

10. Analogwertverarbeitung

10.1 Analog-Digital-Wandlung

Die Automatisierungstechnik muss neben binären und digitalen Signalen auch zahlreiche analoge Signale verarbeiten. Beispiele sind Temperaturen, Drücke, Feuchten, Drehzahlen oder Widerstände. Sensortechnik und Messwertumformer liefern für diese physikalischen Größen genormte analoge Werte wie beispielsweise $-1V \dots +1V$, $0 \dots 10V$ oder $4 \dots 20mA$.

Analoge Signale nehmen in ihrem Wertebereich alle denkbaren Zwischenwerte an. Im Gegensatz dazu können digitale Signale nur diskrete Werte in bestimmten Stufen durchlaufen.

Die klassische analoge Signalverarbeitung mit speziellen **Operationsverstärkern** wird zunehmend durch digitale Verarbeitung abgelöst (**Bild 10-1**). Die erforderliche Signalwandlung übernehmen **Analog-Digital-Wandler ADU** bzw. umgekehrt – wenn analoge Signale ausgegeben werden – **Digital-Analog-Wandler DAU**.

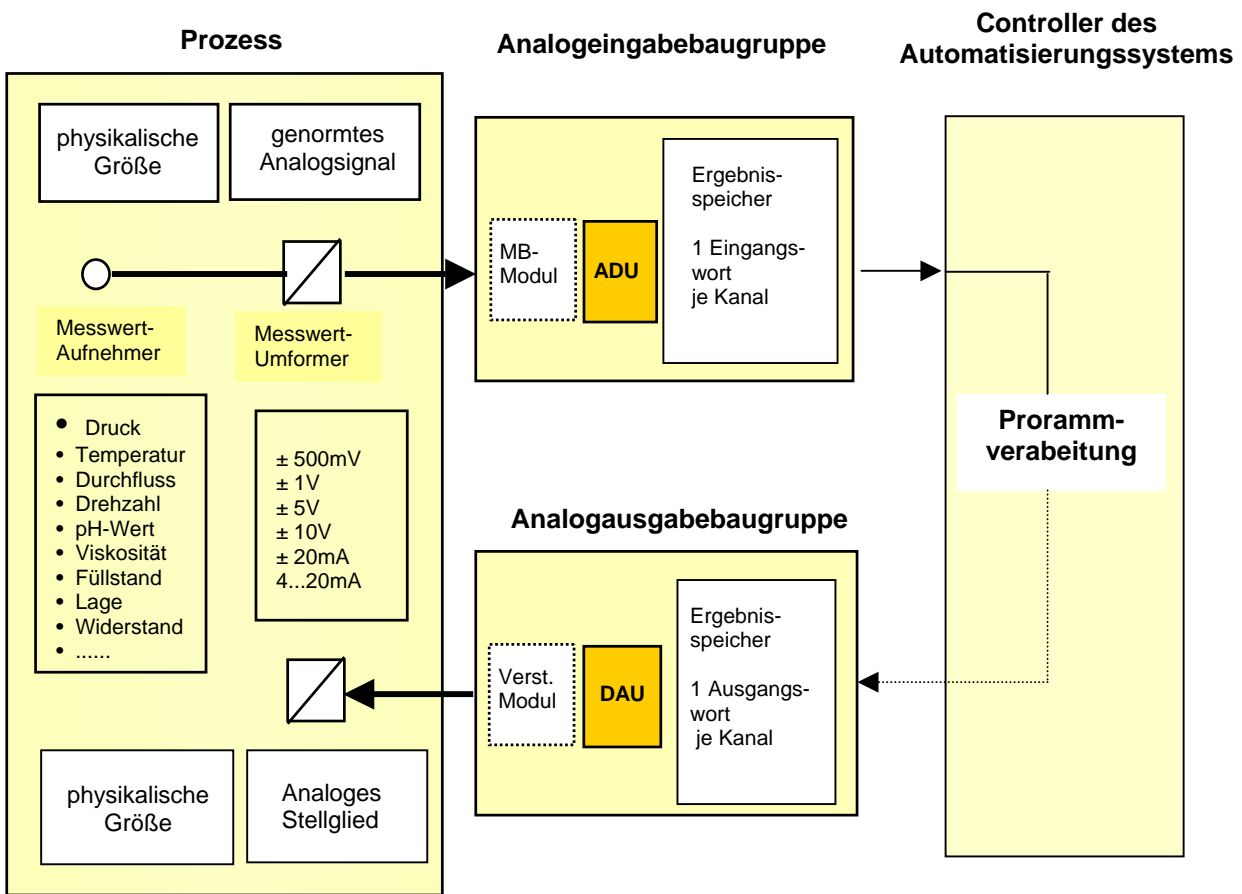


Bild 10-1: Prinzip der Verarbeitung analoger Signale mit SPS

Bestimmte analoge Baugruppen haben einen Ergebnisspeicher an Bord, der in bestimmten Zeitabständen mit aktuellen Werten des Analog-Digital-Wandlers beschrieben wird. Das Programm greift dann auf diese Werte (bei Simatic S7 Peripherieworte PEW oder PAW) zurück. Andere Systeme legen die digitalisierten Analogwerte im Prozessabbildes der Ein- und Ausgänge PAE und PAA ab, welche zyklisch aufgefrischt werden.

Ergebnis der Wandlung ist ein Wort von 16 Bit, von denen entsprechend der Auflösung des Wandlers jedoch nur eine bestimmte Anzahl Bits den Analogwert abbilden (**Bild 10-2**).

Für die **Auflösung** gilt:

Je höher die Auflösung, desto feinstufiger die Abbildung, desto „unruhiger“ aber auch der Digitalwert. Hohe Auflösung hat einen höheren Preis. Sie lohnt nur, wenn das Analogsignal frei von Störungen ist.

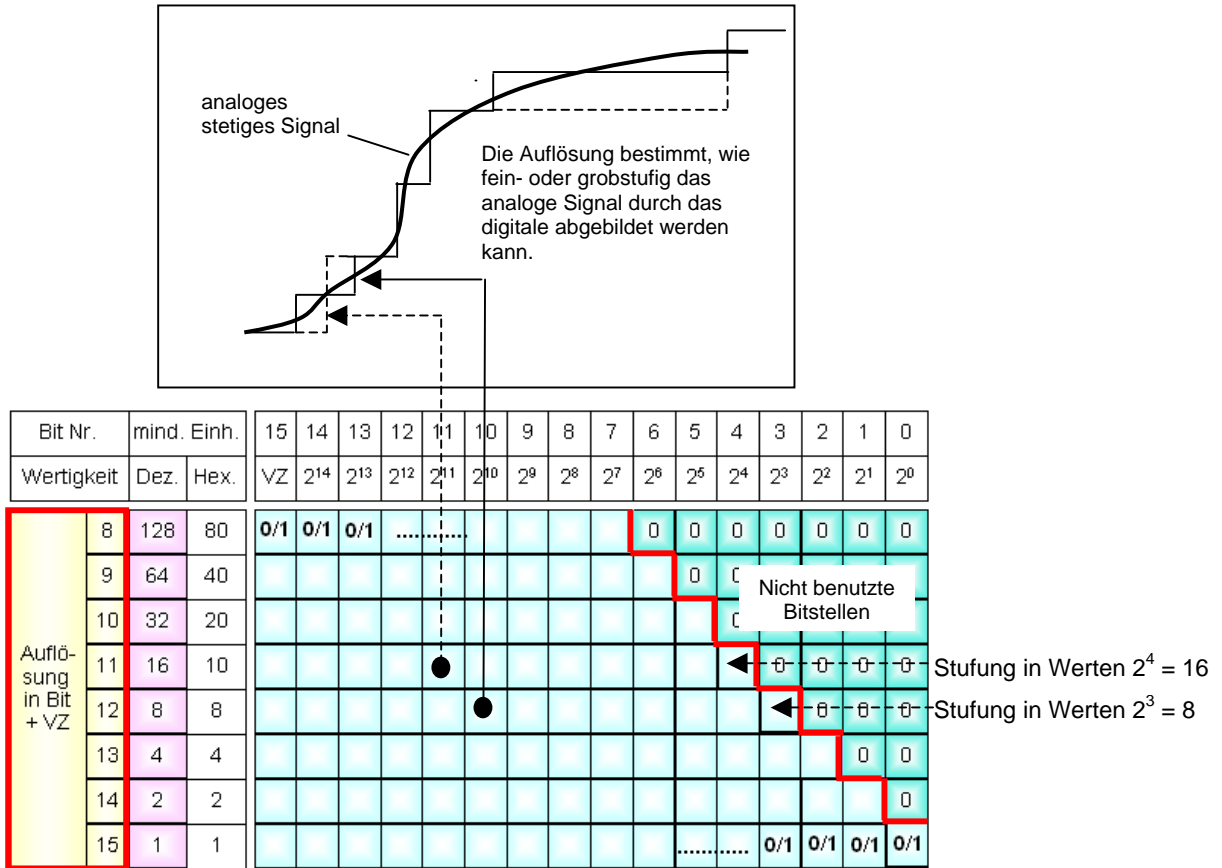


Bild 10–2: Wirkung der Auflösung von Analog-Digital-Wandlern

Beispiel:

Eine analoge Eingangsklemme WAGO 750-467 für Signale 0..10V hat eine Auflösung von 12 Bit. Beobachtet man online das Eingangswort im Format „*Dezimal*“, so liefern 10V Eingangsspannung 32 761 Einheiten. Das bedeutet, dass im 16 Bit breiten Wort 12 Bit gemäss **Bild 10-3** belegt werden. Kleinstmögliche Änderungen des Digitalwertes führen deshalb zu Sprüngen mit der Wertigkeit $2^3 = 8$, wodurch sich der Analogwert nur in Stufen von 2,44 mV verarbeiten lässt.

WORD im PAE / PAA															
X	2^{14}	2^{13}	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	X	X	X
X	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	X	X	X
28 456 Einheiten entsprechen 8,68 V															

Bild 10–3: Beispiel eines positiven digitalisierten Analogwertes mit 12 Bit Auflösung. Die mit X gekennzeichneten Bit sind nicht relevant.

10.2 Verarbeitung von Analogwerten in Programmen

Eine erste Methode der Lösung von Automatisierungsaufgaben mit Analogwerten sind **Rechenoperationen auf der Grundlage von Einheiten**. Sind beispielsweise Schaltbefehle bei Erreichen bestimmter Analogwerte zu geben, kann dies durch Vergleich von Soll-Einheiten und Ist-Einheiten erfolgen.

Die Datenblätter von Analogbaugruppen liefern die dazu erforderlichen Wertetabellen. **Bild 10-4** zeigt ein Beispiel für eine Baugruppe des System Simatic S7, die für unterschiedliche Analogsignale parametrierbar ist. Erlaubt sind hier **Nennbereich** und **Übersteuerungsbereich** bzw. bei bipolaren Signalen Untersteuerungsbereich und Unterlauf. Bei **Überlauf** würde dagegen das System einen Fehler melden.

Bereich	Spannung		Strom		Widerstand		Temperatur z.B. Standard Pt 100	
	Meßbereich ± 10V	Ein- heiten	Meßbereich 4 .. 20mA	Ein- heiten	Meßbereich 0...300Ohm	Ein- heiten	Meßbereich -200...+850°C	Ein- heiten
Überlauf	≥ 11,759	32767	≥ 22,815	32767	≥ 352,778	32767	≥ 1000,1	32767
Über- steuerungs- bereich	11,7589	32511	22,810	32511	352,767	32511	1000,0	10000
	10,0004	27649	20,0005	27649	300,011	27649	850,1	8501
Nennbereich	10,00	27648	20,000	27648	300,000	27648	850,0	8500
	7,50	20736	16,000	20736	225,000	20736	·	·
	·	·	·	·	·	·	·	·
	-7,5	-20736	·	·	·	·	·	·
Unter- steuerungs- bereich	-10,0004	-27649	3,9995	-1	negative	-1	-200,1	-2001
	-11,759	-32512	1,1852	-4864	Werte nicht	-4864	-243,0	-2430
Unterlauf	≤ -11,76	-32768	≤ 1,1845	-32768	möglich	-32768	≤ -243,1	-32768

Bild 10-4: Beispiel für Wertetabellen einer analogen Eingangsbaugruppe im System Simatic S7

Die Rechnungen führen zumeist zu Dreisatz-Aufgaben, die auch mit den arithmetischen Operatoren der Programmiersysteme selbst gelöst werden können.

Zum Beispiel liefert die Wertetabelle Bild 9-4 für Spannungssignale 0..10V:

10V entsprechen 27 648 Einheiten (bzw. im Beispiel Bild 9-3 : 32 761 Einheiten), 0V entsprechen 0 Einheiten. Damit kann die Zahl der Einheiten bzw. die entsprechende Spannungsgröße zu jedem gewünschten Schaltpunkt ermittelt werden.

Häufig will man aber anstelle der Einheiten die tatsächlichen **Prozessgrößen** in die Rechnungen einführen. Wenn zum Beispiel 10 V einem Prozesssignal von 200 bar entsprechen, braucht man eher eine Zuordnung von Druck und Spannung als die von Spannung und Einheiten.

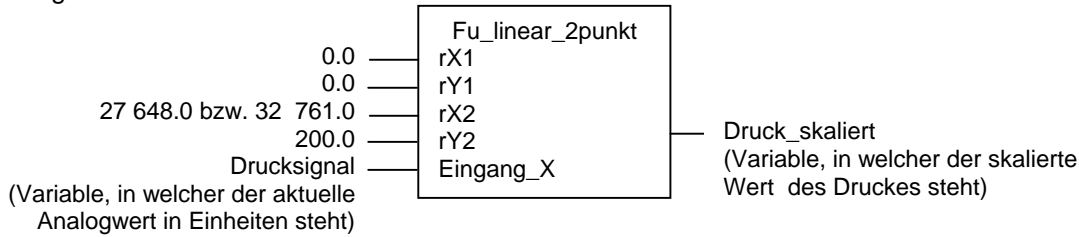
$$\text{aktueller Druck} = \frac{\text{Analogwert in Einheiten}}{27\,648 \text{ (bzw. } 32\,761 \text{) Einheiten}} * 200 \text{ bar}$$

Man nennt eine solche Umrechnung **Skalierung oder auch Normierung** der Signale. Nach der Skalierung können die Schaltpunkte und andere Berechnungen direkt mit Prozessgrößen erfolgen.

Eine andere Möglichkeit zur Verarbeitung von Analogwerten ist die **Verwendung geeigneter Bibliotheksbausteine für lineare Kennlinien und Skalierung**. Hinter Dreisatz-Aufgaben verbirgt sich grundsätzlich eine lineare Kennlinie, die durch 2 beliebige Punkte auf der Geraden festgelegt ist. Zum Beispiel sind dies für o.a. Aufgabe die Punkte [27 648 Einheiten / 10V] bzw. [32 761 Einheiten / 10V] und [0 Einheiten / 0V] .

Die Bausteine erlauben die Eingabe zweier Referenzpunkte und zusätzlich des Wertes, auf den normiert werden soll. Damit entfällt jede eigenverantwortliche Umrechnung.

Die Funktion „Fu_Linear-2punkt“ aus der Bibliothek „Gebauede_allgemein“ (www.wago.com) ist ein solcher Bibliotheksbaustein. Zu beachten ist hier, dass die Referenzpunkte im Format REAL einzugeben sind.



Das zugehörige CoDeSys – Programm unter Nutzung der Funktion lautet dann

```
LD      0.0
Fu_Linear_2punkt 0.0,27648.0,200.0,Drucksignal
ST      Druck_skaliert
```

Als Ergebnis der Skalierung kann die Variable Druck_skaliert nur noch in den Grenzen 0.0 ... 200.0 schwanken.

Ein anderes Beispiel für das Einlesen und Ausgeben von Analogwerten sind die Bausteine FC 105 und FC 106 aus der Standardbibliothek des Programmiersystems Step7 (**Bild 10-5**). Die Referenzpunkte werden hier als obere Grenze HI_LIM und untere Grenze LO_LIM eingegeben. Je nach Wert des Booleschen Parameters BIPOLAR wird unipolarer oder bipolarer Verlauf der Kennlinie festgelegt.

Im Beispiel desBildes 10-5 liest der Baustein den Analogwert in digitalen Einheiten vom Peripheriewort PEW 352 und skaliert ihn auf 0 .. 500.0. Der Ausgangswert wird in diesen Grenzen am Ausgang OUT ausgegeben. Der Ausgang RET_VAL liefert einen Fehlercode u.a. bei Überlauf.

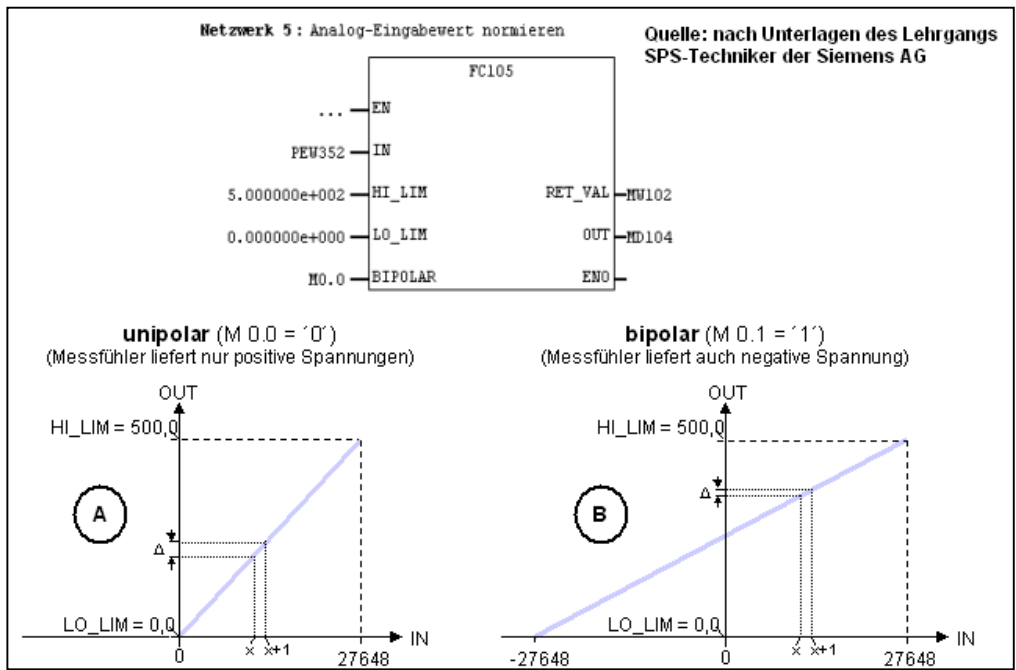


Bild 10-5: Applikationen der Funktion FC 105 im System Step 7

Nicht immer werden die Referenzpunkte für die Skalierung von Analogwerten durch einen derart übersichtlichen Wertebereich zwischen dem Nullpunkt und einem oberen Grenzwert bestimmt. Die Kennlinie und damit der Wertebereich können vielmehr auch in jeder Hinsicht aus dem Nullpunkt verschoben sein.

Nachfolgendes Beispiel soll die dann erforderlichen Berechnungen von Referenzpunkten für die Skalierung erläutern (**Bild 10-6**):

Das unipolare Spannungssignal 0..10 V eines analogen Sensors liege bei einer realen Applikation im Wertebereich zwischen 1,9 V und 8,9 V. Dieser Bereich soll auf 0..500 Einheiten skaliert werden. Die Berechnungen gelten für einen Analog-Digital-Wandler, den Wertebereich des Spannungssignal 0..10 V in 0..27 648 Einheiten umsetzt.

Die Ober- und Untergrenzen, welche beim Baustein FC 105 die Skalierung bestimmen, können mit den in der Grafik grau gekennzeichneten Dreiecken nach Ähnlichkeitssätzen berechnet werden:

$$\text{Obergrenze} = 500 + \frac{27\,648 - 24\,607}{24\,607 - 5\,223} * 500 = 578.5$$

$$\text{Untergrenze} = \frac{0 - 5253}{24\,607 - 5\,253} * 500 = -135.7$$

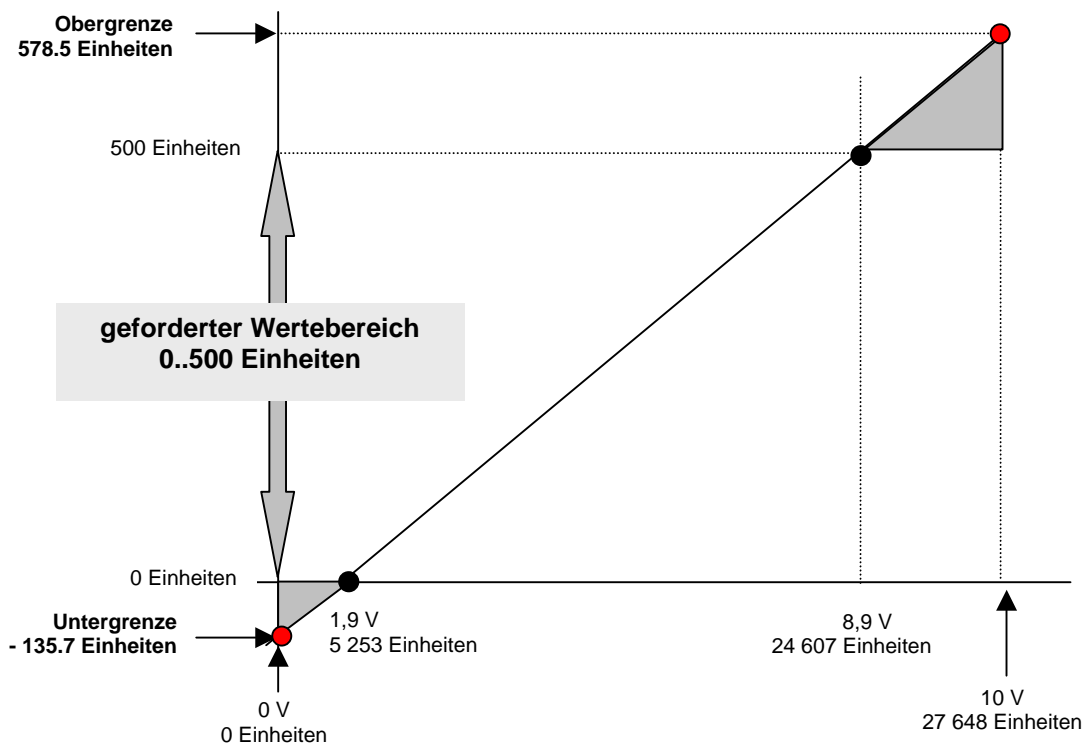
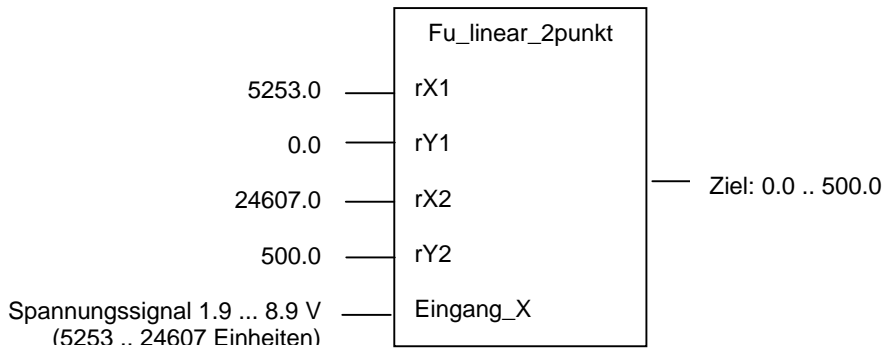
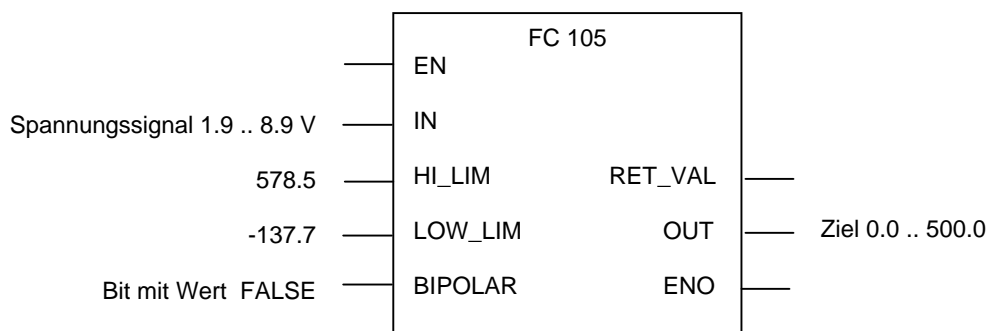


Bild 10-6: Grafik zur Skalierung eines Analogwertes

Die Skalierung mit der Funktion „Fu_linear_2punkt“ würde dann wie folgt vorgenommen werden:



Demgegenüber lautet die Skalierung mit dem Baustein FC 105 im System Step 7:



10.3 Analoge Baugruppen

Analog-Digital-Wandler mit hochwertiger Auflösung können heute in so kleinen Abmessungen gefertigt werden, dass sie auch in Busklemmen eingebaut werden können. Diese wählt man konkret nach dem analogen Signal wie Spannung, Strom, Widerstand oder Thermoelement aus. Die Klemme in **Bild 10-7** rechts enthält zum Beispiel zwei unipolare Kanäle 0..10V. Jedem Kanal ist ein Eingangswort zugeordnet, die zum Beispiel mit %IW0 und %IW1 adressiert werden könnten.

Hinweis: Im System WAGO-I/O-750 / CoDeSys wurde festgelegt, dass analoge Adressen vor den digitalen liegen. Setzt man analoge Klemmen, so beschreibt der erste Kanal das Eingangswort mit Adresse %IW0. Wurde wie oben beschrieben eine zweikanalige analoge Klemme gesetzt, so beginnt der erste binäre Eingang mit Adresse %IX2.0

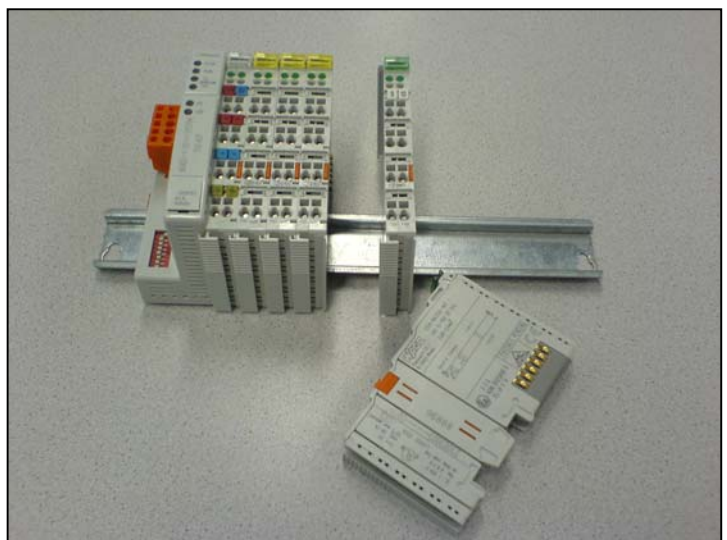


Bild 10-7: Analoge Klemme des Systems WAGO-I/O-750 (www.wago.com)

Andere Systeme wie Simatic S7 bieten universelle Analogbaugruppen, deren Eigenschaften weitgehend per Software **parametriert** werden. **Bild 10-8** zeigt, wie in der Step7-Hardwarekonfiguration das analoge Signal einer Baugruppe nach Art (Strom, Spannung, Widerstand etc.) und Betrag (0..1 V, 0..10V, 4..20 mA etc.) ausgewählt werden kann. Lediglich ein sogenannter Messbereichswürfel muss in Abhängigkeit von Art und Größe des Analogsignals in der Baugruppe in einer bestimmten Stellung eingesetzt werden (**Bild 10-9**).

Weiter können in der Hardwarekonfiguration Prozeß- und Diagnosealarm aktiviert oder deaktiviert werden. Beide setzen alarmfähige Baugruppen voraus. **Diagnosealarm** wird beispielsweise durch Drahtbruch oder Ausfall der Versorgungsspannung ausgelöst. Beim **Prozessalarm** definiert man Ober- und/oder Untergrenzen des Analogwertes, bei deren Über- oder Unterschreitung Alarm ausgelöst wird. Die denkbare Überwachung des Analogwertes im Anwenderprogramm wird durch Parametrierung der Baugruppe ersetzt.

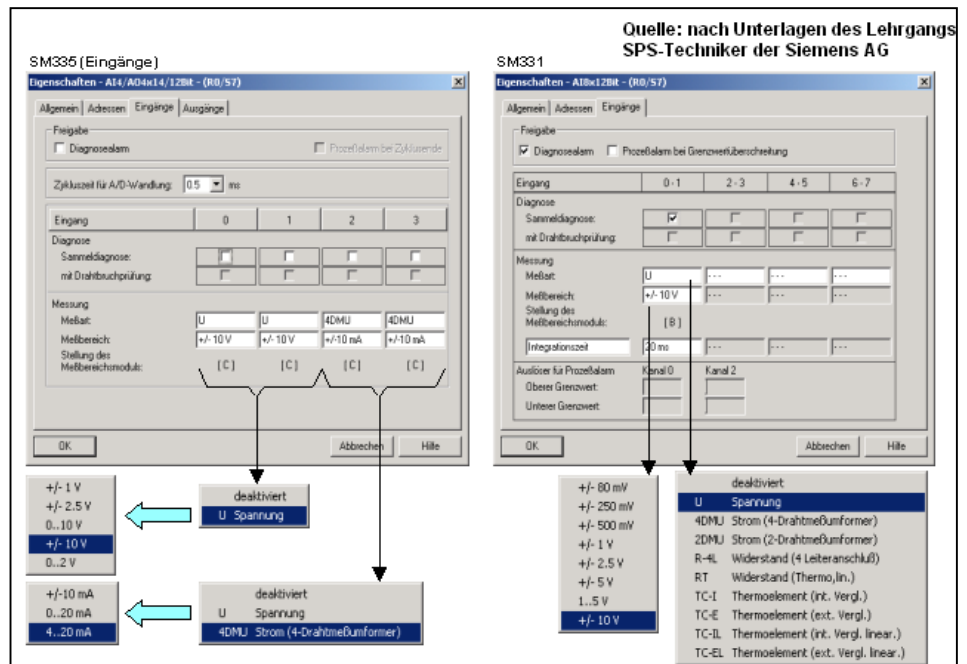


Bild 10-8: Parametrierung einer analogen Eingangsbaugruppe im System Simatic S7

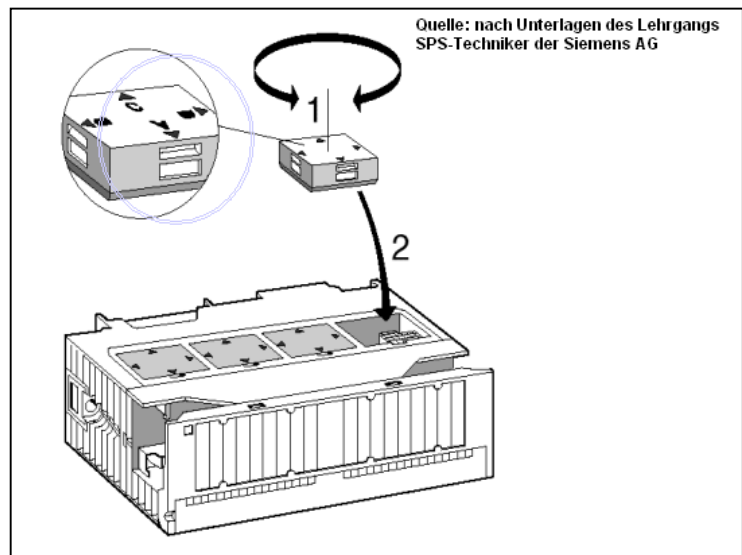


Bild 10-9: Einsatz des Meßbereichswürfels in eine universelle analoge Eingangsbaugruppe im System Simatic S7

Bild 10-10 gibt einen Einblick in die Hardwarekonfiguration von analogen Baugruppen im System Simatic S7. Die Baugruppen werden nach Auswahl im Hardwarekatalog in die entsprechenden Steckplätze eingefügt und ihre Kanäle steckplatzabhängig oder frei adressiert. Im Bild wurden für zwei analoge Eingangskanäle die Peripherieworte PEW 304 und 306 vergeben.

Unten links ist weiter die Wahlmöglichkeit von Filtern für einige in der Technik dominierende Störfrequenzen wie z. B. 50 oder 400 Hz ersichtlich.

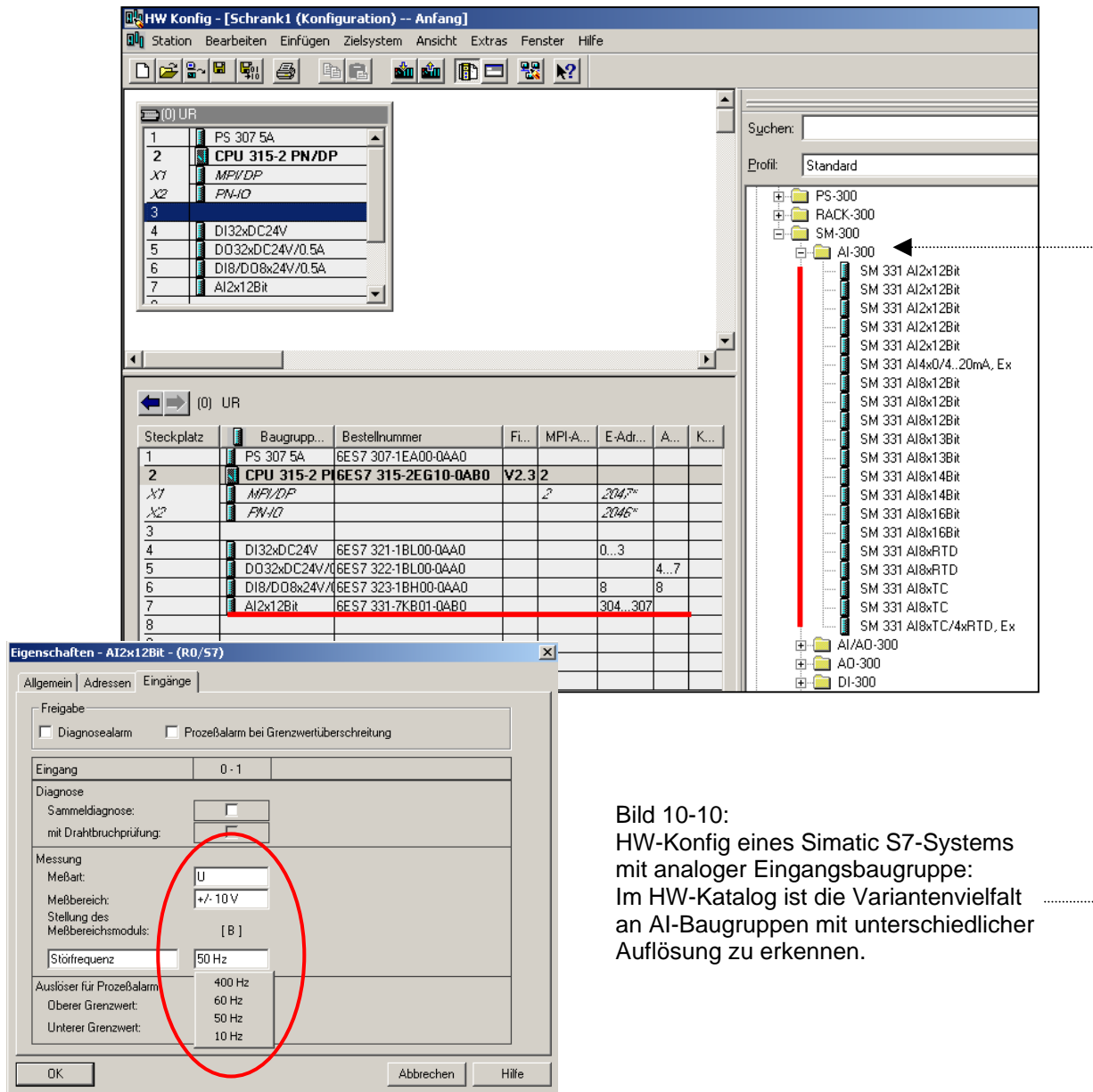


Bild 10-10:
HW-Konfig eines Simatic S7-Systems
mit analoger Eingangsbaugruppe:
Im HW-Katalog ist die Variantenvielfalt
an AI-Baugruppen mit unterschiedlicher
Auflösung zu erkennen.