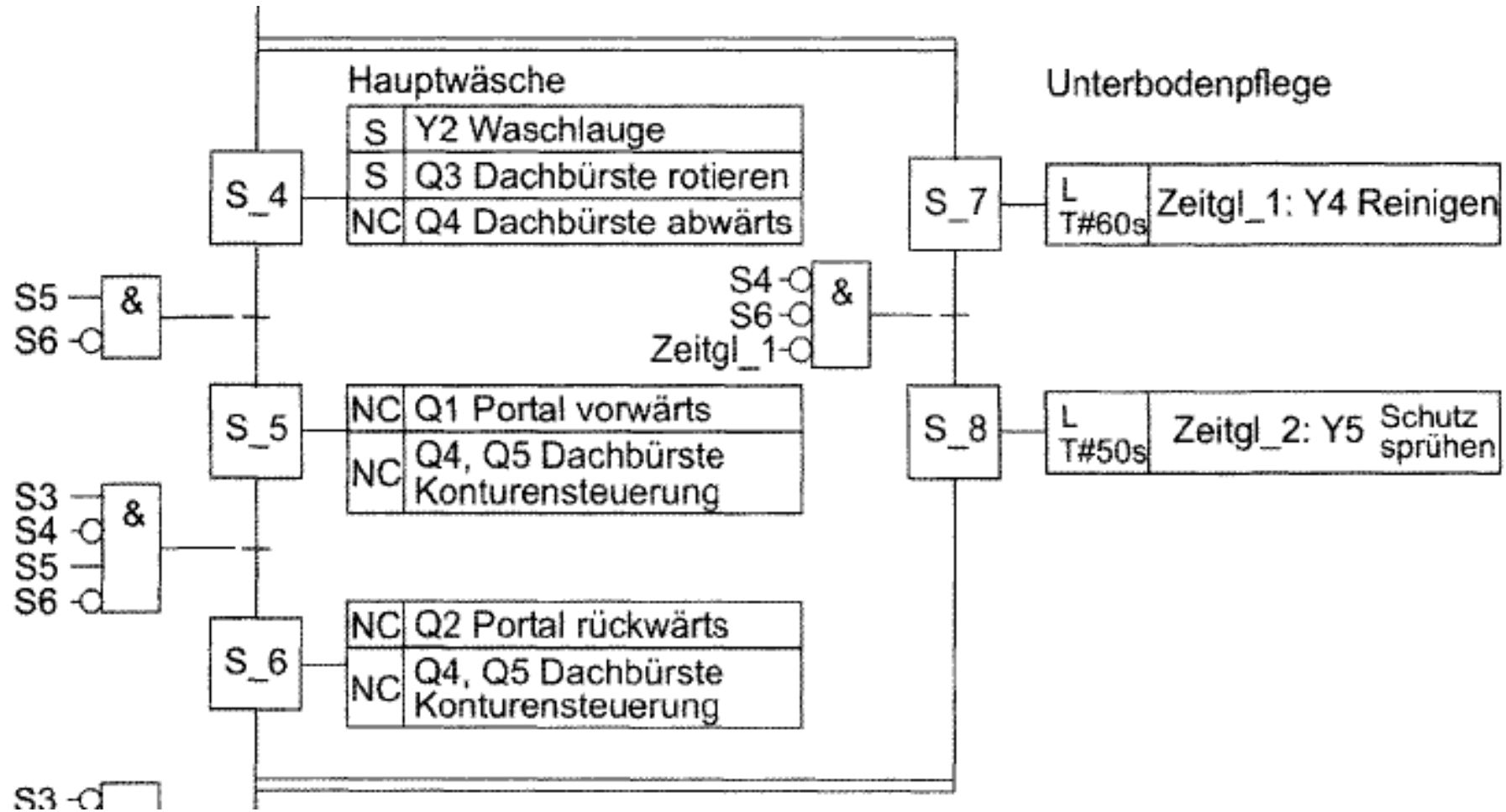
AusgangsvARIABLE					
Portalmotor vorwärts	Q1	BOOL	Motor ein	Q1 = 1	A 4.0
Portalmotor rückwärts	Q2	BOOL	Motor ein	Q2 = 1	A 4.1
Dachbürste rotieren	Q3	BOOL	Motor ein	Q3 = 1	A 4.2
Dachbürste abwärts	Q4	BOOL	Motor ein	Q4 = 1	A 4.3
Dachbürste aufwärts	Q5	BOOL	Motor ein	Q5 = 1	A 4.4
Gebläsemotor	Q6	BOOL	Motor ein	Q6 = 1	A 4.5
Klarwasserventil oben	Y1	BOOL	Ventil auf	Y1 = 1	A 4.6
Waschlaugenventil	Y2	BOOL	Ventil auf	Y2 = 1	A 4.7
Aktivschaumventil	Y3	BOOL	Ventil auf	Y3 = 1	A 5.0
Klarwasserventil unten	Y4	BOOL	Ventil auf	Y4 = 1	A 5.1
Unterbodenschutzventil	Y5	BOOL	Ventil auf	Y5 = 1	A 5.2
Anzeige „Einfahren“	H1	BOOL	Anzeige an	H1 = 1	A 5.3
Anzeige „Stopp“	H2	BOOL	Anzeige an	H2 = 1	A 5.4
Anzeige „Zurück“	H3	BOOL	Anzeige an	H3 = 1	A 5.5
Anzeige „Ausfahren“	H4	BOOL	Anzeige an	H4 = 1	A 5.6

Ablaufsteuerung

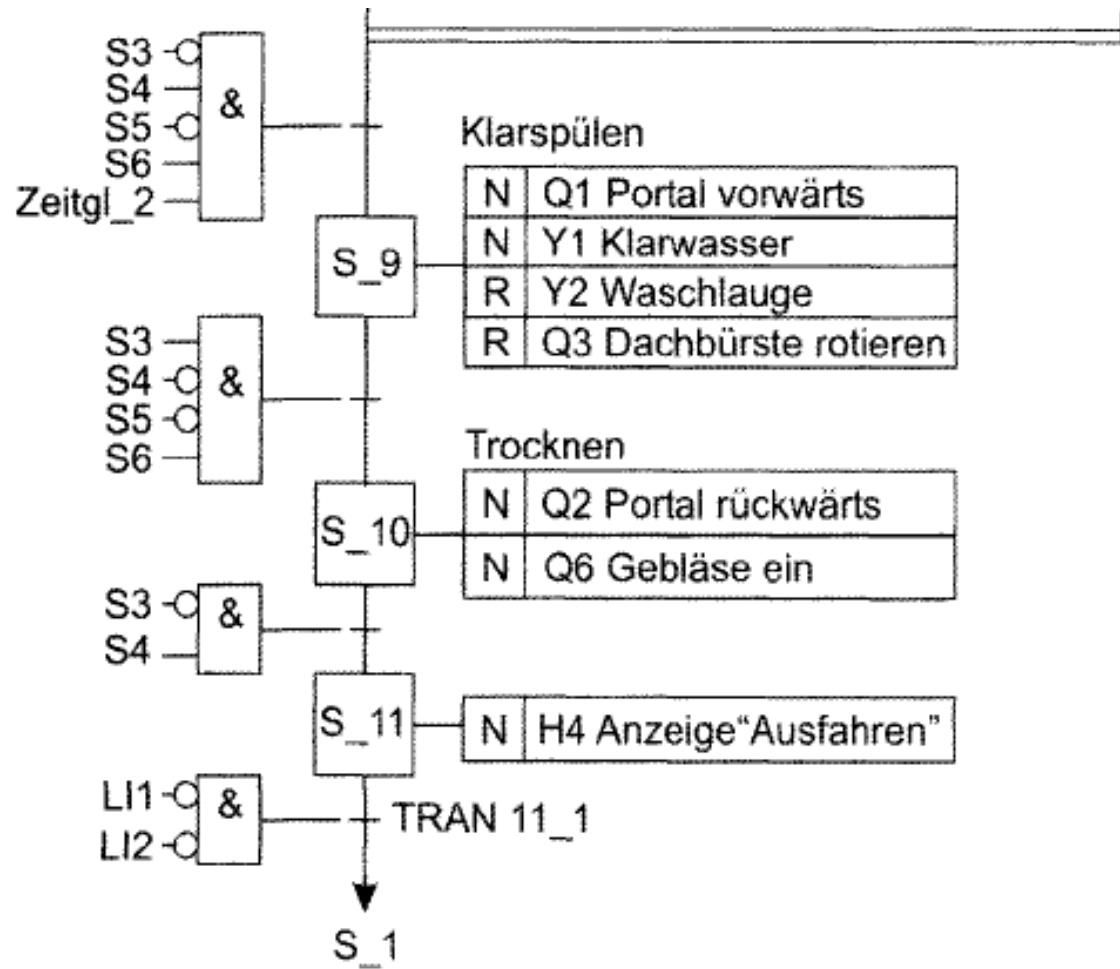


// Grundstellung der Ablaufkette:
S_1 gesetzt, S_2...11 rückgesetzt
// Grundstellung der Anlage:
S3=0 und S5=0

Ablaufsteuerung

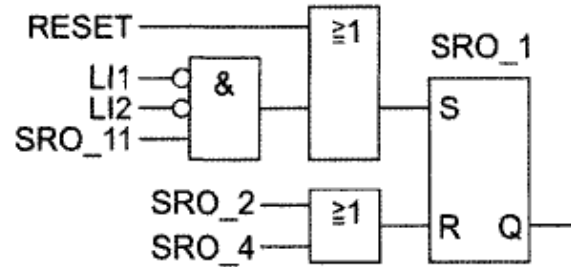


Ablaufsteuerung

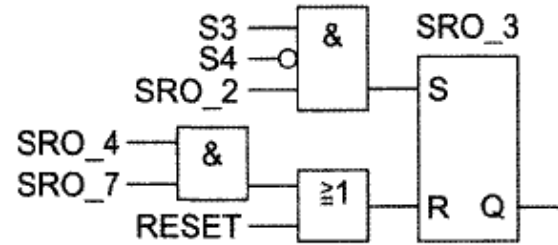


Ablaufsteuerung

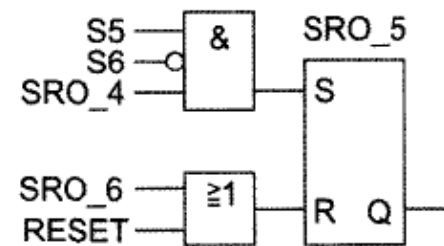
Schritt S_1



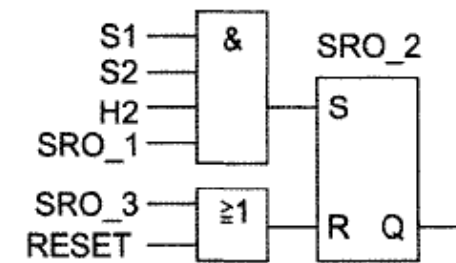
Schritt S_3



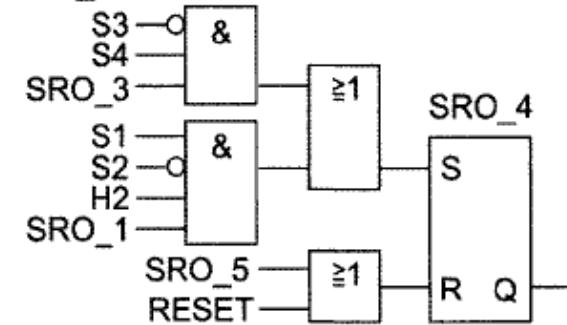
Schritt S_5



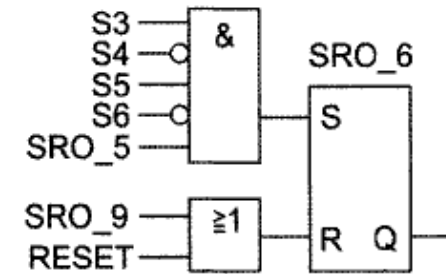
Schritt S_2



Schritt S_4

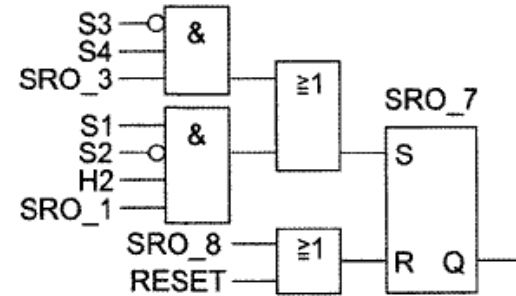


Schritt S_6

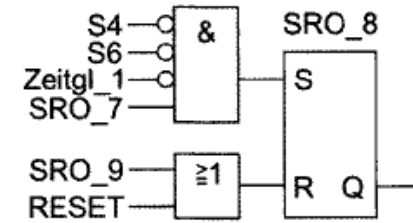


Ablaufsteuerung

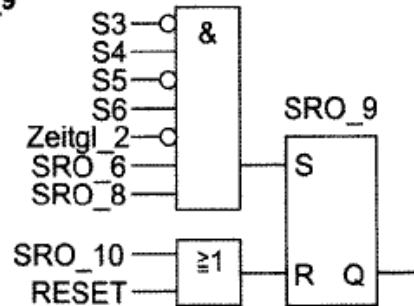
Schritt S_7



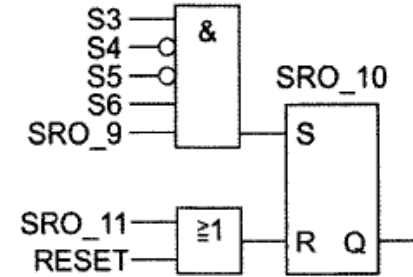
Schritt S_8



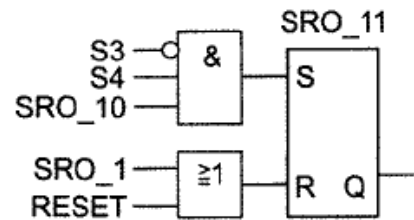
Schritt S_9



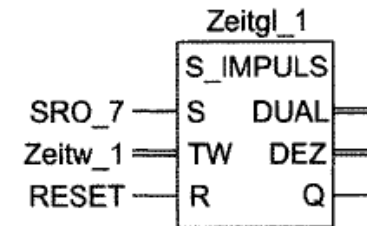
Schritt S_10



Schritt S_11

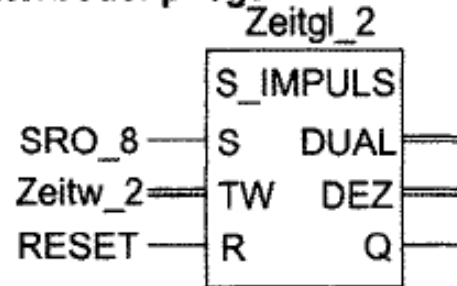


Zeit Unterbodenreinigung

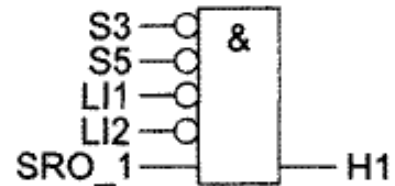


Ablaufsteuerung

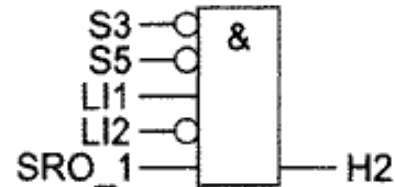
Zeit Unterbodenpflege



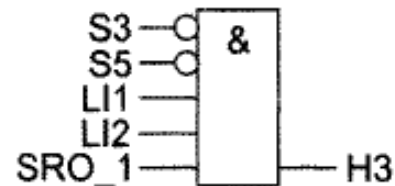
Einfahren



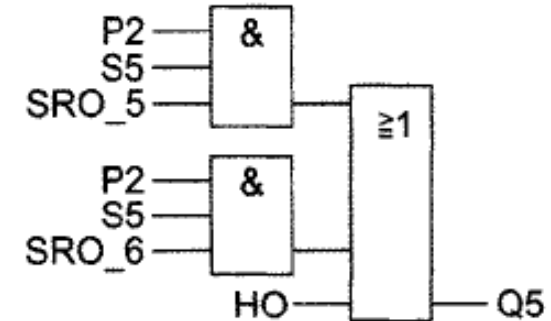
Stopp



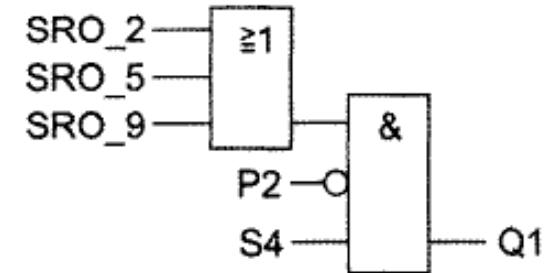
Zurück



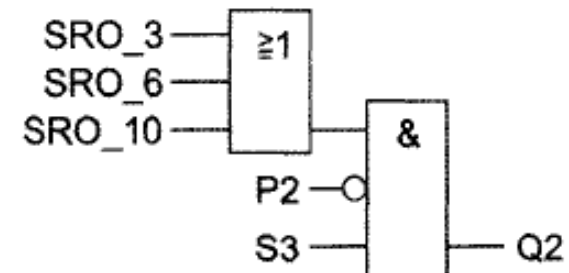
Dachbürste heben



Portal vorwärts

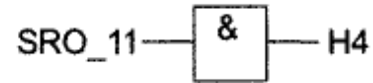


Portal rückwärts

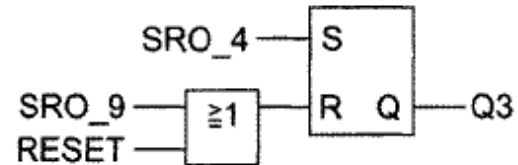


Ablaufsteuerung

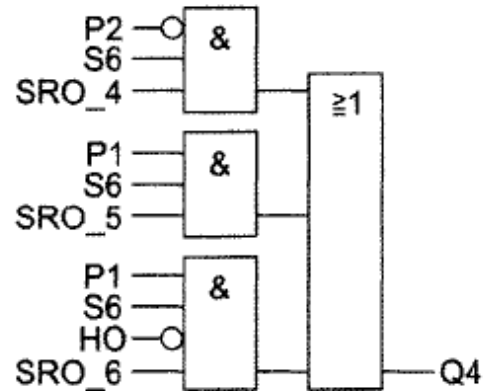
Ausfahren



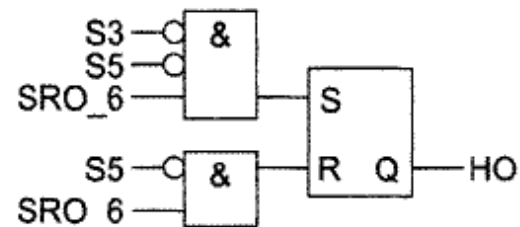
Dachbürsten rotieren



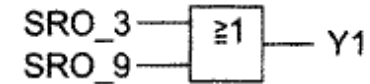
Dachbürste senken



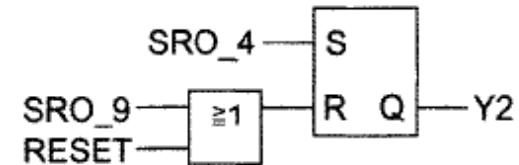
Vorbereitung Dachbürste Rückfahrt



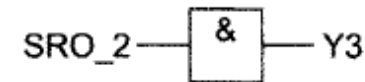
Klarwasserventil oben



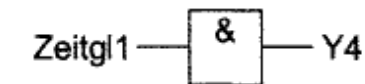
Waschlaugenventil



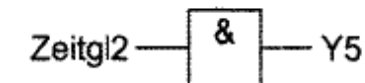
Aktivschaumventil



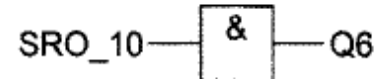
Klarwasserventil unten



Unterbodenschutzventil



Gebälse



Ablaufsteuerung