

### 9.4.2.2 Verwendung von erprobten Techniken und Bauteilen

Erprobte Techniken sind Methoden bei z. B. klassischen Hilfsschützsteuerungen, die schon in der Vergangenheit sicheres Funktionieren gewährleistet haben. Dabei haben sich über viele Jahre hinweg verschiedene Methoden aus Betriebserfahrungen entwickelt, wie z. B.:

- Erdung des Steuerstromkreises,
- Bestimmtes Stromversorgungskonzept in Abhängigkeit vom Steuerstromkreis,
- Stillsetzung durch Abschaltung,
- Abschaltkontakte auf beiden Seiten einer Schützspule,
- Verwendung von zwangsläufig öffnenden Kontakten,
- Kontaktüberwachung durch mechanisch gekoppelten Hilfskontakt,
- Kontaktüberwachung durch Spiegelkontakt,
- Verriegelungen von unzulässigen Schaltkombinationen.

### Dimensionierung

Die richtige Dimensionierung und Auswahl der elektrotechnischen Komponenten, in Abhängigkeit von ihren Einsatzbedingungen, ist die erste wichtige Aktion. Dabei spielen die zulässige Spannungshöhe und der max. zulässige Strom, der auftreten kann, eine große Rolle, um sicher zu einer verantwortlichen Vorgehensweise zu gelangen. Aber auch die Umwelt, die Häufigkeit der Nutzung und die max. mögliche Schaltspielzahl sind wichtige Kriterien, die bei der Auswahl eine Rolle spielen sollten.

Die Verwendung von für einen bestimmten Einsatzfall genormte Produkte erfüllt die Forderung nach erprobten Bauteilen. So sollte z. B. ein Not-Halt- bzw. Not-Aus-Befehlsgerät der Norm DIN EN 60947-5-5 (VDE 0660-210) [87] entsprechen.

### 9.4.2.3 Teilweise oder vollständige Ausführung

Redundanz ist das Vorsehen von mehr Steuer-/Regel- und/oder Antriebssträngen als zur Erfüllung einer Funktion benötigt werden. Letztlich wird jede noch so redundante Steuer- und Regelstrecke in ein gemeinsames Wirkungsglied (Schütz, Ventil, Motor usw.) einer Maschine einmünden. Wie weit man den redundanten Aufbau treibt, hängt von der Risikobeurteilung und der Fehlerbetrachtung ab, ferner, ob eine funktionsbeteiligte (online) oder eine nicht funktionsbeteiligte (offline) Redundanz gewählt wird.

### **Online-Redundanz**

Bei einer Online-Redundanz wird die betriebliche Steuerfunktion zweikanalig aufgebaut und diese beiden Kanäle werden kontinuierlich miteinander verglichen. Eine Divergenz der beiden Kanäle wird als Fehler in einem Kanal gewertet und leitet eine entsprechende Maßnahme ein.

### **Offline-Redundanz**

Bei einer Offline-Redundanz wird die ordnungsgemäße Funktion der Maschine überwacht („schlummernde“ Sicherheitssteuerung), wobei die Steuerung einkanalig aufgebaut sein kann. In ihrer einfachsten Form überwacht sie nur die Betriebsgrenzen und führt zu einer Abschaltung, die von der Betriebssteuerung unabhängig ist. Ein Fehler in einer „schlummernden“ Sicherheitssteuerung wird beim fehlerfreien Betrieb nicht erkannt. Es müssen deshalb Maßnahmen vorgesehen werden, um die Sicherheitssteuerung zu prüfen bzw. zu testen. Diese Anforderung kann z. B. mittels einer „wiederkehrenden Prüfung“ in einem vom Hersteller vorgegebenen Zeitraum oder durch eine Prüfung der Sicherheitsstromkreise vor jeder Benutzung der Maschine oder durch automatische Prüfzyklen während des Normalbetriebs erfüllt werden.

### **Zwei- oder mehrkanalige Redundanz**

Ob zwei- oder mehrkanalige Redundanz angewendet wird: Bei Ausfall eines Kanals muss mit dem verbleibenden Kanal die Sicherheitsaufgabe noch gelöst werden können. Ein erneuter Start setzt voraus, dass alle Kanäle wieder voll funktionsfähig sind. Das bedingt im Grundsatz rechtzeitiges Erkennen, dass ein Kanal ausgefallen ist, z. B. durch einen Vergleich der Ausgänge ausfallkritischer, redundanter Kanäle.

### **Ausfallverdächtige Bauteile**

In einem Steuersystem sind nicht alle Betriebsmittel gleich ausfallverdächtig. Bestimmte Fehler dürfen unter festgelegten Randbedingungen in der Fehlerbetrachtung ausgeschlossen werden. Andere Fehler können dagegen nicht ausgeschlossen werden. Das kann dann zu einer partiellen Redundanz führen.

### **Schützsicherheitskombination**

Bei den Aktoren werden z. B. bei kleinen Leistungen für die „sichere“ Abschaltung häufig Schützsicherheitskombinationen eingesetzt. Schützsicherheitskombinationen verfügen über zwei Schütze, deren Hauptstrombahnen in Reihe geschaltet sind. Eine Überwachung prüft beim Ein- oder Ausschalten beide Schütze auf gleiche Funktion. Fällt eines der beiden Schütze aus, kann die Kombination nicht mehr eingeschaltet werden.

Steuerungen, die DIN EN 62061 (**VDE 0113-50**) oder DIN EN ISO 13849-1 entsprechen, verfügen über eine automatische Fehlererkennung. Der geforderte Grad der Fehlererkennung ist abhängig vom zu realisierendem SIL bzw. PL.

#### **9.4.2.4 Diversitäre Ausführung**

Zufallsfehler können bei gleichen Bauelementen unter gleichen Randbedingungen (Spannungstoleranz, Temperatur, Feuchte, Vibration usw.) eher gleichzeitig auftreten, und damit den Wert der Redundanz infrage stellen, als bei Bauelementen unterschiedlicher Herkunft.

#### **Systemfehler ausschließen**

Ähnliches gilt auch für Systemfehler. Vor allem bei redundanten Anordnungen mit gewünschter hoher Zuverlässigkeit für die Erfüllung der Sicherheitsaufgabe sollte man in den redundanten Pfaden deshalb mit Komponenten aus unterschiedlicher Fertigung und/oder mit unterschiedlichen Steuerungsstrukturen arbeiten.

#### **Unterschiedliche Steuerungsstruktur**

Unterschiedliche Steuerungsstruktur bedeutet z. B.: einen Kanal nach dem Arbeitsstromprinzip und den zweiten Kanal nach dem Ruhestromprinzip aufzubauen bzw. bei elektronischen Steuerungen mit 1- bzw. 0-Signalen. Bei programmierbaren Steuerungen werden zur Programmierung von Betriebssteuerung und Sicherheitsfunktionen manchmal sogar unterschiedliche Programmierer eingesetzt.

#### **Unterschiedliche Hersteller**

Diversität kann auch durch die Verwendung unterschiedlicher Betriebsmitteltypen oder durch Betriebsmittel unterschiedlicher Hersteller erreicht werden. Bei Diversität durch unterschiedliche Hersteller ist jedoch Vorsicht geboten. Trotz unterschiedlichem Herstellerlogo kann es sich um dasselbe Produkt handeln, das von einem einzigen Hersteller produziert wurde (Brandlabeling), sodass keine Diversität gegeben ist.

#### **Unterschiedliche Medien**

Ein diversitärer Aufbau durch elektrotechnische und nicht elektrotechnische (z. B. hydraulische, pneumatische Betriebsmittel) Steuerungen ergibt sicher eine zuverlässige Redundanz. Doch ist dies nur in den Fällen sinnvoll, in denen bereits eine Mischung aus elektrischen und pneumatischen oder hydraulischen Systemen vorhanden ist.

### 9.4.2.5 Vorkehrungen für Funktionsprüfungen

Automatische Prüfungen haben den Vorteil, benutzerunabhängig abzulaufen, in einem Umfang und einer Häufigkeit wie vom Konstrukteur und Ausrüster vorgegeben. Der Benutzer erfährt nur das negative Prüfergebnis.

#### Keine Störung des Arbeitsprozesses

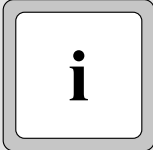
Solche Prüfläufe sollen den eigentlichen Arbeitsprozess nicht stören. Insofern ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich Häufigkeit und Umfang der Anwendung, vor allem in elektronischen Mess-, Steuer- und Regelausrüstungen.

#### Anlaufstestung

Eine weitere Art der Funktionsprüfung ist die Anlaufstestung, im Rahmen derer einem Prozess-Start immer eine Prüfhandlung vorausgehen muss. Für berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS), einschließlich Lichtvorhänge, siehe DIN EN 61496-1 (VDE 0113-201) [88].

#### Wiederkehrende Prüfung

Kann die elektrische Ausrüstung nicht automatisch geprüft werden, ist eine wiederkehrende Prüfung nach Angaben des Maschinenherstellers vorzunehmen.

	<b>Dokumentation gemäß Abschnitt 17 erstellen</b>
	Die Prüfmethode und die Information, wie oft eine Prüfung durchgeführt werden muss, sind in der Gebrauchsanleitung anzugeben.

#### Automatische Fehlererkennung

Verfügt die Steuerung über eine eigene automatische Fehlererkennung, so kann für diese Funktion auf eine wiederkehrende Prüfung verzichtet werden. Steuerungen entsprechend DIN EN 62061 (VDE 0113-50) und DIN EN ISO 13849-1 verfügen über eine automatische Fehlererkennung.

### 9.4.3 Schutz gegen Fehlfunktionen von Steuerstromkreisen

Der Schutz vor Fehlfunktionen kann bei klassischen Hilfsschützsteuerungen durch die richtige Auswahl in Verbindung mit Überwachungs- und Schutzmaßnahmen der Stromversorgung erhöht werden.

Kennwerte für Stromversorgungen von Steuerstromkreisen sind:

- Höhe der Spannung,
- Stromart,
- Erdung.

Die Auswahl der richtigen Kennwerte ist immer abhängig von der Nutzung im Zusammenhang mit dem Hauptstromkreis.

#### 9.4.3.1 Isolationsfehler

##### 9.4.3.1.1 Allgemeines

#### TN- oder TT-System?

Grundsätzlich wird die Erdung von Steuerstromkreisen nicht nach den Regeln der „Systeme nach Art ihrer Erdverbindung“ (TN-, IT-System) betrachtet. Der geerdete aktive Leiter der Sekundärseite eines Einphasentransformators bleibt bei einem Steuerstromkreis weiterhin ein aktiver Leiter, darum wird er nicht als Neutralleiter betrachtet und deshalb auch nicht so gekennzeichnet. Es gibt bei Hilfsstromkreisen nur die Varianten geerdete oder ungeerdete Steuerstromkreise.

#### Geerdete Steuerstromkreise

Bei der Erdung einer Steuerstromkreisversorgung sollte diese in der Nähe des Transformators vorgenommen werden und entsprechend gekennzeichnet werden. Es empfiehlt sich, die Erdung einmalig mittels eines lösbaren Verbindungselements vorzunehmen. So kann im Rahmen einer Fehlersuche bei einem Erdschluss die Erdverbindung einfach geöffnet werden. In ausgedehnten Anlagen kann es hilfreich sein, mehrere Abzweige, die unabhängig voneinander geerdet sind, aufzubauen. In solchen Fällen kann dann die jeweilige Erdverbindung unabhängig von anderen Steuerstromkreisen zu Messzwecken geöffnet werden.

## Ungeerdete Steuerstromkreise

Bei einer ungeerdeten Steuerstromkreisversorgung ist grundsätzlich eine Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) vorzusehen. Bei der Planung muss bewertet werden, ob ein Erdschluss im Hilfsstromkreis zu einer gefährlichen Fehlfunktion im Hauptstromkreis führen kann. In solchen Fällen muss natürlich eine Person das Signal der Isolationsüberwachungseinrichtung registrieren können und entsprechende Maßnahmen ergreifen. Damit sind ungeerdete Hilfsstromkreise nur in überwachten Anlagen sinnvoll. Würde mit dem Signal der Isolationsüberwachungseinrichtung die Anlage automatisch abgeschaltet, sollte man eigentlich eine geerdete Hilfsstromversorgung vorziehen. Ungeerdete Hilfsstromversorgungen sollten nur dort vorgesehen werden, wo im Erdschlussfall noch eine Funktion kontrolliert zu Ende geführt werden muss, bevor (durch eine Person) abgeschaltet wird.

In der Regel sind Sekundärstromkreise von Hilfsstromkreisen einphasige Wechsel- oder Gleichstromkreise. Beide Leiter sind entsprechend DIN VDE 0100-100, Abschnitt 312.1 stromführend. Wird einer der Leiter des Sekundärstromkreises geerdet, dann wird dieser Leiter nicht automatisch zu einem Neutralleiter und die Isolation des Leiters wird auch nicht blau gekennzeichnet.

In einem ungeerdeten Hauptstromkreis (IT-System) führt ein zweiter Fehler im selben aktiven Leiter nicht zu einer Fehlfunktion oder elektrischen Gefährdung. Ein zweiter Erdfehler in einem anderen aktiven Leiter muss mittels einer Überstromschutzeinrichtung innerhalb der relevanten Zeit (spannungsabhängig) automatisch abgeschaltet werden.

In einem ungeerdeten Hilfsstromkreis hingegen kann ein zweiter Erdfehler im selben aktiven Leiter, z. B. innerhalb der Steuerung, unbemerkt von der Überstromschutzeinrichtung zu einer Fehlfunktion führen. Ein zweiter Erdfehler in einem anderen aktiven Leiter muss mittels einer Überstromschutzeinrichtung innerhalb der relevanten Zeit abgeschaltet werden.

Bei der Auswahl der Stromversorgungsmethode muss eine mögliche Fehlfunktion durch einen Erdschluss im Steuerstromkreis im Vordergrund stehen. DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) enthält eine Vielzahl von Stromversorgungsmethoden.

## Zusammenfassung der Vor- und Nachteile verschiedener Stromversorgungskonzepte

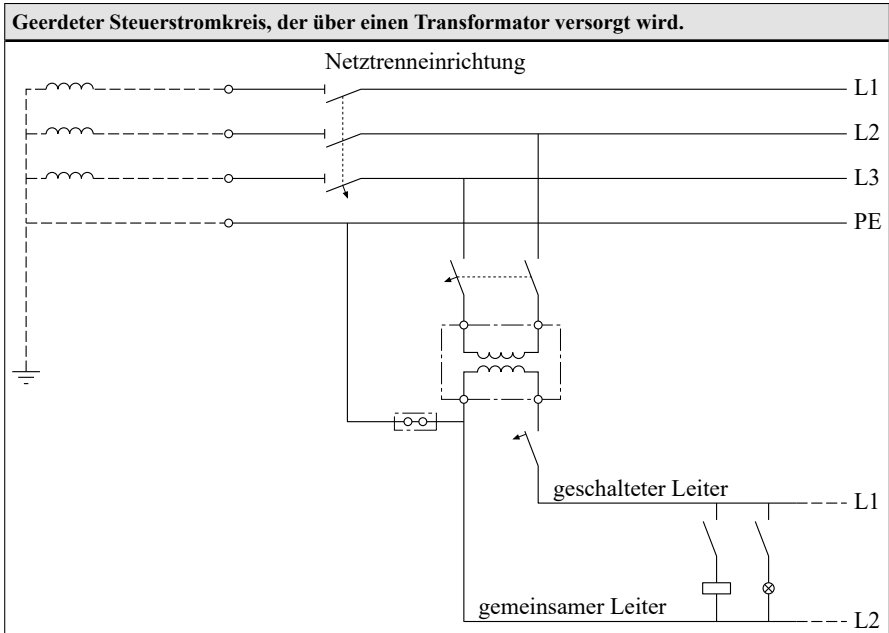
DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1):2019-06, Abschnitt 9.4.3 enthält verschiedene Möglichkeiten von Stromversorgungen für Steuerstromkreise für elektrische Ausrüstungen von Maschinen. Je nach Anwendungsfall kann zwischen unterschiedlichen Stromversorgungskonzepten ausgewählt werden.

Die Methoden, die unter d) aufgeführt sind, können nur begrenzt angewendet werden und sind nicht zu empfehlen. Die in der Norm dargestellten Varianten (der direkten Versorgung des Steuerstromkreises vom Hauptstromkreis) sind wohl nur zur Vervollständigung der Möglichkeiten aufgenommen worden und dürfen sowieso nur bei kleinen Steuerungen, z. B. ein Motorstarter und/oder maximal zwei Steuergeräte vorgesehen werden. Folgende Methoden Stromversorgungskonzepte sind möglich:

- Methode a):** Geerdeter Steuerstromkreis, der über einen Transformator versorgt wird.
- Methode b1):** Ungeerdeter Steuerstromkreis, der über einen Transformator versorgt wird.
- Methode b2):** Ungeerdeter Steuerstromkreis, der über einen Transformator versorgt wird, mit einer Isolationsüberwachung (IMD), die automatisch abschaltet.
- Methode b3):** Ungeerdeter Steuerstromkreis, der über einen Transformator versorgt wird, mit Isolationsüberwachung (IMD), die eine Warnung auslöst.
- Methode c):** Steuerstromkreis, der über einen Transformator mit geerdeter Mittelanzapfung versorgt wird.
- Methode d1a):** Steuerstromkreis, der direkt vom Hauptstromkreis von einem aktiven Leiter und dem Neutralleiter versorgt wird.
- Methode d1b):** Steuerstromkreis, der direkt vom Hauptstromkreis von zwei aktiven Leitern versorgt wird.
- Methode d2a):** Steuerstromkreis, der direkt vom Hauptstromkreis, der als IT-System errichtet ist, von einem aktiven Leiter und dem Neutralleiter versorgt wird, mit einer Isolationsüberwachung (IMD), die bei einem Isolationsfehler den Steuerstromkreis automatisch abschaltet.
- Methode d2b):** Steuerstromkreis, der direkt vom Hauptstromkreis, der als IT-System errichtet ist, von zwei aktiven Leitern versorgt wird, mit einer Isolationsüberwachung (IMD), die bei einem Isolationsfehler den Steuerstromkreis automatisch abschaltet.

Nachstehend die Details, die bei der Festlegung der Methode für die Steuerstromkreisversorgung beachtet werden müssen. Die auszuwählende Methode ist abhängig vom Aufbau der elektrischen Ausrüstung und von den Anforderungen an die Steuerung.

**Methode a)**



**Konzept:**  
 Mithilfe eines Einphasentransformators wird die Steuerung vom Hauptstromkreis versorgt. Der Überstromschutz erfolgt durch eine einpolige Überstromschutzeinrichtung im geschalteten Leiter. Der gemeinsame Leiter wird mit dem Schutzleitersystem verbunden. Für Messzwecke (Isolationsfehlersuche) ist eine Trennstelle zwischen der Schutzleiterverbindung und dem gemeinsamen Leiter in der Nähe des Transformators vorzusehen. Der Transformator kann an zwei Außenleiter oder an einem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen werden. Der Anschluss an zwei Außenleitern ist die bevorzugte Methode.

**Vorteile:**  
 Bei einem Erdschluss auf der Seite des geschalteten Leiters erfolgt automatisch eine Abschaltung der Stromversorgung. Die Überstromschutzeinrichtung kann bei einer Steuerspannung von größer als AC 50 V auch den Schutz gegen elektrischen Schlag übernehmen.

**Nachteile:**  
 Bei einem Isolationsfehler im Steuerstromkreis wird die Steuerung automatisch ohne Vorwarnung abgeschaltet. In einem solchen Fall steht die Maschine nicht mehr zur Verfügung.

**Empfehlungen:**  
 Bei Steuerungen, die mit Hilfsschützen aufgebaut sind, ist diese Art der Stromversorgung die einfachste Lösung.



## Methode b1)

Ungeerdeter Steuerstromkreis, der über einen Transformator versorgt wird.	
<b>Konzept:</b>	<p>Mithilfe eines Einphasentransformators wird die Steuerung vom Hauptstromkreis versorgt. Der Überstromschutz erfolgt durch eine einpolige Überstromschutzeinrichtung im geschalteten Leiter. Der Transformator kann an zwei Außenleiter oder an einem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen werden. Der Anschluss des Transformators an zwei Außenleitern ist die bevorzugte Methode.</p> <p>Alle Aktoren werden an beiden Anschlüssen über parallel gesteuerte Kontakt angesteuert.</p>
<b>Vorteile:</b>	<p>Doppelerdschlüsse innerhalb der Steuerung können nicht zu einer Fehlfunktion führen. Durch parallel schaltende Kontakte, sowohl im geschalteten Leiter als auch im gemeinsamen Leiter (der in diesem Fall auch ein geschalteter Leiter ist) ist die Steuerung völlig immun gegen Fehlfunktionen durch Erdschlüsse im Steuerstromkreis.</p>
<b>Nachteile:</b>	<p>Ein Erdschluss wird nicht erkannt. Bei komplexen oder umfangreichen Steuerungen nicht realisierbar.</p>
<b>Empfehlungen:</b>	<p>Nur für Steuerungen zu empfehlen, bei denen der Schutz gegen Fehlfunktionen im Erdschlussfall bedeutsam im Vordergrund steht. Keine übliche Methode.</p>

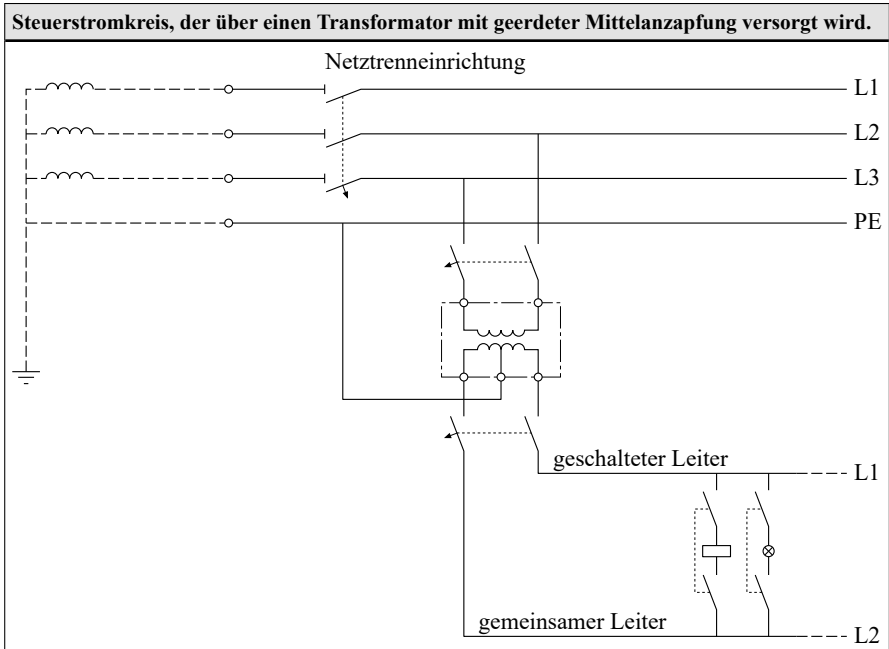
**Methode b2)**

Ungeerdeter Steuerstromkreis, der über einen Transformator versorgt wird, mit einer Isolationsüberwachung (IMD), die automatisch abschaltet.	
<p><b>Konzept:</b>  Mithilfe eines Einphasentransformators wird die Steuerung vom Hauptstromkreis versorgt. Der Überstromschutz erfolgt durch eine einpolige Überstromschutzeinrichtung im geschalteten Leiter. Der Transformator kann an zwei Außenleiter oder an einem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen werden. Der Anschluss des Transformators an zwei Außenleitern ist die bevorzugte Methode. Eine Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) überwacht die Isolation des ungeerdeten Steuerstromkreises und schaltet die Stromversorgung bei Unterschreitung des eingestellten Isolationswiderstands automatisch ab.</p>	
<p><b>Vorteile:</b>  Bereits bei geringen Fehlerströmen wird die Steuerung automatisch abgeschaltet werden. Fehlfunktionen durch Erdschlüsse werden verhindert.</p>	
<p><b>Nachteile:</b>  Die Steuerung wird bereits bei geringen Fehlerströmen abgeschaltet. Die Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) schaltet ohne Vorwarnung bei Unterschreitung des Isolationswiderstands ab. Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMD) sind als Schutzeinrichtung nur dann geeignet, wenn sie für den benötigten Safety Integrity Level (SIL x) zertifiziert sind.</p>	
<p><b>Empfehlungen:</b>  Nur für Steuerungen zu empfehlen, bei denen der Schutz gegen Fehlfunktionen im Erdschlussfall bedeutsam im Vordergrund steht. Keine übliche Methode.</p>	

## Methode b3)

<b>Ungeerdeter Steuerstromkreis, der über einen Transformator versorgt wird, mit Isolationsüberwachung (IMD) die eine Warnung auslöst.</b>
<p><b>Konzept:</b>  Mithilfe eines Einphasentransformators wird die Steuerung vom Hauptstromkreis versorgt. Der Überstromschutz erfolgt durch eine einpolige Überstromschutzeinrichtung im geschalteten Leiter. Der Transformator kann an zwei Außenleiter oder an einem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen werden. Der Anschluss an zwei Außenleitern ist die bevorzugte Methode. Eine Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) überwacht die Isolation des ungeerdeten Steuerstromkreises und löst bei Unterschreitung automatisch eine akustische und optische Warnung aus.</p>
<p><b>Vorteile:</b>  Bereits bei geringen Fehlerströmen im Steuerstromkreis wird ein Unterschreiten des Isolationswiderstands gemeldet. Die Bedienperson wird automatisch vor Fehlfunktionen gewarnt und kann darauf reagieren. Trotz eines Isolationsfehlers im Steuerstromkreis ist die Maschine weiterhin betriebsfähig.</p>
<p><b>Nachteile:</b>  Die Steuerung wird bei Fehlerströmen nicht automatisch abgeschaltet. Die Maschine kann bei einem Isolationsfehler Fehlfunktionen ausführen. Das Bedienpersonal muss auf die Warnung reagieren.</p>
<p><b>Empfehlungen:</b>  Für Maschinen, die von einer Person bedient werden und bei denen es wichtig ist, frühzeitig informiert zu werden, dass mit einer Fehlfunktion der Maschine wegen eines Isolationsfehlers zu rechnen ist. Die Verfügbarkeit der Maschine ist höher als bei der Methode b2), da die Steuerstromkreisversorgung nicht automatisch abgeschaltet wird.</p>

**Methode c)**



**Konzept:**

Mithilfe eines Einphasentransformators, der an einer Mittelanzapfung geerdet ist, wird die Steuerung vom Hauptstromkreis versorgt.

Der Überstromschutz erfolgt durch eine zweipolige Überstromschutzeinrichtung.

Der Transformator kann an zwei Außenleiter oder an einem Außenleiter und dem Neutralleiter angeschlossen werden. Der Anschluss an zwei Außenleitern ist die bevorzugte Methode.

Alle Aktoren werden an beiden Anschlüssen über parallel gesteuerte Kontakt angesteuert.

**Vorteile:**

Die Berührungsspannung im Fehlerfall ist nur halb so hoch wie die Versorgungsspannung des Steuerstromkreises.

Doppelerdschlüsse innerhalb der Steuerung können nicht zu einer Fehlfunktion führen.

Durch parallel schaltende Kontakte, sowohl im geschalteten Leiter als auch im gemeinsamen Leiter (der in diesem Fall auch ein geschalteter Leiter ist) ist die Steuerung völlig immun gegen Fehlfunktionen durch Erdschlüsse im Steuerstromkreis.

Bei einer Versorgungsspannung im Steuerstromkreis von kleiner als AC 100 V ist die Berührungsspannung im Fehlerfall kleiner als AC 50 V. In diesem Fall ist ein Schutz gegen elektrischen Schlag nicht erforderlich.

**Nachteile:**

Spezieller Transformator erforderlich. Bei komplexen oder umfangreichen Steuerungen nicht realisierbar.

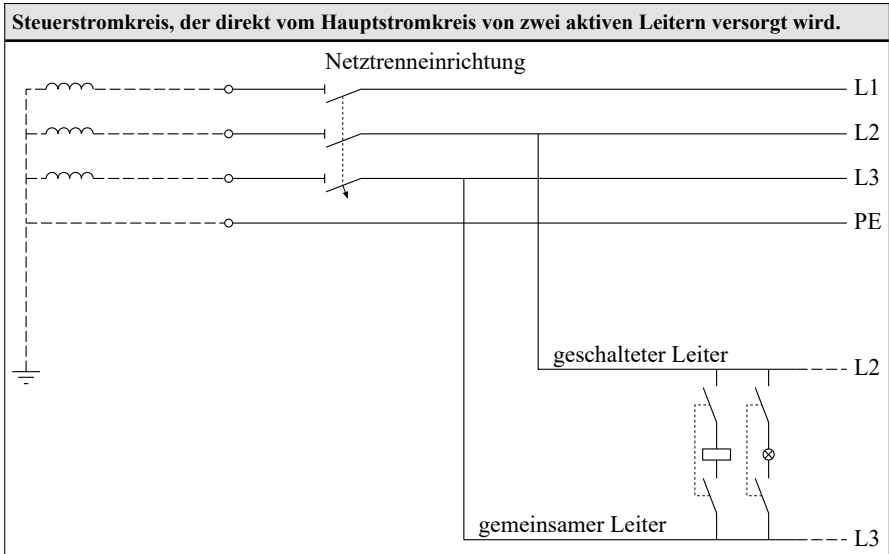
**Empfehlungen:**

Für Maschinen, die für den US-amerikanischen Markt vorgesehen sind.

**Methode d1a)**

<b>Steuerstromkreis, der direkt vom Hauptstromkreis von einem aktiven Leiter und dem Neutralleiter versorgt wird.</b>	
<b>Konzept:</b>	<p>Der Steuerstromkreis wird direkt vom Hauptstromkreis von einem Außenleiter und dem Neutralleiter versorgt.</p> <p>Die Überstromschutzeinrichtung des Hauptstromkreises übernimmt auch den Überstromschutz des Steuerstromkreises.</p>
<b>Vorteile:</b>	<p>Kein Transformator für den Steuerstromkreis erforderlich.</p> <p>Keine eigene Überstromschutzeinrichtung für den Steuerstromkreis erforderlich.</p>
<b>Nachteile:</b>	<p>Nur für Steuerungen mit max. zwei Steuergeräten erlaubt.</p> <p>Leitungen und Kontakte des Steuerstromkreises müssen entsprechend der Überstromschutzeinrichtung im Hauptstromkreis ausgelegt werden.</p> <p>Keine galvanische Trennung zwischen dem Haupt- und Steuerstromkreis.</p> <p>Die Stromversorgung der Maschine muss den Neutralleiter enthalten.</p>
<b>Empfehlungen:</b>	<p>Für Maschinen mit einer einfachen Steuerung für eine Ein-/Aus- oder Umschaltung, z. B. bei steckerfertigen Maschinen.</p>

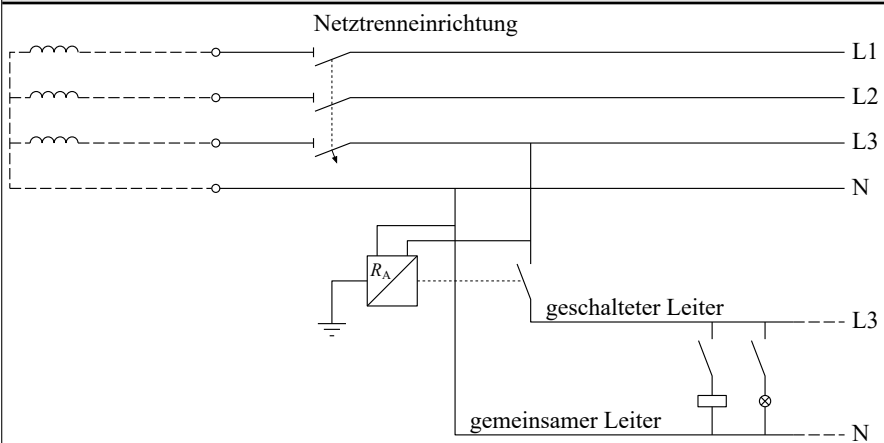
**Methode d1b)**



<p><b>Konzept:</b>                  Der Steuerstromkreis wird direkt vom Hauptstromkreis von zwei Außenleitern versorgt.                  Die Überstromschutzeinrichtung übernimmt auch den Überstromschutz des Steuerstromkreises.</p>
<p><b>Vorteile:</b>                  Kein eigener Transformator für den Steuerstromkreis erforderlich.                  Keine eigene Überstromschutzeinrichtung für den Steuerstromkreis erforderlich.                  Versorgung des Steuerstromkreises auch bei nicht vorhandenem Neutralleiter möglich.                  Aufgrund parallel schaltender Kontakte, sowohl im geschalteten Leiter als auch im gemeinsamen Leiter (der in diesem Fall auch ein geschalteter Leiter ist), ist die Steuerung völlig immun gegen Fehlfunktionen durch Erdschlüsse im Steuerstromkreis.</p>
<p><b>Nachteile:</b>                  Nur für Steuerungen mit max. zwei Steuergeräten erlaubt.                  Leitungen und Kontakte des Steuerstromkreises müssen entsprechend der Überstromschutzeinrichtung im Hauptstromkreis ausgelegt werden.                  Keine galvanische Trennung zwischen dem Haupt- und Steuerstromkreis.                  Die verkettete Spannung <math>U = U_0 \cdot \sqrt{3}</math> des Hauptstromkreises wird durch die max. zulässige Steuerungsspannung von kleiner gleich AC 230 V/50 Hz bzw. AC 277 V/60 Hz begrenzt.                  Bei komplexen oder umfangreichen Steuerungen nicht realisierbar.</p>
<p><b>Empfehlungen:</b>                  Für Maschinen mit einer Steuerung für eine Ein-/Aus- oder Umschaltung, die über keinen Neutralleiteranschluss verfügen, z. B. bei steckerfertigen Maschinen.                  Wegen der Begrenzung der Versorgungsspannung des Hauptstromkreises ist die Anwendung nur selten anwendbar.</p>

## Methode d2a)

**Steuerstromkreis, der direkt vom Hauptstromkreis, der als IT-System errichtet ist, von einem Außenleiter und dem Neutralleiter versorgt wird, mit einer Isolationsüberwachung (IMD), die bei einem Isolationsfehler den Steuerstromkreis automatisch abschaltet.**

**Konzept:**

Der Hauptstromkreis wird ungeerdert betrieben (IT-System).

Der Steuerstromkreis wird direkt vom Hauptstromkreis von einem Außenleiter und dem Neutralleiter versorgt.

Die Überstromschutzeinrichtung des Hauptstromkreises übernimmt auch den Überstromschutz des Steuerstromkreises.

Eine Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) überwacht sowohl den Hauptstromkreis als auch den Steuerstromkreis.

Bei einem Isolationsfehler wird die Stromversorgung des Steuerstromkreises abgeschaltet.

**Vorteile:**

Kein Transformator für den Steuerstromkreis erforderlich.

Keine eigene Überstromschutzeinrichtung für den Steuerstromkreis erforderlich.

**Nachteile:**

Nur für Steuerungen mit max. zwei Steuergeräten erlaubt.

Ein Isolationsfehler im Haupt- oder Steuerstromkreis führt zur Abschaltung der Maschine.

Leitungen und Kontakte des Steuerstromkreises müssen entsprechend der Überstromschutzeinrichtung im Hauptstromkreis ausgelegt werden.

Keine galvanische Trennung zwischen dem Haupt- und Steuerstromkreis.

Ein Isolationsfehler im Haupt- oder Steuerstromkreis schaltet die Steuerung automatisch ab.

Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMD) sind als Schutzeinrichtung nur dann geeignet, wenn sie für den benötigten Safety Integrity Level (SIL x) zertifiziert sind.

Die Stromversorgung der Maschine muss den Neutralleiter enthalten.

**Empfehlungen:**

Für Maschinen mit einer Steuerung für eine Ein-/Aus- oder Umschaltung, z. B. bei steckerfertigen Maschinen.

Für Maschinen, die von einem IT-System mit Neutralleiter versorgt werden und bereits ein kleiner Isolationsfehler zu einer Abschaltung führen muss.

Anwendung sehr selten.

**Methode d2b)**

<p><b>Steuerstromkreis, der direkt vom Hauptstromkreis, der als IT-System errichtet ist, von zwei Außenleitern versorgt wird, mit einer Isolationsüberwachung (IMD), die bei einem Isolationsfehler den Steuerstromkreis automatisch abschaltet.</b></p>	
<p><b>Konzept:</b>                  Der Hauptstromkreis wird ungeerdet betrieben (IT-System).                  Der Steuerstromkreis wird direkt vom Hauptstromkreis von zwei Außenleiter versorgt.                  Die Überschutzzeineinrichtung des Hauptstromkreises übernimmt auch den Überschutz des Steuerstromkreises.                  Eine Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD) überwacht sowohl den Hauptstromkreis als auch den Steuerstromkreis.                  Bei einem Isolationsfehler wird die Stromversorgung des Steuerstromkreises abgeschaltet.                  (Eigentlich müssten beide Außenleiter abgeschaltet werden.)</p>	
<p><b>Vorteile:</b>                  Kein eigener Transformator für den Steuerstromkreis erforderlich.                  Keine eigene Überschutzzeineinrichtung für den Steuerstromkreis erforderlich.                  Versorgung des Steuerstromkreises auch bei nicht vorhandenem Neutralleiter möglich.</p>	
<p><b>Nachteile:</b>                  Nur für Steuerungen mit max. zwei Steuergeräten erlaubt.                  Leitungen und Kontakte des Steuerstromkreises müssen entsprechend der Überschutzzeineinrichtung im Hauptstromkreis ausgelegt werden.                  Keine galvanische Trennung zwischen dem Haupt- und Steuerstromkreis.                  Ein Isolationsfehler im Haupt- oder Steuerstromkreis schaltet die Steuerung automatisch ab.                  Verkettete Spannung wird als Steuerspannung verwendet.                  Die verkettete Spannung <math>U = U_0 \cdot \sqrt{3}</math> des Hauptstromkreises wird durch die max. zulässige Steuerspannung von kleiner gleich AC 230 V/50 Hz bzw. AC 277 V/60 Hz begrenzt.                  Isolationsüberwachungseinrichtungen (IMD) sind als Schutzzeineinrichtung nur dann geeignet, wenn sie für den benötigten Safety Integrity Level (SIL x) zertifiziert sind.</p>	
<p><b>Empfehlungen:</b>                  Für Maschinen mit einer Steuerung für eine Ein-/Aus- oder Umschaltung, z. B. bei steckerfertigen Maschinen.                  Für Maschinen, die von einem IT-System ohne Neutralleiter versorgt werden und bereits ein kleiner Isolationsfehler zu einer Abschaltung führen muss.                  Anwendung sehr selten.</p>	



### 9.4.3.2 Spannungsunterbrechungen

Beim Einsatz von elektronischen freiprogrammierbaren Steuerungen darf eine Spannungsunterbrechung der Stromversorgung bezüglich der Steuerung nicht zum Verlust des Steuerprogramms führen. Dies bedeutet, dass das Anwenderprogramm auf einem nicht flüchtigen Speichermedium (z. B. EPROM) abgelegt sein muss, oder die elektronische freiprogrammierbare Steuerung muss über eine eigene Pufferbatterie verfügen, die auch bei langen Abschaltungen der Stromversorgung einer Maschine die Erhaltung des Anwenderprogramms auf einem flüchtigen Speicher gewährleistet.

Die Anforderungen aus Abschnitt 7.5, in dem das Verhalten der Maschine bei Unterbrechung der Stromversorgung, Spannungseinbrüchen und Spannungswiederkehr festgelegt ist, gelten auch für den Betrieb mit elektronischen freiprogrammierbaren Steuerungen.

### 9.4.3.3 Verlust der Durchgängigkeit eines Stromkreises

Signale von Steuerungen oder Sensoren müssen manchmal auch über Schleifleitungen oder Schleifringe zu beweglichen Teilen einer Maschine geführt werden. Dies kann z. B. bei rotierenden Maschinenteilen der Fall sein. In solchen Fällen wird für sicherheitsrelevante Signale die Verdopplung der Schleifkontakte empfohlen.

Elektronische Steuerungen, die entsprechend DIN EN 62061 (**VDE 0113-50**) oder DIN EN ISO 13849-1 hergestellt und zertifiziert sind, können den Verlust einer Verbindung von Signalgebern erkennen und abschalten.