

Einführung in die Automatisierungstechnik

Studiengang: Produktionstechnik, Systems Engineering

- Vorlesung 08 -

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Fischer
Dr.-Ing. Gerald Ströbel






Bremer Institut für
Messtechnik, Automatisierung
und Qualitätswissenschaft

Lehrziele und Gliederung

- V1 Motivation, Anwendungsbereiche, Prozesse und Methoden der Automatisierungstechnik
- V2 Automatisierung in der Produktion
- V3 Boolesche Algebra 1
- Ü1 Matlab Einführung
- V4 Bolsche Algebra 2: Graphen
- Ü2 Übung Boolsche Algebra
- V5 Fuzzy Logic
- Ü3 Fuzzy Logic
- V6 Neuronale Netze
- Ü4 Neuronale Netze
- V7 Automatisiertes Messen und Steuern
- Ü5 Automatisiertes Messen und Steuern
- V8 **Speicherprogrammierbare Steuerungen**
- Ü6 Übungen und Musterklausuren

Speicherprogrammierbare Steuerungen

- Wiederholung - Industrielle Steuerungen -

<ul style="list-style-type: none"> • SPS Speicherprogrammierbare Steuerungen 	<ul style="list-style-type: none"> • RC Robotersteuerungen 	<ul style="list-style-type: none"> • CNC • Computerized Numerical Control 	<ul style="list-style-type: none"> • AS • Automatisierungssysteme • (spezialisierte Prozessrechner)
<ul style="list-style-type: none"> • Steuerung und Überwachung - eines Prozesses - von Maschinen oder Anlagen Echtzeit Bus Systeme (Feldbus, PROFIBUS) Dezentralisierung, WLAN, Mobilfunk, RFID (Industrie 4.0) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewegungsprogramm • Positionierung • Bahnsteuerung (3-D) • Ablauffolge LAN (Ethernet) Echtzeit Bus Systeme (Feldbus, PROFIBUS) Dezentralisierung, WLAN, Mobilfunk, RFID (Industrie 4.0) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungsprogramme • Konturen (2-D) / Bahnen 3D, mehrere Achsen • Bearbeitungskenngrößen (überwachen und steuern) • LAN, Feldbusse, Echtzeitkommunikation 	<ul style="list-style-type: none"> • Prozesssteuerung • Überwachung • Erkennung • Identifizieren • Klassifizieren • LAN Feldbusse Echtzeitkommunikation, WLAN, Mobilfunk, NFC, RFID, (Industrie 4.0)
<p>Einmal-Programmierung SPS Programm</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederholte Anwenderprogrammierung • Bewegungsprogramm 	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederholte Anwenderprogrammierung • Bearbeitungsprogramm 	<ul style="list-style-type: none"> • Einmal-Programmierung • z.B. Menügeführt • „Funktionsorientiertes“ Programm

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Entwicklung -

In den **60er Jahren** wurden für **Automatisierungsaufgaben** systemspezifische elektrische Schaltungen und Programme entwickelt.

Die Funktion wurde entweder mit fester Verdrahtung implementiert (Stromlaufplan) oder durch Rechner gesteuert, die mit aufwendigen Echtzeitprogrammiersprachen programmiert wurden.

Erst seit den **70er Jahren** werden **SPS** für Automatisierungsaufgaben verwendet.

PLC Programmable Logic Controller

Geht zurück auf Odo Struger (US Fa. Allen Bready) und Richard Morley (Fa. Modicon, später AEG-Modicon) der 1969 die Modicon084 als „solid-state sequential logic solver“ = halbleiterbasierendes sequentielles Logiksystem

Im Vordergrund der fortschreitenden Automatisierung der Automobilindustrie in den **80er Jahren** und der rasanten Entwicklung der Computertechnik (Mikroprozessoren) standen: Prozess-Steuerung und -transparenz, Diagnose, Prozessprotokollierung, graphischen Bedienerführung und Dezentralisierung sowie Energieeffizienz

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Normen -

Ein entscheidender Schritt wurde mit der Festlegung und Akzeptanz der Norm **DIN EN 61131** (Programmable Controller) für die Standardisierungs-Bemühungen in der Automatisierung getan.

Der Standard vereint die Erfahrungen der SPS Programmierung, die teilweise in nationalen Standards bereits festgelegt waren. Dazu gehören:

- Grafcet (Frankreich) bzw. IEC 848
- DIN 40719 (D)
- NEMA ICS-3-304 (USA)
- DIN 19239 (D)
- VDI 2880

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Entwicklung -

Eine **Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)** ist eine Steuerung, die flexibel an die Steueraufgabe angepasst werden kann, da ihre Funktion durch ein variables Programm festgelegt wird. Durch die modulare Bauweise und die nachträgliche Austauschbarkeit und Erweiterbarkeit des Programms ist eine SPS einfach an veränderte Anforderungen anzupassen.

Die SPS-Norm **DIN EN 61131-3** hat den Programmierstandard durch Vorgabe von grundlegenden Konzepten definiert. Dazu zählen:

- Datentypen und Variablenkonzeption
- Programmorganisationskonzept
- Programmier-/Fachsprachenkonzept
- Task-Konzept

Als Programmiersprachen stehen zur Verfügung:

Die **Anweisungsliste (AWL)**, eine den Befehlen der speicherprogrammierbaren Steuerung angepasste Assemblersprache.

Strukturierter Text (ST)

Der **Kontaktplan (KOP)**, eine graphische Darstellung, deren Symbole und Anordnung an Stromlaufpläne ähnlich sind.

Funktionsbausteine (FBS), die funktionelle Zusammenhänge der Schaltung unabhängig von ihrer Realisierung darstellt.

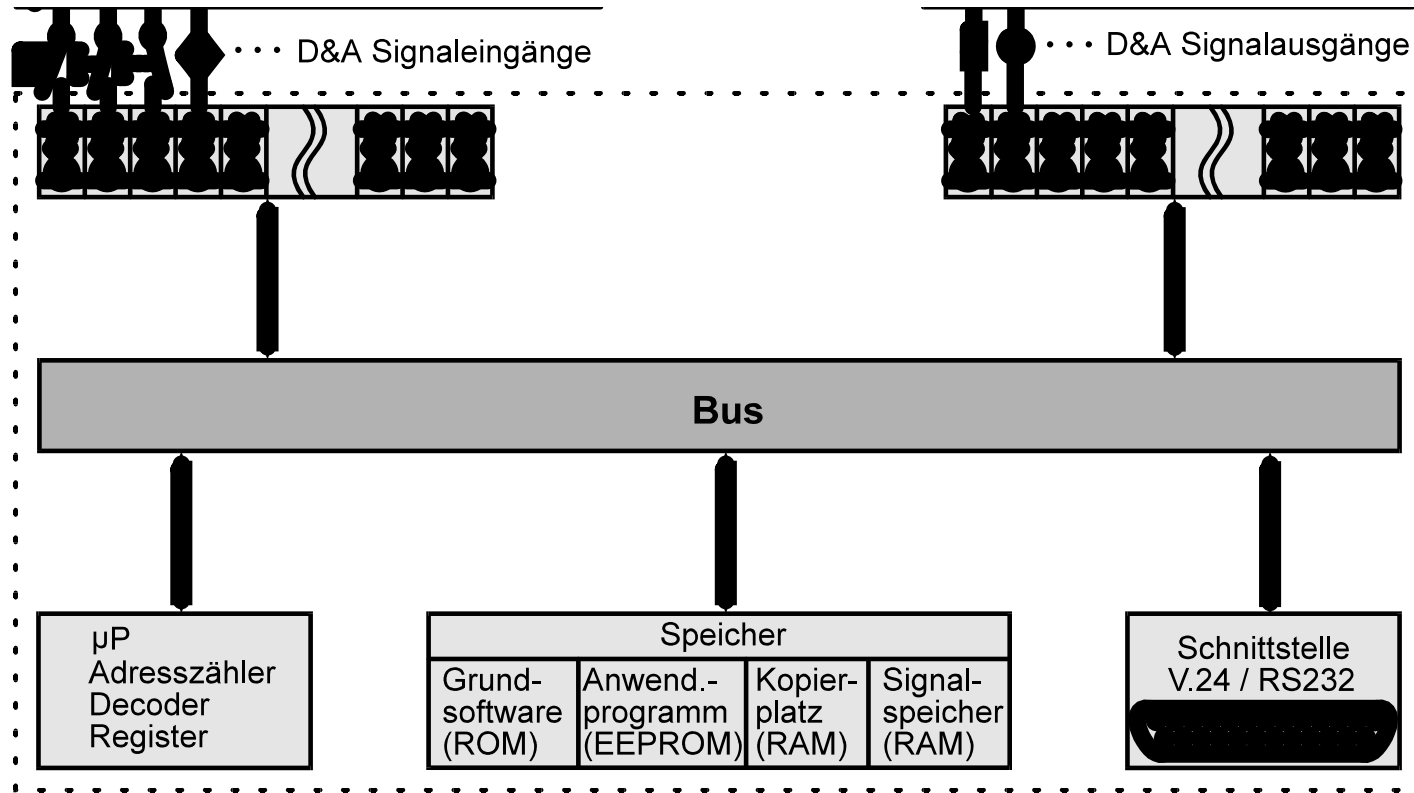
Die **Ablaufsprache (AS)**, die sich an Aufgabenstellungen der Prozesstechnik orientiert.

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

Englisch		Deutsch		
Abk.	Bezeichnung	Abk.	Bezeichnung	Hinweise
IL	Instruction List	AWL	Anweisungsliste	Vergleichbar mit Assembler
LD	Ladder Diagram	KOP	Kontaktplan	Vergleichbar mit einem Elektro- Schaltplan der um 90° gedreht ist
FBD	Function Block Diagram	FBS	Funktionsbaustein-Sprache	Teilweise (insbesondere bei Siemens STEP 7) auch als FUP (Funktionsplan) bekannt.
SFC	Sequential Function Chart	AS	Ablaufsprache	eine Art Zustandsdiagramm , bei STEP 7 als S7 GRAPH bekannt. Die IEC 61131-3:2003 sieht den SFC als eine Weiterentwicklung von Grafcet nach EN 60848 .
ST	Structured Text	ST	Strukturierter Text	angelehnt an Hochsprachen, bei STEP 7 als SCL (Structured Control Language) bezeichnet.
CFC	Continuous Function Chart	CFC	Continuous Function Chart	<i>Nicht Teil der IEC 61131-3:</i> Vollgrafisches Projektierwerkzeug, speziell für Regelungen und Verriegelungen

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Klassisch modulare Aufbau einer SPS Beispiel Siemens S5 -



Die wichtigsten Module sind die Zentraleinheit, das Eingangsmodul, das Ausgangsmodul (Optokoppler), und die Stromversorgung.

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Aufbau und Arbeitsweise einer SPS -

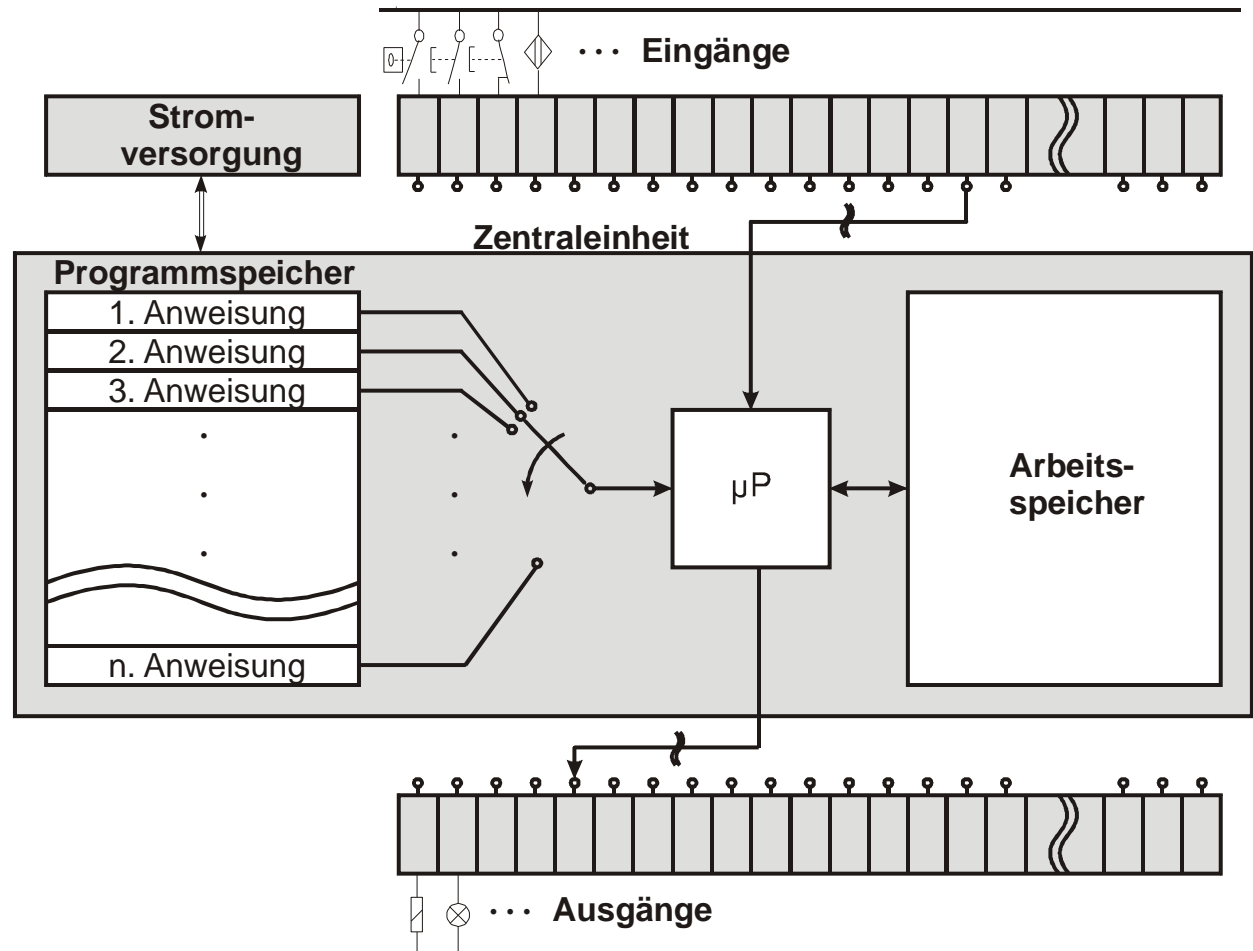
Digitale Eingangssignale:

- Druckknopfschalter, - Geber, - Endschalter, - digitale Messwertgeber weitere:
- Analoge Eingänge, Zähler, spezielle Signal-Geber

Ausgänge:

- galvanisch getrennt (Optokoppler),
- Relais, Transistoren, Triac-Schaltungen*,

Ein-/Ausgabebaugruppen
speziell wählbar nach
Leistungsbedarf und
Anzahl der Ein-/
Ausgänge



Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

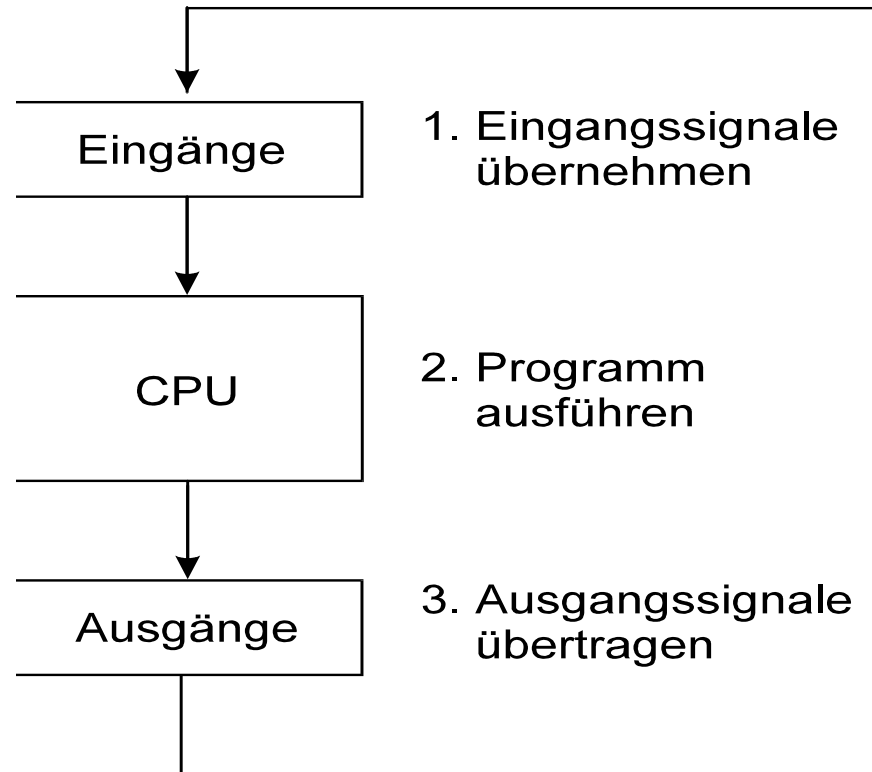
- Funktionsprinzip Zyklische Arbeitsweise der SPS -

Prozessabbild (Eingänge)
speichern

Alarmeingänge überwachen

Anweisungen decodieren
und ausführen
Ergebnissen speichern

Prozessabbild (Ausgänge)
ausgeben



Zyklus einer SPS

Typische Zykluszeiten von SPS sind **5 bis 10 ms** pro 1000 Anweisungen
(schnelle 0,1ms)

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

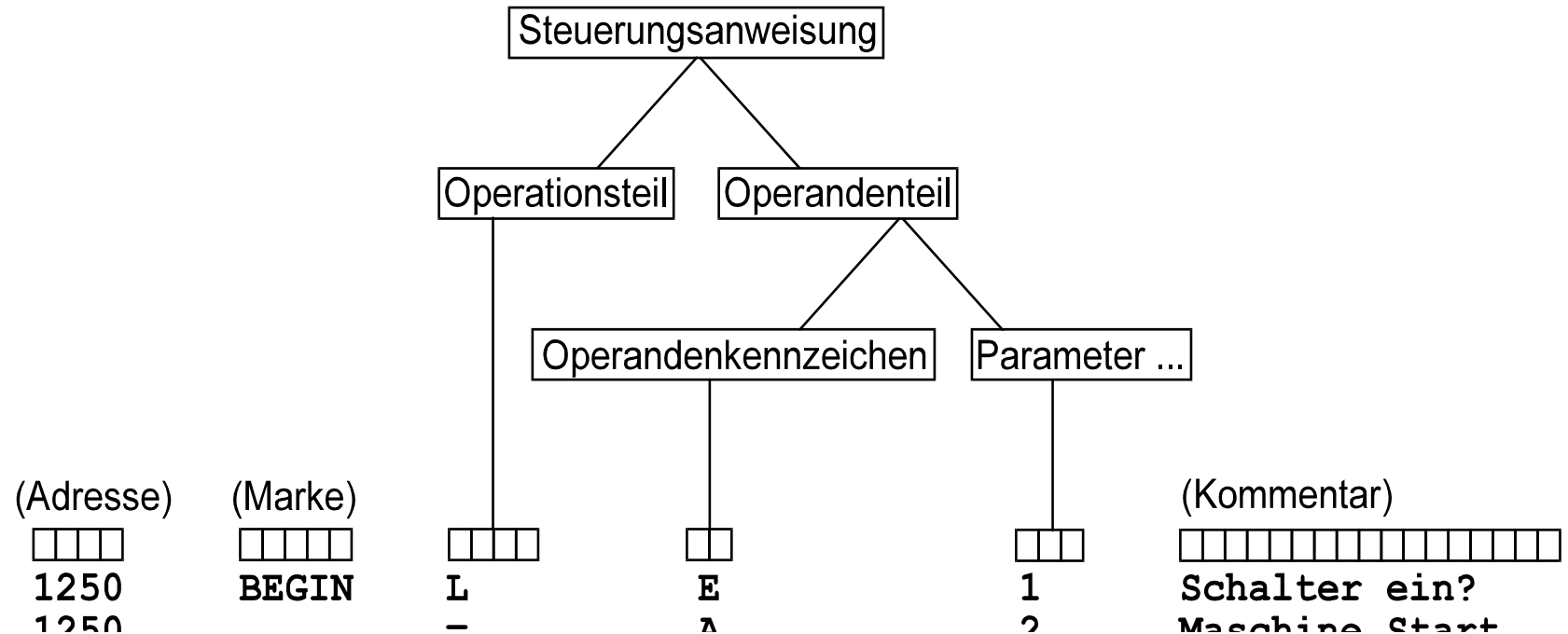
- Leistungsmerkmale -

Die charakteristischen **Prozessmerkmale** und **Zeitkonstanten** bestimmen die notwendige Leistungsfähigkeit der SPS bezüglich der sog. **maximalen Zykluszeit** zur Bearbeitung einer definierten max. Anzahl von Anweisungen und

wiederum bestimmt die **Komplexität der Steuerungsaufgabe** den Umfang des Anwenderprogramms.

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Programmieren in AWL -



Programmieren in AWL

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Programmierverfahren -

Fünf Programmierverfahren sind weit verbreitet

- Diese Programmierverfahren wurden entwickelt, um der Denkweise bestimmter Anwender, wie etwa der eines Elektronikmeisters, möglichst nahe zu kommen
- Die meisten Steuerungen lassen sich mit mindestens den ersten drei Verfahren programmieren, die gleichwertig sind
- Eingeteilt werden können diese nach ihrer Darstellungsart in:
 - **alphanumerische Darstellung:** **Anweisungsliste (AWL)**
 - **graphische Darstellung**
 - zustandsabhängig: **Kontaktplan (KOP)**
 - funktionsabhängig: **Funktionsplan (FUP)**
(weiterentwickelt zum **FBS**)
 - Ablaufplan (AP)**
(weiterentwickelt zur **AS**)
 - **textueller Darstellung:** **Strukturierter Text (ST)**
Beispiel: $E := (A \text{ OR } B) \ \& \ (C \text{ OR } D) ; \text{Kommentar}$

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- AWL -

- Mnemonische Darstellung der Operationen in der AWL

Operationsteil	Mnemonische Darstellung	
	deutsch	englisch
Oder	O	O
Und	U	A
Negation	N	N
Exklusiv Oder	XO	XO
Laden	L	L
Speichern	=	=
Setzen	S	S
Rücksetzen	R	R
Addieren	ADD	ADD
Subtrahieren	SUB	SUB
Multiplizieren	MUL	MUL
Dividieren	DIV	DIV
Nulloperation	NOP	NOP
unbedingter Sprung	SP	JP
bedingter Sprung	SPB	JC
Programmende	PE	EP
Klammer auf	((
Klammer zu))


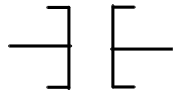

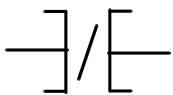
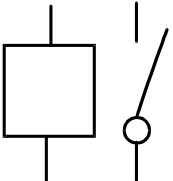
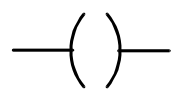
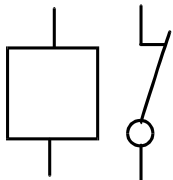
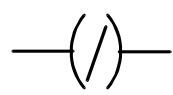
Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Mnemonische Darstellung der Operanden in der AWL -

Operandenkennzeichen	Mnemonische Darstellung	
	deutsch	englisch
Eingang	E	I
Ausgang	A	O
Merker	M	M
Konstante	K	K
Zeitglied	T	T
Zähler	Z	C
Programmbaustein	P	P
Funktionsbaustein	F	F

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

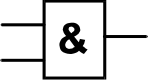
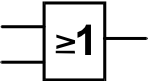
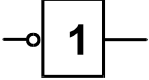
- Kontaktplan -

Stromlaufplan	Kontaktplan	Beschreibung
		Schließerkontakt, Weitergabe des Eingangssignals
		Öffnerkontakt, Weitergabe eines LOW-Signals
		Relais mit Schließer, Weitergabe des Ausgangssignals
		Relais mit Öffner, Weitergabe eines LOW-Signals

- Die Äquivalenz von Symbolen im Stromlaufplan und im Kontaktplan

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

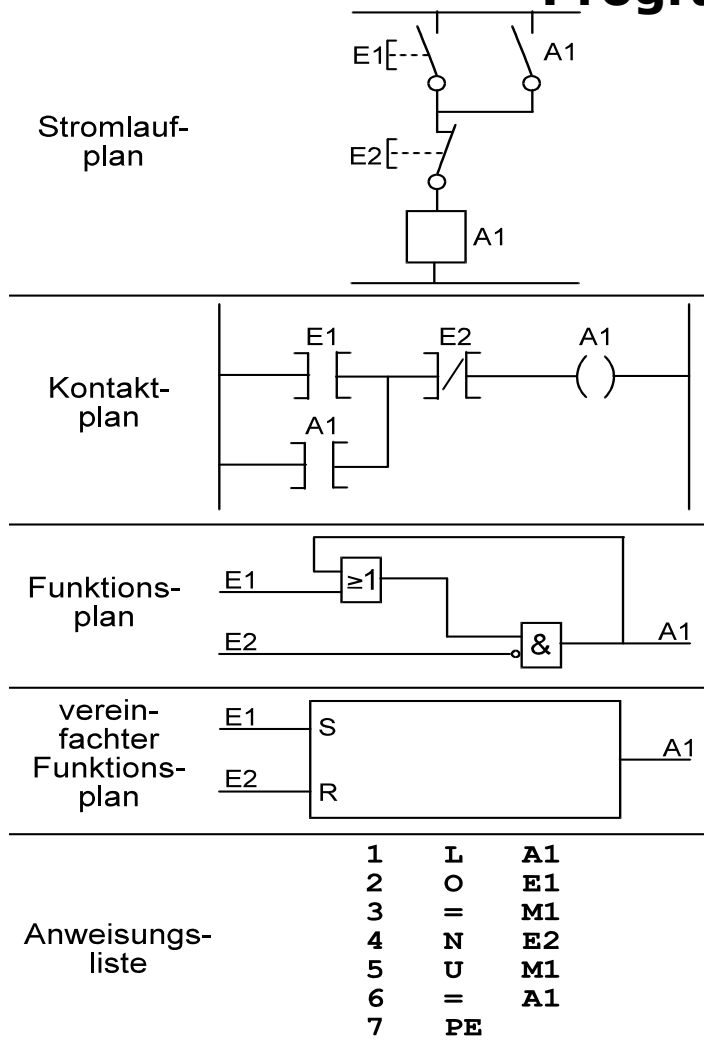
- Funktionsplan I -

Funktion	Symbol	Äquivalent im KOP
UND		Reihenschaltung von Eingängen
ODER		Parallelschaltung von Eingängen
NICHT		Negation des Eingangs

- Die logischen Funktionen und ihr Symbol im Funktionsplan

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Programmieren - Beispiel -

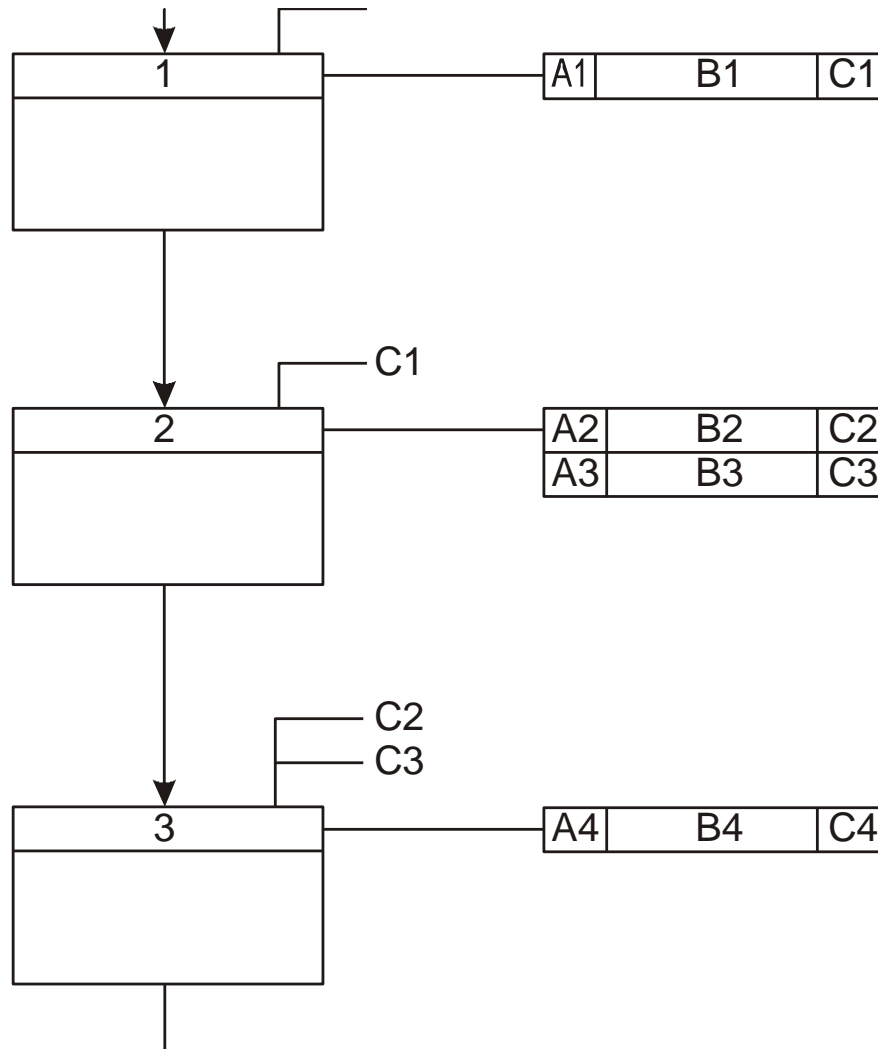


1	L	A1	
2	O	E1	
3	=	M1	
4	N	E2	
5	U	M1	
6	=	A1	Speichern
7	PE		

- Verschiedene Programmierverfahren für eine SPS
- E1 setzt M1 und damit A1
- E2 setzt M1 zurück und damit A1

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Aufbau einer Ablaufsteuerung -



Feld A zeigt die Art des Befehls:

- S gespeichert
- D verzögert
- T zeitlich begrenzt
- SH gespeichert, auch bei Stromausfall
- NS nicht gespeichert
- SD gespeichert und verzögert
- NSD nicht gespeichert und verzögert
- ST gespeichert und zeitlich begrenzt

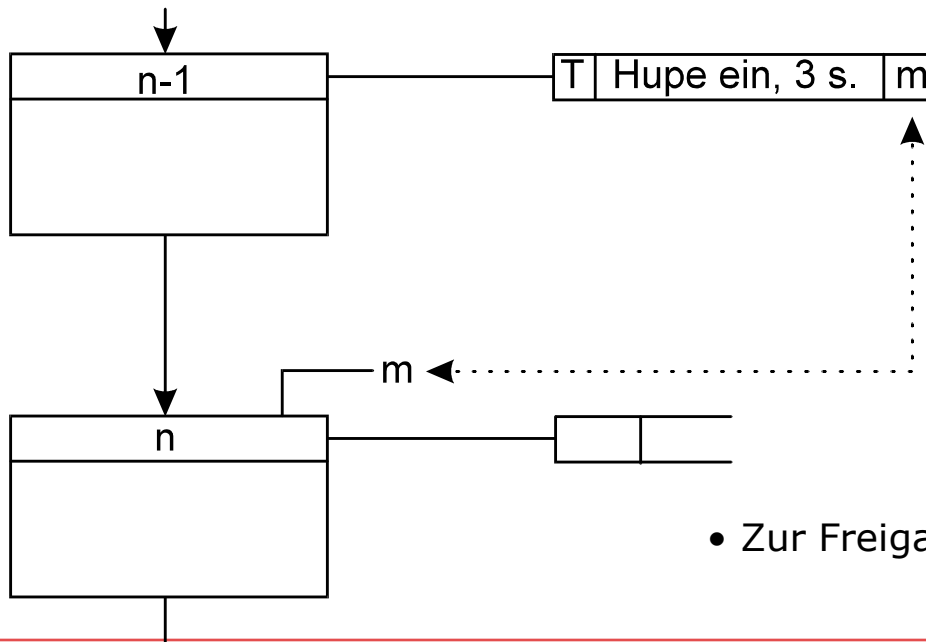
Feld B beschreibt die Wirkung des Befehls.

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Ablaufsteuerung -

- **Feld C** kennzeichnet durch eine Ziffer das Signal, das bei der Terminierung des Befehls gesetzt wird. Nachfolgende Schritte, die erst ausgeführt werden sollen, wenn dieser Befehl beendet wurde, benutzen dieses als Freigabe-Signal (vgl. Abb. 9-11). Wenn dieses Signal nicht benötigt wird, kann das Feld auch weggelassen werden.

- Schritt n wird erst dann aktiviert, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:



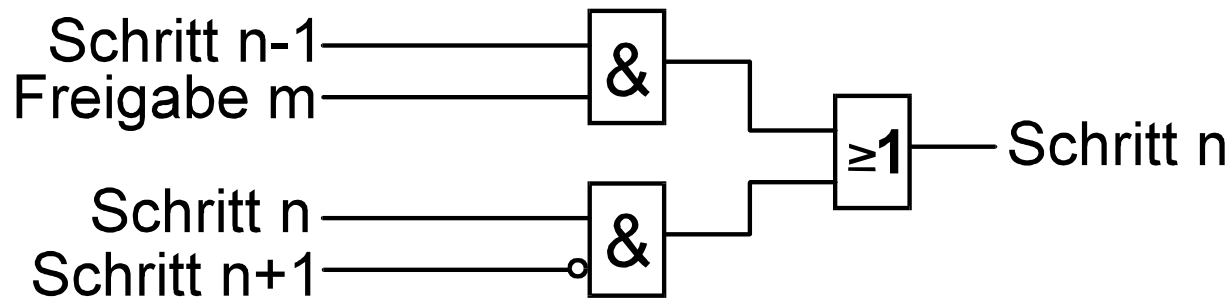
- Zur Freigabe des nachfolgenden Ablaufschritts

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Schrittsymbol -

- Für jedes Schrittsymbol kann es ein oder mehrere Befehlssymbole geben. Das Befehlssymbol kann auch weggelassen werden, z. B. wenn gewartet werden soll. Die Abb. zeigt das Äquivalent eines Schrittsymbols im Funktionsplan.

$$\text{Schr.}_n = \text{Schr.}_{n-1} \wedge \text{Freigabe}_m \vee \text{Schr.}_n \wedge \overline{\text{Schr.}_{n+1}}$$

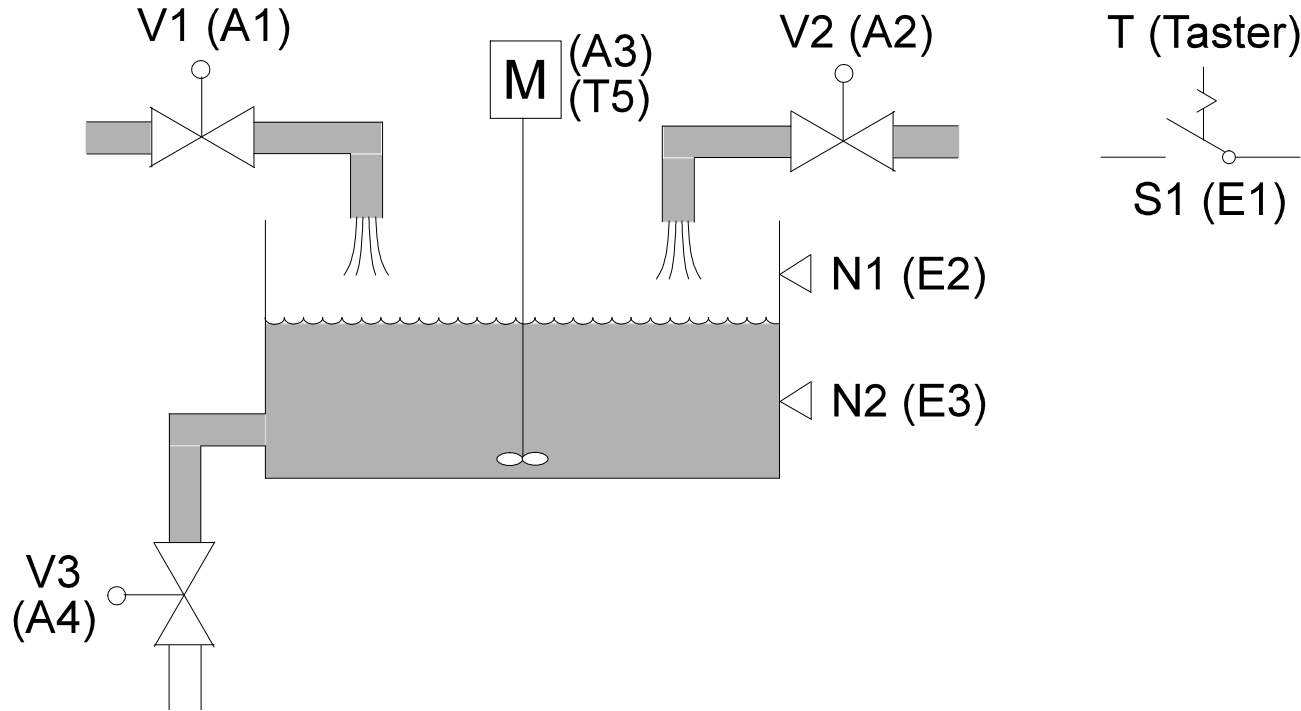


- Äquivalent eines Schrittsymbols im Funktionsplan

Speicherprogrammmierbare Steuerungen SPS

- Beispiel -

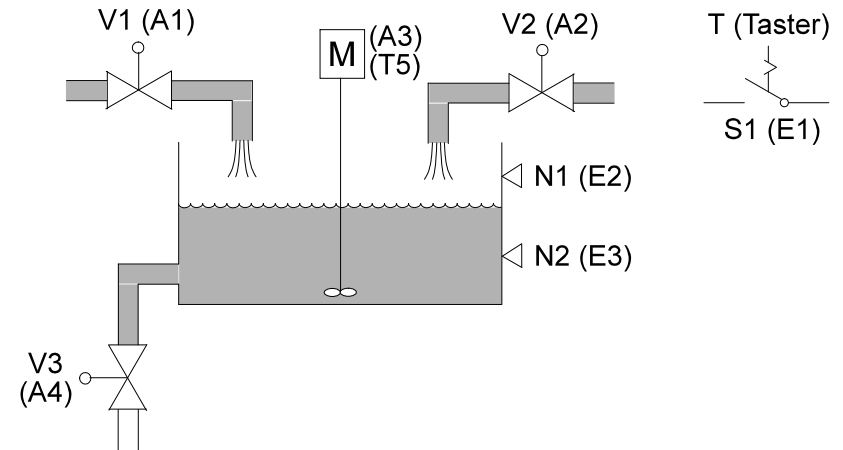
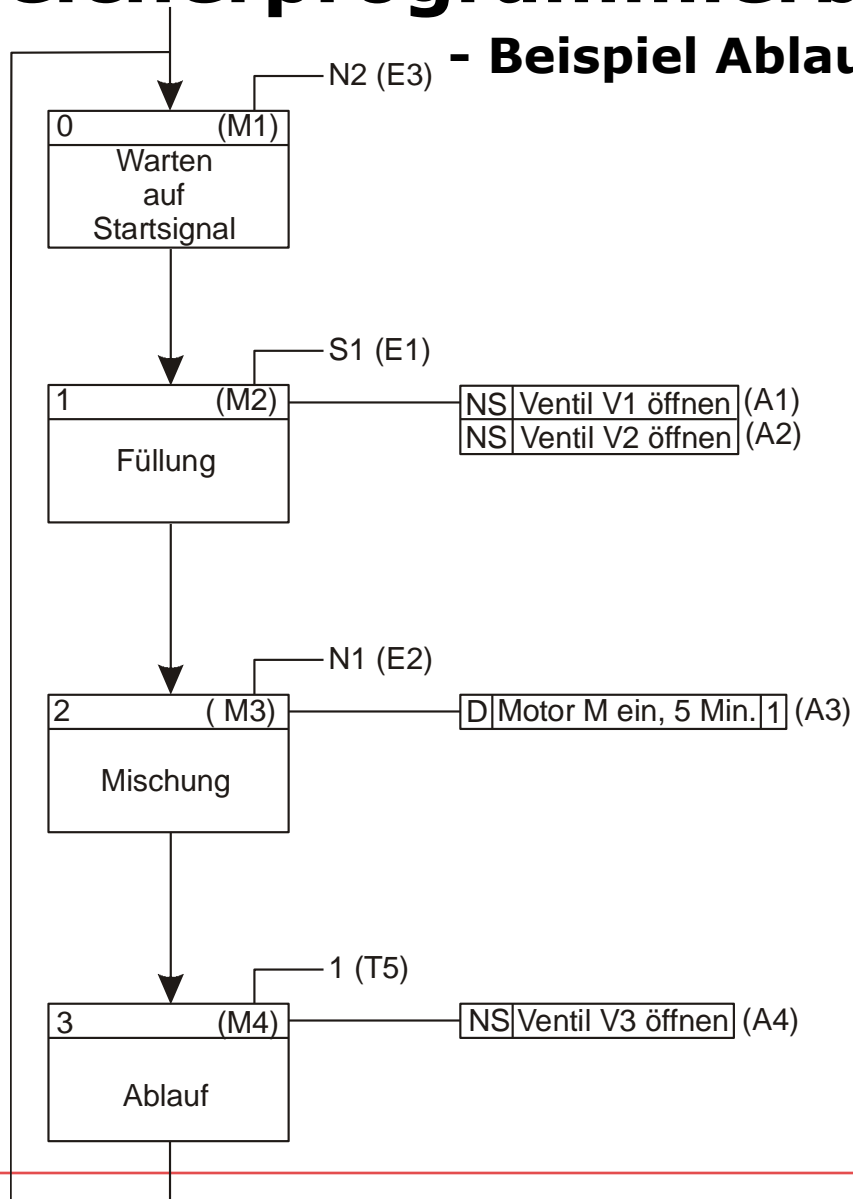
- Beispiel: Mischung zweier Flüssigkeiten in einem Behälter -



- Durch kurze Betätigung des Tasters S1 wird die Apparatur eingeschaltet. Danach wird S1 wieder geöffnet, der Mischvorgang hat begonnen. Der Mischvorgang geschieht nach folgenden Schritten:

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Beispiel Ablaufsteuerung -



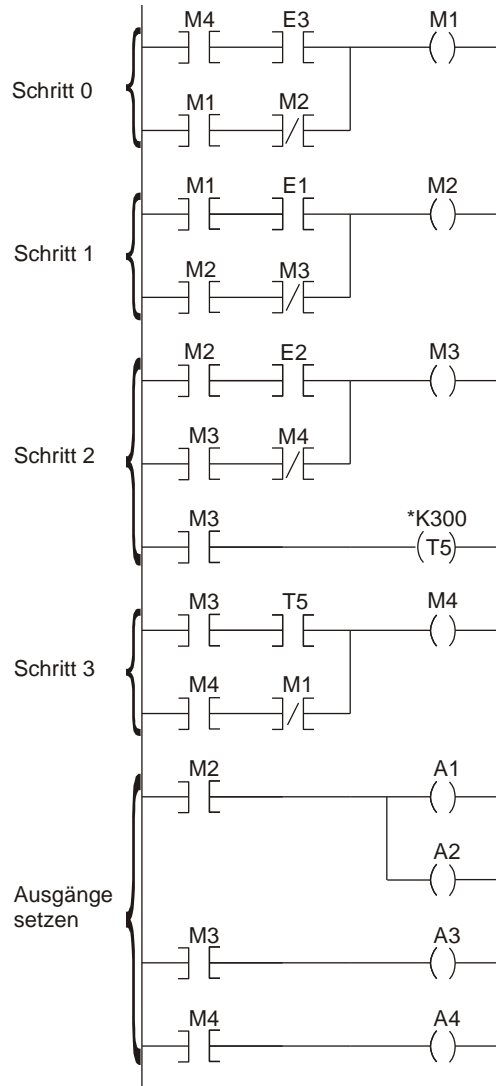
1. Schritt: Die Ventile V1 und V2 öffnen (bis N1)

2. Schritt: Die Mischung durch Maschine M dauert 5 Minuten

3. Schritt: Das Ventil V3 wird geöffnet (bis N2)

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- KOP -



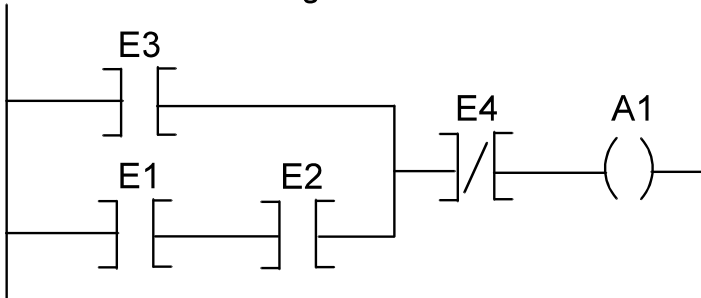
* Konstante K = 5 Min = 300 S

- Kontaktplan für das Mischen zweier Flüssigkeiten

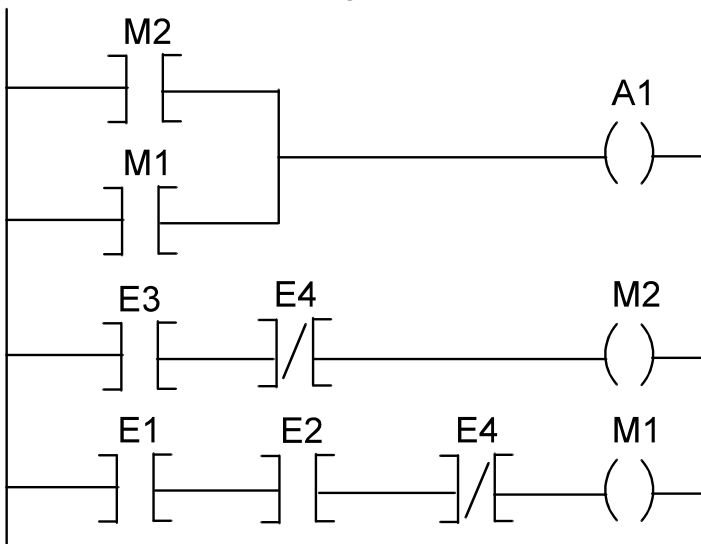
Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Merker -

Schaltung ohne Merker



Schaltung mit Merker

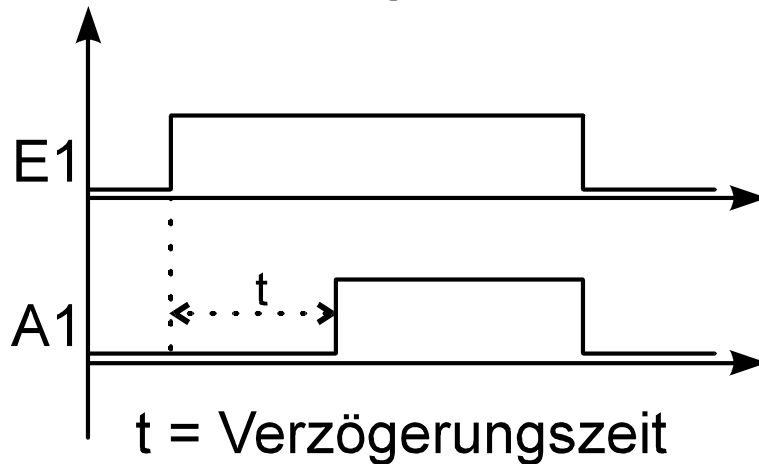


Schaltung mit und ohne Merker

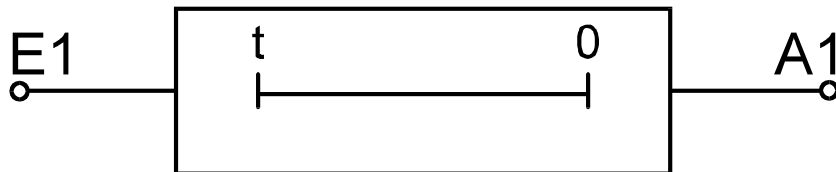
Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Merker -

Zeitdiagramm

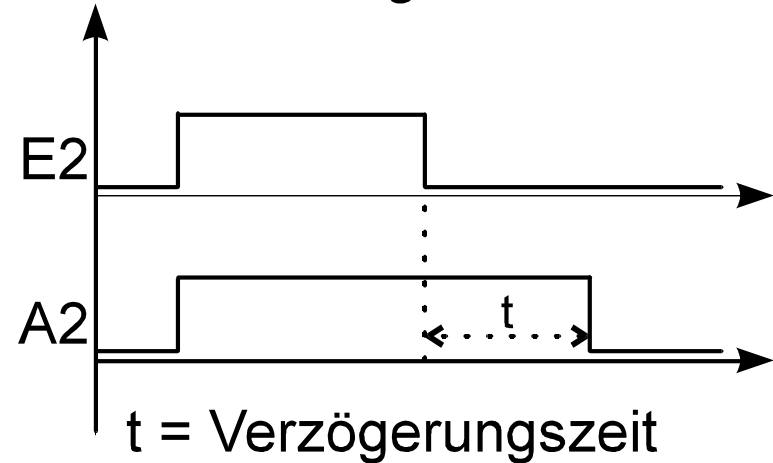


Symbol



•Abb. 9-18 Einschaltverzögerung

Zeitdiagramm



Symbol

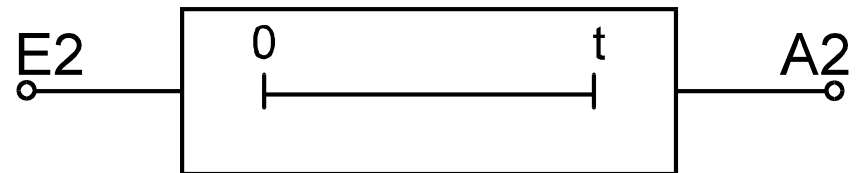
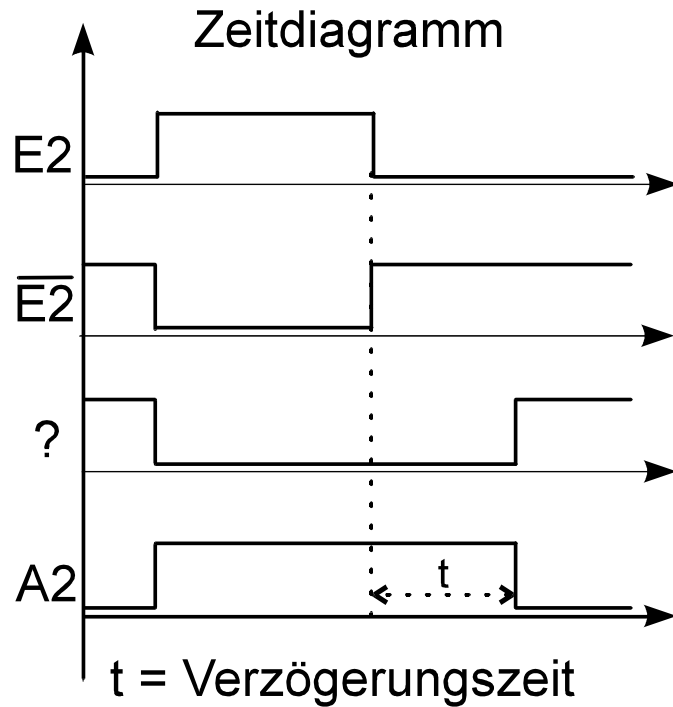


Abb. 9-17 Ausschaltverzögerung

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Ausschaltverzögerung -



Ausschaltverzögerung, realisiert mit einem Einschaltverzögerungsglied



Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

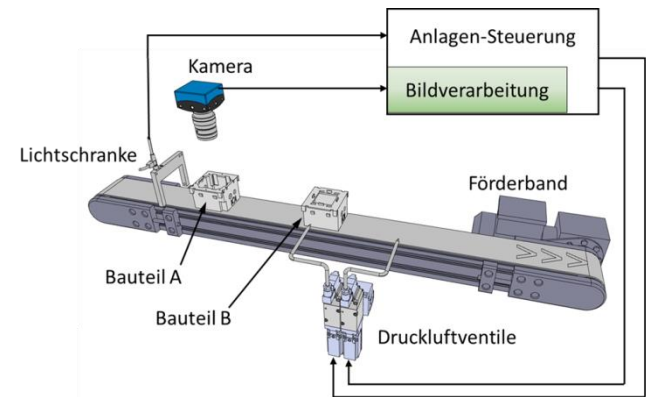
- Zähler -

Zählerfunktionen werden benötigt, um beispielsweise auf einem Förderband liegende Gegenstände zu zählen, die von einem Sensor erfasst werden.

Funktionsweise:

Die vom einem Sensor erzeugten Flanken (auf- oder absteigend) werden von einem Zählmodul gezählt. Sowohl die Zählrichtung als auch der Zielwert "K" (bzw. Startwert bei Rückwärtszählung) können programmiert werden. Wurde der Zielwert erreicht, schaltet der Ausgang "Q" ab.

Spezielle Zählmodule haben Ausgänge für binär kodierte Dezimalwerte (BCD)



Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Ausblick IEC 61131-

Stand und Ausblick

Der Standard **IEC 61131** besteht aus 6 Teilen und drei technischen Reports:

Teil 1: Allgemeine Information / General information (Umfeld, Begriffe, weitere relevante Standards Normen)

Teil 2: Ausrüstung und Testanforderungen / Equipment and test requirements (Hardwaremodell, mech. und elektr. Anforderungen)

Teil 3: Programmiersprachen / Programming languages (Datentypen, AWL, KOP, FBS, AS, ST) aktuell **Ausgabe 6-2014**

IEC TR 61131-4 Teil 4: Anwenderrichtlinien / **User Guidelines** (Systemauswahl, Prüfung vor der Installation, Inbetriebnahme und Wartung)

Teil 5: Kommunikation / Messaging service (Funktionalitäten zur Kommunikation und Mapping auf das MMS Protokoll, identisch mit ISO 9506-5) 11-2001

Teil 6: Funktionale Sicherheit aktuell 10-2013

Teil 7: Fuzzy Regelung / fuzzy control programming 11-2001

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Ausblick IEC 61131 -

- **Technische Reports**
- Neben IEC TR 61131-4: User Guidelines
- IEC TR 61131-8: Implementierung und Anwendung der Programmiersprachen nach
- IEC TR 61131-9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI – oder [IO-Link](#))
- **Die IEC 61131** konsolidiert die vorhandenen Dokumente und die seit 1992 entstandenen Ergänzungen

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Forschungsgegenstand – Integrierte Messtechnische Lösung -

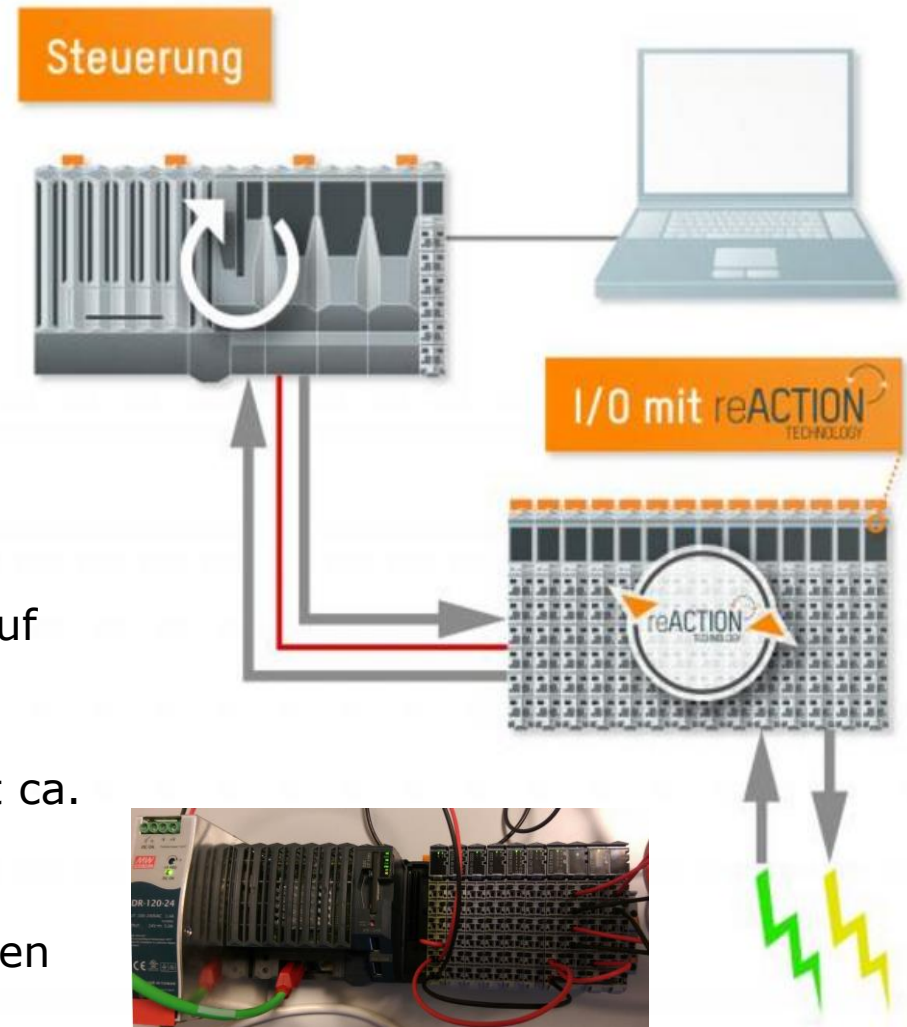
Realisierung der SPS-Programme

SPS + Reaction Modul:

- FPGA-Basis
- Direkte Verbindung mit der SPS
- Eigenständige Abarbeitung des zugeordneten Programms
- Programmierung im Funktionsbaustein-Editor
- Zykluszeit abhängig von der Komplexität (minimal $1\mu\text{s}$)

Ziel: Berechnung des Prognosewertes auf dem Reaction Modul

- Die Gesamtzeit zur Generierung des Ausgangssignals sinkt auf insgesamt ca. $15\text{-}35\mu\text{s}$
- Einschränkungen der Genauigkeit können mit Aufwand minimiert werden



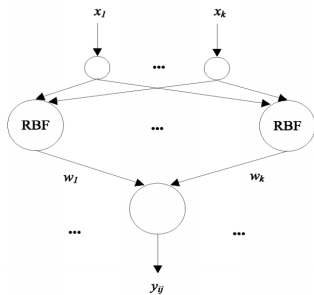
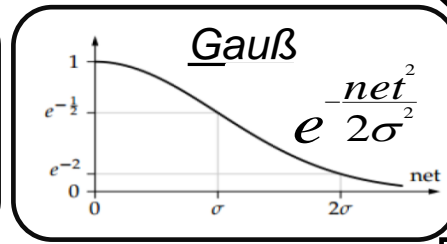
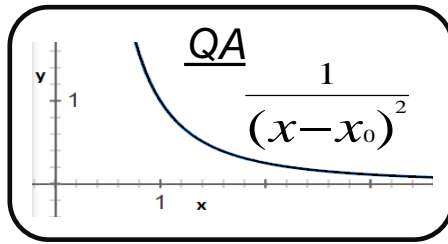
Quelle: B&R

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Beispiel Laserschmelzen -

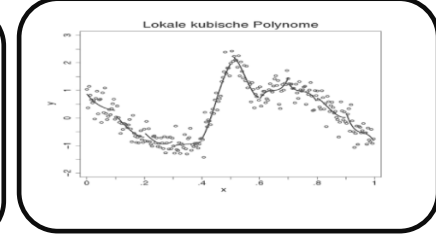
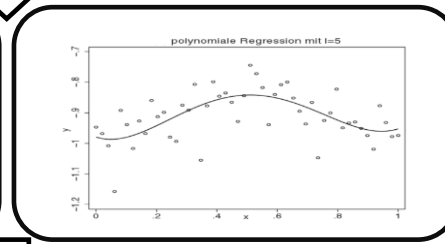
- Aufgabe: fast, adaptive control strategy (Schnelle Adaptive Regelung)
- Anwendung: Laserschmelzprozess mit zahlreichen Einflussgrößen
- Lösung: Integration der Regelung mit den Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) in eine industrielle Steuerungsumgebung SPS
 - Übertragung der Funktionalität auf ein Reaction Modul (FPGA basiert) zur Verringeren der Zykluszeit, Verbesserung der Ausführungsgeschwindigkeit und Genauigkeit der Ausgaben

Radiale Basisfunktionen-Netze



Training

Polynomische Modelle



Anwendung Polyfit(n)

Polyfit-piecewise

Eingangsgrößen

Berechnung anhand des Modells (eval-Methode)

Ausgang

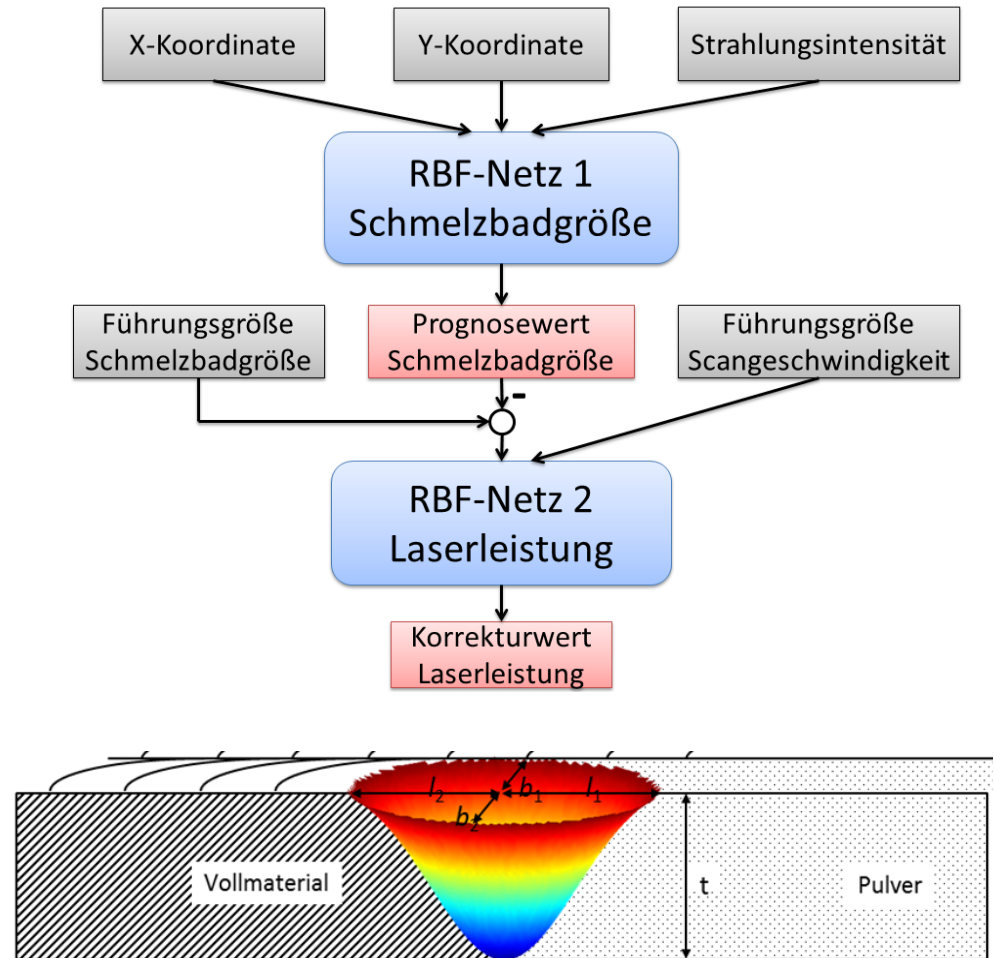
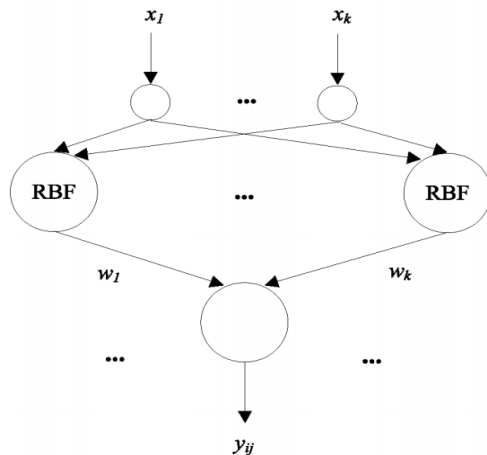
Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Messtechnische Lösung -

Der Laserschmelzprozess

Bestimmung der **Schmelzbadgröße**
(X- und Y-Koordinaten und Strahlungsintensität)

Bestimmung der **Laserleistung**
(Schmelzbadgröße, Differenz zwischen Ist-/Sollwert und Scangeschwindigkeit)



Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Messtechnische Lösung -

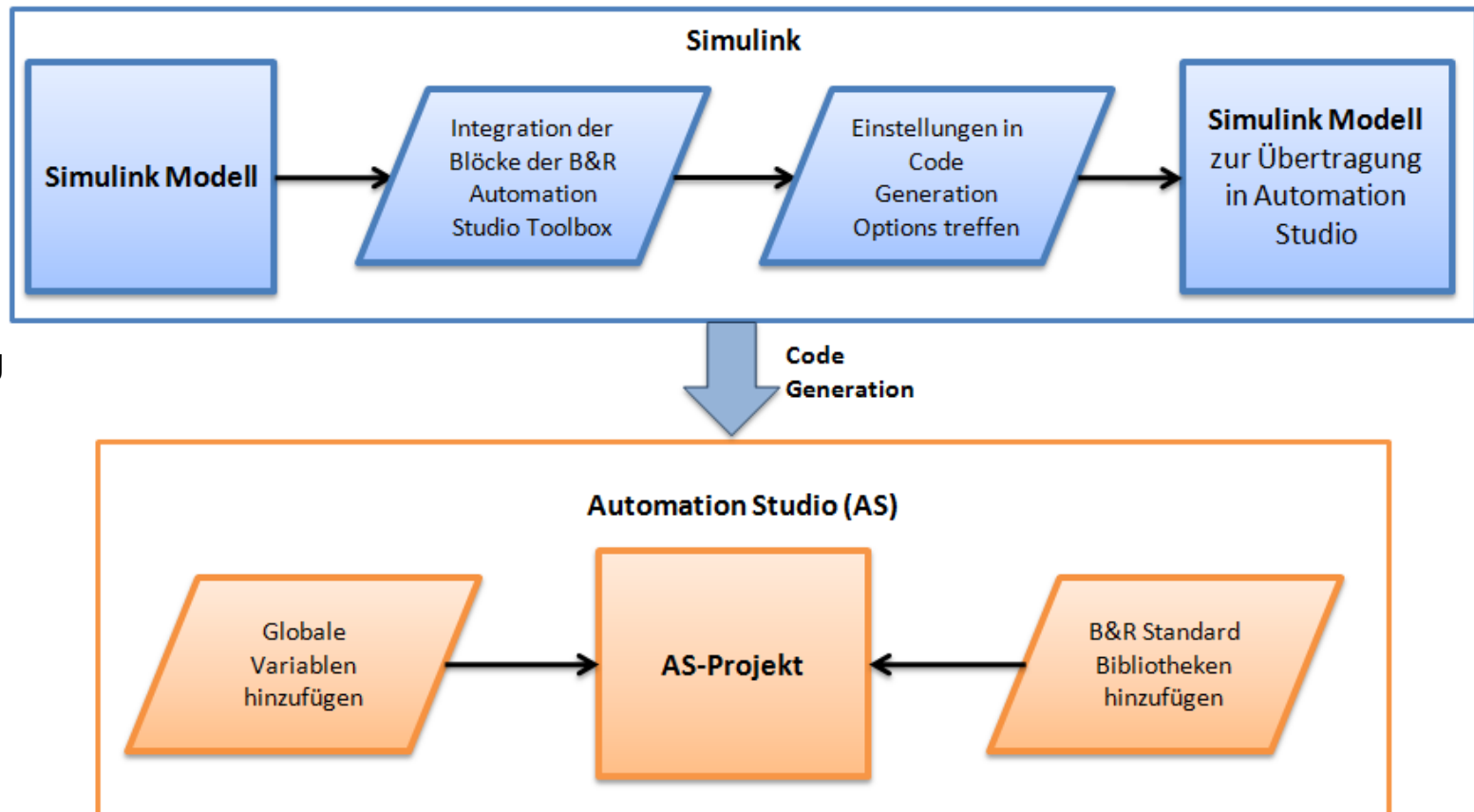
Einschränkungen auf dem Reaction Modul

Einschränkung	Auswirkung	Lösung
Keine Fließkommazahlen	Genauigkeit sinkt	Zusätzliche Divisionsblöcke, Datenbereich optimieren
Eingeschränkte Datenübertragung	Manuelle Einstellungen, kein automatisches Update (3 Eingänge)	Internen Speicher verwenden, Funktionalität aufteilen
Verzögerungen bei Datenübertragungen zwischen zwei Reaction Modulen	Zykluszeit steigt	Reaction Modul mit mehreren Eingängen verwenden
Maximaler Datenbereich DINT	Genauigkeit sinkt	Reaction Programmablauf ändern, zusätzliche Divisionsblöcke verwenden

Automatisiertes Messen und Steuern

- Messtechnische Lösung -

Überführung der Simulink-Modelle auf die SPS mit der Toolbox „B&R Automation Studio Target for Simulink“



Realisierung
Programme

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS

- Literatur -

- Aspern von, Jens: SPS-Softwareentwicklung mit Petrinetzen, IEC-61131-codierte Hochgeschwindigkeitsnetze (Turbo-Netze), VDE VERLAG GMBH (2003), ISBN 3-8007-2728-5
- Aspern von, Jens: SPS-Softwareentwicklung nach IEC 61131, Hüthig Verlag, Heidelberg (2000), ISBN 3-7785-2681-2
- Aspern von, Jens: SPS Grundlagen - Aufbau - Programmierung (IEC61131, S7) - Simulation - Internet - Sicherheit Hüthig Verlag, Heidelberg (2005), ISBN 3-7785-2921-8
- John, Karl-Heinz, Tiegelkamp, Michael: SPS-Programmierung mit IEC 61131-3, Springer Verlag, ISBN 978-3-642-00268-7
- Lepers, Heinrich: SPS-Programmierung nach IEC 61131-3 - Mit Beispielen für CoDeSys und Step7, Franzis Verlag (2007), ISBN 3-7723-5805-5
- Petry, Jochen: SPS Programmierung nach IEC 61131-3 mit Multiprog 4.0, IBP Ingenieurbüro Petry (2007), ISBN 3-0002-2043-7

Lehrziele und Gliederung

- V1 Motivation, Anwendungsbereiche, Prozesse und Methoden der Automatisierungstechnik
- V2 Automatisierung in der Produktion
- V3 Boolesche Algebra 1
- Ü1 Matlab Einführung
- V4 Bolsche Algebra 2: Graphen
- Ü2 Übung Boolsche Algebra
- V5 Fuzzy Logic
- Ü3 Fuzzy Logic
- V6 Neuronale Netze
- Ü4 Neuronale Netze
- V7 Automatisiertes Messen und Steuern
- Ü5 Automatisiertes Messen und Steuern
- V8 **Speicherprogrammierbare Steuerungen**
- Ü6 Übungen und Musterklausuren