

## 2 Grundfunktionen der elektrischen Steuerungstechnik

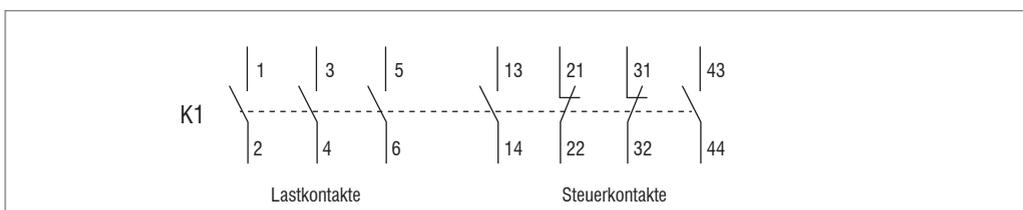
In diesem Kapitel geht es zunächst um grundlegende Begriffe und Komponenten der elektrischen Steuerungstechnik und um die Anwendung der logischen Grundverknüpfungen UND, ODER, NICHT in Schützsteuerungen sowie in programmierbaren Kleinststeuerungen. Auch die Funktionen NOR und EXOR werden in diesem Kapitel behandelt. Anhand praxisnaher Beispiele aus der elektrischen Steuerungs- und Antriebstechnik wird die binäre Signalverarbeitung mit den logischen Grundverknüpfungen erklärt. In den folgenden Beispielen werden grundsätzlich die Schützsteuerungen und vergleichend dazu die Projektierung mit der programmierbaren Kleinststeuerung „Siemens LOGO“ betrachtet. Anhand der folgenden praxisbezogenen Betrachtungen lassen sich auch die Begrifflichkeiten aus dem vorherigen Kapitel besser einordnen.

### 2.1 Die konventionelle Schützsteuerung

Eine Schützsteuerung in der elektrischen Steuerungstechnik besteht grundsätzlich aus einem Hauptstromkreis (auch Lastkreis oder Motorstromkreis genannt) und einem Steuerstromkreis. Im Mittelpunkt einer Schützsteuerung steht ein elektromagnetisch betätigter Fernschalter (Schütz), der über eine Spule mit Eisenkern und über Schaltkontakte verfügt. Wird die Schützspule an eine Steuerspannung gelegt, fließt ein Strom durch die Spule und die Schützspule wird elektromagnetisch wirksam, sodass aufgrund der resultierenden Kraftwirkung unterschiedliche Schaltkontakte – in Form von Schließern und Öffnern – betätigt werden. So besteht grundsätzlich eine galvanische Trennung zwischen dem Steuerstromkreis und dem Laststromkreis des Schützes.

In der elektrischen Steuerungstechnik ist grundlegend definiert, dass der Signalgeber „Schließer“ im unbetätigten Zustand offen ist; der Signalgeber „Öffner“ dagegen ist im unbetätigten Zustand geschlossen. Mit den Schützkontakten verhält es sich ebenso. Ist das Schütz angezogen (eingeschaltet), sind die Schließer geschlossen und die Öffner geöffnet; ist das Schütz abgefallen (ausgeschaltet), verhält es sich umgekehrt: Die Schließer sind offen und die Öffner geschlossen. Schützsteuerungen werden zeichnerisch grundsätzlich im stromlosen – also unbetätigten – Zustand dargestellt.

Die gestrichelte Linie durch alle Schaltkontakte des Schützes K1 (**Bild 2.1**) deutet die zeitgleiche Betätigung aller Kontakte beim „Anziehen“ und „Abfallen“ des Schützes an.

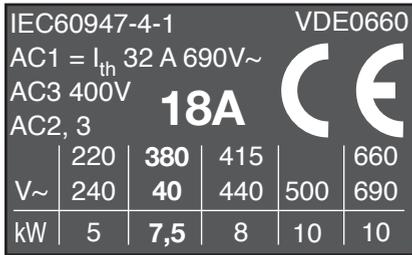


Quelle: B. Alferink

**Bild 2.1** Kontaktbelegung und -bezeichnungen eines Schützes

Die Lastkontakte 1-2, 3-4 und 5-6 sind grundsätzlich als Schließer ausgeführt und schalten die „Last“, also beispielweise einen Drehstrommotor oder auch eine größere Beleuchtungsanlage zumeist mit der Dreiphasenwechselspannung 400 V AC, 50 Hz (Alternating Current; Wechselstrom). Folglich müssen die Lastkontakte bezüglich ihres Schaltvermögens und ihrer Strombelastbarkeit höher ausgelegt sein als die Steuerkontakte. Ein Typenschild (**Bild 2.2**), das sich seitlich am Schützgehäuse befindet, gibt wichtige Informationen für die praktische Projektierung über den Anschluss, die Kontaktbelastung und über das Schaltverhalten des Bauteils.

Die Steuerkontakte eines Schützes arbeiten häufig mit der Spannung 24 V, liegen somit im Bereich der Funktionskleinspannung PELV (Protected Extra Low Voltage) (siehe Abschnitt 11.4) und schalten Signalströme im mA-Bereich.



IEC60947-4-1 VDE0660  
AC1 = I<sub>th</sub> 32 A 690V~  
AC3 400V  
AC2, 3  
**18A**  
CE

	220	<b>380</b>	415	660
V~	240	<b>40</b>	440	500
kW	5	<b>7,5</b>	8	10

Im Typenschild ist in fetter Schrift die höchste Kategorie AC3 des Schützes ausgewiesen. Es kann also Drehstrommotoren mit der Nennleistung  $P = 7,5$  kW ein- und ausschalten und an der Dreiphasenwechselspannung 400 V AC dauerhaft einen Strom von 18 A fließen lassen.

Quelle: SCHÜTZ24.com

**Bild 2.2** Typenschild eines Leistungsschützes

### 2.1.1 Ausführung von Schützen

In der elektrischen Steuerungstechnik werden Schütze zum Schalten von größeren oder auch sehr großen Lasten von bis zu 1.000 kW an einer Dreiphasenwechselspannung von 690 V AC verwendet, wobei die Ströme in diesem Bereich bei bis zu 1.200 A liegen.

Es gibt Schütze aber auch in der Ausführung als reines Steuerschütz. Dies ist häufig zum Einsatz eines Hilfsschützes erforderlich, das sich lediglich Schaltzustände der Steuerung merkt, aber keine Schaltfunktion im Hauptstromkreis übernimmt. In der speicherprogrammierbaren Steuerungstechnik werden diese physischen Hilfsschütze nicht benötigt, da diese „Merkfunktionen“ intern im Programm gebildet werden. Hilfsschütze sind von ihrer Kontaktbeschaffenheit nicht für den Einsatz zum Schalten von Lasten in Hauptstromkreisen geeignet.

Die Ziffern der Last- und Schaltkontakte eines Schützes sind in **Bild 2.3** erläutert.

Schütze unterscheiden sich auch von der Art der Belastung, die über die Lastkontakte geführt wird. So bedeutet die Angabe AC1 auf dem Typenschild des Schützes, dass nur ohmsche Lasten wie Heizwiderstände oder gering-induktive Belastung mit diesem Schütz geschaltet werden dürfen. Auch Ladesäulen in der E-Mobilität fallen in diese Kategorie.

Am häufigsten verwendet werden Schütze der Kategorie AC3, da diese von ihrer Kontaktbeschaffenheit induktive Lasten wie Drehstrommotoren ein- und ausschalten dürfen.

Soll der Drehstrommotor auch im Tippbetrieb betrieben werden, wie es bei Kransteuerungen üblich ist, muss ein Schütz der Kategorie AC4 gewählt werden. Diese AC4-Schütze



Quelle: Firma Siemens

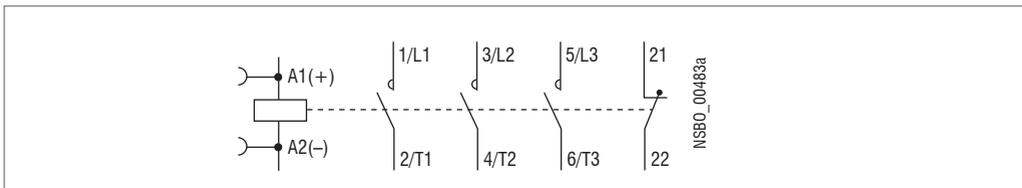
**Bild 2.3** Leistungsschütz AC3/400 V; 7,5 kW der Firma Siemens

sind sehr belastungsresistent, insbesondere beim Steuern von Drehstromasynchronmotoren mit Käfigläufer mit hohen Anzugsströmen, die im Lauf mit Gegenstrom gebremst werden. Auch in Wendeschützschaltungen mit direkter Umschaltung der Motordrehrichtung ist die Verwendung eines AC4-Schützes zu empfehlen.

Aufbau, Kontaktbelastbarkeit und Verwendungskategorien von Schützen entsprechen der Norm DIN EN IEC 60947-4-1 (Norm für Schütze und Motorstarter; VDE 0660).

### 2.1.2 Sicherheitstechnische Überwachung der Schaltfunktion eines Schützes

In elektrischen Steuerungsanlagen ist es aus sicherheitstechnischen Gründen häufig erforderlich, die Ausschaltfunktion eines Schützes zu überwachen. Dafür setzt man Leistungsschütze mit einem zusätzlichen Spiegelkontakt (mirror contact) ein, der meist als Hilfsöffnerkontakt des Schützes ausgeführt ist. In **Bild 2.4** ist rechts neben den drei Lastkontakten der Spiegelkontakt 21-22 als Öffner mit einem speziellen Symbol zu sehen.



Quelle: Firma Siemens

**Bild 2.4** Kontakte des Leistungsschützes SIRIUS 3RT (Siemens) mit einem Spiegelkontakt

Die Besonderheit dieses Spiegelkontakts liegt jetzt darin, dass der Hilfsöffnerkontakt 21-22 beim Abschalten des Schützes nicht wieder in Ruhelage schließt, sofern einer oder mehrere der Lastkontakte durch eine überlastungsbedingte Fehlfunktion des Schützes „kleben“ oder verschweißen und trotz Abschaltung der Stromfluss zum Verbraucher erhalten bleibt (Bild 11.11). Der Spiegelkontakt 21-22 bleibt dann trotz stromloser Spule geöffnet

und signalisiert somit den falschen und möglicherweise gefährlichen Schaltzustand des Schützes. Der Öffner 21-22 spiegelt quasi die Stellung der Lastkontakte. Der Schaltzustand des Spiegelkontakts kann in diesen Fällen ausgewertet und sicherheitstechnisch genutzt werden, beispielsweise durch Abschaltung der Spannungsversorgung (siehe Abschnitt 11.10)

Auf Basis der Norm IEC 60947-4-1 (VDE 0660) Anhang F müssen Leistungsschütze mit einem Spiegelkontakt ausdrücklich auf die Spiegelkontakteigenschaften geprüft und deklariert sein. Nur dann sind sie in der Praxis für Überwachungsfunktionen zulässig.

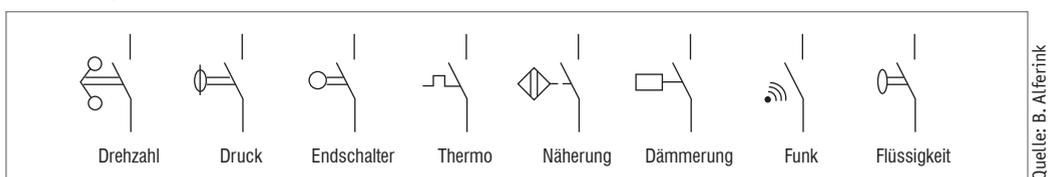
Darüber hinaus gibt es zur Überwachung von Schaltzuständen von Schützen auf Basis der Norm IEC 60947-5-1 (VDE 0660) Anhang L sogenannte „zwangsgeführte Kontakte“, die grundsätzlich als Hilfsschalter in der Kombination Öffner-Schließer ausgeführt sind. Konstruktiv ist sichergestellt, dass niemals beide Kontakte gleichzeitig den Signalzustand 1 führen können.

Ein Anwendungsbeispiel für ein Hilfsschütz mit „zwangsgeführten Kontakten“ ist die Überwachung der Energieversorgung eines Gebäudes während eines Ausfalls der Netzspannungsversorgung. Bei der Umschaltung von Netzbetrieb auf Notstromversorgung muss sichergestellt sein, dass die Notstromversorgung keinesfalls in das öffentliche Netz einspeist. Die zwangsgeführten Kontakte eines Hilfsschützes signalisieren, dass die Netzspannungsversorgung per Lastschütz 1 ausgeschaltet ist (zwangsgeführter Öffner) und die Notstromversorgung per Lastschütz 2 eingeschaltet ist (zwangsgeführter Schließer). Durch den konstruktiven Ausschluss des gleichen Signalzustands 1 der zwangsgeführten Kontakte ist sichergestellt, dass beide Lastschütze unterschiedliche Schaltzustände haben und keine Einspeisung von elektrischer Energie in eine unerwünschte Richtung erfolgt.

## 2.2 Befehls- und Meldegeräte in der Praxis

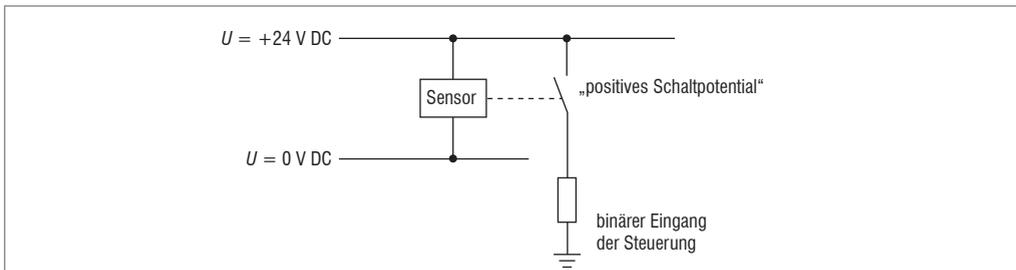
Im Folgenden ist eine Übersicht der Symbole der wichtigsten Sensoren der elektrischen Steuerungs- und Automatisierungstechnik dargestellt. All diese Sensoren liefern Signale in die Steuerung hinein, folglich werden sie in der Praxis auch als Befehlsgeräte bezeichnet. In den folgenden praxisnahen Schaltungsbeispielen (**Bild 2.5**) werden diese Sensoren mit ihren speziellen Symbolen besonders häufig verwendet.

Technisch-hochwertig ausgeführte Sensoren für die Anwendung in der Industrie haben meist einen oder mehrere digitale Schaltausgänge, die binäre Signale an die Steuerung zur weiteren Verarbeitung leiten. Darüber hinaus haben diese Sensoren auch häufig einen zusätzlichen analogen Ausgang, der sowohl mit der Spannung 0-10 V als auch mit dem Strom 4-20 mA gesteuert werden kann.



**Bild 2.5** Übersicht unterschiedlicher Sensoren

Die digitalen Schaltausgänge der Sensoren für den europäischen Markt sind üblicherweise in der PNP-Schaltechnologie ausgeführt. PNP bedeutet so viel wie „plusschaltend“, das bedeutet konkret, dass der PNP-ausgeführte Sensor positives Potential auf seinen Ausgang schaltet, da die digitale Eingangsbaugruppe der SPS auch ein positives Spannungssignal von +24 V erwartet. Die Schaltskizze in **Bild 2.6** verdeutlicht den Zusammenhang.



Quelle: B. Alferink

Bild 2.6 Spannungspotential PNP-Sensor

### 2.2.1 Handbetätigte Befehlsgeräte

Schalter und Taster in den Ausführungen als Öffner, Schließer oder Wechslerkontakt gehören natürlich auch zur Gruppe der Sensoren, da auch sie Informationen in die Steuerung hinein liefern. Sie gelten als Mensch-Maschine-Schnittstelle HMI (Human Machine Interface) einer elektrischen Steuerungsanlage. In **Bild 2.7** sind unterschiedliche Ausführungen dieser Sensoren zu sehen.

In den üblichen Ausführungen für die praktische Anwendung verfügen die Taster und Schalter über mindestens ein oder auch bis zu drei Kontaktelemente (auch Schaltelement genannt), die wahlweise als Öffner oder Schließer ausgeführt sein können und mit dem Tastendruck zeitgleich betätigt werden (**Bild 2.7** rechts).



Quelle: Firma Siemens

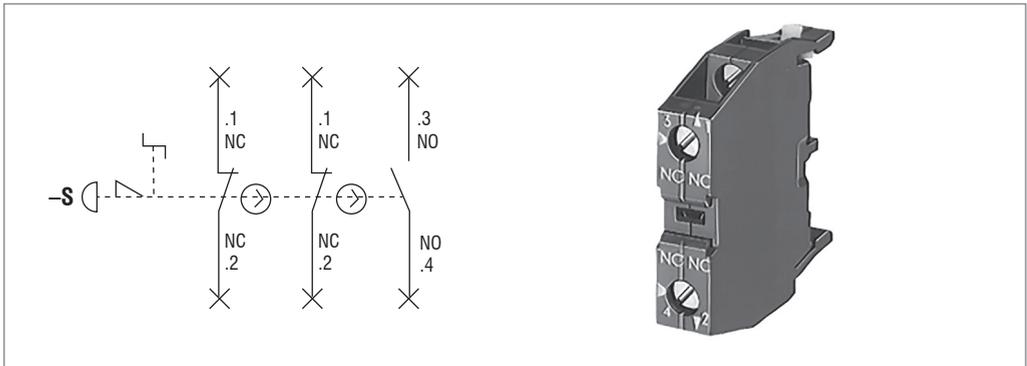
Bild 2.7 Befehls- und Meldegeräte der Reihe SIRIUS ACT der Firma Siemens

In **Bild 2.8** ist ein Befehlsgerät mit drei Kontaktelementen zu sehen. Die beiden Öffnerkontakte sind mit den Ziffern 1-2, der Schließerkontakt ist mit den Ziffern 3-4 (in **Bild 2.8** auch in der praktischen Ausführung dargestellt) bezeichnet. Das NC bei den Öffnern steht für „Normally closed“ und das NO beim Schließerkontakt steht für „Normally open“, was für den Signalzustand der Kontakte im unbetätigten Zustand steht.

Zu berücksichtigen ist, dass bei der Betätigung des Tasters auf mechanischem Wege immer zuerst der Öffner geöffnet wird, bevor der Schließer geschlossen ist (**Bild 2.9**).

Auch die Ausführung als Leuchtdrucktaster (**Bild 2.10**), einer Kombination aus Taster und Leuchtmelder, ist in der Praxis üblich.

In diesem Zusammenhang ist es für die praktische Projektierung wichtig, die entsprechenden Vorschriften für Schaltgeräte und Schaltgerätekombinationen zu kennen, die zur elektrischen Ausrüstung einer Maschine gehören. Dies ist insbesondere die DIN EN 60204-1 (Norm für die elektrische Ausrüstung von Maschinen und Maschinenanlagen; VDE 0113-1), auf deren praktische Anwendung und Auslegung in den folgenden Abschnitten noch eingegangen wird.



Quelle: Firma Siemens

**Bild 2.8** Befehlsgerät mit Drehbetätigung der Reihe SIRIUS ACT der Firma Siemens



Im Schaltwege-Diagramm ist zu erkennen, dass nach 1,6 mm Betätigungsweg der Öffner 21-22 vollständig geöffnet ist, bevor nach einer kurzen „Lücke“ nach etwa 2,2 mm der Schließer geschlossen ist.

Quelle: Firma Siemens

**Bild 2.9** Schaltwege eines Kontaktelements in der Ausführung Öffner-Schließer



Leuchtdrucktaster „rot“ mit Metallring für den Fronteinbau. Dahinter ist das Kontaktelement für die Befehlsgebung zu erkennen. Leuchtdrucktaster werden häufig mit unterschiedlichen Lichtszenarien projektiert. Dies könnte Dauerlicht für „Gefahr“ und blinkend für „akute Gefahr“ sein, sodass bei blinkendem Signalgeber sofort eingegriffen werden muss.

Quelle: Firma Siemens

**Bild 2.10** Leuchtdrucktaster der Produktserie SIRIUS der Firma Siemens

Eine weitere wichtige Vorschrift für den Bereich der Niederspannungsschaltgeräte ist die DIN EN IEC 61439-1 (Norm für Niederspannungsschaltgerätekombinationen; VDE 0660-600-1). In dieser Vorschrift geht es mit Schwerpunkt um einheitliche Anforderungen von Schaltgerätekombinationen bezüglich ihrer Belastbarkeit, Isolationseigenschaften und ihrer Betriebsbedingungen. Diese Vorgaben und Erkenntnisse sind bei der praktischen Projektierung von elektrischen Steuerungsanlagen von elementarer Bedeutung.

Sollte die Vorschrift DIN EN IEC 61439-1 (VDE 0660-600-1) bei der Planung einer elektrischen Steuerungsanlage in Detailfragen – beispielsweise bei der Auslegung von Sicherheitseinrichtungen – mit der Vorschrift DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) konkurrieren, so ist die DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) als die „führende“ Norm anzusehen.

### 2.2.2 Prozessgeführte Befehlsgeräte

Neben den handbetätigten Befehlsgeräten, die üblicherweise vom Menschen gewollt Signale in die Steuerung hinein liefern, gibt es auch verschiedene Befehlsgeräte, die auf mechanischem Wege aus dem Anlagenprozess heraus binäre Signale an die Steuerung übertragen. Klassisches Beispiel sind die sogenannten Positionsschalter (**Bild 2.11**), die bei einer bestimmten Position der Maschine oder auch bei Erreichen von Grenzlagen der Maschine schalten.

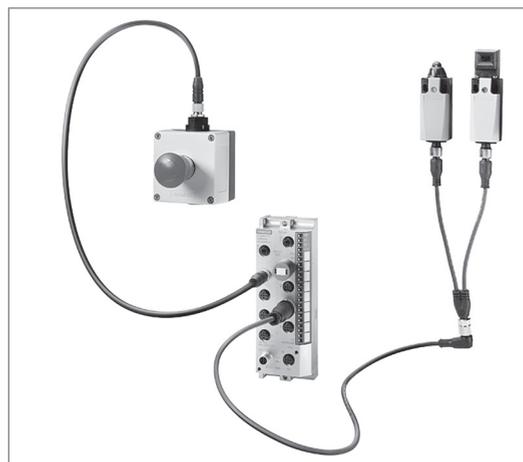
In der Praxis kommt es häufig vor, dass mehrere Befehlsgeräte in einer Baugruppe der dezentralen Peripherie zusammengefasst werden und über ein Bussystem mit einer SPS verbunden sind. In **Bild 2.12** ist mittig eine Anschaltbaugruppe vom Typ ET200eco der Firma Siemens dargestellt, die die Signale der einzelnen Befehlsgeräte aufnimmt und über die Datenbusverbindung an die SPS sendet.

Auf diese Weise senden der Not-Halt-Pilzdrucktaster (siehe Abschnitt 11.5) und die beiden Positionierschalter ihre binären Signale aus der „Peripherie“ gebündelt zur weiteren Verarbeitung zur SPS.



Quelle: Firma Siemens

**Bild 2.11** Mechanische Positionsschalter der Reihe SIRIUS 3SE5 der Firma Siemens



Quelle: Firma Siemens

**Bild 2.12** Anschluss der Anschaltbaugruppe ET 200eco der Firma Siemens