

# Automatisieren mit SPS - Theorie und Praxis

Programmieren mit STEP 7 und CoDeSys, Entwurfsverfahren, Bausteinbibliotheken Beispiele für Steuerungen, Regelungen, Antriebe und Sicherheit Kommunikation über AS-i-Bus, PROFIBUS, PROFINET, Ethernet-TCP/IP, OPC, WLAN

von

Günter Wellenreuther, Dieter Zastrow

6., korrigierte und erweiterte Auflage

Vieweg+Teubner Wiesbaden 2015

Verlag C.H. Beck im Internet:

[www.beck.de](http://www.beck.de)

ISBN 978 3 8348 2597 1

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

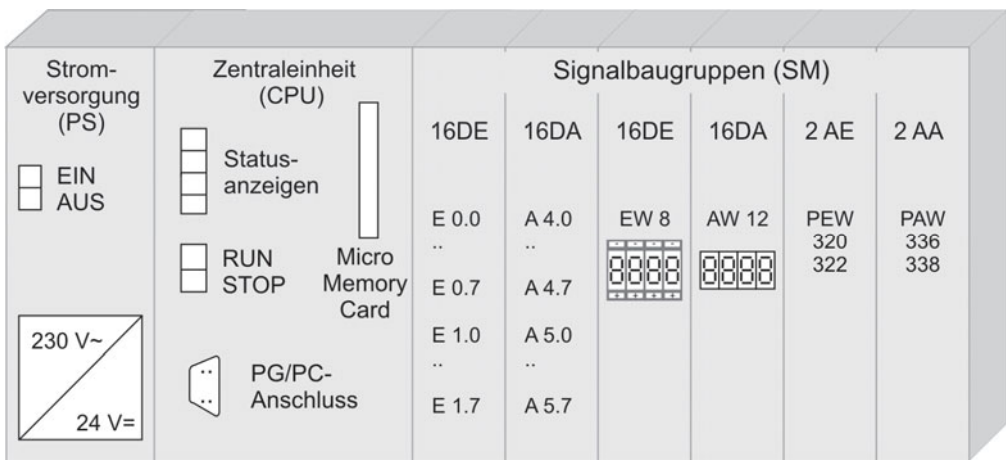
schnell und portofrei erhältlich bei [beck-shop.de](http://beck-shop.de) DIE FACHBUCHHANDLUNG

## 2 Aufbau und Funktion der Automatisierungsgeräte

### 2.1 Verfügbare Automatisierungssysteme

#### 2.1.1 Hardware-SPS

Die derzeit am weitesten verbreitete Hardware-Plattform der Steuerungstechnik ist die *Speicherprogrammierbare Steuerung SPS*. Eine Speicherprogrammierbare Steuerung hat die Struktur eines Rechners, deren Funktion als Programm gespeichert ist. Sie besteht im einfachsten Fall aus einer *Stromversorgung PS*, einem *Steuerungsprozessor CPU*, einigen zentralen *digitalen Eingabe- und Ausgabebaugruppen* sowie einem internen Bussystem. Bei Bedarf können auch Baugruppen zur *Analogwertverarbeitung* oder für besondere Funktionen wie *Regler*, schnelle *Zähler* und *Positionierungen* hinzukommen. Die Peripheriebaugruppen und die Programmiersprachen sind auf die Belange der Steuerungstechnik ausgerichtet. Speicherprogrammierbare Steuerungen gibt es als modulare und kompakte Systeme für unterschiedliche Anforderungsniveaus.



**Bild 2.1:** Aufbau einer Speicherprogrammierbaren Steuerung ohne Feldbusanschluss, wie in den Beispielen verwendet  
 DE = Digitale Eingänge, DA = Digitale Ausgänge,  
 AE = Analoge Eingänge, AA = Analoge Ausgänge

Stand der technischen Entwicklung ist jedoch der Einsatz von Feldbussystemen in der Automatisierungstechnik zur einfacheren Ankopplung der dezentralisierten Prozessperipherie an das SPS-Steuerungssystem. Darauf soll erst in den späteren Kapiteln näher eingegangen werden.

### 2.1.2 PC-basierte Steuerungen

Der Einsatz von PC-basierten Steuerungen gewinnt in der Automatisierungstechnik zunehmend an Bedeutung, wenn gleichzeitig neben der Prozesssteuerung noch eine typische Datenerfassungs- bzw. Datenverarbeitungsaufgabe (z. B. Prozessvisualisierung, Datenbank, Produktionsdatenspeicherung etc.) kostengünstig mit ausgeführt werden muss.

Man unterscheidet zwei Arten von PC-basierten SPS-Steuerungen:

	<b>PC+SPS-Karte</b> <b>= Slot-SPS</b>	<b>PC+SPS-Software</b> <b>= Soft-SPS</b>
<b>Merkmale:</b>	SPS-Steuerung ist unabhängig vom PC-Betriebssystem	SPS-Steuerung basiert auf Windows Betriebssystem
	Hartes Echtzeitverhalten der SPS	Weiches Echtzeitverhalten der SPS
	Höhere Ausfallsicherheit	Geringere Ausfallsicherheit

Bei den beiden Arten erhalten die PC-basierten Steuerungen ihre Prozessdaten über ein angeschlossenes Feldbussystem (z. B. PROFIBUS DP).

Eine Variante PC-basierter Steuerungen sind die modularen Embedded Controller. Bei S7 besteht das System aus einem Embedded Controller, S7-300 Baugruppen und Erweiterungsmodulen. Auf dem Embedded Controller befindet sich das WINDOWS embedded Betriebssystem sowie ein integriertes Controller-Ablaufeбенensystem mit dem S7 Software-Controller WinAC RTX. Programmierung und Diagnose erfolgen mit STEP 7.

WinAC RTX ist offen für die Integration von technologischen Applikationen, wie Barcodeleser, Bildverarbeitung oder Messwerterfassung. Dazu lassen sich C/C++ Programme in das Steuerungsprogramm einbinden. Damit entstehen flexible Lösungen mit Zugriff auf alle Hard- und Software-Komponenten des PC.

Der Peripherie-Bus-Anschluss ermöglicht den Anschluss von Signalbaugruppen SM und Anschaltungsbaugruppen IM für den mehrzeiligen Rackaufbau. Bei manchen Controllern ist eine Visualisierungssoftware bereits vorinstalliert.

Mit der fehlersicheren Variante des Embedded Controllers und der entsprechenden Software lassen sich die höchsten Sicherheitsanforderungen nach den Vorschriften der relevanten Normen EN 954-1 bis Kat. 4, IEC 62061 bis SIL 3 und EN ISO 13849-1 bis PL e erfüllen.

Erweiterungsmodule bieten die Möglichkeit, die Funktionalität des Controllers zu erhöhen. Dort können z.B. zusätzliche Kommunikations-, Speicher-, Video-, Audio- und schnelle Messtechnikarten für spezielle Aufgaben eingebaut werden.

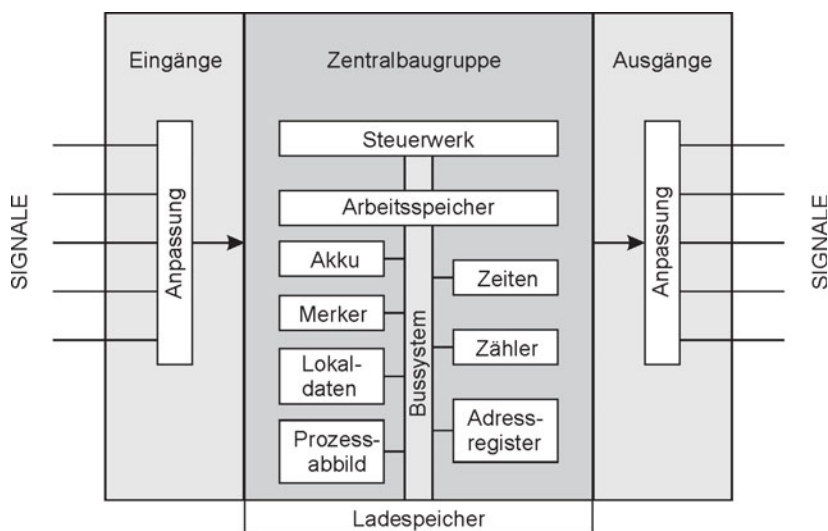
Durch den Einsatz neuester Technologien wird die Robustheit der Embedded Controller erheblich verbessert. Neben dem Einsatz von stromsparenden Prozessoren in einem lüfterlosen Gehäusedesign kann durch den Einsatz einer Flash-Memory Card oder Solid-State Drive (SSD) auf drehende Massenspeicher verzichtet werden.

## 2.2 Struktur und Funktionsweise einer SPS-CPU

### 2.2.1 Zentraleinheit (CPU)

Als Steuerungseinheit oder Zentraleinheit oder CPU wird die SPS-Baugruppe bezeichnet, in der die Steuerungsfunktionalität untergebracht ist. Modernerweise kann in der CPU auch die Kommunikationsfunktionalität der SPS enthalten sein. Dieser Aspekt wird in der nachfolgenden Systembetrachtung ausgespart und erst in späteren Kapiteln dargestellt.

Über welche Vorstellungen von der Arbeitsweise einer CPU muss man für die erfolgreiche Anwendung eines SPS-Systems verfügen? Das nachfolgende Bild 2.2 zeigt in vereinfachter Darstellung wichtige Systembereiche, die im anschließenden Text am Aufbau einer S7-SPS erläutert werden, aber im Prinzip auch als allgemein gültig betrachtet werden können.

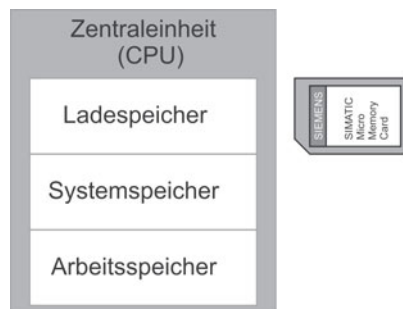


**Bild 2.2:** Systemfunktionen eines Automatisierungsgerätes (SPS)

### Speicherbereiche der CPU

S7-CPUs besitzen die Speicherbereiche: Ladespeicher, Systemspeicher und Arbeitsspeicher. Während der Ladespeicher sich auf der SIMATIC Micro Memory Card (MMC) befindet, sind der Systemspeicher und der Arbeitsspeicher in der CPU integriert und nicht erweiterbar.

Die Größe des Ladespeichers ist durch die Größe der MMC-Karte vorgegeben. Für den Betrieb einer STEP 7 CPU muss die MMC-Karte in der CPU gesteckt sein. Die MMC-Karte stellt die Remanenz für die CPU sicher.

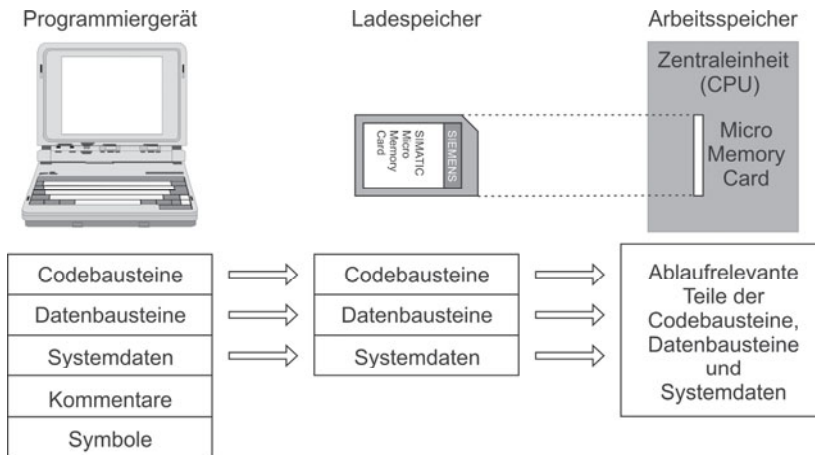


**Bild 2.3:** Speicherbereiche

## Ladespeicher

Der Ladespeicher dient zur Aufnahme von Code- und Datenbausteinen sowie von Systemdaten, welche die Hardwarekonfiguration enthalten. Beim Start der CPU wird der Inhalt des Ladespeichers in den Arbeitsspeicher geladen. Das Anwenderprogramm wird über das Programmiergerät auf die MMC-Karte geladen. Vorherige Inhalte werden dabei gelöscht.

Übersicht und Zusammenstellung der Daten im Ladespeicher:



**Bild 2.4:** Daten im Ladespeicher

## Systemspeicher

Der Systemspeicher enthält die Operandenbereiche Merker, Zeiten und Zähler, die Prozessabbilder der Ein- und Ausgänge sowie die Lokaldaten. Die Größe des Systemspeichers ist unveränderbar. Durch die Projektierung bei Eigenschaften der CPU wird festgelegt, welche Operanden remanent gespeichert und welche Operanden bei Neustart mit „0“ initialisiert werden sollen.

## Arbeitsspeicher

Der Arbeitsspeicher dient zur Abarbeitung des Anwenderprogramms. Die Programmabarbeitung erfolgt ausschließlich im Bereich des Arbeitsspeichers mit Zugriffen auf den Systemspeicher.

## Steuerwerk

Nach Anlegen der Netzspannung gibt das Steuerwerk einen Richtimpuls ab, der die nicht-remanenten Zähler, Zeiten und Merker sowie den Akkumulator und das Prozessabbild der Eingänge und Ausgänge löscht. Zur Programmbearbeitung „liest“ das Steuerwerk eine Programmzeile nach der anderen und führt die dort stehenden Anweisungen aus.

## Merker

Merker sind Speicherplätze für Zwischenergebnisse, die über Codebausteingrenzen hinaus Gültigkeit haben. Auf Merker kann schreibend und lesend zugegriffen werden (Bit, Byte, Wort und Doppelwort). Ein Teil der Merker sind als remanente Merker einstellbar, d. h., sie behalten ihren Signalzustand bei Spannungsausfall.

## Lokaldaten

Die Lokaldaten speichern die temporären Variablen der Codebausteine, die Startinformationen der Organisationsbausteine, Übergabeparameter und Zwischenergebnisse.

### Prozessabbild

Das Prozessabbild ist ein Speicherbereich für die Signalzustände der binären Eingänge und Ausgänge. Auf diesen Speicherbereich greift das Steuerwerk bei der Programmbearbeitung zu.

### Akkumulatoren (Akku)

Akkumulatoren sind Zwischenspeicher, die bei Lade- und Transferoperationen eng mit der Arithmetik-Logik-Einheit ALU zusammenarbeiten.

### Zeiten und Zähler

Zeiten und Zähler sind ebenfalls Speicherbereiche, in denen das Steuerwerk Zahlenwerte für Zeit- und Zählfunktionen ablegt.

### Adressregister

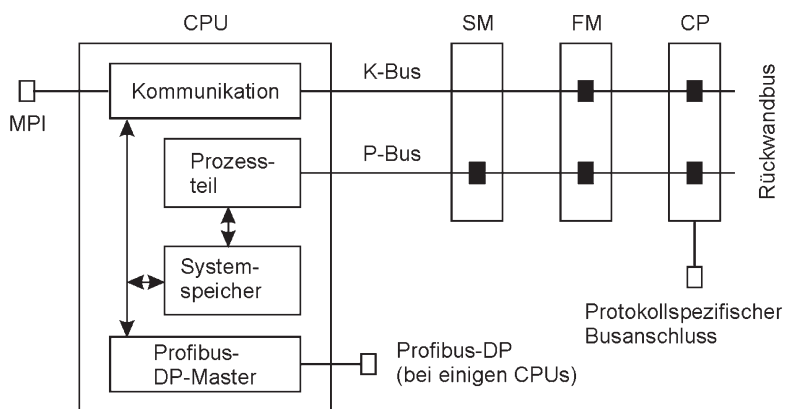
Adressregister sind Speicherplätze zur Aufnahme einer Basisadresse bei der registerindirekten Adressierung.

### Rückwandbus und Schnittstellen: Wer mit wem gekoppelt ist

Systemspeicher, Arbeitsspeicher und Steuerwerk bilden zusammen den Prozessteil der Zentralbaugruppe CPU. Der Prozessteil übernimmt die Bearbeitung des Anwenderprogramms, den Zugriff auf die Peripheriebaugruppen und die Überwachung/Verwaltung des gesamten Programmablaufsystems. Ein zusätzlich vorhandener Kommunikationsteil ist zuständig für den Betrieb der Programmier-Schnittstelle MPI und für den Datenverkehr mit intelligenten, kommunikationsfähigen Peripheriebaugruppen innerhalb eines Automatisierungsgerätes (SPS).

*Peripheriebus (P-Bus)* ist Bestandteil des Rückwandbusses und übernimmt den Datenverkehr zwischen CPU und den Signalmodulen (Nutzdatenübertragung weniger Byte). Der P-Bus ist ein Mono-Master-Bus, nur die CPU kann einen Datenverkehr initiieren.

*Kommunikationsbus (K-Bus)* ist Bestandteil des Rückwandbusses und übernimmt den Datenverkehr zu den kommunikationsfähigen Baugruppen FM (Funktionsmodule für schnelles Zählen, Regeln, Positionieren) und CP (Kommunikationsmodule für den Anschluss von Feldbus-systemen). Er ist optimiert für den Austausch größerer Datenmengen.

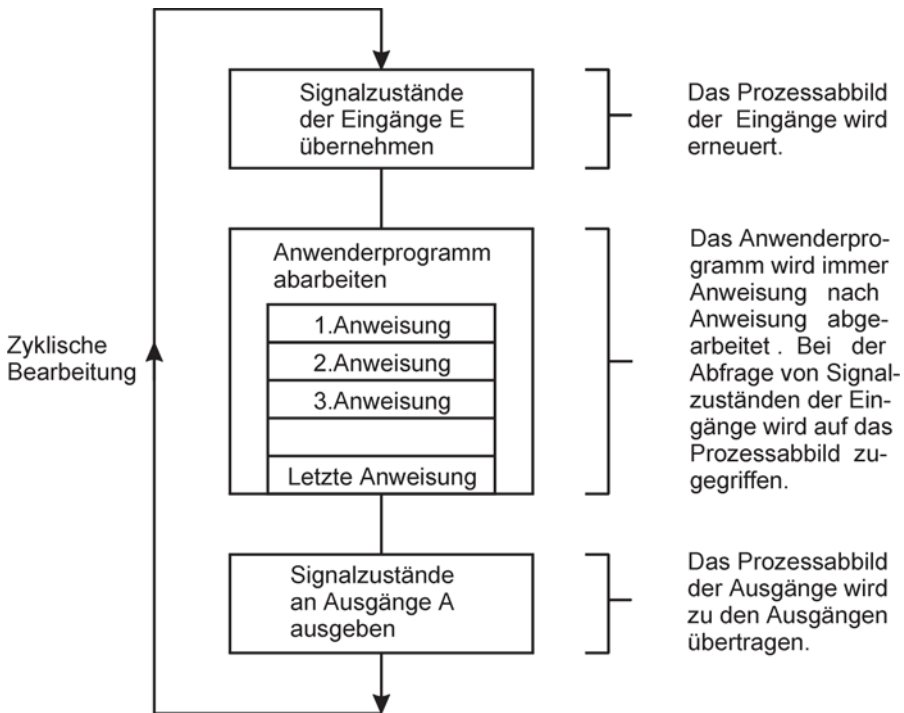


**Bild 2.5:** Systemarchitektur einer S7-SPS. MPI = Multi-Point Interface, CPU = Zentralbaugruppe, SM = Signalmodul, FM = Funktionsmodul, CP = Kommunikationsmodul, K-Bus = Kommunikations-Bus, P-Bus = Peripherie-Bus

### 2.2.2 Zyklische Programmbearbeitung

Bei der Programmbearbeitung durch die Zentraleinheit werden über einen Adresszähler die Adressen der einzelnen Speicherzellen des Arbeitsspeichers, in dem das ablauffähige Steuerprogramm steht, angewählt. Eine Steueranweisung wird in das Steuerwerk übertragen und dort bearbeitet. Danach wird der Adresszähler um +1 erhöht; damit ist die nächste Adresse des Arbeitsspeichers angewählt und zur nachfolgenden Bearbeitung vorbereitet. Nach dem Ende des Programms beginnt die Programmbearbeitung wieder von vorne. Man spricht von einer zyklischen Programmbearbeitung.

Jeder Zyklus beginnt mit dem Einlesen der aktuellen Signalzustände der Eingänge E in das Prozessabbild der SPS und endet mit der Ausgabe der Signale an die Ausgänge A aus dem Prozessabbild. Die für einen Programmdurchlauf benötigte Zeit wird *Zykluszeit* genannt. Die Zykluszeit einer SPS muss so klein sein, dass Signaländerungen an den Eingängen sicher erfasst und Ausgangssignale so rechtzeitig ausgegeben werden, wie es der zu steuernde Prozess erfordert; dies wird die *Echtzeitbedingung* der Steuerungstechnik genannt.



**Bild 2.6:** Einfaches Funktionsmodell einer SPS

Eine differenziertere Betrachtung der Arbeitsweise einer SPS ergibt sich erst, wenn man auch die Funktionsmöglichkeiten der verschiedenen Organisationsbausteine (bei S7-SPS) für eine ereignisgesteuerte Programmausführung mit berücksichtigt (siehe Kapitel 3.7.1.2).

## 2.3 Zentrale Prozessperipherie einer S7-SPS

### 2.3.1 Signale: Welche Signalarten in einer SPS verarbeitet werden können

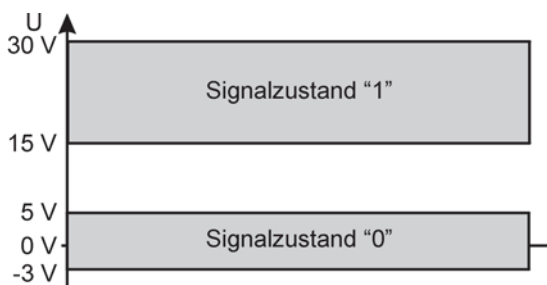
In den technischen Prozessen von Anlagen treten physikalische Größen wie Temperaturen, Drucke, elektrische Spannungen etc. auf. Automatisierungsgeräte können in der Regel nur elektrische Signale erkennen und ausgeben. Wo erforderlich, muss also eine Signalumwandlung erfolgen. Man unterscheidet verschiedene Signalarten:

#### Binäre Signale

Ein binäres Signal ist ein 1-Bit-Signal, das nur einen von zwei möglichen Signalzuständen annehmen kann. Ein typischer Binärsignal-Geber ist ein Schalter.

Ein Signal heißt binär, wenn es nur zweier Werte fähig ist. Die SPS-Hersteller haben für ihre Steuerungskomponenten ein Toleranzschema festgelegt, das den Wertebereich konkreter Spannungen den binären Signalzuständen zuordnet, die von den Geräten verarbeitet werden.

Die Automatisierungsgeräte können nicht den Schaltzustand von angeschlossenen Schaltern erkennen, sondern nur anliegende Signale, d. h., die unterschiedliche Wirkung von Öffner- und Schließerkontakten in Anlagen muss bei der Programmerstellung bedacht werden.



**Bild 2.7:**

Signalzustände und Spannungspegel. Offene (unbeschaltete) Steuerungseingänge erzeugen Signalzustand „0“.

#### Digitale Signale

Ein digitales Signal ist eine mehrstellige Bitkette, die durch Codierung eine festgelegte Bedeutung erhält, z. B. als Zahlenwert. Ein typischer Digitalsignal-Geber ist ein Zifferneinsteller. Um z. B. die Zahlen 0 bis 9 darstellen zu können, sind vier Binärstellen erforderlich.

Dezimal- zahl	Dualzahl				Wert
	8	4	2	1	
0	0	0	0	0	
1	0	0	0	1	
2	0	0	1	0	
3	0	0	1	1	
4	0	1	0	0	
5	0	1	0	1	
6	0	1	1	0	
7	0	1	1	1	
8	1	0	0	0	
9	1	0	0	1	

1 Binärstelle = 1 Bit

1 Byte = 8 Bit

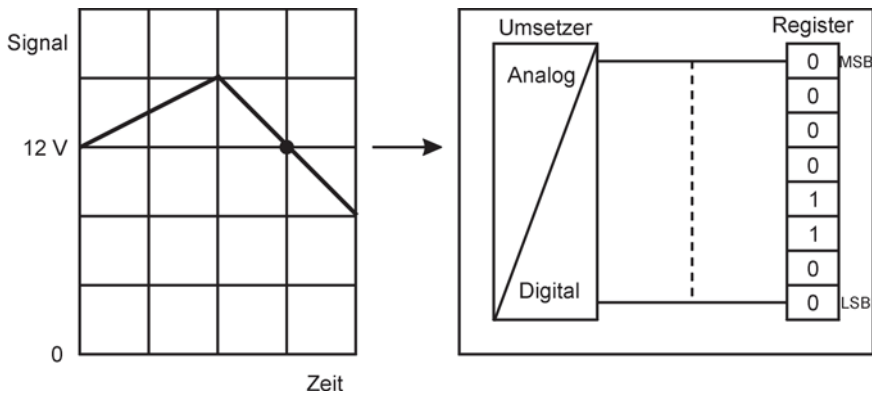
1 Wort = 2 Byte = 16 Bit

1 Doppelwort = 32 Bit



### Analoge Signale

Für ein analoges Signal ist charakteristisch, dass der Signalparameter (z. B. die Spannung) innerhalb bestimmter Grenzen jeden beliebigen Wert annehmen kann. Automatisierungsgeräte können intern keine analogen Signale verarbeiten. So genannte Analogbaugruppen nehmen eine Signalumsetzung vor und wandeln ein analoges Signal in ein digitales Signal um bzw. auch umgekehrt.



**Bild 2.8:** Ein Spannungswert wird in eine Zahl umgesetzt.

### 2.3.2 Eingabe-/Ausgabebaugruppen: Was angeschlossen werden darf

Die in den Bildern 2.1 und 2.2 angedeuteten Eingabe- und Ausgabebaugruppen der SPS werden üblicherweise als zentrale digitale Eingabe- und Ausgabebaugruppen bezeichnet im Gegensatz zu den dezentralen Baugruppen (Slaves), die über eine Feldbussystem angeschlossen sind. Die digitalen Eingabe- und Ausgabebaugruppen umfassen meistens 1 Byte = 8 Bit; 2 Byte = 16 Bit; 4 Byte = 32 Bit Eingänge bzw. Ausgänge. Im Steuerungsprogramm können Bit, Byte, Worte oder Doppelworte abgefragt oder angesteuert werden. Bei Analogbaugruppen sind entsprechend die Anzahl der Eingänge bzw. Ausgänge angegeben.

*Digitaleingabebaugruppen* gibt es für DC 24 V und AC 120/230 V mit Entstörung und Potentialtrennung über Optokoppler sowie Anzeige des aktuellen Signalzustandes durch Leuchtdioden. Aufgrund der Entstörmaßnahmen liegt die Frequenzobergrenze für Eingangssignale bei etwa 50 Hz. Die Digitaleingabebaugruppen formen die Pegel der externen digitalen Signale aus dem Prozess in den internen Signalpegel des SPS-Systems um. Die Baugruppen sind z. B. geeignet für den Anschluss von Schaltern und 2-Draht-Näherungsschaltern (BERO).

*Digitalausgabebaugruppen* gibt es für Lastspannungen DC 24 V oder AC 120/230 V bei spezifizierter Strombelastbarkeit und Potentialtrennung mittels Optokoppler. Die Schaltfrequenz der Ausgänge wird nach ohmscher Last, induktiver Last und Lampenlast unterschieden und liegt im Bereich bis 100 Hz. Die Digitalausgabebaugruppen formen den internen Signalpegel des SPS-Systems in die externen, für den Prozess benötigten Signalpegel um. Die Baugruppen sind z. B. geeignet für den Anschluss von Magnetventilen, Schützen, Kleinmotoren, Lampen und Motorstartern.

*Analogeingabebaugruppen* wandeln analoge Signale aus dem Prozess in digitale Signale für die interne Verarbeitung innerhalb der SPS um. Es können Spannungs- und Stromgeber, Thermoelemente, Widerstände und Widerstandsthermometer angeschlossen werden:

Spannung	z. B. $\pm 10$ V	
Strom	z. B. 4 bis 20 mA	
Widerstand	z. B. 0 ... 300 Ohm	
Thermoelement	z. B. Typ E, N, K	(mit Kennlinien-Linearisierung)
Widerstandsthermometer	z. B. Pt 100-Standard	(mit Kennlinien-Linearisierung)

Die Baugruppen verfügen über eine parametrierbare Auflösung von z. B. 12 bis 15 Bit + Vorzeichen, unterschiedliche Messbereiche (einstellbar durch Messbereichsmodule und Software) sowie Alarmfähigkeit (Diagnose und Grenzwertalarms an die CPU).

*Analogausgabebaugruppen* wandeln digitale Signale aus der SPS in analoge Signale für den Prozess um und sind für den Anschluss analoger Aktoren geeignet. Als Ausgangsbereiche werden angeboten:

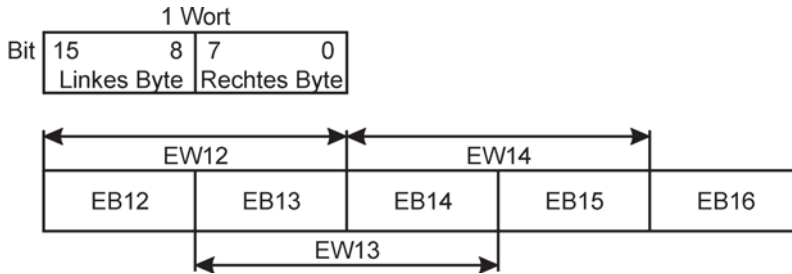
Spannungsausgang	z. B. $\pm 10$ V
Stromausgang	z. B. 0 bis 20 mA

Die Baugruppen haben z. B. eine Auflösung von 12 bis 15 Bit. Es sind unterschiedliche Messbereiche je Kanal einstellbar. Die Baugruppen verfügen über eine Alarmfähigkeit bei auftretenden Fehlern.

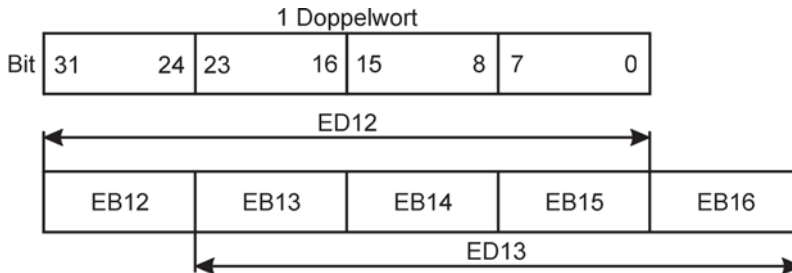
### 2.3.3 Absolute Adressen von Eingängen und Ausgängen

Möglichkeiten der direkten Adressierung von Eingängen, Ausgängen. Entsprechendes gilt für Merker, soweit diese noch verwendet werden.

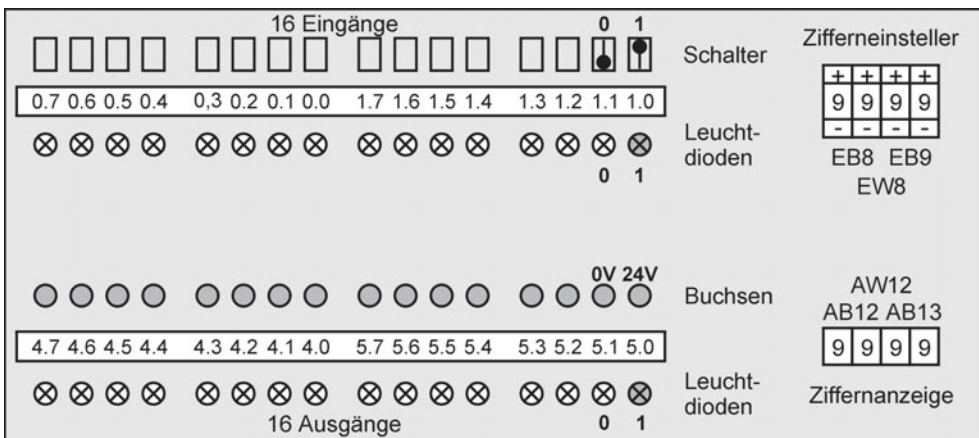
<b>Bitweise</b>	<b>STEP 7</b>	<b>IEC 61131-3</b>
Einzel-Eingänge	E0.7...E0.0	%IX0.7...%IX0.0
Einzel-Ausgänge	A0.7...A0.0	%QX0.7...%QX0.0
<b>Byteweise</b>		
Eingangsbyte	EB0=E0.7...E0.0	%IB0=%IX0.7...%IX0.0
Eingangsbyte	EB1=E1.7...E1.0	%IB1=%IX1.0...%IX1.0
Ausgangsbyte	AB0=A0.7...A0.0	%QB0=%QX0.7...%QX0.0
Ausgangsbyte	AB1=A1.7...A1.0	%QB1=%QX1.7...%QX1.0
<b>Wortweise</b>		
Eingangswort	EW0=EB0+EB1	%IW0=%IB0+%IB1
Ausgangswort	AW0=AB0+AB1	%QW0=%QB0+%QB1
<b>Doppelwortweise</b>		
E-Doppelwort	ED0=EW0+EW1	%ID0=%IW0+%IW1
A-Doppelwort	AD0=AW0+AW1	%QD0=%QW0+%QW1

**Bild 2.9:** Wortadressen

Ein Wort hat eine Länge von 16 Bit, die von rechts nach links durch die Bitadresse 0...15 gekennzeichnet sind. Das linke Byte hat immer die niedrigere Byteadresse, die bei Zusammenfassung von 2 Byte zu einem Wort mit der Wortadresse identisch ist.

**Bild 2.10:** Doppelwortadressen

Vier Byte oder zwei Worte können zu einem Doppelwort zusammengefasst werden. Ein Doppelwort hat demnach eine Länge von 32 Bit. Auch bei einem Doppelwort bestimmt das links stehende Byte mit seiner Adresse die Adresse des entsprechenden Doppelwortes.

**Bild 2.11:** Aufbau eines Eingabe-/Ausgabegerätes passend zur SPS-Hardware in Bild 2.1, aber ohne Analog-Ein-/Ausgänge

Automatisieren mit SPS – Theorie und Praxis

Programmieren mit STEP 7 und CoDeSys, Entwurfsverfahren,  
Bausteinbibliotheken Beispiele für Steuerungen, Regelungen,  
Antriebe und Sicherheit Kommunikation über AS-i-Bus,  
PROFIBUS, PROFINET, Ethernet-TCP/IP, OPC , WLAN

Wellenreuther, G.; Zastrow, D.

2015, XXIII, 870 S. 865 Abb. Mit mehr als 865 Abb., 108

Steuerungsbeisp. u. 8 Projektierungen., Hardcover

ISBN: 978-3-8348-2597-1