

Die Funktion von Maschinen, Geräten und ganzen Anlagen wird durch ihre Steuerungen bestimmt. Die Steuerungen bestehen aus Signalgebern, Steuerelementen, Schaltgeräten und Antriebselementen (Aktoren). Diese Bauelemente können elektrisch, hydraulisch, pneumatisch oder mechanisch betrieben sein. Der grundsätzliche Aufbau und die Funktion der Steuerungen kann aber unabhängig von der Betriebsart einheitlich dargestellt werden.

8.2.1 Arbeitsweise von Steuerungen

Steuerungen nehmen die von den Signalgebern kommenden Signale auf, „verarbeiten“ sie in den eigentlichen Steuerelementen und geben danach Schaltbefehle an die Schaltgeräte aus. Die von den Schaltgeräten gesteuerten Antriebselemente führen dann die Bewegung an den Maschinen aus.

Beispiel einer Steuerung:

Sortiereinrichtung für Werkstücke (Bild 1)

Aufgabe. Lange Werkstücke (W1) und kurze Werkstücke (W2) werden auf einem Förderband einer Sortiereinrichtung zugeführt und sollen dort sortiert werden.

Sortiervorgang. In der Sortiereinrichtung laufen die Werkstücke an drei Sensoren B1, B2 und B3 vorbei. Die langen Werkstücke überdecken dabei kurzzeitig alle drei Sensoren, die kurzen Werkstücke kurzzeitig nur den mittleren Sensor allein. Die Signale der Sensoren werden in der Steuerung miteinander verknüpft (Seite 486) und das Ergebnis als Schaltbefehl an das 5/2-Wegeventil ausgegeben. Dieses steuert den Pneumatikzylinder. Bei langen Werkstücken zieht der Zylinder die Weiche nach links. Sie bleibt so lange in dieser Stellung, bis wieder ein kurzes Werkstück von den Sensoren erfasst wird. Erst dann schiebt der Zylinder die Weiche nach rechts. Auch diese Stellung wird bis zum nächsten langen Werkstück beibehalten.

Baugruppen von Steuerungen

Steuerungen kann man in den eigentlichen Steuer- und in den Energieteil gliedern (Bild 2). Steuer- und Energieteil sind durch Schnittstellen verbunden. Die im Steuerteil aufgenommenen und verarbeiteten Signale werden über die Schnittstelle an den Energieteil weitergegeben, in dem die Schaltgeräte die Antriebselemente steuern.

Um die Steuerung möglichst klein zu halten, wird der Steuerteil oft mit kleinerer Spannung oder geringerem Druck als der Energieteil betrieben. An der Schnittstelle müssen dann die Ausgangssignale des Steuerteiles verstärkt werden.

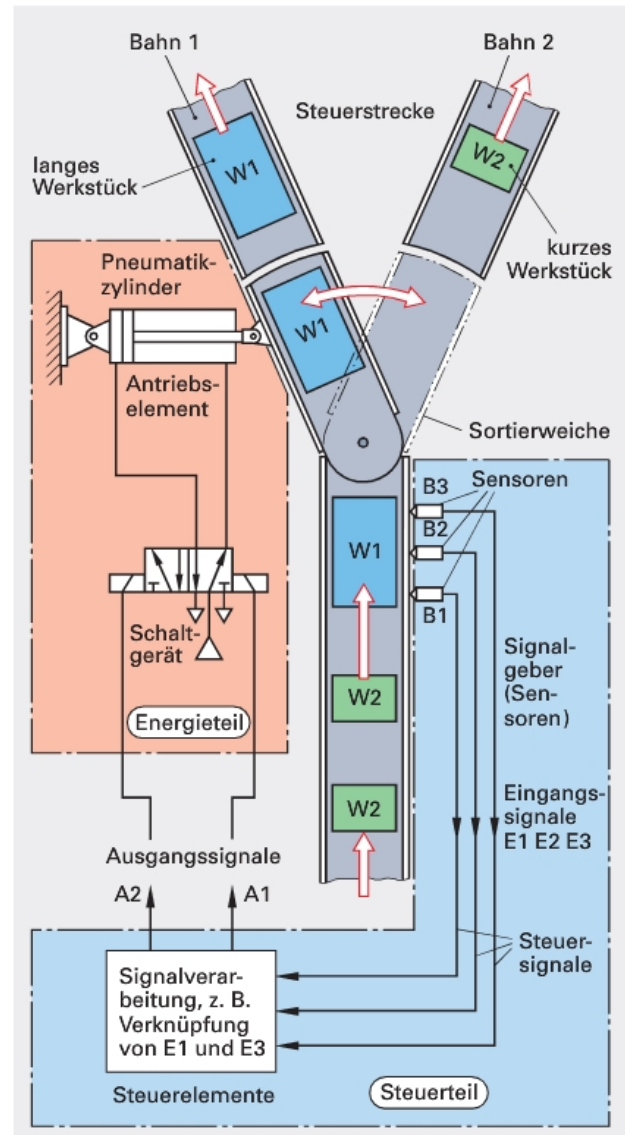


Bild 1: Steuerung einer Sortiereinrichtung

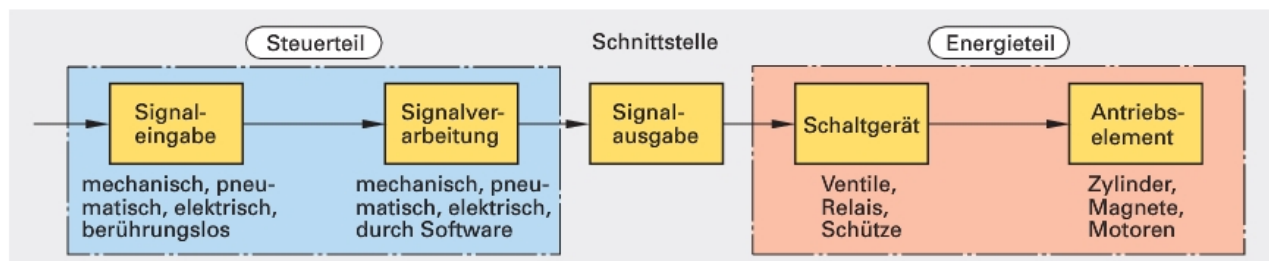


Bild 2: Baugruppen von Steuerungen

8.2.2 Steuerungskomponenten

Steuerungen bestehen aus **Signalgebern**, z.B. Schaltern und Sensoren, **Steuerelementen**, z.B. Relais und Mikroprozessoren, **Stellelementen**, z.B. monostabile oder bistabile Ventile, sowie **Antriebselementen**, z.B. Zylinder, Schütze und Motoren (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Aufbau einer Steuerung (EVA-Prinzip)

Steuerungskomponenten	Bauelemente
Signalgeber (Signal – Eingabe)	Schalter, Taster, Sensoren
Steuerelemente (Signal – Verarbeitung)	Zweidruckventile, Wechselventile, Relais
Antriebselemente (Signal – Ausgabe)	Zylinder, Greifer, Verdichter, Pumpen, Schütze, Motoren

Die in Steuerungen eingesetzten Bauelemente können nach der Art des Signaleingangs und der Signalverarbeitung in drei Kategorien eingeteilt werden (**Tabelle 2**).

Tabelle 2: Bauelemente der Signalverarbeitung einer Steuerung

Steuerungsarten	Bauelemente
Analoge Steuerung	Stetigventile, stufenlose Getriebe, analoge Sensoren
Digitale Steuerung	Wegmesssysteme, Mikroprozessoren, digitale Sensoren
Binäre Steuerung	Tastschalter und Stellschalter; Wegeventile; binäre Näherungsschalter

8.2.2.1 Signalarten – Signalformen

Die Signale, die von Schaltern und Sensoren abgegeben werden und den Steuerungsablauf beeinflussen, haben unterschiedliche **Signalformen**. Man unterscheidet **analoge**, **digitale** und **binäre Signale**.

Analoge (kontinuierliche) Signale ändern sich stetig mit der Eingangsgröße (**Bild 1**). Je größer z.B. der Weg des Schlittens (Eingangsgröße) und damit des Messbolzens der Messuhr ist, desto größer ist der Drehwinkel des Zeigers der Messuhr (Ausgangsgröße). Pneumatische Messtaster (Seite 34) oder analoge Sensoren (Seite 513) geben analoge Ausgangssignale ab.

Analoge Signale können beliebige Werte annehmen.

Digitale (diskrete) Signale bestehen aus einer endlichen Anzahl von gestuften Werten (**Bild 2**). So besteht z.B. bei CNC-Maschinen das digitale Signal für einen 10 mm langen Weg aus 10000 Impulsen am Glasmaßstab der Wegmesseinrichtung. Werden digitale Signale benötigt, so werden die analogen Signale in einem Analog-Digitalwandler in digitale Signale gewandelt.

Alle Zählvorgänge ergeben diskrete Werte.

Binäre (zweiwertige) Signale nehmen nur zwei Werte bzw. Zustände an (**Bild 3**). Diese zwei Werte können mit 0 und 1 oder AUS und EIN bezeichnet werden. Die beiden Grenztaster S1 und S2 (**Bild 3**) geben beim Überfahren durch den Schaltknocken ein Signal ab, sodass der Vorschubmotor stillgesetzt wird.

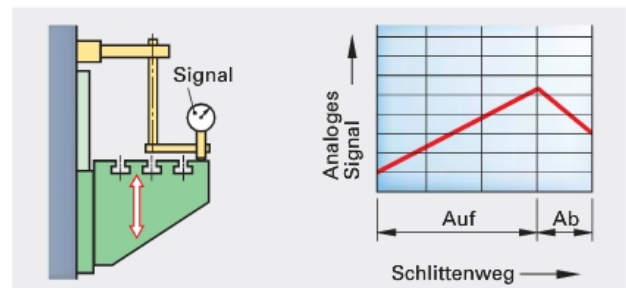


Bild 1: Analoges Signal

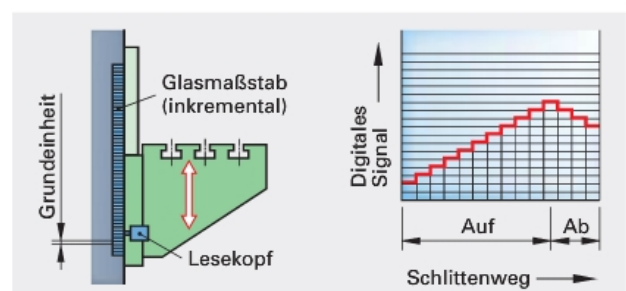


Bild 2: Digitales Signal

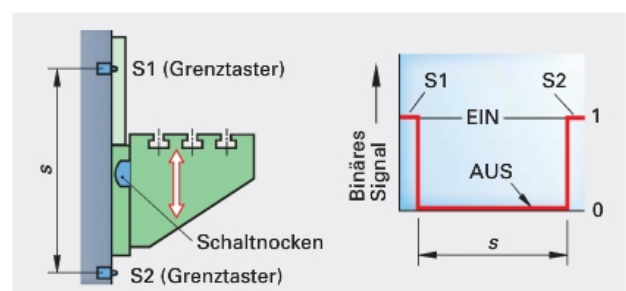


Bild 3: Binäres Signal

Bei statischen Elementen (Schalter) wird der Signalzustand bei Betätigung sprunghaft hergestellt. Probleme können bei dynamischen Signalgliedern (z.B. Transistoren) auftreten, denn hier fehlt das Kippverhalten. Durch Restströme oder Restspannungen bzw. Spannungsschwankungen können Fehlsignale entstehen. Deshalb wird vom Hersteller (z.B. einer SPS) ein High-Bereich bzw. ein Low-Bereich definiert (**Bild 1**). Würde der Signalpegel im Sicherheitsbereich anliegen, so könnte es zu Fehlschaltungen kommen. Deshalb sind die Signalgeber z.B. mit einem Schnappmechanismus (Seite 509) versehen.

Binärsignale stellen die kleinste Einheit der Information dar, die abgeleitet von **binary** digit als **bit** bezeichnet wird.

Stellt man sich die Signalarten als geometrische Gebilde dar, so entspricht das Analogsignal einer Kugel, das Digitalsignal einem Würfel und das Binärsignal einer Münze (**Bild 2**).

8.2.2.2 Bauarten von Signalgebern

Signalgeber werden unterschieden in **mechanische Positionsschalter** (Grenztaster) und **Sensoren** (**Bild 3**).

Mechanische Positionsschalter

Schalter

Mit Schaltern werden vor allem Bewegungsabläufe und Arbeitsvorgänge an Maschinen gestartet und gestoppt. Sie sind binär arbeitende Bauteile. Schalter werden von Hand, mechanisch, z.B. durch Schalnocken, elektromagnetisch oder durch Luft- bzw. Öldruck betätigt.

Tastschalter geben nur während der Betätigung ein Signal ab. Auch pneumatische oder hydraulische Wegeventile können als Tastschalter verwendet werden (**Bild 4**).

Stellschalter rasten bei Betätigung ein und geben dann ein Dauersignal ab.

NOT-AUS-Schalter sind Stellschalter mit einer pilzförmigen roten Betätigungskappe. Nach der Betätigung rastet der Schalter ein und darf erst nach der Behebung der Gefahr wieder entriegelt werden.

Tastschalter geben nur ein kurzes Signal, Stellschalter geben ein Dauersignal ab.

Elektrische Schalter (Seite 509) können mit mehreren Kontaktpaaren ausgestattet sein, z.B. je einem Öffner und einem Schließer oder einem Wechsler. Grenztaster werden durch Nocken in den Grenzstellungen einer Baueinheit betätigt. Sie müssen so eingebaut werden, dass sie „schleifend“ angefahren werden (**Bild 5**), um Schäden zu vermeiden.

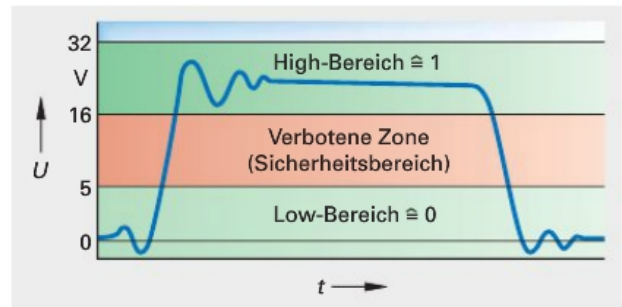


Bild 1: 0-1-Signal am Eingang einer SPS

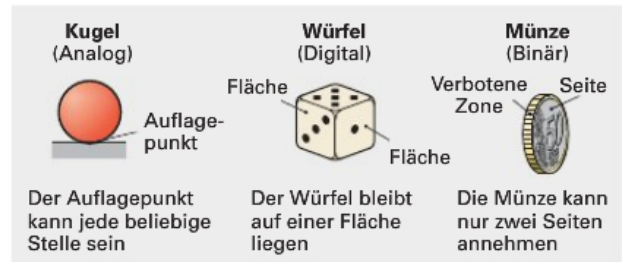


Bild 2: Signaldarstellungen

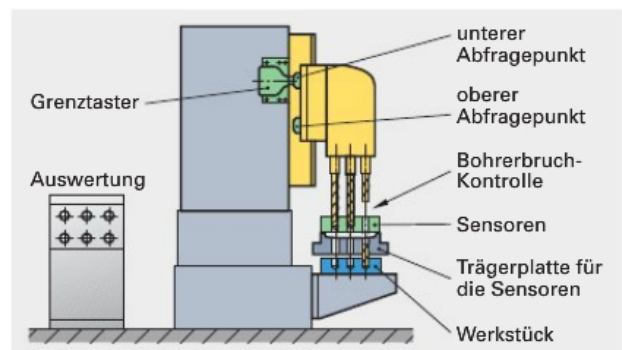


Bild 3: Signalgeber in der Steuerungstechnik

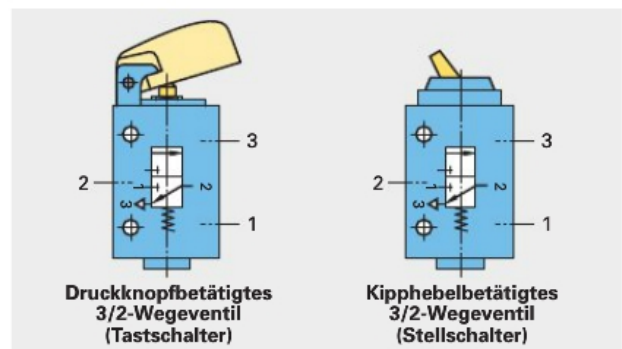


Bild 4: Pneumatische Ventile als Tast- und Stellschalter

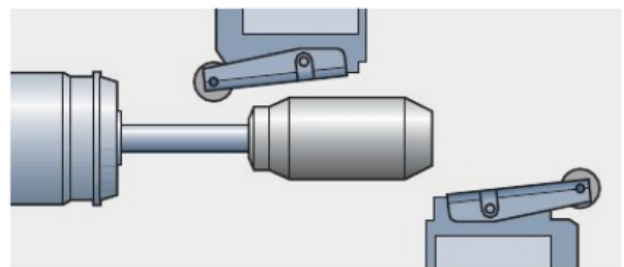


Bild 5: Korrekte Betätigung eines Grenztasters

8.2.2.3 Steuerelemente

Die von den Signalgebern kommenden Signale werden durch die Steuerelemente „verarbeitet“ und das Ergebnis an die Schaltgeräte ausgegeben.

Zur Signalverarbeitung gehören

- die **Verknüpfung** der Eingangssignale
- die **Verzögerung** von Ausgangssignalen
- das **Speichern** von Signalverknüpfungen
- die **Vervielfältigung** von Signalen

Die Signalverarbeitung erfolgt durch Geräte (Hardware) oder durch Programme (Software). Die Hardware kann aus mechanischen, pneumatischen, hydraulischen, elektrischen und elektronischen Geräten bestehen. Software wird in SPS-, CNC- und Prozesssteuerungen eingesetzt.

Beispiel: Bei der Steuerung der Sortierweiche (**Bild 1, Seite 483**) wird die Weiche durch den Pneumatikzylinder nach links geschwenkt, wenn bei langen Werkstücken die drei Eingangssignale E1, E2 und E3 gleichzeitig vorhanden sind. Wie müssen diese Signale miteinander verknüpft werden?

Lösung: Die drei Signale können z. B. durch zwei Zweidruckventile pneumatisch miteinander verknüpft werden (**Bild 1**).

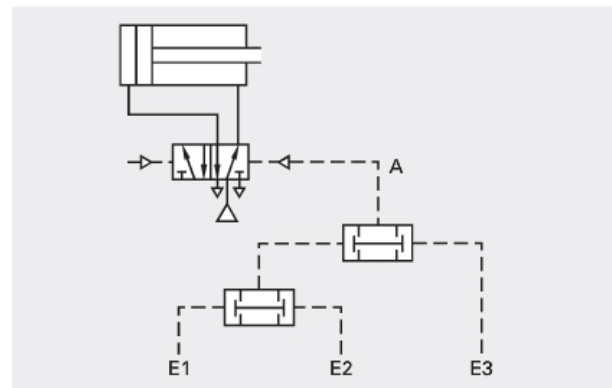


Bild 1: Pneumatische UND-Verknüpfung von drei Eingangssignalen

Tabelle 1: UND-Verknüpfung

Schaltalgebra	Wertetabelle	Logikplan															
<p>Funktionsgleichung</p> <p><u>$E1 \wedge E2 = A$</u></p> <p>(E1 UND E2 ist gleich A)</p> <p>\wedge Zeichen für UND-Verknüpfung</p>	<table><tr><th>E2</th><th>E1</th><th>A</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	E2	E1	A	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<p>2 Eingangssignale</p>
E2	E1	A															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															
Pneumatischer Schaltplan	Relais- Schaltung	SPS- Funktionsplan															
<p>mit Wegeventilen:</p> <p>mit Zweidruck- ventil:</p>		<table><tr><th>Allgemein</th><th>SPS</th></tr><tr><td>E1</td><td>E0.0</td></tr><tr><td>E2</td><td>E0.1</td></tr><tr><td>A</td><td>A0.0</td></tr></table>	Allgemein	SPS	E1	E0.0	E2	E0.1	A	A0.0							
Allgemein	SPS																
E1	E0.0																
E2	E0.1																
A	A0.0																

8.2.2.4 Die Verknüpfung von Signalen

Alle Signalverknüpfungen werden mit den Grundfunktionen UND, ODER und NEGATION verwirklicht. Die Verknüpfungen können durch Funktionsgleichungen (Schaltalgebra), Wertetabellen, Logikpläne, Programme und Schaltpläne dargestellt werden (folgende Seite und **Tabelle 1**).

■ UND-Verknüpfung

Bei UND-Verknüpfungen erhält man das Ausgangssignal A nur, wenn die beiden Eingangssignale E1 und E2 gleichzeitig vorhanden sind (Tabelle 1). UND-Verknüpfungen können z. B. durch pneumatische Zweidruckventile oder durch zwei in Reihe geschaltete Schließerkontakte verwirklicht werden.

Beispiel: Ein hydraulischer Spannstock (**Bild 2**) darf erst schließen ($A = 1$), wenn die beiden Tastschalter gleichzeitig gedrückt werden ($E1 = 1$, $E2 = 1$). Wie müssen die Eingangssignale miteinander verknüpft werden?

Lösung: E1 und E2 werden durch die UND-Funktion verknüpft (Tabelle 1). Sind $E1 = 1$ UND $E2 = 1$, erhält man das Ausgangssignal A. Der Spannzyylinder fährt aus.

UND-Verknüpfungen liefern an ihrem Ausgang ein Signal ($A = 1$), wenn an beiden Eingängen gleichzeitig ein Signal ($E1 = 1$ UND $E2 = 1$) anliegt.

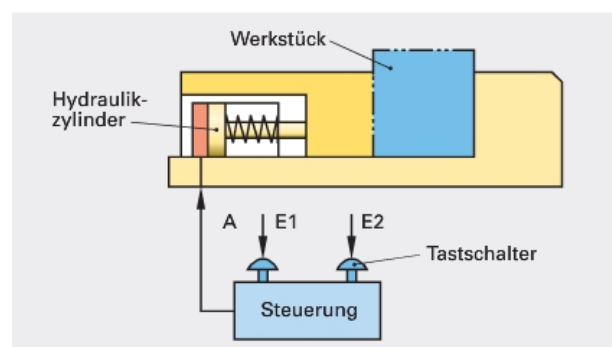


Bild 2: Vereinfachte Zweihandbedienung

Darstellung von Signalverknüpfungen

Die **Schaltalgebra** kann benutzt werden, um Steuerungen zu entwerfen oder zu vereinfachen. Die Verknüpfungen werden dabei durch **Funktionsgleichungen** beschrieben.

In **Wertetabellen** wird zu allen möglichen Kombinationen der Eingangssignale E1, E2 ... die sich durch die Verknüpfung ergebende Ausgangsgröße A dargestellt. Bei 3 Eingangsgrößen ergeben sich $2^3 = 8$, bei 4 Eingangsgrößen $2^4 = 16$ Kombinationsmöglichkeiten. Zur Vereinfachung werden oft nur die Kombinationen aufgeführt, welche die Ausgangsgröße A = 1 ergeben.

Im **Logikplan** werden die Verknüpfungen mit genormten Symbolen dargestellt. Sie werden von links nach rechts aufgebaut und gelesen.

Die logischen Verknüpfungen können auch durch **Programme**, z. B. Anweisungslisten, beschrieben werden. Diese Programme werden in besonderen oder in allgemeinen Programmiersprachen geschrieben. Die Ausgangssignale werden an die zu steuernden Geräte ausgegeben.

Beispiel: Die Steuerung für die linke Stellung der Sortierweiche (**Bild 1, Seite 483**) soll durch einen Logikplan und durch eine Wertetabelle beschrieben werden.

Lösung: Lange Werkstücke überdecken kurzfristig alle drei Sensoren gleichzeitig. Dadurch erhält man: E1 = 1 UND E2 = 1 UND E3 = 1. Nur bei dieser Kombination darf das Ausgangssignal A = 1 werden (**Bild 1**).

ODER-Verknüpfung

Bei der ODER-Verknüpfung wird das Ausgangssignal A = 1, wenn entweder das Eingangssignal E1 = 1 oder das Eingangssignal E2 = 1 oder beide Eingangssignale 1 sind (**Tabelle 1**). Die ODER-Verknüpfung kann z. B. durch ein Wechselventil oder durch parallel geschaltete Schließerkontakte verwirklicht werden.

Beispiel: Ein Förderband kann durch je einen Tastschalter an den beiden Enden des Bandes oder vom Leitstand aus stillgesetzt werden. Die Verknüpfung soll durch Logikplan und Wertetabelle dargestellt werden.

Lösung: Wenn mindestens eines der drei Eingangssignale E1 ODER E2 ODER E3 vorhanden ist, wird das Ausgangssignal A = 1 (**Bild 2**).

ODER-Verknüpfungen liefern an ihrem Ausgang ein Signal A = 1, wenn an einem der Eingänge oder an allen Eingängen ein Signal (E1 = 1 ODER E2 = 1) ansteht.




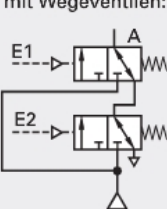
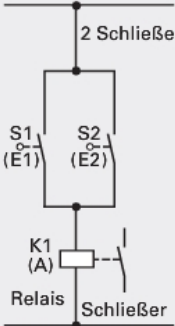

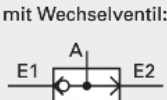
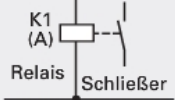
Logikplan		Wertetabelle			
E1		E3	E2	E1	A
E2		0	0	0	0
E3		0	0	1	0
		0	1	0	0
Kurzform		0	1	1	0
E1		1	0	0	0
E2		1	0	1	0
E3		1	1	0	0
		1	1	1	1
		1	1	1	1

Bild 1: UND-Verknüpfung von 3 Eingangssignalen

Tabelle 1: ODER-Verknüpfung

Schaltalgebra	Wertetabelle	Logikplan															
<p>Funktionsgleichung</p> <p><u>$E1 \vee E2 = A$</u></p> <p>(E1 ODER E2 ist gleich A)</p> <p>\vee Zeichen für ODER-Verknüpfung</p>	<table><tr><td>E2</td><td>E1</td><td>A</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	E2	E1	A	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<p>2 Eingangssignale</p> 
E2	E1	A															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
Pneumatischer Schaltplan	Relais-Schaltung	SPS-Funktionsplan															
<p>mit Wegeventilen:</p> 	<p>2 Schließer</p> 	<table><tr><th>Allgemein</th><th>SPS</th></tr><tr><td>E1</td><td>E0.0</td></tr><tr><td>E2</td><td>E0.1</td></tr><tr><td>A</td><td>A0.0</td></tr></table> 	Allgemein	SPS	E1	E0.0	E2	E0.1	A	A0.0							
Allgemein	SPS																
E1	E0.0																
E2	E0.1																
A	A0.0																
<p>mit Wechselventil:</p> 	<p>K1 (A)</p> <p>Relais</p> <p>Schließer</p> 																

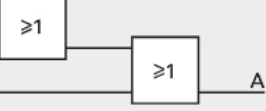

Logikplan		Wertetabelle			
E1		E3	E2	E1	A
E2		0	0	0	0
E3		0	0	1	1
		0	1	0	1
Kurzform		0	1	1	1
E1		1	0	0	1
E2		1	0	1	1
E3		1	1	0	1
		1	1	1	1
		1	1	1	1

Bild 2: ODER-Verknüpfung von 3 Eingangssignalen

■ NICHT-Verknüpfung

Die NICHT-Verknüpfung kehrt das Eingangssignal E1 um. Das Ausgangssignal A ist „1“, wenn das Eingangssignal E1 = 0 ist und umgekehrt (**Tabelle 1**). Die NICHT-Verknüpfung wird deshalb auch als NEGATION (Verneinung) bezeichnet. Sie kann z. B. durch ein 3/2-Wegeventil mit Durchgangs-Nullstellung oder durch ein Relais mit einem Öffnerkontakt verwirklicht werden.

Beispiel: Eine Meldeleuchte soll eingeschaltet werden, wenn eine elektrische Leitung bricht. Die NICHT-Funktion soll mithilfe eines Relais verwirklicht werden.

Lösung: **Stromlaufplan.** Wenn die Leitung im Strompfad 1 unterbrochen wird, fällt das Relais ab. Der Öffnerkontakt im Strompfad 2 schließt und schaltet die Meldeleuchte ein (**Bild 1**).

Die **NICHT-Funktion** kehrt Eingangssignale um. Aus einem „1“-Signal am Eingang wird ein „0“-Signal am Ausgang und aus einem „0“-Signal am Eingang ein „1“-Signal am Ausgang.

■ Verknüpfung mehrerer Grundfunktionen

Bei Steuerungen werden oft viele Grundfunktionen miteinander verknüpft. Die Verknüpfungen können auch hier durch Logikpläne und Wertetabellen übersichtlich dargestellt werden. Die Logikpläne können an Rechnern mit geeigneter Software erstellt und durch grafische Simulation getestet werden.

Beispiel: Bei der Sortierweiche (**Bild 1, Seite 483**) sollen die Verknüpfungen für folgende Betätigungen dargestellt werden:

- Schwenken auf Bahn 1, wenn ein langes Werkstück an den Sensoren vorbeiläuft (A1 = 1)
- Schwenken auf Bahn 2, wenn ein kurzes Werkstück vorbeiläuft (A2 = 1)

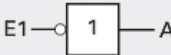
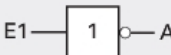
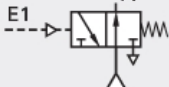
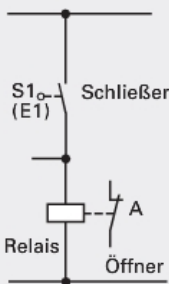
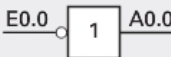
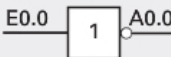
Lösung: Die Eingangssignale E1, E2 und E3 werden folgendermaßen verknüpft (**Bild 2**):

- E1 UND E2 UND E3 = A1
- $\bar{E1}$ UND E2 UND $\bar{E3}$ = A2

8.2.2.5 Schaltgeräte und Antriebselemente

Die Ausgangssignale der Steuerelemente werden an die Schaltgeräte ausgegeben. Dazu gehören die Ventile, die Zylinder steuern, und Relais sowie Schütze, die Elektromotoren zu- und abschalten. Die Antriebselemente („Aktoren“) wie Zylinder, Motoren, Heizgeräte, Bildschirme oder Drücker führen dann als letztes Glied der Steuerkette die von der Steuerung vorgegebenen Schritte aus.

Tabelle 1: NICHT-Verknüpfung

Schaltalgebra	Wertetabelle	Logikplan						
<p>Funktionsgleichung</p> <p>$\overline{E1} = A$</p> <p>E1 nicht ist gleich A</p> <p>oder</p> <p>$E1 = \overline{A}$</p> <p>E1 ist gleich nicht A</p>	<table><tr><th>E1</th><th>A</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	E1	A	0	1	1	0	<p></p> <p>oder</p> <p></p>
E1	A							
0	1							
1	0							
Pneumatischer Schaltplan	Relais-Schaltung	SPS-Funktionsplan						
<p>Wegeventil</p> <p></p>	<p></p>	<table><tr><th>Allgemein</th><th>SPS</th></tr><tr><td>E1</td><td>E0.0</td></tr><tr><td>A</td><td>A0.0</td></tr></table> <p></p> <p>oder</p> <p></p>	Allgemein	SPS	E1	E0.0	A	A0.0
Allgemein	SPS							
E1	E0.0							
A	A0.0							

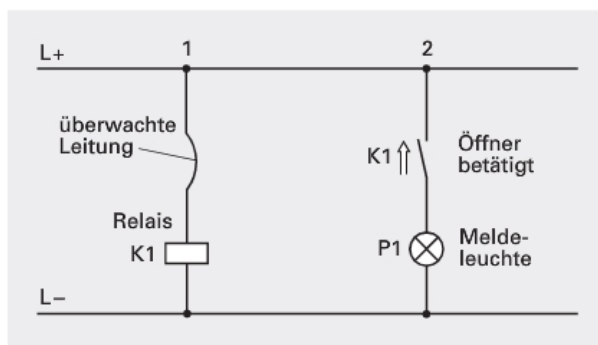


Bild 1: NICHT-Funktion bei der Überwachung einer elektrischen Leitung

Logikplan			Wertetabelle						
E3	E2	E1							
●			&	A1	E3	E2	E1	A1	A2
	●				0	0	0	0	0
		●	&	A2	0	0	1	0	0
●					0	1	0	0	1
	●				0	1	1	0	0
		●			1	0	0	0	0
●					1	0	1	0	0
	●				1	1	0	0	0
		●			1	1	1	1	0

Bild 2: Logikplan und Wertetabelle für die Steuerung der Sortierweiche