

Praxis



Sicherheitsgerechtes Konstruieren von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen

Elektrische Ausrüstung und Steuerungen

Inhalt

Begriffe und Definitionen	2		
1 Farbliche Kennzeichnung	6		
1.1 Schalter	7		
1.2 Drucktaster	7		
1.3 Anzeigeleuchten und Anzeigen auf Bildschirmen	9		
1.4 Folientastaturen	10		
1.5 Sensorbildschirme – Touchscreen	10		
1.6 Leitungen	11		
1.7 Ergänzende Mittel zur Farbkennzeichnung	13		
2 Anordnung von Bauteilen und Bedienteilen	14		
2.1 Hauptschalter	15		
2.2 Handlungen im Notfall (Not-Halt, Not-Aus)	15		
2.3 Drucktaster und Anzeigeleuchten	16		
2.4 Tipptaster	17		
3 Elektrische Ausrüstung	18		
3.1 Einspeisung und Netztrenneinrichtungen	19		
3.1.1 Netzanschluss	19		
3.1.2 Netztrenneinrichtung (Hauptschalter)	20		
3.2 Einrichtungen zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf	24		
3.3 Steuerstromkreise und Steuerfunktionen	25		
3.3.1 Steuerstromkreise	25		
3.3.2 Stopp-Funktionen	27		
3.3.3 Not-Halt-Einrichtung	28		
3.4 Schutzmaßnahmen	33		
3.4.1 Schutz gegen elektrischen Schlag	33		
3.4.2 Schutzarten	37		
4 Anforderungen an die Sensorik	38		
4.1 Zweihandschaltungen	39		
4.2 Lichtschranken	42		
4.3 Schalmatten und Schaltplatten	49		
5 Steuerungen	54		
5.1 Anforderungen an die Sicherheit von Steuerungen	55		
5.1.1 Maschinen ohne betriebsmäßig regel- mäßigen Zugriff auf die Gefahrenstelle	56		
5.1.2 Maschinen mit betriebsmäßig regel- mäßigem Zugriff auf die Gefahrenstelle	56		
5.2 Bestimmung des Performance Level PL	57		
5.2.1 Sicherheitsfunktionen ermitteln	57		
5.2.2 Erforderlichen Performance Level PL_r bestimmen	57		
		5.2.3 Sicherheitsbezogenes Blockdiagramm erstellen und die Struktur ermitteln	58
		5.2.4 MTTF _D -Werte ermitteln	63
		5.2.5 Diagnosedeckungsgrad bestimmen	67
		5.2.6 Abschätzung von Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache	68
		5.2.7 Bestimmung der PFH-Werte und Abschätzung des PL	69
		5.2.8 Vergleich des erforderlichen Performance Level PL_r mit dem Performance Level PL	71
		5.3 Realisierung von Sicherheitsfunktionen unter Verwendung einer Funktions-SPS und einer Überwachungs-SPS	72
		5.3.1 Beschreibung des Steuerungssystems	72
		5.3.1.1 Spezifikation der Sicherheits- funktionen SF1 bis SF4	74
		5.3.1.2 Bestimmung der Performance Level PL für SF1 bis SF4	76
		5.3.1.3 Abschließende Beurteilung	80
		5.4 Sicherheitsbussysteme an Maschinen und Anlagen	81
		5.4.1 Übertragungsfehler von Bussystemen	83
		5.4.2 Maßnahmen gegen Übertragungsfehler	84
		5.5 Maßnahmen zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs	86
		5.5.1 Geöffnete, elektrisch verriegelte Schutzeinrichtung	86
		5.5.2 Anlaufwarneinrichtung	91
		5.5.3 Gegenseitige Verriegelung der nicht einsehbaren Bereiche	92
		5.5.4 Sichere Verarbeitung der Tipp- Befehlsgebung	93
		5.5.5 Geber zur Lage- und Geschwindig- keitserfassung	94
		5.5.6 Fehlervermeidende und fehler- beherrschende Maßnahmen	95
		5.5.7 Maßnahmen zur Verhinderung eines unerwarteten Anlaufs bei Erdschluss	95
		5.5.8 Maßnahmen zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit	95
		5.6 Steuerungsbeispiele	96
		5.6.1 Einkanalige Steuerung	96
		5.6.1.1 Elektromechanische Steuerung	96
		5.6.1.2 Elektronische Steuerung	97

5.6.2	Zweikanalige Steuerung	99
5.6.2.1	Hakenschtaltung	99
5.6.2.2	Kombinationsschtaltung aus elektromechanischem Kanal und SPS-Kanal	100
5.6.2.3	Zweihandschtaltung	101
5.6.2.4	Muting	102
6	Verifikation und Validierung	108
6.1	Allgemeine Anforderungen	109
6.2	Validieren durch Prüfen/Testen	111
6.3	Sicherheitsgerichtetes Stillsetzen (Beispiel im Anhang E der EN ISO 13849-2)	112
7	Verriegelungseinrichtungen	116
7.1	Verriegelungseinrichtungen ohne Zuhaltung	119
7.2	Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung	119
7.3	Bauarten von Verriegelungseinrichtungen	122
7.4	Positionsschalter mit Sicherheitsfunktion (Sicherheitsschalter)	125
7.5	Anwendungsbeispiele	126
7.6	Verriegelungstechnik	129
8	Prüfungen	134
8.1	Prüfung des Schutzes durch automatische Abschtaltung der Einspeisung	135
8.2	Prüfung des Isolationswiderstandes	139
8.3	Spannungsprüfungen	140
8.4	Schutz gegen Restspannungen	141
8.5	EMV-Prüfungen	142
8.6	Funktionsprüfungen	144
8.7	Ableitströme	145
Anhang		146
	Bildzeichen von Ventilen, Stell- und Steuergliedern	146
	Literatur	149

Bildnachweis:

Titel: Dagmar Brunk/BG ETEM

innen:

Dagmar Brunk/BG ETEM, BG ETEM

Goss Contiweb B. V.

KOLBUS GmbH & Co. KG

Müller-Martini Druckverarbeitungs-Systeme AG

manroland sheetfed GmbH

Screenshots: Software SISTEMA, Institut für Arbeitsschutz

der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Illustrationen: Infografiker.com/BGETEM

A-Z Begriffe und Definitionen

Aktive Teile

sind Leiter oder leitfähige Teile, die dazu bestimmt sind, bei ungestörtem Betrieb unter Spannung zu stehen, einschließlich des Neutralleiters, aber vereinbarungsgemäß nicht der PEN-Leiter.

Als **Ausfall infolge gemeinsamer Ursache (CCF)** werden Ausfälle verschiedener Einheiten oder Komponenten von Systemen aufgrund eines einzelnen Ereignisses bezeichnet, wobei diese Ausfälle nicht auf gegenseitiger Ursache beruhen.

Als systematischer **Ausfall** wird ein Ausfall mit deterministischem Bezug zu einer bestimmten Ursache verstanden, der nur durch Änderung der Gestaltung oder des Herstellungsprozesses, Betriebsverfahren, Dokumentation oder zugehörenden Faktoren, beseitigt werden kann.

Der Erwartungswert der mittleren Zeit bis zu einem Gefahr bringenden **Ausfall** wird mit **MTTF_D** (Mean Time To Failure Dangerous) bezeichnet.

Der PFH_D-Wert steht für Probability of dangerous Failure per Hour (Wahrscheinlichkeit eines Gefahr bringenden **Ausfalls** pro Stunde).

Unter **Basisschutz**

versteht man Schutz gegen elektrischen Schlag, wenn keine Fehlzustände vorliegen.

Eine **Bauart-1-Verriegelungseinrichtung**

ist eine Verriegelungseinrichtung mit mechanisch betätigtem Positionsschalter mit unkodiertem Betätigungselement.

Eine **Bauart-2-Verriegelungseinrichtung**

ist eine Verriegelungseinrichtung mit mechanisch betätigtem Positionsschalter mit kodiertem Betätigungselement.

Eine **Bauart-3-Verriegelungseinrichtung**

ist eine Verriegelungseinrichtung mit berührungslos betätigtem Positionsschalter mit unkodiertem Betätigungselement (nicht zu empfehlen für Sicherheitsfunktionen).

Eine **Bauart-4-Verriegelungseinrichtung**

ist eine Verriegelungseinrichtung mit berührungslos betätigtem Positionsschalter mit kodiertem Betätigungselement.

Unter **Diversität**

versteht man den Einsatz von ungleichartigen Mitteln zur Ausführung einer geforderten Funktion.

Der **Erdableitstrom**

ist festgelegt als Strom, der von den aktiven Teilen der Installation zur Erde fließt, ohne dass ein Isolationsfehler vorliegt. Dieser Strom darf einen kapazitiven Anteil haben, einschließlich dem aus der absichtlichen Anwendung von Kondensatoren. Eine häufige Ursache sind mit dem Schutzleiter verbundene Filterkondensatoren.

Der **Diagnosedeckungsgrad DC** ist ein Maß für die Wirksamkeit der Diagnose, welches bestimmt werden kann als Verhältnis der Ausfallrate bemerkten gefährlichen Ausfälle und Ausfallrate der gesamten gefährlichen Ausfälle. Der Diagnosedeckungsgrad kann dabei für die Gesamtheit oder für Teile des sicherheitsbezogenen Systems gelten.

Einfehlersicherheit

nennt man die Eigenschaft einer Schaltungsstruktur mit Redundanzmaßnahmen zum Erhalt einer Sicherheitsfunktion bei Auftreten eines Fehlers in einer Komponente (Bauteilausfall).

Bei einer **elektrische Verriegelung mit Zuhaltung** wird eine trennende Schutzeinrichtung so lange durch einen Sperrmechanismus zugehalten, bis die Gefahr bringende Bewegung zum Stillstand gekommen ist. Ein Start der Bewegung ist nur im zugehaltenen Zustand möglich.

Bei einer **elektrische Verriegelung ohne Zuhaltung**

wird von der Steuerung eine Maßnahme zur sofortigen Stillsetzung der Gefahr bringenden Bewegung ausgelöst, sobald die trennende Schutzeinrichtung geöffnet oder eine sonstige, die Bewegung sichernde Schutzausrüstung ausgelöst wird. Ein Start der Bewegung ist nur dann möglich, wenn sich die trennende Schutzeinrichtung im geschlossenen Zustand bzw. eine sonstige Schutzausrüstung sich im sichernden Zustand befindet.

Fehlerausschluss

Bei elektronischen Bauelementen sind keine Fehlerausschlüsse möglich. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass grundsätzlich nicht die Konstruktion eines bestimmten Bauelementes die Sicherheit garantieren kann, sondern nur bestimmte Schaltungskonzepte.

Die **Gebrauchsdauer** *T_M* (Mission Time) bestimmt den Zeitraum, der die vorgegebene Verwendung der Sicherheitsfunktion abdeckt.

Muting

Unter Muting versteht man das zeitlich begrenzte Aufheben von Schutzwirkungen und das Rücksetzen der Schutzlein-

richtung nach Beendigung der Überbrückung. Kennzeichnend ist hierbei, dass sowohl das Überbrücken der Schutz-einrichtung als auch das Aufheben der Überbrückung automatisch und willensunabhängig durch die sicherheits-relevanten Teile der Steuerung erfolgt. Eine wichtige An-forderung besteht darin, dass während der Aufhebung die Sicherheit der Personen gewahrt sein muss. So kann z. B. das Transportsystem aufgrund der geometrischen Abmessungen den Zugang zum Gefahrenbereich während der Überbrückung verhindern oder es können besondere Personenüberwachungseinrichtungen angeordnet werden.

Nach Beendigung der Aufhebung sind alle Sicherheitsfunk-tionen wieder zu aktivieren. Die Überbrückungseinrichtung muss konstruktiv derart eingebunden werden, dass ein Umgehen auf einfache Weise verhindert ist.

Im Kapitel 5.6 „Steuerungsbeispiele“ ist der Ablauf von Muting-Prozessen und deren steuerungstechnische Realisierung dargestellt.

Unter **Nachlauf des gesamten Systems**

versteht man das Zeitintervall zwischen dem Stoppbefehl durch das Öffnen einer trennenden Schutz-einrichtung bzw. durch eine sonstige, die Bewegung sichernde Schutz-ausrüstung (z. B. ein Lichtgitter) und der Beendigung der Gefahr bringenden Maschinenfunktion.

Unter **Niederspannung**

versteht man den Spannungsbereich bei Wechselspan-nung bis 1000 V und bei Gleichspannung bis 1500 V.

Ein **kodiertes Betätigungselement**

ist ein speziell gestaltetes Betätigungselement (z. B. durch Form) zur Betätigung eines bestimmten Positionsschalters.

Ein **kodiertes Betätigungselement mit geringer Kodierungsstufe**

ist ein Betätigungselement, für das 1 bis 9 Kodierungs-möglichkeiten vorliegen.

Ein **kodiertes Betätigungselement mit mittlerer Kodierungsstufe**

ist ein Betätigungselement, für das 10 bis 1000 Kodie-rungsmöglichkeiten vorliegen.

Ein **kodiertes Betätigungselement mit hoher Kodierungsstufe**

ist ein Betätigungselement, für das mehr als 1000 Kodie-rungsmöglichkeiten vorliegen.

Bei **Redundanz**

werden mehr als ein Gerät oder System oder mehr als ein Teil eines Gerätes oder Systems verwendet, um sicher-zustellen, dass bei Ausfall der Funktion eines Gerätes oder Systems ein anderes verfügbar ist, um diese Funk-tion zu erfüllen. Redundanz kann mit identischen Elemen-ten (homogene Redundanz) oder mit unterschiedlichen Elementen (Diversität) realisiert werden.

Ruhestromprinzip

Die Programmierung der Eingänge bzw. Ausgänge der speicherprogrammierbaren Steuerung ist konsequent durch Anwendung der so genannten „Aktiv-High-Technik“ vorzunehmen. Diese Technik gewährleistet Sicherheit bei Drahtbruch – insbesondere an peripheren Signalgebern und Signalnehmern – und stellt ein definiertes Verhalten der SPS bei Spannungsausfall sicher. Das Entregnen eines SPS-Ausganges erfolgt immer durch Rücknahme einer positiven Spannung am Eingang der SPS auf „Low-Poten-tial“, seine Aktivierung hingegen erfolgt stets durch Anlegen einer positiven Spannung am SPS-Eingang auf „High-Potential“.

Die **Schutzisolierung**

bewirkt den Schutz gegen Berühren elektrischer, unter Spannung stehender Teile, indem sie um die betriebs-mäßig notwendige Basisisolierung noch eine zusätz-liche Isolierung legt. Die zusätzliche Isolierung darf an keiner Stelle unterbrochen sein. Der Nachteil liegt darin, dass der erste Fehler schwer bzw. nicht erkennbar ist. Schutzisolierte Geräte sind durch ein Symbol mit zwei ineinander liegenden Quadraten gekennzeichnet, welche die doppelte Isolierung andeuten. Die Schutz-isolierung entspricht der Schutzklasse II.

Der **Schutzleiter**

ist ein Leiter, der für einige Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme erforderlich ist, und hierfür eine elektrische Verbindung zu nachfolgenden Teilen herstellt:

- Körper;
- fremde leitfähige Teile;
- Haupterdungsklemme (PE).

Unter **Schutzleitersystem**

versteht man den Schutzleiter und leitfähige Teile, die zum Schutz gegen elektrischen Schlag im Falle eines Isolationsfehlers miteinander verbunden sind.

Als **Sicherheitsfunktion** wird eine sicherheitsgerichtete Steuerungsfunktion an einer Maschine verstanden,

die ein von der Maschine ausgehendes Risiko auf ein akzeptables Maß reduziert, wobei ein Ausfall dieser Funktion zur unmittelbaren Erhöhung des Risikos (der Risiken) führen kann.

Die Definition einer Sicherheitsfunktion wird in der Regel in drei Informationsblöcken aufgeteilt:

1. auslösendes Ereignis (Sensorik)
2. sicherheitsgerichtete Reaktion (Logik)
3. Leistungsteil (Aktorik).

Im **sicherheitsbezogenen Blockdiagramm** einer Sicherheitsfunktion werden die funktionell wirkenden Zusammenhänge (nicht zwangsläufig die physikalischen Verbindungen) der für die Sicherheitsfunktion relevanten Bauteile grafisch dargestellt.

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

In nahezu allen industriellen Bereichen werden heute verstärkt speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt. Sicherheitstechnisch werden zunächst die gleichen Anforderungen wie bei Relais- und Schützsteuerungen gestellt. Speicherprogrammierbare Steuerungen sind speicherprogrammierbare Geräte, die überwiegend für Steuerungsaufgaben eingesetzt werden und mittels einer am Anwender orientierten Programmiersprache entsprechend den Steuerungsaufgaben programmiert werden. Werden keine besonderen Vorkehrungen getroffen, können Störungen im Programmablauf zu unerwarteten, gefährlichen Maschinenbewegungen führen, die in folgenden Ursachen begründet sein können:

- **Systematischer Fehler bei der Programmerstellung**
Fehler in der Software können bei bestimmten Betriebszuständen zu sicherheitsgefährdenden Betriebssituationen führen. Ein weiterer, sicherheitstechnisch oft kritischer Punkt ist die Tatsache, dass häufige Programmänderungen sehr leicht möglich sind. Die Gefahr, bei Programmänderungen zusätzlich neue Fehler einzubauen, ist außerordentlich groß.
- **Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen**
Der Temperaturbereich, in dem elektronische Bauelemente zuverlässig arbeiten, ist deutlich kleiner als der Bereich der herkömmlichen elektromechanischen Bauelemente. So können beispielsweise größere Rechenanlagen nur in klimatisierten Räumen arbeiten. Es gibt auch elektromagnetische Bedingungen des Umfeldes, die beim Einsatz elektromechanischer Schaltglieder wie Relais, Schützen und Ventilen fast bedeutungslos sind, aber beim Einsatz von Elektroniksystemen sogar ein zentrales Problem darstellen.

Gemeint sind alle leitungsgebundenen und feldgebundenen Störgrößen, die über Leitungen oder über die Luft in Elektroniksysteme eingekoppelt werden und so zum Fehlverhalten des Systems beitragen können.

- **Fehler in der Hardware**

Periphere Fehler, wie z. B. Unterbrechung und Kurzschlüsse in der Eingangs- und Ausgangsebene, Isolationsfehler zwischen dem Logikteil und der Ausgangs- bzw. Eingangsebene sowie komplexe Fehler im Logikteil des uP-Systems können zu Störungen im Programmablauf führen.

- **Anforderungen an elektronische Schaltungen einschließlich speicherprogrammierbarer Steuerungen**
An elektronische Steuerungen werden die gleichen Anforderungen gestellt wie an Schütz- und Relaissteuerungen.

Die Programmierung der Eingänge bzw. Ausgänge der speicherprogrammierbaren Steuerung ist konsequent durch Anwendung der so genannten „Aktiv-High-Technik“ vorzunehmen. Diese Technik gewährleistet Sicherheit bei Drahtbruch – insbesondere an peripheren Signalgebern und Signalnehmern – und stellt ein definiertes Verhalten der SPS bei Spannungsausfall sicher. Das Entgegen eines SPS-Ausganges erfolgt dabei immer durch Rücknahme einer positiven Spannung am Eingang der SPS auf „Low-Potential“, seine Aktivierung hingegen erfolgt stets durch Anlegen einer positiven Spannung am SPS-Eingang auf „High-Potential“.

Ein **sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung (SRP/CS)** ist der Teil einer Steuerung, welcher auf sicherheitsbezogene Eingangssignale reagiert und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt.

Eine Sicherheitsfunktion

ist eine Funktion einer Maschine, deren Ausfall zur unmittelbaren Erhöhung des Risikos (der Risiken) führen kann.

Das **Stillsetzen einer Maschinenbewegung (gesteuert)** bewirkt das Stillsetzen der Maschinen-Antriebselemente durch Zurücksetzen des elektrischen Befehlssignals auf Null, sobald das Stopp-Signal von der Steuerung erkannt worden ist. Die elektrische Energie zu den Antriebselementen bleibt jedoch während des Stillsetzvorgangs erhalten.

Das **Stillsetzen einer Maschinenbewegung (ungesteuert)** bewirkt das Abschalten der Energie zu den Maschinen-Antriebselementen, Betätigen aller Bremsen und/oder

anderer mechanischer Stillsetzeinrichtungen, sofern vorhanden.

Tippbetrieb

Die Tippgeschwindigkeit bzw. Wegbegrenzung im Tippbetrieb ist sicherheitsrelevant. Die Steuerungen für diese Betriebsmodi müssen im Allgemeinen einen Performance Level d erfüllen. Im Fehlerfall, z. B. bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung bzw. Wegüberschreitung im Tippbetrieb, muss das Stillsetzen der Gefahr bringenden Bewegungen erfolgen.

Das Umgehen auf eine vernünftigerweise vorhersehbare Art

ist das Umgehen einer Verriegelungseinrichtung von Hand oder durch Benutzung eines leicht verfügbaren Gegenstandes. Leicht verfügbare Gegenstände für ersatzweise Betätigung können z. B. sein:

- Schrauben, Nadeln, Blechstücke;
- Gegenstände des täglichen Gebrauchs, wie Schlüssel, Münzen, Klebeband, Bindfaden und Draht;
- Ersatzschlüssel für Verriegelungseinrichtungen mit Schlüsseltransfersystemen;
- Ersatzbetätigungselement.

Die Definition schließt das Entfernen von Schaltern oder Betätigungselementen mithilfe von Werkzeugen, die für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Maschine erforderlich oder leicht verfügbar sind, mit ein, z. B.:

- Schraubendreher,
- Schraubenschlüssel,
- Sechskantschlüssel,
- Zangen.

Überstrom

ist der Strom, der den Bemessungswert überschreitet. Der Bemessungswert für Leiter ist die zulässige Strombelastbarkeit.

Eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung

ist eine trennende Schutzeinrichtung mit einer Verriegelungseinrichtung, welche gemeinsam mit der Steuerung der Maschine die folgenden Funktionen ausführt:

- die mit der trennenden Schutzeinrichtung „abgesicherten“, gefährdenden Maschinenfunktionen können nicht ausgeführt werden, bevor die trennende Schutzeinrichtung geschlossen ist;
- ein Stoppbefehl wird ausgelöst, wenn die trennende Schutzeinrichtung während gefährdender Maschinenfunktionen geöffnet wird;

- die mit der trennenden Schutzeinrichtung „abgesicherten“, gefährdenden Maschinenfunktionen können ausgeführt werden, sobald die trennende Schutzeinrichtung geschlossen ist (das Schließen der trennenden Schutzeinrichtung löst nicht selbsttätig die gefährdenden Maschinenfunktionen aus).

Eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit Zuhaltung

ist eine trennende Schutzeinrichtung mit einer Verriegelungseinrichtung und einer Zuhaltung, welche gemeinsam mit der Steuerung der Maschine die folgenden Funktionen ausführt:

- die mit der trennenden Schutzeinrichtung „abgesicherten“, gefährdenden Maschinenfunktionen können nicht ausgeführt werden, bevor die trennende Schutzeinrichtung geschlossen und zugehalten ist;
- die trennende Schutzeinrichtung bleibt geschlossen und zugehalten, bis das Risiko durch die mit der trennenden Schutzeinrichtung „abgesicherten“, gefährdenden Maschinenfunktionen nicht mehr vorliegt;
- und wenn die trennende Schutzeinrichtung geschlossen und zugehalten ist, kann die gefährdende Maschinenfunktion, die von der trennenden Schutzeinrichtung „abgesichert“ wird, anlaufen (das Schließen und Zuhalten der trennenden Schutzeinrichtung löst nicht selbsttätig die gefährdenden Maschinenfunktionen aus).

Ein Zustimmungstaster

ist eine handbetätigte Steuereinrichtung, welche zusätzlich zu einem weiteren Taster gedrückt wird, um eine Maschine im Tippbetrieb in Gang zu setzen. Die Bewegung wird stillgesetzt, sobald der Zustimmungstaster nicht mehr betätigt wird.

Eine Zuhaltungseinrichtung oder eine Zuhaltung

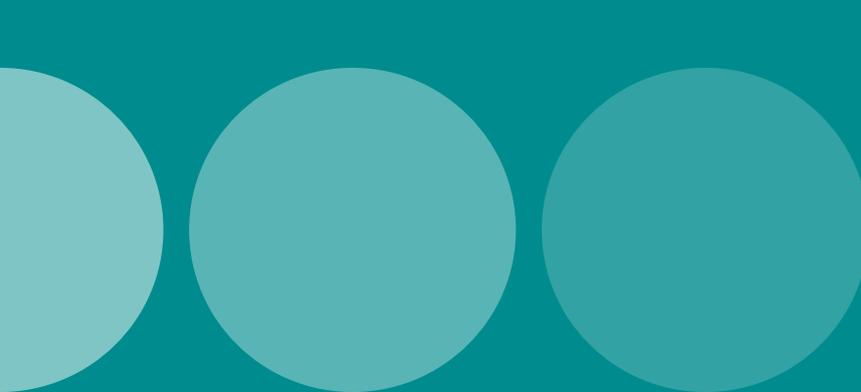
sind Einrichtungen, die dazu dienen, eine trennende Schutzeinrichtung in der geschlossenen Position zu halten. Sie werden durch die Steuerung überwacht.

Die Zuhalkraft

ist die Kraft, der eine Zuhaltungseinrichtung ohne Beschädigungen widerstehen kann, sodass die weitere Verwendung nicht beeinträchtigt wird und die trennende Schutzeinrichtung in der geschlossenen Position bleibt.

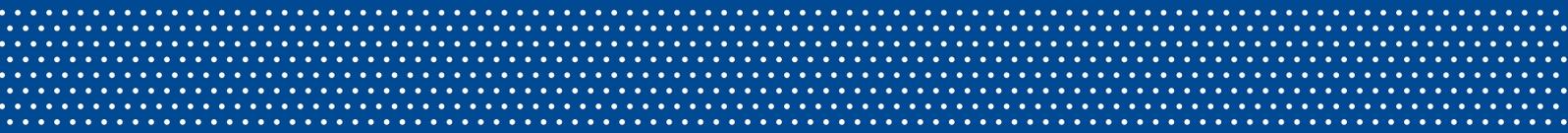
Unter Zwangsöffnung (eines Kontaktelementes)

versteht man die Sicherstellung einer Kontakttrennung als direktes Ergebnis einer festgelegten Bewegung des Schalter-Bedienteils über nicht federnde Teile (z. B. nicht abhängig von einer Feder).



1

Farbliche Kennzeichnung

- 1.1 Schalter
 - 1.2 Drucktaster
 - 1.3 Anzeigeleuchten und Anzeigen
auf Bildschirmen
 - 1.4 Folientastaturen
 - 1.5 Sensorbildschirme – Touchscreen
 - 1.6 Leitungen
 - 1.7 Ergänzende Mittel zur
Farbkennzeichnung
- 

1.1 Schalter

Fakten

Über die Schnittstelle, z. B. das Bedienpult, steht die bedienende Person im Austausch mit der Maschine oder dem gerade ablaufenden Prozess. Mithilfe von Bedienteilen sendet sie Informationen an die Maschine. Es werden Antriebe gestartet, Einstellungen von physikalischen Größen vorgenommen oder auch Vorgänge beendet. Die Reaktionen der Maschine sind,

aufgrund der Kennzeichnung der Bedienteile, vorbestimmt. Aber auch die Maschine sendet Informationen an den Bediener. In vielen Fällen werden diese Informationen durch verschlüsselte Signale übermittelt. Die Aufgabe des Bedieners ist es, diese Signale entsprechend den Regeln zu interpretieren, um darauf zu reagieren.

Die bedienende Person ist im Rahmen ihrer Tätigkeit üblicherweise an verschiedenen Maschinen tätig. Eine einheitliche Kennzeichnung von Bedienteilen und Anzeigen stellt für sie oder ihn daher eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen dar. Er oder sie kann eine größere Menge an Informationen pro Zeiteinheit aufnehmen, die psychische Belastung wird durch einfach decodierbare Signale verringert. Verschiedene Normen und Normungsvorhaben dienen dem Zweck, die Anforderungen an die Ausführung der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine in einem vernünftigen Rahmen zu standardisieren. Ziel ist es, die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine zu erleichtern. In einigen Normen für Maschinen wird auf die verschiedenen Codierungen, insbesondere auf die Codierung durch Farben, eingegangen. Obwohl es diese einschlägigen Vorschriften gibt, entstehen bei den Anwendern Probleme durch die häufig ungeordnete und unübersichtliche Darstellung. Aus diesem Grund wird im Folgenden insbesondere auf die übersichtliche Anwendung von Farben für die Codierung von Bauteilen eingegangen.

Relevant sind eine Reihe von Vorschriften. Besonders zu erwähnen sind die EN 60073 und die EN 60204-1. Die EN 60073 stellt allgemeine Regeln für die Zuordnung einzelner Bedeutungen zu bestimmten Farben von Bedientei-

len und Anzeigeeinrichtungen auf. Anforderungen an die farbliche Codierung von Bauteilen an Maschinen sind in der EN 60204-1 festgelegt. Die in dieser Norm enthaltenen Angaben unterscheiden sich geringfügig von den allgemeinen Regeln in EN 60073.

- **Bedienteile für Handlungen im Notfall (Not-Halt und Not-Aus)**

Bedienteile für Handlungen im Notfall müssen rot sein. Ist ein Hintergrund vorhanden, muss dieser gelb gefärbt sein. Bei allen Bedienteilen für Handlungen im Notfall darf die Farbwirkung Rot nicht von der Beleuchtung abhängen. Da bei der Konstruktion von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen das Stillsetzen von Gefahr bringenden Bewegungen im Notfall von besonderer Bedeutung ist, wird in den folgenden Erläuterungen der Schwerpunkt auf die Not-Halt-Funktion gelegt.

- **Hauptschalter**

Die Handhabe des Hauptschalters kann schwarz oder grau gestaltet werden. Hat der Hauptschalter Not-Halt-Funktion, muss das Bedienteil rot auf gelbem Grund ausgeführt werden. Hat der Hauptschalter Not-Halt-Funktion, so sind nach der EN 60204-1 die Stopp-Kategorien 0, 1 oder 1b – entsprechend einer Gefährdungsanalyse – zu realisieren.

1.2 Drucktaster

Die ausschlaggebende Norm für die Farbkennzeichnung von Drucktastern an Maschinen ist die EN 60204-1.

Anforderungen an die Farbcodierung von Drucktastern für Maschinen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Funktion:	Start/Ein	Stopp/Aus	Not-Aus oder Not-Halt	Start/Ein Stopp/Aus (wechselweise)	Tippbetrieb	Rückstell-Bedienteile	Rückstell-Bedienteile mit zusätzlichem Stopp/Aus
Farbe:							
Weiß	bevorzugt	empfohlen		bevorzugt	bevorzugt	bevorzugt	empfohlen
Grau	empfohlen	empfohlen		bevorzugt	bevorzugt	bevorzugt	empfohlen
Schwarz	empfohlen	bevorzugt		bevorzugt	bevorzugt	bevorzugt	bevorzugt
Grün	empfohlen	verboten		verboten	verboten	verboten	verboten
Rot	verboten	möglich	muss	verboten	verboten		
Blau						bevorzugt	
Gelb				verboten	verboten		

Tabelle 1: Farbkennzeichnung von Bedienteilen für Drucktaster nach EN 60204-1

Die Farbe Rot soll nicht für Stopp/Aus-Funktionen verwendet werden, wenn der Drucktaster in der Nähe von Not-Halt-Stellteilen angeordnet ist.

Verzichten muss man bei der Maschinenkonstruktion auf den Einsatz von Drucktastern mit einer Farbgebung, für die ein Verwendungsverbot nach EN 60204-1 in Abhängigkeit von der Steuerungsfunktion besteht.

Die Farben Weiß, Grau oder Schwarz dürfen zur Identifizierung von Drucktastern für verschiedene Maschinenfunktionen verwendet werden. Voraussetzung hierfür ist, dass eine zusätzliche Maßnahme für die Unterscheidung der Drucktaster der gleichen Farbe realisiert wird. Diese zusätzlichen Maßnahmen können zum Beispiel sein:

- unterschiedliche Formen der Drucktaster,
- unterschiedliche Lagen,
- unterschiedliche Oberflächen,
- zusätzliche Kennzeichnung durch Text (eindeutige Funktionskennzeichnung)

oder

- zusätzliche Kennzeichnung durch Bildzeichen (eindeutige Funktionskennzeichnung).

Grafische Symbole zur Kennzeichnung von Bedienteilen sind z. B. in den Normen ISO 7000 und ISO/TR 15847 aufgeführt.

Farbe:	Bedeutung:	Erklärung:
Rot	Notfall	Bei einer Gefahr bringenden Situation oder im Notfall betätigen
Gelb	Anormal	Bei einem anormalen Zustand betätigen
Blau	Zwingend	Bei einem Zustand, der eine zwingende Handlung erfordert, betätigen
Grün	Normal	Betätigen, um normale Zustände einzuleiten
Weiß	Keine spezielle Bedeutung	Zum Einleiten von allgemeinen Funktionen, außer für Not-Halt
Grau		
Schwarz	zugeordnet	Not-Halt

Tabelle 2: Farbcodierung für Drucktaster-Bedienteile und ihre Bedeutung nach EN 60204-1

1.3 Anzeigeleuchten und Anzeigen auf Bildschirmen

An Maschinen werden zwei verschiedene Anwendungsarten von Anzeigeleuchten unterschieden:

- Die Aufmerksamkeit des Bedieners soll durch die Anzeige geweckt werden. Er wird aufgefordert, eine bestimmte Handlung auszuführen.
 - Durch die Anzeigeleuchte erfolgt die Bestätigung eines Befehls, eines Zustandes oder einer Bedienung.
- Anzeigeleuchten für sicherheitsrelevante Warnmeldungen müssen mit Einrichtungen ausgestattet sein, die eine Funktionsprüfung ermöglichen.

Die Tabellen 3 und 4 geben einen Überblick über die allgemeine Bedeutung der Farben für Anzeigeleuchten.

Anzeigeleuchten oder Bildschirme müssen von der Position des Bedieners aus, die er üblicherweise einnimmt, sichtbar sein.

Farbe:	Bedeutung:	Erklärung:
Weiß	Neutral	Darf verwendet werden, wenn Zweifel über die Anwendung der Farben Rot, Gelb, Grün oder Blau bestehen
Grün	Normal	Normaler Zustand
Rot	Notfall	Gefahr bringender Zustand
Blau	Zwingend	Handlung durch den Bediener ist notwendig
Gelb	Anormal	Ein kritischer Zustand steht bevor

Tabelle 3: Farben für Anzeigeleuchten und ihre Bedeutung bezüglich des signalisierten Maschinenzustandes gemäß EN 60204-1

Anzeige:	Aufmerksamkeit soll erzeugt werden oder Aufgabe muss ausgeführt werden	Bestätigung:	eines Befehls oder Zustands oder des Endes einer Übergangszeit
Farbe:			
Weiß			üblich
Grün	üblich		möglich
Rot	üblich		
Blau	üblich		üblich
Gelb	üblich		

Tabelle 4: Informationen, die durch Anzeigeleuchten und Anzeigen auf Bildschirmen gegeben werden, gemäß EN 60204-1

Anzeigesäulen an Maschinen sollen Farbanzeigen in der folgenden Reihenfolge von oben nach unten aufweisen:

- rot
- gelb
- blau
- grün
- weiß

Wichtig ist auch, dass Stromkreise von Warnleuchten mit einer Einrichtung ausgestattet sind, die eine Überprüfung der Betriebsbereitschaft ermöglicht.

Um optische Signale hervorzuheben, können blinkende Leuchten und Anzeigen auf Bildschirmen verwendet werden. Typische Anwendungsbeispiele sind:

- Erzeugen von Aufmerksamkeit,
- Anforderung einer sofortigen Handlung,
- Anzeige einer Widersprüchlichkeit zwischen dem Kommando und dem aktuellen Zustand des Prozesses oder
- Anzeige einer Änderung im Prozess.

Je höher die Blinkfrequenz gewählt wird, desto höher sollte auch die Bedeutung der Information sein. Hierbei sind normativ zwei Blinkfrequenzen zulässig:

„langames Blinken“ mit 0,4 Hz bis 0,8 Hz
(24 bis 48 Signale pro Minute)
und

„normales Blinken“ mit 1,4 Hz bis 2,8 Hz
(84 bis 168 Signale pro Minute).

Wird nur eine Blinkfrequenz angewendet, so muss eine Frequenz aus dem Bereich für „normales Blinken“ ausgewählt werden. Werden zwei Blinkfrequenzen benutzt, so sollte das Verhältnis dieser Frequenzen vorzugsweise 1:4 betragen, z. B. 0,5 Hz für das erste Blinksignal und 2 Hz für das zweite Blinksignal.

Der Vorrang einer Information kann zusätzlich durch akustische Signale verdeutlicht werden. Akustische Signale dürfen aus reinen oder komplexen Tönen, Geräuschen oder Sprache bestehen. Unterschiedliche akustische Signalarten müssen sich deutlich voneinander unterscheiden. Die Anwendung von akustischen Signalen sollte auf ein Minimum reduziert werden, um die Geräuschbelastung gering zu halten.

Dauertöne dürfen nur sehr eingeschränkt benutzt werden, z. B. zur Signalisierung des Übergangs von einem gefährlichen in einen sicheren Maschinenzustand. Es sollte selbstverständlich sein, dass zur Verdeutlichung von normalen oder sicheren Zuständen keine akustischen Signale verwendet werden dürfen.

1.4 Folientastaturen

Auch Folientastaturen werden zur Bedienung von Maschinen eingesetzt. Die Forderungen an die farbliche Codierung von Folientastaturen lassen sich aus den Anforderungen an Drucktaster ableiten. Um Folientastaturen einem breiten Anwendungsfeld zugänglich zu machen, werden diese teilweise einfarbig hergestellt.

1.5 Sensorbildschirme – Touchscreen

Sensorbildschirme werden als kombinierte Ein-Ausgabe-Geräte verwendet. Die optische und funktionale Gestaltung der grafischen Benutzeroberfläche ist von der Pro-

	Bedeutung		
	Sicherheit von Personen oder Umwelt	Prozesszustand	Zustand der Einrichtung
Auf- oder abschwellende Töne	Gefahr	Notfall	Fehlerhaft
Tonwechsel zwischen konstanten Tönen	Warnung oder Vorsicht	Anormal	Anormal
Dauerton mit konstantem Pegel	Sicherheit	Normal	Normal
Tonwechsel	Vorschreibende Bedeutung		
Andere Töne	Keine spezielle Bedeutung zugewiesen		

Tabelle 5: allgemeine Gestaltungsgrundsätze für akustische Signale gemäß EN 60073

Diese Thematik wird in den Normen EN 60073, ISO 11429 und EN ISO 7731 vertieft.

Es spricht nichts gegen eine einfarbige Folientastatur in den Farben Weiß, Grau oder Schwarz. Eine zusätzliche eindeutige Kennzeichnung der Tasten durch ergänzende Mittel (z. B. Symbole, Alphanumerik) ist in diesem Fall unbedingt erforderlich.

grammierung abhängig. Aus der praktischen Erfahrung ergeben sich folgende Gestaltungshinweise:

- Kurze Reaktionszeit zwischen Eingabe und Anwendungsfunktion anstreben.
- Optische (z. B. 3D-Effekt) oder akustische Rückmeldung für erfolgte Eingaben verwenden.
- Einfache und selbsterklärende Darstellungen benutzen.
- Helle Farben erleichtern die Erkennbarkeit der Oberfläche.
- Große Schaltflächen (Buttons) bevorzugen.
- Ein Bereich, der für eine Sicherheitsfunktion vorgesehen ist,
 - muss größer als der eines Normalfelds sein und
 - muss einen Freiraum (waagrecht und senkrecht) zu anderen Bedienteilen haben.
- Unauffällige Hintergrundmuster sind von Vorteil.
- Seitenweise Darstellung der Informationen verwenden, ohne Scroll-Funktion und ohne überlappende Fenster.

Um der versehentlichen Betätigung von Schaltflächen, die Gefahr bringende Bewegungen auslösen können, entgegenzuwirken, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, wie z. B. die Doppelbetätigung einer Schaltfläche oder die Betätigung von zwei getrennten Schaltflächen innerhalb kurzer Zeitintervalle. Zweckmäßigerweise wird die Doppelbetätigung mit einer akustischen Anlaufwarneinrichtung verknüpft. Eine weitere Maßnahme kann die Verwendung einer Zweihandschaltung sein. Erfolgt der Start einer Gefahr bringenden Bewegung unter Verwendung einer akustischen Anlaufwarneinrichtung, gemäß EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.7.2 und Anhang B, so ist die versehentliche Betätigung der Schaltfläche ebenfalls ausreichend verhindert.

Die EN ISO 9241 Teil 110 und Teil 303 und EN 60447 enthalten Informationen zur ergonomischen Gestaltung von elektronischen optischen Anzeigen.

1.6 Leitungen

Während die farbliche Codierung für Drucktaster und Anzeigenleuchten relativ genau vorgegeben ist, werden bei der Farbkennzeichnung von Leitungen größere Spielräume zubilligt; eine umfassende Normung aufgrund der Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten einadriger Leitungen ist fast unmöglich. Werden Farben zur Kennzeichnung von Leitern verwendet, so dürfen gemäß IEC 60757 prinzipiell folgende Farben zur Anwendung kommen: Schwarz, Braun, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Hellblau, Violett, Grau, Weiß, Rosa, Türkis. Wenn die Kennzeichnung ausschließlich durch die Farbe erfolgt, dann muss die Zweifarben-Kombination Grün-Gelb für den Schutzleiter verwendet werden. Andere Leiter dürfen nicht mit der Zweifarben-Kombination Grün-Gelb gekennzeichnet werden. Auch Kombinationen von zwei der genannten Einzelfarben sind prinzipiell nicht verboten, wenn keine Verwechslungsgefahr besteht. Die Farben Grün und Gelb dürfen aber nur in der Kombination Grün-Gelb verwendet werden!

Einfarbige grüne und gelbe Leiter dürfen auch dann nicht benutzt werden, wenn diese mit der Zweifarben-Kombination Grün-Gelb verwechselt werden können. Eine Verwechslungsmöglichkeit besteht besonders dann, wenn die Maschine oder das Gerät einen Schutzleiter hat. Aus Sicherheitsgründen sollten allerdings auch für Maschinen und Geräte ohne Schutzleiter keine grünen und gelben Leiter benutzt werden.

- **Schutzleiter**
Der Schutzleiter muss durch Form, Anordnung, Kennzeichnung oder Farbe deutlich zu erkennen sein. Erfolgt die Kennzeichnung ausschließlich durch Farbe, dann muss es die Zweifarben-Kombination Grün-Gelb sein. Sie muss sich über die gesamte Leiterlänge erstrecken. Kann der Schutzleiter allerdings leicht durch Form, Anordnung oder Aufbau erkannt werden oder ist ein isolierter Leiter schwer zugänglich, so ist eine Farbkennzeichnung über die gesamte Länge nicht erforderlich. Die zugänglichen Stellen oder die Enden derart ausgeführter Schutzleiter müssen dann deutlich durch die Zweifarben-Kombination Grün-Gelb oder das grafische Symbol 5019 der zurückgezogenen IEC 60417 gekennzeichnet sein.
- **Neutralleiter**
Wird in einer Maschine ein farblich gekennzeichnete Neutralleiter verwendet, so muss er blau sein. Ungesättigtes Blau, d. h. Hellblau, soll verwendet werden, wenn eine Verwechslung mit anderen Farben möglich ist. Blau darf zur Kennzeichnung anderer Leiter nicht verwendet werden, wenn die Farbe die einzige Identifizierungsmöglichkeit für den Neutralleiter ist. Eine Verwechslungsmöglichkeit besteht dann, wenn in der Maschine oder dem Gerät ein Neutralleiter vorhanden ist. Bei Fehlen eines Neutralleiters darf ein hellblauer Leiter für andere Zwecke verwendet werden, allerdings nicht als Schutzleiter. Werden blanke Leiter, die als

Neutralleiter verwendet werden, durch Farbe gekennzeichnet, muss dies durch einen hellblauen Streifen von 15 mm bis 100 mm Breite in jedem Feld, jeder Einheit oder an jeder zugänglichen Stelle erfolgen oder der gesamte Leiter muss hellblau gekennzeichnet sein.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die farbliche Kennzeichnung der beiden bisher beschriebenen Leiter sowie über die farbliche Codierung anderer isolierter einadriger Leitungen. Obwohl in den Normen nicht auf jede mögliche Kombination als Anwendungsfall eingegangen wird, kann die Tabelle als Orientie-

rungshilfe angesehen werden. Sie ist aus EN 60445, IEC 60757 und EN 60204-1 abgeleitet.

Ausnahmen von den bevorzugten bzw. empfohlenen Farben sind erlaubt, wenn:

- eine Isolierung verwendet wird, die in den empfohlenen Farben nicht erhältlich ist oder
- Mehraderleitungen verwendet werden.

Ausnahmen von der Anwendung der Kombination Grün-Gelb sind jedoch niemals zulässig.

Farbe	Schutzleiter	Neutral-leiter	Außenleiter für AC	Haupt-stromkreise für AC und DC	Steuerstromkreise für		Ausge-nommene Strom-kreise) ⁶	
					AC	DC		
Weiß	WH	–	–	X	X	X	X	
Grau	 GY	–	–	O	X	X	X	
Schwarz	 BK	–	–	O	O	X	X	
Grün	 GN	–	–	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵
Rot	 RD	–	–	X	X	O	X) ⁵	
Blau	 (D) BU	–	X) ³	X	X	X) ⁵	O	
Gelb	 YE	–	–	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵
Hellblau	 BU	–	X) ²	X) ⁴	X) ⁴	X) ⁴	X) ⁴	-) ^{4,5}
Braun	 BN	–	–	O	X	X	X	
Orange	 OG	–	–	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵	-) ⁵	O
Violett	 VT	–	–	X	X	X	X	
Rosa	 PK	–	–	X	X	X	X	
Türkis	 TQ	–	–	X	X	X	X	
Grün-Gelb	 GNYE	muss) ¹	–	–	–	–	–	–

Tabelle 6: farbliche Leiterkennzeichnung

- nicht verwenden
- X möglich
- O bevorzugt bzw. empfohlen

)¹ Die Ausführung als geflochtener Leiter ohne Farbkennzeichnung ist auch möglich. Jedoch sind die Enden oder zugängliche Stellen durch das grafische Symbol EN 60417-5019 oder die Kombination Grün-Gelb deutlich zu kennzeichnen.
)² Eine ungesättigte Farbe Blau (Hellblau) wird empfohlen, um Verwechslungen mit anderen Farben zu vermeiden.
)³ Diese Farbe muss verwendet werden, wenn der Leiter durch Farbe gekennzeichnet ist.
)⁴ Bei Fehlen eines Neutralleiters darf ein hellblauer Leiter für diesen Zweck verwendet werden.
)⁵ Diese Farbe sollte nur in zulässigen Ausnahmefällen für diesen Zweck verwendet werden.
)⁶ Ausgenommene Stromkreise sind Stromkreise, die in Betrieb bleiben müssen, auch wenn die Maschine über die Netztrenneinrichtung abgeschaltet ist.

Es kann vorkommen, dass Isolationen in bestimmten Farben nicht erhältlich sind; etwa dann, wenn besondere Anforderungen an die Temperatur oder chemische Beständigkeit des Isolierstoffes gestellt werden. Werden Mehrleiterkabel und -leitungen verwendet, besteht das Problem darin, dass die Isolierung einer mehradrigen Leitung an einer Stelle endet und damit wieder einadrige Leitungen vorhanden sind. Dann kann es dazu kommen, dass die Mehraderleitung als solche nicht mehr klar er-

kennbar ist. In diesem Fall sollte nicht von den vorgeschriebenen Empfehlungen abgewichen werden.

Auch grün-gelbe Leitungen in Mehrleiterkabeln dürfen für keinen anderen Zweck als zur Kennzeichnung des Schutzleiters verwendet werden. Ebenso darf die Kombination Grün-Gelb nicht als Ersatzisolation benutzt werden.

1.7 Ergänzende Mittel zur Farbkennzeichnung

Schalter, Taster und Anzeigeleuchten

Die alleinige Nutzung von Farben ist unzureichend, um eine eindeutige Darstellung der Informationen zu gewährleisten. Auch Personen mit gestörtem Farbempfinden sollen an Maschinen arbeiten können, daher darf Farbe nicht das einzige Mittel der Codierung sein.

Schalter, Taster und Anzeigeleuchten müssen entsprechend ihrer Funktion eindeutig gekennzeichnet werden. Drucktaster sollten zusätzlich zur funktionalen Kennzeichnung noch mit Symbolen kenntlich gemacht werden, die den Wirkungsbereich verdeutlichen. An einer Maschine kann es beispielsweise mehrere Ein-Taster geben, die alle mit demselben Symbol versehen sind, aufgrund ihrer verschiedenen Aufgaben aber unterschiedlich durch Text, Alphanumerik oder weitere Symbole gekennzeichnet sind. Es wird empfohlen, Symbole direkt neben oder vorzugsweise direkt auf dem Bedienteil anzubringen. Die zu verwendenden funktionellen Bildzeichen sind für Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen in ISO/TR 15847 festgelegt. In der ISO 7000 sind hilfreiche allgemeine Bildzeichen zusammengefasst.

Leitungen

Leiter müssen an jedem Anschluss in Übereinstimmung mit der technischen Dokumentation identifizierbar sein. Um Wartungsarbeiten zu erleichtern, wird empfohlen, die Leiter zu kennzeichnen durch:

- Ziffern,
- Alphanumerik,
- Farbe

oder

- eine Kombination aus Farbe und Ziffern oder Alphanumerik.

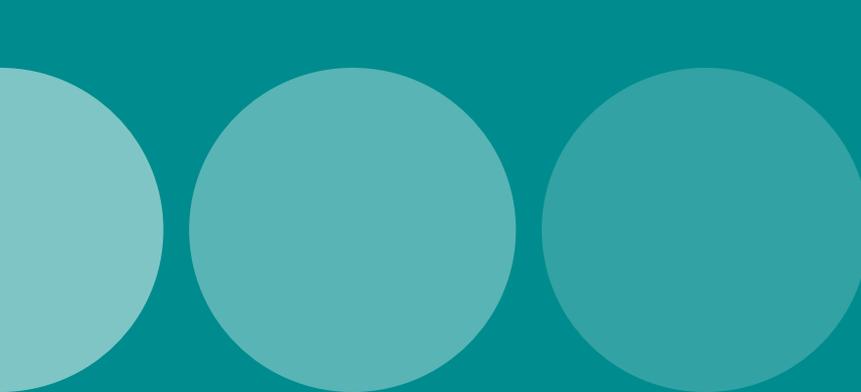
Der Konstrukteur kann selbst entscheiden, welche Methode er wählt. Dabei verwendete Ziffern müssen arabisch und Buchstaben lateinisch sein.

Die alphanumerische Kennzeichnung muss eindeutig unterscheidbar und dauerhaft sein. Betriebsmittelanschlüsse, die mit einem bestimmten Leiter verbunden werden sollen, sowie die Enden dieser Leiter müssen eine normativ festgelegte alphanumerische Kennzeichnung erhalten.

Bestimmte Leiter bzw. Anschlüsse		Alphanumerische Zeichen für	
		Leiter	Anschlüsse
Wechselstromleiter	Außenleiter 1	L1	U
	Außenleiter 2	L2	V
	Außenleiter 3	L3	W
	Neutraleiter	N	N
Gleichstromleiter	Positiv	L+	+
	Negativ	L-	-
Externer Schutzleiter		Farbkombination grün-gelb	PE

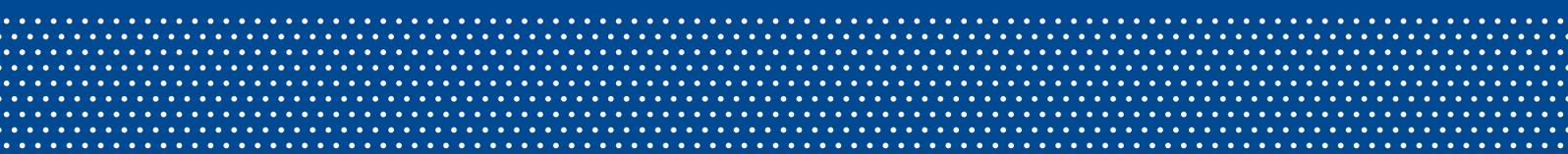
Tabelle 7: alphanumerische Zeichen zur Kennzeichnung von Leitern und Anschlüssen gemäß EN 60445

Um nachträgliche Meinungsverschiedenheiten zwischen Lieferant und Betreiber zu vermeiden, empfiehlt es sich, die bevorzugte Methode der Identifizierung mit dem Betreiber abzustimmen (EN 60204-1, Anhang B, Position 10).



2

Anordnung von Bauteilen und Bedienteilen

- 2.1 Hauptschalter
 - 2.2 Handlungen im Notfall
(Not-Halt, Not-Aus)
 - 2.3 Drucktaster und Anzeigeleuchten
 - 2.4 Tipptaster
- 

2.1 Hauptschalter

Die Handhabe für den Hauptschalter muss leicht zugänglich sein und zwischen 0,6 m und 1,9 m oberhalb der Zugangsebene liegen. Eine maximale Höhe von 1,7 m wird empfohlen. Als Netz-Trenneinrichtung können neben Schaltern auch Stecker-/Steckdosen-Kombinationen für die Stromversorgung mit flexiblen Leitungen verwendet werden. Sie müssen ein ausreichendes Schaltvermögen haben oder mit einem Lastschaltgerät verriegelt sein, das ein ausreichendes Schaltvermögen besitzt.

Das Schaltvermögen ist dann ausreichend, wenn der Strom des größten Motors in blockiertem Zustand zusammen mit der Summe der tatsächlichen Betriebsströme aller übrigen Verbraucher abgeschaltet werden kann. In diesem Fall sollte in der Betriebsanleitung darauf hingewiesen werden, dass nach der Aufstellung der Maschine die Steckvorrichtung gut zugänglich sein muss.

2.2 Handlungen im Notfall (Not-Halt, Not-Aus)

Bei der Konstruktion von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen muss insbesondere das Stillsetzen von Gefahr bringenden Bewegungen im Notfall berücksichtigt werden muss; daher wird in den folgenden Erläuterungen der Schwerpunkt auf die Not-Halt-Funktion gelegt.

Der Not-Halt-Schalter muss so angeordnet werden, dass er vom Bediener oder anderen Personen gut gesehen werden

kann. Er muss schnell erreichbar sein (Anbringung z. B. an zentralem Ort) und ohne Behinderung betätigt werden können. Sind an einer Maschine oder Anlage mehrere Not-Halt-Schalter angebracht, die nicht die gesamte Maschine oder Anlage, sondern nur bestimmte Teile davon stillsetzen, so ist die Maschine bzw. Anlage in Not-Halt-Bereiche zu unterteilen und jedem der jeweilige Not-Halt-Schalter eindeutig zuzuordnen.

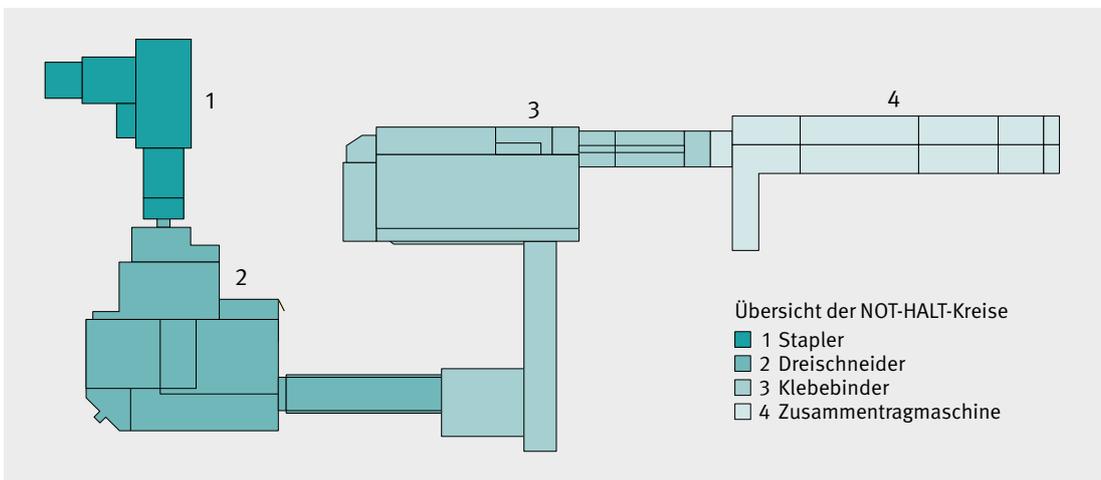


Bild 1: Übersicht zur Verdeutlichung der Wirkbereiche von Not-Halt-Stellteilen an einer Fertigungsstraße



Bild 2: Zusatzkennzeichnung an einem Not-Halt-Stellteil zur Verdeutlichung des Wirkbereiches

2.3 Drucktaster und Anzeigeleuchten

Drucktaster und Anzeigeleuchten werden üblicherweise an einem Bedienpult zusammengefasst. Das Bedienpult sollte unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien angeordnet werden. Drucktaster, die dazu verwendet werden, eine Startfunktion oder die Bewegung von Maschinenteilen einzuleiten, müssen so gebaut und angeordnet sein, dass eine unbeabsichtigte Bedienung vermieden wird.

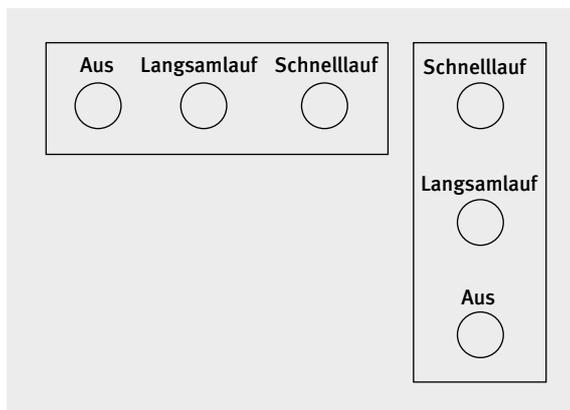


Abbildung 1: Darstellung der Starttaster zur Vermeidung des versehentlichen Betätigens

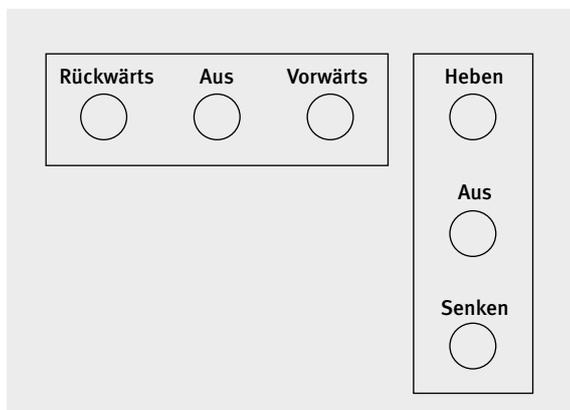


Abbildung 2: Darstellung der Starttaster zur Vermeidung des versehentlichen Betätigens

Anzeigeleuchten sind so auszuwählen, dass sie von der üblichen Arbeitsstellung des Bedieners aus sichtbar sind. Bei der Installation einer ortsfesten Maschine ist darauf zu achten, dass einfallendes Sonnenlicht die Erkennbarkeit der Anzeigeleuchten nicht beeinträchtigt. Das spiegelbildliche Anordnen von Stellteilen und Anzeigen ist nicht zulässig. Zusammengehörende Stellteile müssen entsprechend ihrer funktionalen Bedeutung angeordnet werden, z. B.:

- höchste Priorität: oben/links und
- niedrigste Priorität: unten/rechts.

Stellteile, die einen betriebsmäßigen Stopp-Befehl auslösen und zu einer Gruppe von Drucktastern gehören, die nur eine Wirkung zulassen (z. B. Einstellung einer langsameren oder schnelleren Geschwindigkeit), müssen am linken oder unteren Ende der Gruppe angeordnet sein.

Stellteile, die einen betriebsmäßigen Stopp-Befehl auslösen und zu einer Gruppe von Drucktastern gehören, die nur eine gegensätzliche Wirkung zulassen (z. B. Einstellung einer Hub- oder Senkbewegung), müssen zwischen den anderen Stellteilen der Gruppe angeordnet sein. Hinweise zur Anordnung von Stellteilen und Anzeigen sind in der EN 61310-3 und EN 60447 enthalten.

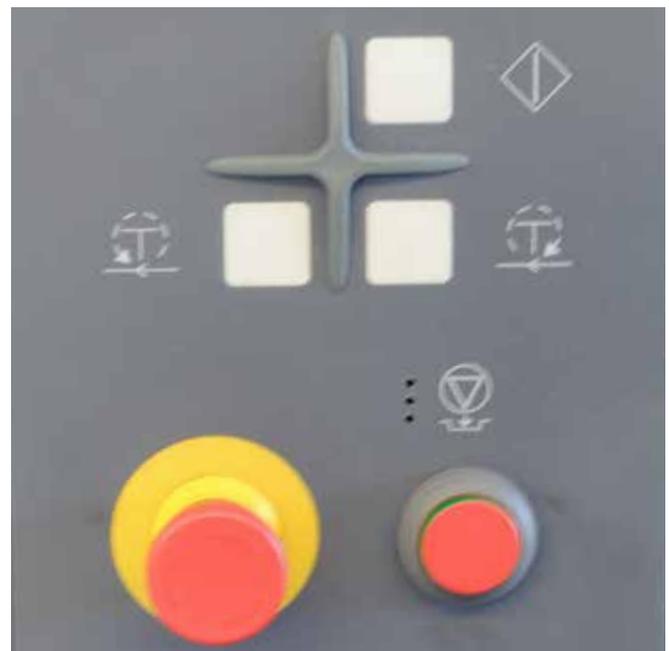


Bild 3: Stellteile zum Ingangsetzen der Maschine

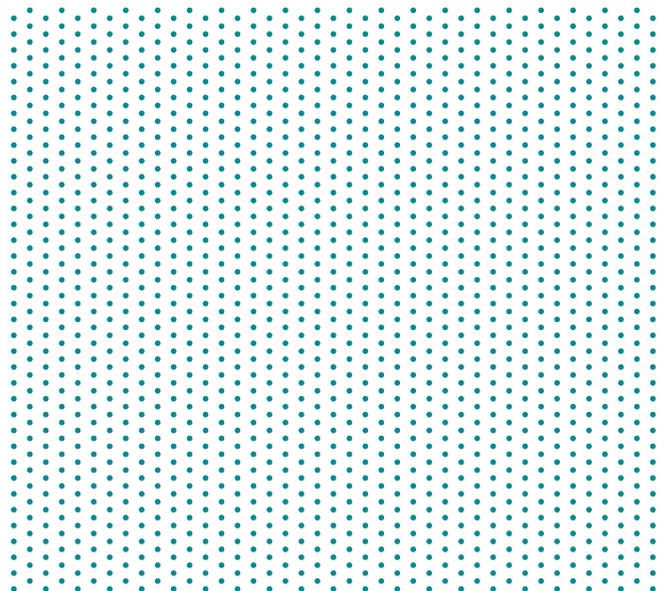
2.4 Tipptaster

Vom Standort des Tipptasters aus müssen die Gefahrenstellen und Gefahrenbereiche eingesehen werden können. Das Ingangsetzen Gefahr bringender Bewegungen nach dem Öffnen von verriegelten trennenden Schutzeinrichtungen darf nur dann möglich sein, wenn andere verriegelte trennende Schutzeinrichtungen außerhalb des einsehbaren Bereichs geschlossen sind. Dies bedeutet, dass bei geöffneten verriegelten Schutzeinrichtungen alle Gefahr bringenden Bewegungen vom Bedienstand einsehbar sein müssen. Eine andere wichtige Forderung ist, dass Tipptaster zum Ingangsetzen von Gefahr bringenden Bewegungen gegen unbeabsichtigtes Betätigen und Verwecheln gesichert sind. Folgende Sicherheitsmaßnahmen können hierfür verwendet werden:

- Versenken oder Abdecken der Stellteile (z. B. erhöhter Schutzkragen),
- Verstärken des Betätigungswiderstandes des Stellteils,
- sinnfälliges Anordnen der Stellteile,
- Anordnen des Stellteils an der Stelle, an der eine zufällige Betätigung unwahrscheinlich ist,
- Anwenden mehrerer zusammengehöriger Stellteile, die eine Betätigungsreihenfolge erfordern,
- Anwenden einer Zweihandschaltung (ISO 13851),
- Anwenden einer Anlaufwarneinrichtung (EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.7 und Anhang B),
- Verwenden von Stellteilen mit verschiedenen Oberflächenstrukturen.

An dieser Stelle soll unbedingt noch darauf hingewiesen werden, dass bei der Verwendung von Folientastaturen an Maschinen durch geeignete Maßnahmen eine versehentliche Betätigung verhindert sein muss. Werden sicherheitsrelevante Funktionen mit einer Folientastatur in Gang gesetzt, muss unterschieden werden zwischen:

- **Maschinen mit Anlaufwarneinrichtungen**
Wird die Startfunktion von Maschinen über eine Anlaufwarneinrichtung realisiert, sind keine weiteren Maßnahmen gegen versehentliches Betätigen erforderlich. Hingegen müssen aber die Stellteile von Befehleinrichtungen zum Ingangsetzen von Gefahr bringenden Bewegungen gegen Verwecheln (z. B. Tippen vor, Tippen zurück) gesichert sein. Der Schutz vor Verwechslung wird in der Praxis häufig durch einen Schutzkragen oder durch verschiedene Oberflächenstrukturen erzielt. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer sinnfälligen Anordnung der Stellteile, die ein Verwecheln verhindert.
- **Maschinen ohne Anlaufwarneinrichtungen**
Bei Maschinen ohne Anlaufwarneinrichtung müssen die Stellteile von Befehleinrichtungen zum Ingangsetzen von Gefahr bringenden Bewegungen gegen unbeabsichtigtes Betätigen und Verwecheln gesichert sein. Ein versehentliches Betätigen kann z. B. dadurch verhindert werden, dass während einer definierten Zeit das Stellteil zum Ingangsetzen der Gefahr bringenden Bewegung zweimal betätigt werden muss. Alternativ können auch zwei Taster betätigt werden. Ein Verwecheln kann auch durch einen Schutzkragen oder durch verschiedene Oberflächeneigenschaften der Stellteile verhindert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer sinnfälligen Anordnung der Stellteile, z. B. wenn das Not-Halt-Stellteil zwischen den Tastern „Tippen vor“ und „Tippen zurück“ angeordnet ist.



3

Elektrische Ausrüstung

- 3.1 Einspeisung und Netztrenneinrichtungen
 - 3.1.1 Netzanschluss
 - 3.1.2 Netztrenneinrichtung (Hauptschalter)
- 3.2 Einrichtungen zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf
- 3.3 Steuerstromkreise und Steuerfunktionen
 - 3.3.1 Steuerstromkreise
 - 3.3.2 Stopp-Funktionen
 - 3.3.3 Not-Halt-Einrichtung
- 3.4 Schutzmaßnahmen
 - 3.4.1 Schutz gegen elektrischen Schlag
 - 3.4.2 Schutzarten

3.1 Einspeisung und Netztrenneinrichtungen

Fakten

Der Netzanschluss ist die Schnittstelle zwischen der elektrischen Ausrüstung der Maschine und dem Versorgungsnetz. Alle elektrischen Betriebsmittel und Anlagen bis 1000 V fallen in den Geltungsbereich der

Normenreihe DIN VDE 0100 in Bezug auf die Gebäudeinstallation. Netzanschlüsse sind nach EN 60445 zu kennzeichnen.

3.1.1 Netzanschluss

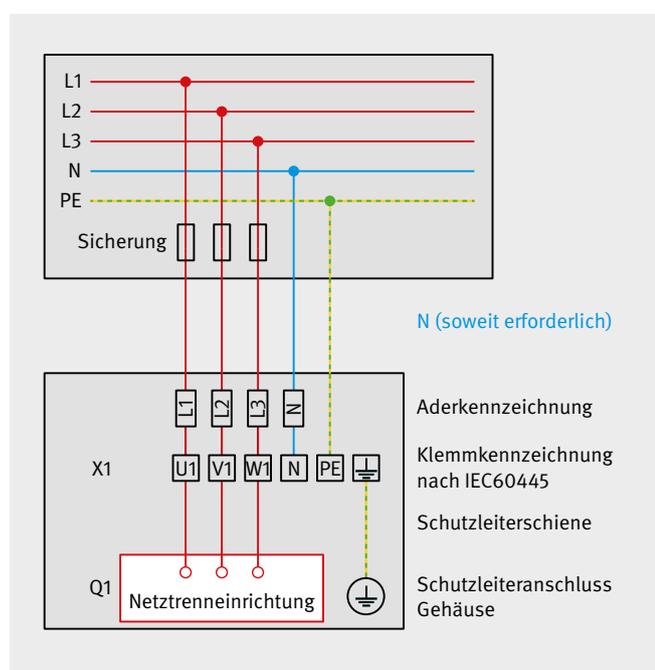


Abbildung 3: Kennzeichnung von Netzanschlüssen

Nach Möglichkeit soll die elektrische Ausrüstung einer Maschine nur einen Netzanschluss haben. Werden mehrere Netzanschlussstellen benötigt, wie das z. B. bei großen Maschinen der Fall ist, muss dies aus der technischen Dokumentation der Maschine und den Hinweisen an den Anschlussstellen eindeutig hervorgehen. Falls keine Steckvorrichtung für den Netzanschluss der Maschine vorgesehen ist, wird empfohlen, die Zuleitung direkt an die Eingangsklemmen des Hauptschalters (Netz-Trenneinrichtung) anzuschließen. Sollte das nicht sinnvoll sein, müssen getrennte Anschlussklemmen verwendet werden.

Wichtig ist, dass alle aktiven Teile (z. B. Netzanschlüsse), die nach dem Trennen durch den Hauptschalter (Netz-Trenneinrichtung) unter Spannung bleiben, gegen direktes Berühren geschützt sind, d. h. sie müssen mindestens der Schutzart IP 2X (Fingersicherheit) entsprechen (EN 60204-1,

Abschnitt 6.2.2). Des Weiteren müssen die Netzanschlussklemmen bzw. die Hauptschalteranschlussklemmen durch einen schwarzen Blitzpfeil auf gelbem Grund in schwarzem Dreieck als unter Spannung stehend gekennzeichnet werden (EN 60204-1, Abschnitt 5.3.5). Zusätzlich muss eine Aussage im Wartungshandbuch vorhanden sein.

Die Anforderung hinsichtlich des Berührungsschutzes gilt ebenfalls für den Neutralleiter. Die Benutzung eines Neutralleiters muss eindeutig in der technischen Dokumentation, zum Beispiel im Installationsplan und im Stromlaufplan, angegeben sein. Ferner muss der Neutralleiter über den Hauptschalter geführt werden, d. h. der Hauptschalter ist vierpolig auszuführen. Eine Abstimmung mit dem Betreiber wird empfohlen. Eine Ausnahme stellen die TN-Netze dar; bei diesen Netzen kann auf eine Schaltung des Neutralleiters verzichtet werden. Hierbei sind aber landesspezifische Forderungen zu beachten. Wenn ein Neutralleiter mitgeführt wird, muss nach den Anschlussklemmen innerhalb der elektrischen Ausrüstung konsequent das TN-S-Netz eingehalten werden.

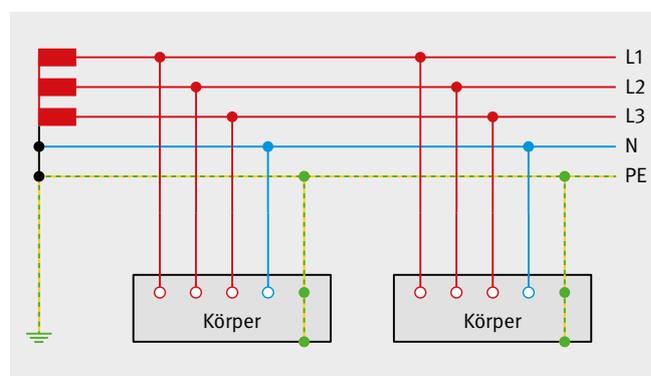


Abbildung 4: TN-S-Netz: getrennter Neutralleiter und Schutzleiter im gesamten Netz (nach den Anschlussklemmen)

Es darf unter keinen Umständen eine Verbindung zwischen dem Neutralleiter und dem Schutzleiter nach der Netzeinspeisung hergestellt werden. Eine Ausnahme bildet das TN-C-System; hier darf eine Verbindung zwischen der Klemme für den Neutralleiter und der PE-Klemme an der Anschlussstelle der Maschine hergestellt werden.

Der externe Schutzleiteranschluss muss mit PE gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung mit PE innerhalb des Schutzleitersystems soll sich nach Möglichkeit auf den externen Schutzleiter reduzieren. Durch die eindeutige Kennzeichnung wird die Bedeutung des externen Schutzleiters unterstrichen. Die Elektrofachkraft soll dadurch darauf aufmerksam gemacht werden, dass durch das Entfernen des externen Schutzleiters der Berührungsschutz nicht mehr gegeben ist. Für den externen Schutzleiter sind, in Abhängigkeit von den Außenleiterquerschnitten, folgende Mindestquerschnitte auszuwählen.

Querschnitt S der Außenleiter aus Kupfer für den Netzanschluss (mm ²)	Mindestquerschnitt des externen Schutzleiters aus Kupfer (mm ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Tabelle 8: Mindestquerschnitt des externen Schutzleiters

Besonders bei geregelten Gleichstromantrieben ist darauf zu achten, dass der Querschnitt des Schutzleiters so dimensioniert ist, dass er thermisch in der Lage ist, den maximalen Strom des Thyristorspeisegerätes (d. h. den Wert der eingestellten Stromgrenze) aufzunehmen. Bei großen Maschinen kann es daher erforderlich sein, den Mindestquerschnitt größer zu wählen, als in Tabelle 8 angegeben.

Die PE-Klemmen aller Netzanschlüsse einer Maschine müssen zwecks Potentialausgleichs zusammengeschlossen werden. Das Zusammenschließen der Schutzleiter stellt eine wichtige Schutzfunktion dar, da das Massepotential gegen Erde stets so niedrig zu halten ist, dass keine Gefährdung für Personen und Einrichtungen auftritt. Alle anderen Schutzleiteranschlussklemmen sind durch das Symbol 5019 der EN 60417 oder durch die Zweifarbenkombination Grün-Gelb oder PE zu kennzeichnen.

Die Kennzeichnung der Klemme durch das Symbol sollte bevorzugt werden.



Abbildung 5: Symbol 5019 der EN 60417

3.1.2 Netztrenneinrichtung (Hauptschalter)



Bild 4: Netztrenneinrichtung (Hauptschalter)

Allgemeine Anforderungen

Für jede Netzeinspeisung ist ein handbetätigter Hauptschalter vorzusehen. Dieser Hauptschalter muss die elektrische Ausrüstung vom Netz trennen, damit Arbeiten an der Maschine, z. B. Instandhaltungsarbeiten an mechanischen Bauteilen, an elektrischen Betriebsmitteln, an hydraulischen oder pneumatischen Einrichtungen und Reinigungsarbeiten, gefahrlos durchgeführt wer-

den können. Der Hauptschalter darf nur eine Ein- und eine Aus-Stellung besitzen. Die Schalterstellung muss mit „Ein“ und „Aus“ bzw. „I“ und „O“ eindeutig gekennzeichnet sein. Ferner muss der Hauptschalter in der Aus-Stellung abschließbar sein.

Alle aktiven Teile (z. B. Netzanschlüsse), die nach dem Trennen durch den Hauptschalter unter Spannung bleiben, müssen gegen direktes Berühren geschützt werden, d. h. sie müssen mindestens der Schutzart IP 2X oder IPXXB (Fingersicherheit) entsprechen (EN 60204-1, Abschnitt 6.2.2). Außerdem müssen die Netzanschlussklemmen bzw. die Hauptschalteranschlussklemmen durch einen schwarzen Blitzpfeil auf gelbem Grund in schwarzem Dreieck als unter Spannung stehend gekennzeichnet werden (EN 60204-1, Abschnitt 5.3.5).

Die elektrische Ausrüstung ist vorzugsweise nur an eine Netzspannung anzuschließen. Andere benötigte Spannungen sollten aus dieser erzeugt werden. Sind zwei oder mehr Hauptschalter vorhanden (mehrere Netzeinspeisungen), darf keine gefährliche Situation entstehen, wenn nicht alle gleichzeitig ausgeschaltet werden, z. B. bei räumlich getrennten Schaltstellen, wie dies bei ausgedehnten Druck- und Papierverarbeitungsanlagen vorkommen kann. Hier muss sichergestellt werden, dass an der Schnittstelle keine gefährlichen Situationen für Mensch und Maschine entstehen können. Können Gefahren für Personen oder Schäden am Produkt entstehen, sind Verriegelungen erforderlich. Diese Verriegelungen können mechanisch oder elektrisch erfolgen.

Hauptschalter, die zusätzlich als Not-Halt-Einrichtung dienen, müssen hinsichtlich ihrer Handhabe die in den Abschnitten 10.7.3 und 10.2.1 der EN 60204-1 geforderte farbliche Kennzeichnung erfüllen.

Die Farbe Rot (Hauptschalter hat Not-Aus-Funktion) ist nur dann zulässig, wenn durch Umlegen des Hauptschalters das dynamische Stillsetzverhalten des Antriebs das gleiche ist wie bei einem Not-Aus-Signal, welches beim Betätigen eines pilzförmige Not-Halt-Stellteils bewirkt wird. Dies ist besonders bei 4-Q-Antrieben von Bedeutung.

Zusammenfassung der allgemeinen Anforderungen an den Hauptschalter:

- Trennen der elektrischen Ausrüstung vom Netz,
- es darf nur eine Aus- und eine Ein-Stellung vorhanden,
- die Aus-Stellung darf erst bei vollständig geöffneten Kontakten angezeigt werden,
- die Handhabe darf nur bei Not-Aus-Funktion rot sein,
- Hauptschalter muss in der Aus-Stellung abschließbar sein (z. B. durch Vorhängeschloss),
- Ausschaltvermögen = Strom des größten Motors in blockiertem Zustand + Summe der tatsächlichen Betriebsströme aller weiteren Verbraucher. Ein bewährter Reduktionsfaktor darf hierbei angewendet werden.



Bild 5: Netzanschluss

Ausführungsarten

Die Hauptschalter können folgendermaßen ausgeführt werden:

- Lasttrennschalter (mit und ohne Sicherung) entsprechend IEC 60947-3 für Gebrauchskategorie AC 23B oder DC 23B (d. h. sie können die maximale Last schalten und sie müssen für das gelegentliche Schalten von induktiven Lasten geeignet sein),
- Trennschalter ohne Lastschaltvermögen (mit und ohne Sicherung) nach IEC 60947-6-2 mit einem Hilfskontakt, der bewirkt, dass Schaltgeräte (z. B. ein Schütz mit Verriegelung) die Last vor dem Öffnen der Hauptkontakte des Trennschalters abschalten,
- Leistungsschalter – geeignet zum Trennen – nach IEC 60947-2 (d. h. sie haben Trenneigenschaften und sind in der Lage, die Last und Fehlerströme zu schalten),
- andere Schalter, die Trenneigenschaften und geeignete Gebrauchskategorien nach einer IEC-Produktnorm und/oder festgelegte Beanspruchungsanforderungen nach Produktnormen erfüllen,
- Steckvorrichtungen für eine Stromversorgung mit flexiblen Leitungen. Steckvorrichtungen, die für mehr als 16A bemessen sind, müssen mit einer mechanischen Verriegelungseinrichtung versehen sein, um ein unbeabsichtigtes oder zufälliges Trennen zu verhindern (EN 60204-1, Abschnitte 5.3.2 und 13.4.5).



Bild 6: Anordnungshöhe von Stellteilen

Der Hauptschalter trennt die elektrische Ausrüstung vom Netz. Er erlaubt gefahrloses Arbeiten an der elektrischen oder mechanischen Ausrüstung und verhindert die Inbetriebnahme.

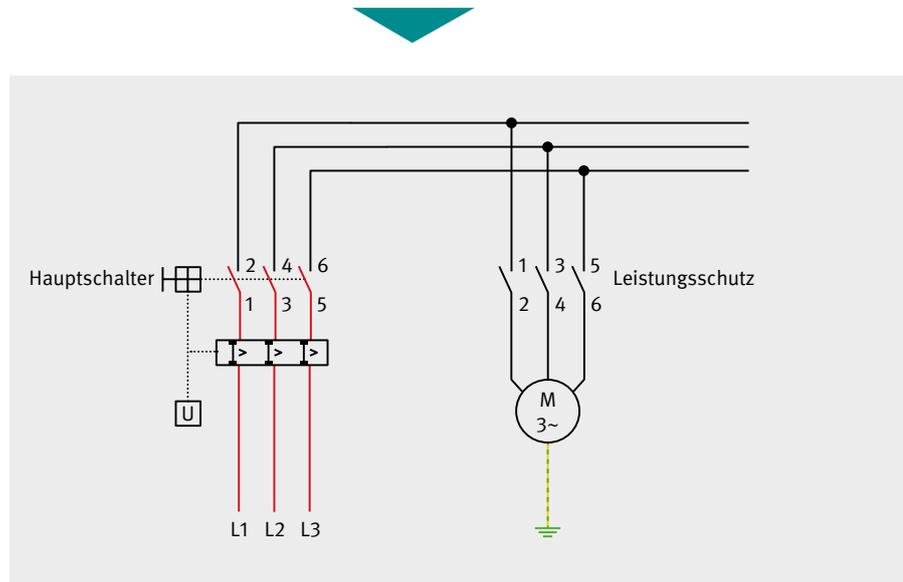


Abbildung 6: Wirkungsbereich der Netztrenneinrichtung

Nach dem Aus- und Wiedereinschalten des Hauptschalters bzw. bei Spannungswiederkehr nach Spannungsausfall darf kein selbstständiger Anlauf Gefahr bringender Bewegungen möglich sein. Diese Anforderung kann z. B. durch einen Motorschutzschalter mit Unterspannungsauslösung realisiert werden. Dies gilt sinngemäß für eine elektromechanische Steuerung mit Selbsthaltung, da bei Spannungsausfall, z. B. durch das Ausschalten des Hauptschalters, die Selbsthaltung verloren geht, wenn z. B. das Ruhestromprinzip eingehalten ist.

Handhabe/Wirkbereich der Netztrenneinrichtung (Hauptschalter)

Für die Anordnung der Handhabe wird ein Höhenbereich von 0,6 m bis 1,9 m oberhalb der Zugangsebene angegeben. Es wird eine Höhe von 1,7 m empfohlen. Die Handhabe des Hauptschalters muss leicht zugänglich sein.

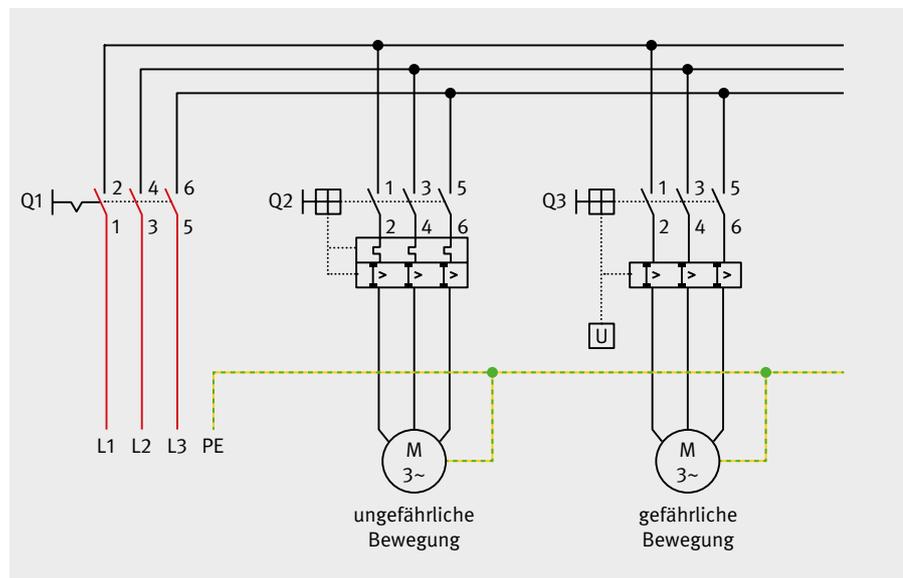


Abbildung 7: Wirkungsbereich eines Hauptschalters mit Not-Aus-Funktion

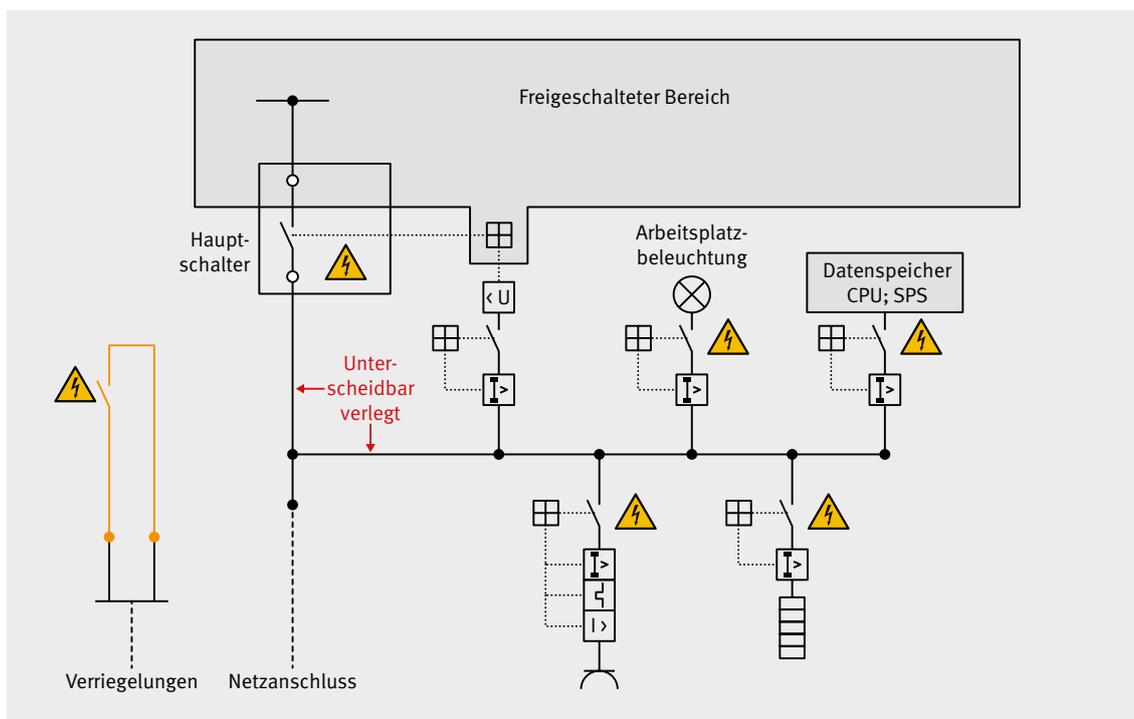


Abbildung 8: nicht durch die Netztrenneinrichtung freigeschaltete Bereiche

Ausgenommene Stromkreise

Um sicherzustellen, dass bei ausgeschalteter Netztrenneinrichtung (Hauptschalter) erforderliche Wartungsarbeiten durchgeführt werden können und z. B. wichtige Speicherinformationen der CPU nicht verloren gehen, brauchen folgende Stromkreise nicht durch die Netztrenneinrichtung (Hauptschalter) abgeschaltet zu werden:

- Lichtstromkreise für die Beleuchtung bei Instandhaltungsarbeiten,
- Steckdosen-Stromkreise für den ausschließlichen Anschluss von Instandsetzungswerkzeugen,
- Unterspannungsschutz-Stromkreise, die nur für die automatische Abschaltung bei Netzausfall benutzt werden,
- Stromkreise, die zum einwandfreien Betrieb erforderlich sind, z. B. temperaturgesteuerte Messeinrichtungen, Programmspeicher usw.,
- Steuerstromkreise für Verriegelung.

Stromkreise, die nicht durch den Hauptschalter freigeschaltet werden, müssen ihren eigenen Überstromschutz haben. Es wird empfohlen, solche Stromkreise mit einer eigenen Trenneinrichtung zu versehen. Motorschutzschalter, Schmelzsicherungen und Leitungsschutzschalter erfüllen diese Anforderung.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass Servicesteckdosen, z. B. für Prüfausrüstungen, und Arbeitsplatzbeleuchtungen immer, also auch wenn sie durch die Netztrenneinrichtung freigeschaltet werden, mit separaten eigenen Sicherungen gegen Überstrom geschützt werden müssen. Die EN 60204-1 fordert für Servicesteckdosen mit einem Nennstrom von nicht größer als 20A den Einbau einer Fehlerstromschutzeinrichtung (RCS, Empfehlung: Typ B) mit einem Auslösestrom von nicht mehr als 30 mA.

Stromkreise, die nicht durch die Netztrenneinrichtung freigeschaltet werden, müssen einen dauerhaften Warnhinweis in der Nähe der Netztrenneinrichtung haben und einen entsprechenden Warnhinweis im Wartungshandbuch enthalten.



Bild 7: Kennzeichnung ausgenommener Stromkreise

Weiterhin ist mindestens eine der nachfolgenden Anforderungen zu erfüllen:

- ein dauerhaftes Warnschild, bestehend aus einem gelben Dreieck mit schwarzem Blitzpfeil, muss in der Nähe jedes ausgenommenen Stromkreises angebracht sein
- oder
- der ausgenommene Stromkreis muss räumlich getrennt von anderen Stromkreisen angeordnet sein
- oder
- die Leiter müssen farblich – vorzugsweise in Orange – gekennzeichnet sein.

3.2 Einrichtungen zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf

Bei notwendigen Eingriffen in den Gefahrenbereich einer Maschine oder Anlage, wie z. B. bei Wartungs- und Reinigungsarbeiten sowie bei Einstellarbeiten, ist eine der wichtigsten Voraussetzungen, die Maschine oder Anlage während des Eingriffs in den Gefahrenbereich in einem ungefährlichen Zustand zu halten. Mit der zunehmenden Automatisierung haben die Komplexität und die damit verbundene Unübersichtlichkeit der Maschinen zugenommen. So ist es bei Rotationsdruckmaschinen durch die Realisierung der „elektronischen Welle“ möglich, die einzelnen Druckwerke durch eigene Antriebsaggregate anzutreiben. Je nach Auftrag können verschiedene Auflagen (Produkte) gleichzeitig von der Rotationsdruckmaschine erstellt werden. Man hat also die Möglichkeit, verschiedene Druckwerke je nach geforderter Auflagenstärke miteinander zu kuppeln. Ferner ist es möglich, einzelne Druckwerke auszukuppeln, um an den Druckaggregaten Instandhaltungsarbeiten durchzuführen, während die nicht ausgekuppelten Druckwerke weiterhin in Betrieb sind. Als Folge ist das Risiko eines unerwarteten Anlaufs gestiegen.

In der EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Anhang I, Ziffern 1.2.1 und 2.2.1 sowie in den Normen EN ISO 12100, Ziffer 6.2.11.1, EN 60 204-1, Abschnitt 5.4 und EN ISO 14118 werden Einrichtungen zum Ausschalten zur Verhinderung eines unerwarteten Anlaufs gefordert. So muss z. B. während der Instandhaltung durch eine besondere Abschalt-einrichtung ein Anlauf der Maschine verhindert werden, falls ansonsten eine Gefährdung für das Bedienpersonal entstehen kann. Bei Druckmaschinen hat sich der so genannte Halt-Sicher-Taster als Sicherheitsmaßnahme gegen unerwarteten Anlauf bewährt, um Personen während Inricht- und Instandhaltungsarbeiten, Plattenwechseln usw. zu sichern. Wenn Sicherheitsmaßnahmen durch den Halt-Sicher-Taster ergriffen werden, ist besonders darauf zu achten, dass die Signalverarbeitung des Halt-Sicher-Tasters entsprechend der Risikobeurteilung erfolgt (zum Beispiel $PL_r=d$ oder $PL_r=c$ nach EN ISO 13849-1).

Für größere Instandhaltungsarbeiten ist der Halt-Sicher-Taster nicht geeignet, da er nicht gegen ungewolltes und unbefugtes Wiedereinschalten gesichert werden kann. Ferner ist der Wirkungsbereich häufig lokal begrenzt.

Wenn die Trennung der Energie und deren Ableitung jedoch keine geeignete Möglichkeit darstellt, z. B. bei kurzen Eingriffen in den Gefahrenbereich, muss der Konstrukteur – in Abhängigkeit von der Risikobeurteilung – andere Maßnahmen zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs vorsehen. In Kapitel 6 der EN ISO 14118 sind Maßnahmen beschrieben, die zu ergreifen sind, wenn eine Trennung der Energie und deren Ableitung nicht geeignet sind. So kann zum Beispiel durch eine redundante Stillstandsüberwachung ein unerwarteter Anlauf verhindert werden, wenn sichergestellt ist, dass die Auflösung des Istwert-Gebers ausreichend genau gestaltet ist.

Im Vorfeld muss überprüft werden, ob durch die Reaktionszeiten des Überwachungskanals und des Abschaltpfades ein nicht zu akzeptierendes Risiko entsteht. Einrichtungen zur Verhinderung eines unerwarteten Anlaufs müssen vom Hersteller vorgesehen und in der Wartungsanleitung nach EN 60204-1 gemäß Abschnitt 17 ausgewiesen werden.

Wenn statt des Hauptschalters andere Einrichtungen zum Ausschalten verwendet werden, dürfen diese nur unter folgenden Bedingungen benutzt werden:

- kein Auseinanderbau der Maschine,
- die Einstellungen dürfen nur eine relativ kurze Zeit benötigen (z. B. zum Einlegen eines Werkzeugstückes von Hand),
- keine Arbeiten an der elektrischen Ausrüstung, außer wenn:



Bild 8: Halt-Sicher-Taster zur Verhinderung unerwarteten Anlaufs (rechter Taster)

- keine Gefährdung durch elektrischen Schlag besteht,
- die Ausschaltung durch das Arbeiten nicht aufgehoben werden kann oder
- bei Arbeiten, die von geringem Umfang sind.

Es ist insbesondere zu beachten, dass das Ausschalten eines Antriebes nur über die elektronische Steuerung (Stopp-Kategorie 2) ein erhöhtes Risiko gegenüber dem galvanischen Trennen der Leistungsversorgung durch Leistungsschalter darstellt. Ferner müssen Vorkehrungen getroffen werden, um unbeabsichtigtes und versehentliches Betätigen des Stellteils zu verhindern.

3.3 Steuerstromkreise und Steuerfunktionen

3.3.1 Steuerstromkreise

Steuerstromkreise sind Stromkreise, die für die Steuerung und Überwachung der Maschine notwendig sind. Zum Erzeugen der Steuerspannung gibt es zwei Möglichkeiten:

a) Unmittelbarer Anschluss an das Versorgungsnetz (siehe Abb. 9)

Der unmittelbare Anschluss an das Versorgungsnetz (d. h. ohne Steuertransformator) ist nur möglich bei

- Maschinen mit einem Antriebsmotor und/oder

- höchstens zwei äußeren Steuergeräten (z. B. ein Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen, ein Bedienpult mit Tastern für Start und Stopp).

b) Verwendung eines Steuertransformators (siehe Abb. 10)

Die Erzeugung der Steuerspannung durch einen Steuertransformator bietet folgende Vorteile:

- die Steuerspannung ist standardisierbar, unabhängig von der primären Netzspannung und Netzform (z. B. 24V),

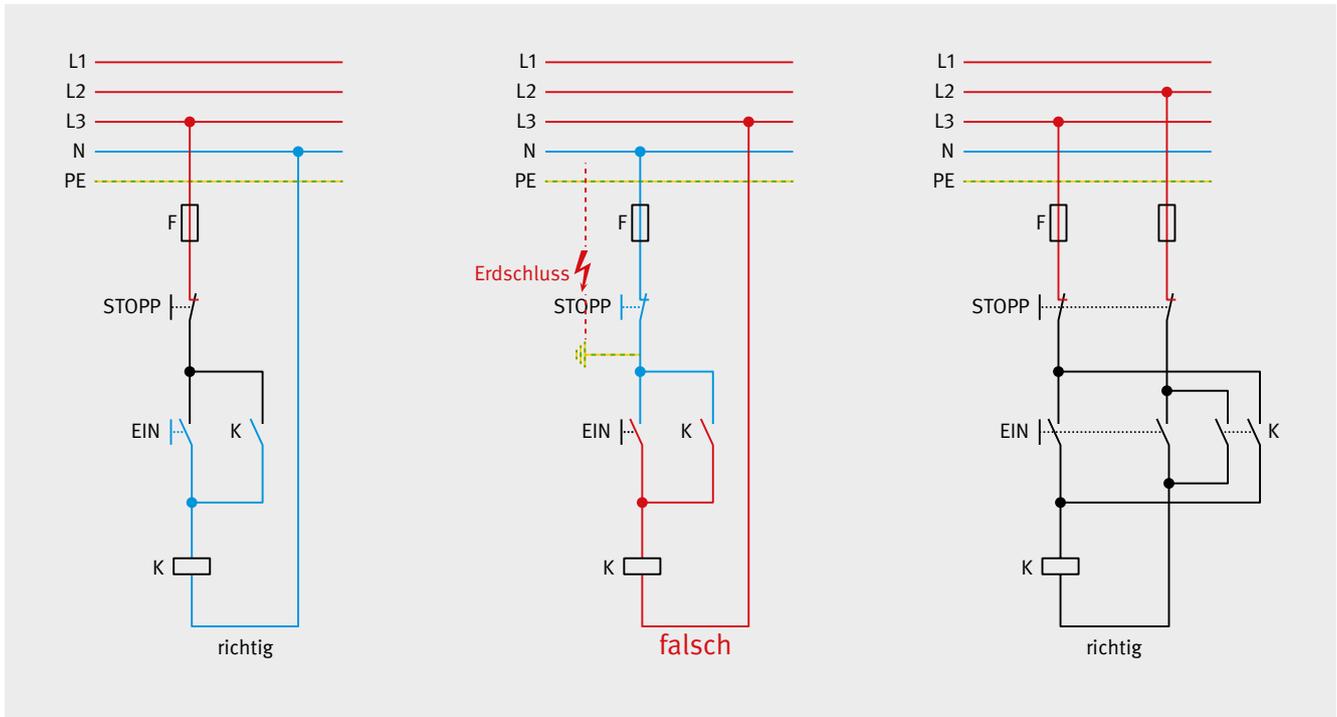


Abbildung 9: Steuerspannungsversorgung unmittelbar durch das Netz

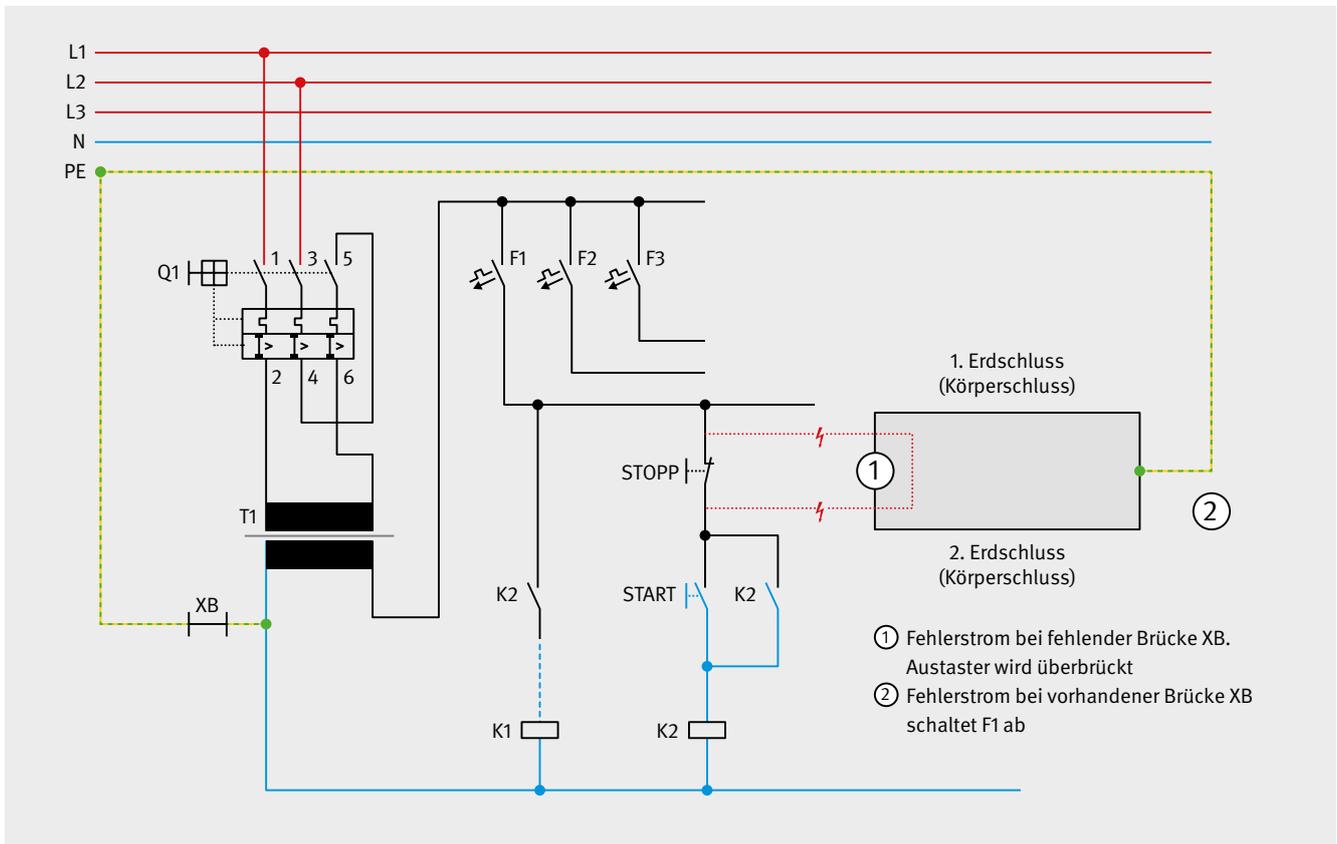


Abbildung 10: Verwendung eines Steuertransformators

- betriebsbewährte Komponenten können verwendet werden, welche die Zuverlässigkeit erhöhen,
- Begrenzung des sekundären Kurzschlussstroms,
- geerdeter oder ungeerdeter Betrieb möglich (d. h. Erdung oder Isolationsüberwachung wählbar),
- Dämpfung von Spannungsspitzen und Störungen (Oberschwingungen) im Sekundärteil (Filtereigenschaften und somit wichtig hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit),
- geringere Überspannungskategorie hinter Transformatoren, meist Überspannungskategorie II.

Bei der Gestaltung von Steuerstromkreisen müssen folgende Bedingungen zusätzlich beachtet werden:

- Bei Verwendung von Gleichspannungs- und Wechselspannungssteuerstromkreisen müssen getrennte Wicklungen oder getrennte Transformatoren verwendet werden.
- Die Steuerstromkreise müssen mit einem Überlastschutz versehen werden; diese Anforderung gilt sowohl für die Primär- als auch die Sekundärseite des Transformators.
- Alle sicherheitsrelevanten Stromkreise müssen geerdet oder mit einer Isolationsüberwachung versehen werden.

- Die Nennspannung darf 277 V nicht übersteigen.
- Eine Seite der Betätigungsspulen ist mit dem Schutzleiter verbunden (Ausnahme: Schaltglieder von Schutzeinrichtungen, z. B. Überstromschutzeinrichtungen, dürfen zwischen dem Schutzleiter und der Spule angeschlossen werden, wenn diese sich in einem Steuergehäuse befinden und ein Erdschluss unwahrscheinlich ist).
- Bei Wiederkehr der Spannung nach einem Netzausfall dürfen sicherheitsrelevante Antriebe nicht selbstständig anlaufen.

Sicherheitstechnisch ist es zwingend erforderlich, dass Erdschlüsse in Steuerstromkreisen

- weder zu einem unbeabsichtigten Anlauf noch zu gefährlichen Bewegungen führen und
- das beabsichtigte Stillsetzen einer Gefahr bringenden Bewegung nicht verhindern.

Durch die Erdung des Steuerstromkreises auf der Sekundärseite wird sichergestellt, dass ein einfacher Erdschluss erkannt wird und ein zweifacher Erdschluss nicht zum Verlust der Sicherheit führt.

3.3.2 Stopp-Funktionen

In der EN 60204-1 wird eine Differenzierung hinsichtlich der Stopp-Funktionen vorgenommen. Es gibt vier Kategorien von Stopp-Funktionen:

Kategorie 0

Ungesteuertes Stillsetzen durch sofortige Unterbrechung der Energiezufuhr zu den Maschinenantrieben. Eventuell ist ein zusätzliches Betätigen einer mechanischen Bremse oder anderer mechanischer Stillsetzeinrichtungen erforderlich. Ohne zusätzliche Bremsung erfolgt ein unkontrolliertes Austrudeln der Bewegung in Abhängigkeit von der Masse und den Reibungsverhältnissen.

Kategorie 1

Ein gesteuertes Stillsetzen, wobei die Energiezufuhr zu den Maschinen-Antrieben beibehalten wird, um das Stillsetzen über die Steuerung zu erzielen. Die Energiezufuhr zu den Maschinen-Antrieben wird nach Erreichen des Stillstandes unterbrochen. Diese Stopp-Funktion führt zu einer kontrollierten Bremsung, bewirkt durch die Steuerung.

Kategorie 1b:

Ein gesteuertes Stillsetzen, wobei die Energiezufuhr zu den Maschinen-Antrieben beibehalten wird, um das Stillsetzen über die Steuerung zu erzielen (wie auch bei Kategorie 1). Der Stillstand der Antriebe wird überwacht. Wird ein unerwarteter Anlauf erkannt, so wird die Energiezufuhr unterbrochen, ohne dabei eine Gefahr bringende Situation zu verursachen.

Kategorie 2

Ein gesteuertes Stillsetzen, wobei die Energiezufuhr zu den Maschinenantrieben auch nach Erreichen des Stillstandes erhalten bleibt. Der Stillstand wird ausschließlich durch die Antriebssteuerung realisiert.

Die Unterbrechung der Energie zur Erzeugung eines Drehmoments oder einer Kraft kann z. B. auf folgenden Wegen erfolgen:

- entkuppeln,
 - trennen,
 - abschalten
- oder

- durch elektronische Mittel (z. B. unter Verwendung eines elektrischen Leistungsantriebs mit einstellbarer Drehzahl der IEC 61800-Serie).

Die Unterbrechung erfolgt also nicht nur durch eine galvanische Trennung vom Netz durch ein separates Leistungsschütz.

Unter dem Begriff „elektrische Leistungsantriebe mit einstellbarer Drehzahl“ werden zusammengefasst

- Gleichstrom-Antriebssysteme, die aus Netzwechselspannung bis 1kV, 50Hz oder 60 Hz gespeist werden, sowie
- Wechselstrom-Antriebs-Systeme mit Stromrichtereingangsspannungen bis zu 35kV, 50Hz oder 60Hz und Ausgangsspannungen bis 35kV, ohne angetriebene Einrichtungen.

Maschinen müssen nach EN 60204-1 folgende allgemeine Anforderungen erfüllen:

- Jeder Maschinen-Antrieb muss mit einer Stopp-Funktion der Kategorie 0 ausgerüstet sein.
- Eine Risikobewertung der Maschine kann ergeben, dass zusätzlich Stopp-Funktionen der Kategorie 1/1b und/oder 2 bezüglich der vorhandenen Maschinen-Antriebe vorzusehen sind, wenn dies sicherheits- und/oder funktionstechnisch erforderlich ist.
- Jede realisierte Stopp-Kategorie muss die Maschinen-Antriebe hinreichend zuverlässig stillsetzen. Anhand einer antriebsbezogenen Risikobewertung muss der jeweilige erforderliche Performance Level PL_r festgelegt werden. Im Anschluss muss diese Kenngröße mit dem realisierten Performance Level PL verglichen werden. Hierbei kann z. B. auch das zusätzliche Einfallen einer Bremse den realisierten Performance Level PL erhöhen.
- Stopp-Funktionen der Kategorie 0, 1 und 1b müssen unabhängig von der Betriebsart funktionsfähig sein, ferner muss Stopp-Kategorie 0 Vorrang haben.
- Stopp-Funktionen müssen durch Entgegen des entsprechenden Kreises erfolgen und Vorrang vor Start-Funktionen haben.

3.3.3 Not-Halt-Einrichtung

Entsprechend der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und der EN ISO12100 muss jede Maschine mit einer oder mehreren Notbefehlseinrichtungen ausgerüstet sein, durch die unmittelbar drohende oder eintretende gefährliche Situationen vermieden werden. Hiervon ausgenommen sind in der Hand gehaltene bzw. von Hand geführte Maschinen und Maschinen, bei denen durch die Notbefehlseinrichtung die Gefahr nicht gemindert werden kann, da diese die Zeit bis zum normalen Stillsetzen nicht verkürzt, bzw. Maschinen, bei denen die Notbefehlseinrichtung es nicht ermöglicht, besondere, wegen des Risikos erforderliche Maßnahmen zu ergreifen.

Dies betrifft z. B. Nietmaschinen, Tischumreifungsmaschinen mit manuellem Bandezug. Auch gilt dies für Maschinen, bei denen die Maschinenbewegungen nur über Befehlseinrichtungen mit selbsttätiger Rückstellung (z. B. Tippbetrieb oder Zweihandschaltung) in Gang gesetzt werden können. Das Ingangsetzen der Gefahr bringenden Bewegungen durch Befehlseinrichtungen mit selbstständiger Rückstellung darf nur von Bedienplätzen aus erfolgen, von denen die Gefahr bringende Bewegung vollständig einsehbar ist. Dies ist z. B. bei Planschneidemaschinen ohne Automatikbetrieb gegeben.

An die Notbefehlseinrichtung werden besonders hohe Anforderungen gestellt, wobei die Notbefehlseinrichtung keine Ersatzmaßnahme für personenunabhängig wirkende Schutzeinrichtungen darstellt. Die Notbefehlseinrichtung ist kein primäres Mittel zur Risikominimierung von Gefährdungen. Es handelt sich um eine ergänzende Schutzmaßnahme! Sie ist dafür gedacht, dass andere Maßnahmen des Stillsetzens, z. B. die den Gefahrenbereich überwachenden, berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen, die elektrisch verriegelten Schutzeinrichtungen usw., nicht mehr funktionieren und die Notbefehlseinrichtung somit die letzte Möglichkeit darstellt, die Gefahr bringenden Bewegungen stillzusetzen bzw. die Gefahren abzuwenden. Im Gefahrenfall müssen nicht nur Gefahr bringende Bewegungen angehalten werden, sondern alle anderen Energiequellen, von denen eine Gefährdung ausgeht, wie z. B. gespeicherte pneumatische Energien, sicher getrennt werden. Es sind jedoch nur solche Einrichtungen im Gefahrenfall stillzusetzen, die entweder einen gefährlichen Zustand bereits verursacht haben oder voraussichtlich verursachen können.

Die Notbefehlseinrichtung muss hinsichtlich ihrer Funktion und ihrer Wirkungsweise so konzipiert sein, dass die



Bild 9: Not-Halt mit gekennzeichnetem Wirkungsbereich

Bedienperson nicht entscheiden muss, wie und was über das Stellteil der Notbefehlseinrichtung abgeschaltet wird. Die Notbefehlseinrichtung muss jederzeit verfügbar sein und ohne Rücksicht auf die Betriebsart jederzeit wirken. Ferner müssen die Stellteile der Notbefehlseinrichtung leicht und gefahrlos erreichbar sein. Inzwischen werden durch verschiedene Hersteller Stellteile für Notbefehlseinrichtungen angeboten, an denen Maßnahmen zur Verhinderung des versehentlichen Betätigens ergriffen wurden.



Bild 10: Not-Halt-Stellteil mit Schutzkragen

Diese Maßnahmen dürfen jedoch die leichte Zugänglichkeit der Stellteile nicht einschränken. Wichtig ist, dass Hilfseinrichtungen, die nicht sicherheitsrelevant sind und daher auch im Not-Halt-Fall weiterarbeiten müssen (z. B. Motorantriebe für Kühlsysteme, Luftsysteme, Farb- und Lackversorgung), nicht über die Notbefehlseinrichtung abgeschaltet werden. So sollen Schäden an der Maschine verhindert werden.

Die Entscheidung, welche Bewegungen durch Betätigung der Notbefehlseinrichtung stillgesetzt werden, muss vom Konstrukteur aufgrund einer Risikobeurteilung getroffen werden.

Allgemeine Anforderungen

Anhand einer Risikobewertung der Maschine wird die erforderliche Stopp-Kategorie bezüglich der Not-Halt-Funktion festgelegt.

- Not-Halt muss als Stopp der Kategorie 0 oder Kategorie 1 oder 1b wirken.
- Für die Not-Halt-Funktion der Kategorie 0 dürfen nur fest verdrahtete, elektromechanische Bauteile verwendet werden.
- Bei der Stopp-Kategorie 1 muss die endgültige Abschaltung der Energieversorgung der Antriebe durch elektromechanische Bauteile sichergestellt sein.
- Die Stopp-Kategorie 1b fordert eine Unterbrechung der Energiezufuhr erst im Fehlerfall. Hierfür ist eine Überwachung der Stoppbedingung notwendig (Stillstandsüberwachung).
- Das Rückstellen der Not-Halt-Einrichtung darf keinen Wiederanlauf einleiten.
- Grundsätzlich muss der Not-Halt-Befehl gegenüber allen anderen Funktionen und Befehlen in allen Betriebsarten Vorrang haben.
- Die Not-Halt-Einrichtungen müssen an jedem Bedienstand und an anderen Arbeitsplätzen, an denen Not-Halt gefordert sein kann, vorhanden sein.
- Die Bedienteile müssen rot sein. Ist ein Hintergrund vorhanden, muss dieser gelb sein.
- Das Bedienteil des drucktastenbetätigten Schalters muss entweder palmen- oder pilzkopfförmig sein.
- Die Kontakte der handbetätigten Stellteile der Notbefehlseinrichtungen müssen zwangsöffnend sein.
- Die Stellteile der Notbefehlseinrichtung müssen ergonomisch günstig angeordnet sein.

Es ist erforderlich, dass sich das Bedienteil der Not-Halt-Einrichtung nach dem Auslösen eines Not-Halt-Signals durch einen vorbestimmten inneren Funktionsmechanismus in die Aus-Stellung bewegt. Geräte mit Tastverhalten, die in Abhängigkeit vom Betätigungshub verrasten, erfüllen diese Anforderung nicht. Nur Geräte mit Sprungfunktion, die nach Überwindung eines Druckpunkts automatisch verrasten, erfüllen die Anforderung. Bei Notbefehlseinrichtungen ohne Sprungfunktion besteht die Gefahr, dass durch Antippen der Notbefehlseinrichtung der Stopp-Befehl ausgelöst wird, ohne gleichzeitig ein Verrasten des Stellteils zu bewirken. Durch diese Anforderung ist ein verbesserter Schutz vor dem unbeabsichtigten Wieder-

anlauf der Maschine gegeben, z. B. wenn versehentlich der Startbefehl aus einem Bereich erfolgt, von dem aus die Gefahrstelle nicht einsehbar ist. Dies wäre möglich, da die Öffnerkontakte der Notbefehlseinrichtung aufgrund der fehlenden Verrastung nicht mehr geöffnet sind.

Umsetzung der Stopp-Kategorien

Bei der konstruktiven Gestaltung der Not-Halt-Einrichtungen besitzen die Stopp-Kategorien eine besondere Bedeutung; deshalb sollen sie im Anschluss näher erläutert werden. Hierzu sollen drei ähnliche Blockschaltbilder dienen.

Zum Verständnis der Schaltung wird das Prinzip kurz beschrieben. Der Antrieb ist ein drehzahl geregelter Motor M, der in Abhängigkeit des vorgegebenen Sollwertes eine definierte Drehzahl annimmt. Über eine Drehzahlüberwachung wird der Steuerungseinheit (z. B. Standard-SPS) die aktuelle Drehzahl bzw. der Istwert mitgeteilt. Bei Soll-Istwert-Differenz werden über die Steuerung die Thyristoren des drehzahlveränderlichen Antriebs (Stromrichters) entsprechend angesteuert. Somit wird die Drehzahl nachgeregelt. Das Leistungsschütz K1 versorgt den Stromrichter mit der Netzspannung.

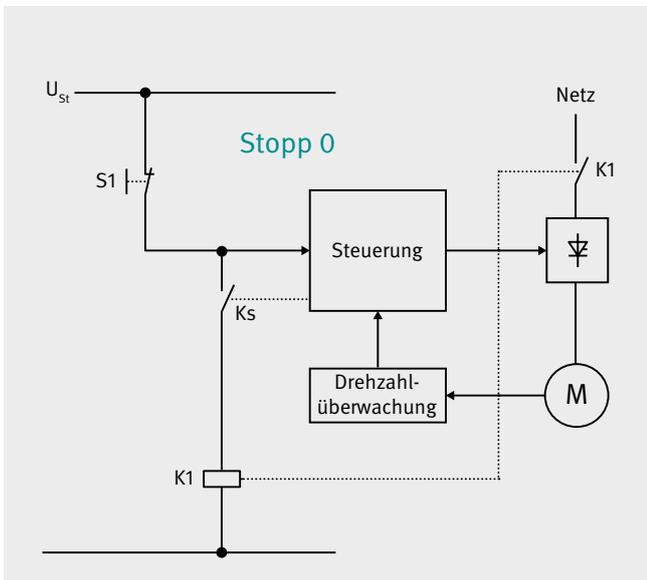


Abbildung 11: Stopp Kategorie 0 gemäß EN 60204:1

In Abbildung 11 setzt der Schalter S1 den Antrieb mittels der Stopp-Kategorie 0 still. Dies könnte z. B. der Hauptschalter sein. Hier sei daran erinnert, dass jede Maschine mit einer Stopp-Kategorie 0 ausgerüstet sein muss. Bei Betätigen des Schalters wird das Leistungsschütz K1 unmittelbar entriegelt und somit eine galvanische Trennung der Spannungsversorgung zum Antrieb hergestellt.

Die Betätigung des Stellteiles S2 in Abbildung 12 entspricht der Stopp-Kategorie 1. Bei Betätigung des Schalters S2 wird von der Steuerung ein Signal generiert und dadurch der Motor M durch den Stromrichter elektrisch gebremst. Während des Bremsvorganges wird Energie in das Netz zurückgespeist. Hat der Motor M die Drehzahl Null erreicht, wird über die Steuerung das Leistungsschütz K1 abgeschaltet. Zusätzlich wird über einen zweiten Abschaltweg (redundanten Kanal) durch das Zeitrelais Kt das Leistungsschütz K1 geöffnet. Diese redundante Maßnahme wird in der EN 60204-1 bevorzugt, d. h. das Wegschalten des Leistungsschützes hängt nicht von der Funktionsfähigkeit der programmierbaren elektronischen Ausrüstung (Steuerung) ab. Diese Maßnahme ist erforderlich, um ein Fehlverhalten des Antriebes bzw. der Steuerung zu beherrschen, z. B. wenn der Antrieb das Stopp-Signal ignoriert. Die kontaktbehafte Abschaltung über das Zeitrelais Kt wirkt unabhängig von der Stillstandserkennung der Steuerung.

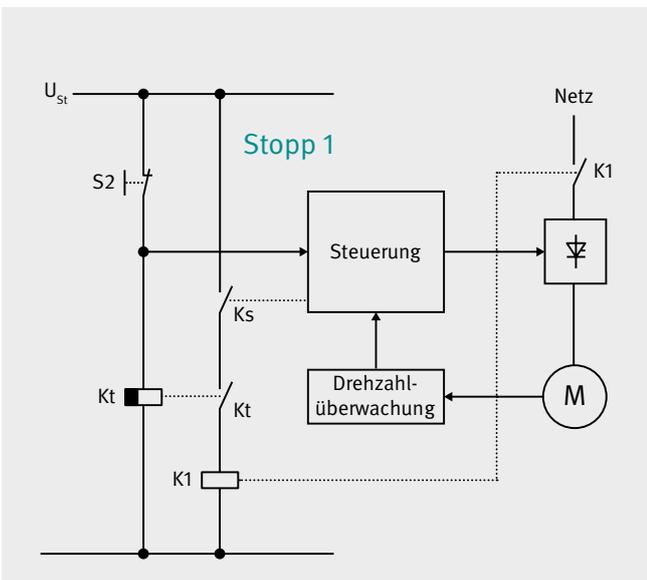


Abbildung 12: Stopp Kategorie 1 gemäß EN 60204:1

Bei der Stopp-Kategorie 2 wird nach Erreichen des Stillstandes das Leistungsschütz K1 nicht abgeschaltet und somit wird keine galvanische Trennung zwischen Antrieb und Netz hergestellt. Das Stillsetzen sicherheitsrelevanter Bewegungen mittels Stopp-Kategorie 2 ist nur zulässig, wenn gleichwertige Maßnahmen zum galvanischen Trennen vom Netz ergriffen werden, wie bei der Stopp-Kategorie 1b, siehe hierzu auch Kapitel 5.5 „Maßnahmen zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs“.

In Abbildung 13 wird die Stopp-Kategorie 1b veranschaulicht. Im Unterschied zu Stopp-Kategorie 1 wird nach dem elektronischen Bremsvorgang, der durch das Betätigen des Schalters S3 ausgelöst wird, keine zwangsläufige galvanische Trennung zum Netz hergestellt.

Jedoch wird nach dem Ablauf der erwarteten Bremszeit über die Drehzahlüberwachung der Stillstand des Motors kontinuierlich überwacht. Wird eine Drehzahl festgestellt, die größer als Null ist, so schaltet die Drehzahlüberwachung mit Hilfe des Kontakts Kn das Leistungsschütz K1 in Abbildung 13 ab und sorgt dadurch für die galvanische Trennung vom Netz, unabhängig von der Steuerungseinheit. Bei der Auswahl dieser Stopp-Kategorie 1b ist besonders das dynamische Verhalten der Abschaltung bei unerwartetem Anlauf des Motors über die Drehzahlüberwachung zu prüfen und mit der erforderlichen Risikominimierung zu vergleichen.

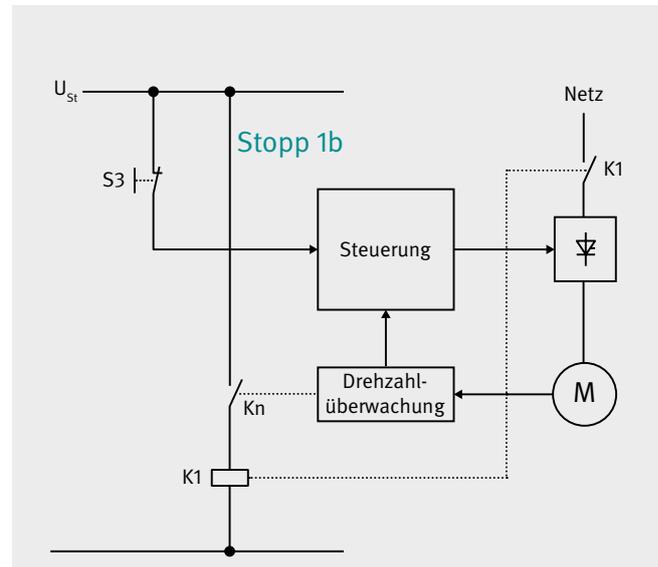


Abbildung 13: Stopp Kategorie 1b

Verkettete Anlage/Maschinenanlage

Wo Bereiche eines zusammenwirkenden Systems oder einer Gesamtheit von Maschinen deutlich voneinander getrennt sind, z. B. durch Schutzeinrichtungen oder durch ihre physikalische Anordnung, ist es nicht immer sinnvoll und auch nicht erforderlich, einen Not-Halt auf die gesamte Anlage anzuwenden. Es ist ausreichend, wenn lediglich bestimmte Bereiche, welche durch die Risikobeurteilung festgelegt werden, gestoppt werden. Durch eine Risikobeurteilung ist zu klären und abzuschätzen, welche Gefahren durch Nicht-Stillsetzen der gesamten Maschinenanlage entstehen können und welche Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu ergreifen sind. So müssen z. B. nach Wirksamwerden eines Not-Halt für einen Bereich der Maschinenanlage an den Schnittstellen zwischen diesem Bereich und anderen, nicht stillzusetzenden Bereichen des Systems Gefährdungen sicher verhindert werden. Gegebenenfalls muss bei Maschinenanlagen die einzelne Maschine so konzipiert sein, dass nicht nur diese Maschine sicher stillgesetzt wird, sondern auch vor- und/oder nachgeschaltete Maschinen, falls deren weiterer Betrieb eine Gefahr darstellen kann (EN ISO 12100, Nr. 6.2.11.1).

Gemäß EN ISO 13850 Nr. 4.1.1.6, muss die Notbefehls-einrichtung so beschaffen sein, dass die Entscheidung, das Stellteil der Notbefehlseinrichtung zu betätigen, der Person keine Überlegungen bezüglich der sich daraus ergebenden Wirkungen abverlangt (Bereich, der abgeschaltet wird).

Jeder Not-Halt-Wirkbereich kann umfassen:

- eine vollständige Maschine,
- einen Teil oder mehrere Teile einer Maschine oder
- eine Gruppe von Maschinen.



Abbildung 14: Not-Halt-Wirkbereich umfasst eine vollständige Maschine bzw. verkettete Anlage.

- Verschiedene Wirkbereiche dürfen sich auch überschneiden. Ein Anwendungsbeispiel hierfür sind moderne Rollenrotationsdruckmaschinen.

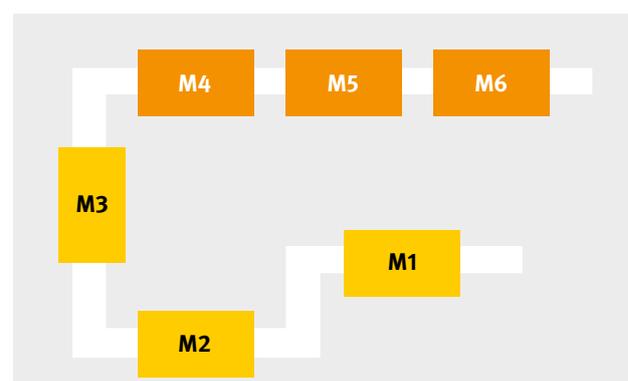


Abbildung 15: Not-Halt-Wirkbereich deckt Gruppen von Maschinen ab.

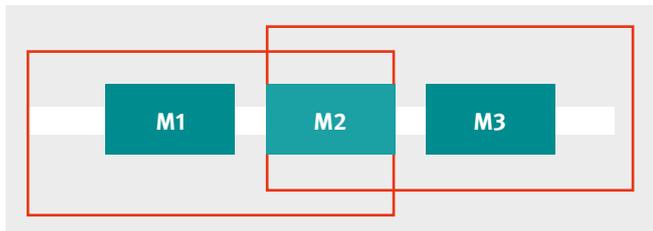


Abbildung 16: Not-Halt-Wirkbereiche überschneiden sich.

Wirken Stellteile der Notbefehlseinrichtung nur auf Teilbereiche, so ist es erforderlich, dass der Wirkbereich der Stellteile der Notbefehlseinrichtung eindeutig und augenfällig gekennzeichnet ist (EN ISO 12100, Nr. 6.2.11.1 und EN ISO 13850, Nr. 4.1.2.1). Die Kennzeichnungen können durch ein grafisches Symbol oder durch die Anordnung selbst erfolgen.

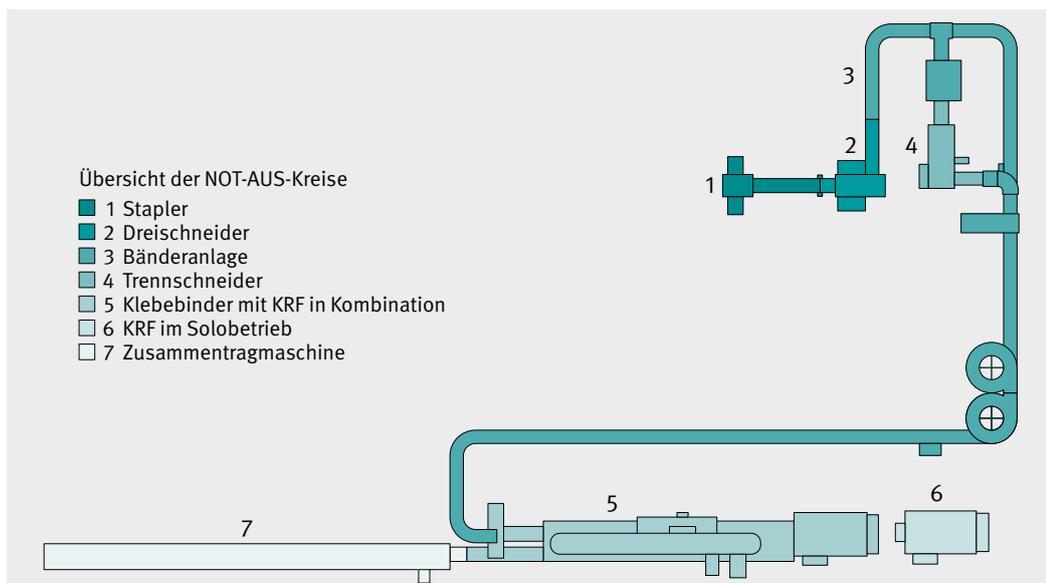
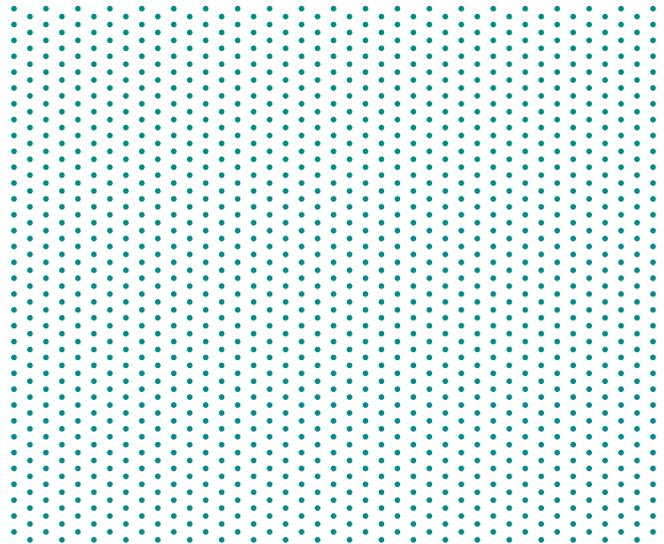


Bild 11: eindeutige Kennzeichnung der Not-Halt-Wirkbereiche

Not-Halt-Bereiche an Rollenrotationsdruckmaschinen

Neue, moderne Rollenrotationsdruckmaschinen sind in der Regel mit einer so genannten „elektronischen Welle“ ausgerüstet, die es ermöglicht, dass die einzelnen Komponenten jeweils durch Einzelmotoren direkt angetrieben werden. Durch die Realisierung der „elektronischen Welle“ haben die Einsatzmöglichkeiten und somit die Flexibilität der Maschine erheblich zugenommen. Dies bedeutet, dass je nach Auftragslage die Rollenrotationsdruckmaschine unterschiedlich eingesetzt werden kann.

Von Betreiberseite wird gefordert, dass beim Betätigen der Not-Halt-Einrichtung nicht die gesamte Rollenrotationsdruckmaschine stillgesetzt wird, sondern nur der mit-

einander gekoppelte Verbund, da sonst mit erheblichen wirtschaftlichen Verlusten gerechnet werden muss. Beim Betätigen der Not-Halt-Einrichtung werden die Antriebssysteme über eine Strombremse so schnell wie möglich stillgesetzt. Dies bedeutet, dass die Motoren mit dem maximalen elektrischen Bremsmoment beaufschlagt werden. Das führt ggf. in Abhängigkeit von der Papierstärke bzw. Papierqualität zum Zerreißen der Papierbahn. Um unnötige Stillstandszeiten zu vermeiden, wird gefordert, nur solche Antriebe stillzusetzen, die miteinander im Verbund gekoppelt sind. Im Ergebnis der Risikobeurteilung kann somit akzeptiert werden, dass beim Betätigen der Not-Halt-Einrichtung nicht der gesamte Verband der Maschine (Maschinenanlage) stillgesetzt wird, sondern nur

definierte Teilbereiche (Sektionen) der Maschinenanlage. Eine Sektion einer Rollenrotationsdruckmaschine kann sich aus einem oder mehreren Drucktürmen zusammensetzen, die auf einem gemeinsamen Falzapparat arbeiten.

Folgende Prinzipien sind bei den Rollenrotationsdruckmaschinen zu berücksichtigen:

- Die Not-Halt-Bereiche sind so eingeteilt, dass das betätigte Not-Halt-Stellteil unmittelbar auf die Antriebe der betreffenden Sektion und der jeweils unmittelbar benachbarten Sektionen wirkt.
- Die Stellteile und deren Wirkungsrichtung sind eindeutig gekennzeichnet und definiert. Die Zuordnung der Not-Halt-Stellteile ist eindeutig, z. B. können hierfür Übersichtsgrafiken angebracht werden, auf denen die gesamte Anlage und die Teilbereiche unterschiedlich dargestellt sind. Die optische Darstellung (Übersichts-

grafik) der unterschiedlichen Not-Halt-Bereiche muss mindestens an jedem Steuerpult im Leitstand angebracht sein.

- Die Not-Halt-Stellteile der definierten Wirkbereiche wirken kupplungsunabhängig auf den gesamten kupplbaren Wirkbereich, d. h. unabhängig davon, ob eine Maschine des Wirkbereichs ein- bzw. ausgekuppelt ist.
- Die Risikobeurteilung ergibt, dass durch das partielle Stillsetzen kein unzulässig hohes Restrisiko entsteht. Das Ergebnis der Risikobeurteilung wird dem Betreiber mitgeteilt. Der Betreiber muss dann die Beschäftigten über die Restgefahren sowie über die Maßnahmen zu ihrer Abwendung unterweisen – vor Aufnahme der Beschäftigung und danach in angemessenen Zeitabständen, mindestens jedoch einmal jährlich.



Abbildung 17: Festlegung eines Not-Halt-Bereichs innerhalb einer Rollenrotationsdruckmaschine

3.4 Schutzmaßnahmen

3.4.1 Schutz gegen elektrischen Schlag

Der elektrische Strom kann im Fehlerfall eines elektrischen Betriebsmittels zu erheblichen Verletzungen und im ungünstigsten Fall zum Tod führen. Deshalb muss:

- der Schutz gegen direktes Berühren und
- der Schutz bei indirektem Berühren gewährleistet sein.

Basisschutz – Schutz gegen direktes Berühren

Der Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile ist grundsätzlich immer erforderlich, auch bei Kleinspannungen. Der Schutz kann z. B. durch Gehäuse (Umhüllungen), Abdeckungen, Hindernisse, Konstruktions- und Installationstechniken realisiert werden.

Fehlerschutz – Schutz bei indirektem Berühren

Durch diese Schutzmaßnahmen werden elektrische Gefähr-

dungen verhindert, die durch Isolationsfehler zwischen aktiven Teilen und Körpern entstehen können. Schutzmaßnahmen sind zum Beispiel die Schutztrennung oder die automatische Abschaltung der Einspeisung im Fehlerfall.

Die EN 60204-1, Abschnitt 6, nennt unter anderem folgende Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag:

- Schutz durch Gehäuse,
- Schutz durch Isolation,
- Begrenzung der Spannungshöhe (PELV),
- Schutz gegen Restspannung,
- Schutz durch automatisches Abschalten der Einspeisung.

a) Anforderungen an das Gehäuse

Der Schutzgrad IP 2X oder IP XXB (Fingersicherheit) von Gehäusen stellt eine Mindestanforderung gegen elektrischen Schlag dar, die in Verbindung mit einem Warnschild betrachtet werden muss – mit anderen Worten: Alle nach dem Trennen unter Spannung bleibenden, berührbaren Teile müssen mindestens den Schutzgrad IP 2X oder IP XXB haben und nach EN 60204-1, Abschnitt 16.2, gekennzeichnet sein. Für leicht zugängliche, obere Abdeckungen ist mindestens der Schutzgrad IP 4X oder IP XXD zu erfüllen. Diese Anforderung gilt für alle elektrischen Betriebsmittel und Schaltschränke. Durch diese Forderung soll das Hineinstechern in das Gehäuse unter Zuhilfenahme eines Drahtes verhindert werden. Diese Anforderung gilt nicht bei Verwendung einer PELV-Spannungsquelle.

b) Anforderungen an Schaltschränke

Bei Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen ist im Allgemeinen der Schutzgrad IP 54 gefordert, da der Papierstaubanfall sehr hoch ist (Brandgefahr). Auf der Innenseite von Türen müssen die elektrischen Betriebsmittel mindestens den Schutzgrad IP 1X (Handrücksicherheit)

erfüllen. Hingegen müssen Betätigungselemente innerhalb des Schaltschranks, die zum Wiederherstellen von Sollfunktionen dienen, den Schutzgrad IP 2X (Fingersicherheit) im Radius von 30 mm bzw. im Radius von 100 mm IP 1X (Handrücksicherheit) erfüllen.

c) Anforderungen an Türen

Schaltschranktüren dürfen nur mit Werkzeug bzw. Schlüssel zu öffnen sein. Der Zugang ist nur Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen gestattet. Das Öffnen des Schaltschranks ohne Verwendung von Werkzeug ist nur zulässig, wenn mindestens eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Trennung aller aktiven Teile innerhalb des Gehäuses, bevor das Gehäuse geöffnet wird, z. B. durch zwangsläufige Verriegelung des Hauptschalters mit der Tür.
- Alle aktiven Teile sind mindestens entsprechend dem Schutzgrad IP 2X gegen direktes Berühren geschützt. Falls durch Abdeckungen der geforderte Schutzgrad hergestellt wird, dürfen diese nur mit Werkzeug zu entfernen oder so gestaltet sein, dass durch Entfernen der Abdeckung die aktiven Teile abgeschaltet werden.

Kennbuchstaben und 1. Kennziffer: Berührungs- und Fremdkörperschutz	2. Kennziffer: Schutz gegen Eindringen von Wasser								
	Kein Schutz	Tropfwasser senkrecht schräg		Sprühwasser	Spritzwasser	Strahlwasser	Starkes Strahlwasser	Zeitweil. Untertauchen	Dauernd. Untertauchen
	IP..0	IP..1	IP..2	IP..3	IP..4	IP..5	IP..6	IP..7	IP..8
Kein Schutz IP0..	IP00								
IP1.. Max. 50 mm	IP10	IP11	IP12						
IP2.. Max. 12,5 mm	IP20	IP21	IP22	IP23					
IP3.. Max. 2,5 mm	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
IP4.. Max. 1 mm	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44				
IP5.. Staubgeschützt	IP50			IP53	IP54	IP55	IP56		
IP6.. Staubdicht	IP60					IP65	IP66	IP67	IP68

Die zwei Kennziffern, IP XX, können zusätzlich noch durch zwei Kennbuchstaben an der 3. und 4. Stelle ergänzt werden, IP XXXX.

Tabelle 9

Kennbuchstabe der 3. Stelle		Kennbuchstabe der 4. Stelle	
A	Handrückschutz oder Gegenstände mit Durchmesser > 50 mm	H	Hochspannungs-Betriebsmittel
B	Fingerschutz, gegen Finger mit Durchmesser > 12 mm und bis 80 mm Länge	M	Geprüft, wenn bewegliche Teile in Betrieb sind
C	Werkzeugschutz, gegen Werkzeuge mit Durchmesser > 2,5 mm und bis 100 mm Länge	S	Geprüft, wenn bewegliche Teile im Stillstand sind
D	Drahtschutz, gegen Drähte mit Durchmesser > 1 mm und bis 100 mm Länge	W	Geprüft bei festgelegten Wetterbedingungen

Abbildung 18: Darstellung der Kennbuchstaben

Die nicht durch den Hauptschalter freigeschalteten Stromkreise, wie z. B. Netzeingangsklemmen, Hauptschaltereingangsklemmen, Fremdspannungen für Verriegelungszwecke, Lichtstromkreise oder Steckdosenkreise, müssen mindestens den Schutzgrad IP 2X erfüllen und als spannungsführend gekennzeichnet sein. Außerdem muss ein dauerhaftes Warnschild am Hauptschalter angebracht sein und in der Bedienungsanleitung bzw. im Instandhaltungsbuch ein entsprechender Hinweis aufgenommen werden, wenn Stromkreise nicht durch den Hauptschalter freigeschaltet werden.

d) Schutz durch Isolation

Alle aktiven Teile, wie z. B. Leitungen, Verteilungen, Taster, Schaltergriffe, usw. müssen vollständig und dauerhaft mit einer Isolierung versehen werden. Die Isolierung muss widerstandsfähig gegen mechanische, chemische, elektrische und thermische Beanspruchungen sein. Farbanstrich, Firnis, Lack und Ähnliches werden nicht als ausreichender Schutz gegen elektrischen Schlag angesehen. Leitungen in Maschinen, die berührt werden können, müssen doppelt isoliert sein. Einfach isolierte Leitungen, die oft in ausländischen Maschinen anzutreffen sind, sind nicht zulässig. In Abschnitt 13.4.2 und 13.5.1 der EN 60204-1 wird die Forderung erhoben, dass Einzeladern nur in geeigneten Kanälen geschützt verlegt werden dürfen.

e) Begrenzung der Spannungshöhe (PELV)

Die Spannung PELV stellt eine Maßnahme gegen elektrischen Schlag bei indirektem oder nicht großflächigem,

direktem Berühren dar. Die PELV-Stromkreise müssen alle der folgenden Bedingungen erfüllen:

- Begrenzung der Nennspannung auf maximal 25 Vac oder maximal 60 Vdc,
- keine großflächige, unter Spannung stehende, berührbare Fläche (als Richtwert kann eine Fläche von 50 mm x 50 mm dienen),
- Verwendung nur in trockenen Räumen,
- die Sekundärseite des Stromkreises muss mit dem Schutzleitersystem verbunden sein,
- die Speisequelle und die aktiven Teile solcher Stromkreise müssen von Stromkreisen, die eine höhere Spannung führen, getrennt werden oder isoliert sein (diese Trennung darf nicht schlechter sein als bei

Sicherheitstrenntransformatoren zwischen Primär- und Sekundärspule),

- die Leiter von solchen Stromkreisen sollen von anderen Stromkreisen räumlich getrennt sein; ist dies nicht praktikabel, so müssen sie mindestens von anderen Stromkreisen durch geeignete Abdeckungen getrennt sein oder für die höchste vorkommende Spannung isoliert sein, der ein beliebiger Leiter im selben Leitungskanal ausgesetzt sein kann,
- Verwendung einer geeigneten Stromquelle, z. B.:
 - Sicherheitstransformatoren und Netzgeräte nach EN 61558-1/VDE 0570-1, EN 61558-2-1/VDE 0570-2-1 und EN 61558-2-6/VDE 0570-2-6 (Ersatz für die frühere DIN EN 60742/VDE 0551) oder
 - Schaltnetzteile nach DIN EN 61558-2-16/VDE 0570-2-16 (Ersatz für ersatzlos zurückgezogene DIN EN 61558-2-17/VDE 0570-2-17).
- Die PELV-Steckvorrichtungen müssen unverwechselbar gegenüber anderen Steckvorrichtungen sein (z. B. mechanische Codierung).

f) Schutz gegen Restspannung

Bei jedem berührbaren leitfähigen Teil, das während des Ausschaltens der Versorgungsspannung eine Restspannung von mehr als 60 V aufweist, muss innerhalb von 5 s nach dem Ausschalten der Wert auf kleiner 60 V gesunken sein. Hingegen sind Bauteile, die eine gespeicherte Ladung von weniger oder gleich 60 µC haben, von dieser Anforderung ausgenommen.

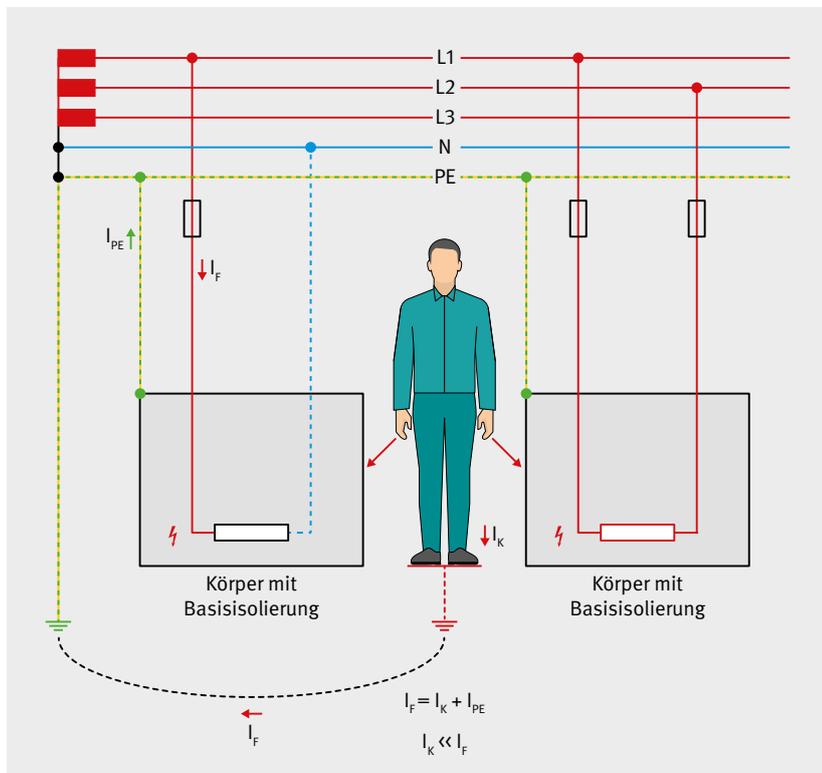


Abbildung 19: Schutz gegen indirektes Berühren durch Erdverbindung

Kann diese Entladerate nicht eingehalten werden, so ist es erforderlich, dass die Speicherzelle (Kapazität) in einem Gehäuse mit mindestens dem Schutzgrad IP 2X oder IP XXB montiert ist. Außerdem ist ein Warnschild gut sichtbar auf oder neben dem Gehäuse anzubringen. Der Hinweis muss die Gefährdung und die Zeitspanne, die notwendig ist, bis das Gehäuse geöffnet werden darf, benennen.

Führt das Trennen von Steckverbindungen zum Freilegen von Leitern (z. B. Steckerstifte), darf die Entladezeit 1 s nicht überschreiten, anderenfalls müssen solche Leitungen mindestens die Schutzart IP 2X oder IPXXB erfüllen.

g) Schutz durch automatische Abschaltung

Bei dieser Schutzmaßnahme wird sichergestellt, dass im Falle eines Isolationsfehlers zwischen aktiven Teilen und leitfähigen Teilen die Berührungsspannung nur so lange ansteht, dass kein gefährlicher Zustand entsteht. Solche Gefährdungen können z. B. entstehen, wenn sich ein Draht löst, ein Bauteil bricht, ein Isolationsfehler bei einer Leitung auftritt oder Verschmutzung und Feuchtigkeit vorhanden sind.

Um sicherzustellen, dass im Fehlerfall keine Gefahr für Personen entsteht, sind folgende Maßnahmen am effektivsten:

- alle leitfähigen Körper direkt mit dem Schutzleiter verbinden und
- eine Schutzeinrichtung (Sicherung) verwenden, die bei einem Körperschluss automatisch die Versorgungsspannung abschaltet.

Diese Schutzmaßnahme bedingt eine Abstimmung zwischen:

- der Art der Versorgung und dem Erdungssystem,
- den Impedanzen der verschiedenen Teile des Schutzleitersystems und
- den Charakteristika der auslösenden Schutzeinrichtung (z. B. Überstromschutzeinrichtung oder Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCDs)).

Durch eine niederohmige Verbindung zum Schutzleitersystem (Schutz-Potentialausgleich) wird sichergestellt, dass im Falle eines Körperschlusses keine gefährlichen Ströme fließen können. Dies bedeutet, dass bei ortsfesten Maschinen bei einem Kurzschluss innerhalb von 5 s der Kurzschlussstrom durch das Überstromorgan abgeschaltet wird.

Bei Stromkreisen, die Handgeräte der Schutzklasse I oder ortsveränderliche Betriebsmittel der Schutzklasse I versorgen, müssen höchst zulässige Abschaltzeiten in Abhängigkeit von der Spannungshöhe eingehalten werden.

Effektivwert der Nenn-Wechselspannung	höchstzulässige Abschaltzeit im TN-System
120 V	0,8 s
230 V	0,4 s
277 V	
400 V	0,2 s
> 400 V	0,1 s

Tabelle 10: höchstzulässige Abschaltzeiten in Abhängigkeit von der Spannungshöhe

3.4.2 Schutzarten

Fremdkörperschutz (Schutz gegen Verschmutzung)

Die elektrische Ausrüstung einer Maschine muss ausreichend gegen das Eindringen von Fremdkörpern und Flüssigkeiten geschützt sein (EN 60204-1, Abs. 4.4.6 und 11.3), damit die Funktion und Sicherheit nicht beeinträchtigt werden. Der Schutz wird in der Regel durch Gehäuse, Umhüllungen, Abdeckungen usw. realisiert. Aus sicherheitstechnischen Gründen ist es bei Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen in der Regel erforderlich, dass die Gehäuse so dicht wie möglich gestaltet sind.

Diese maximale Forderung ist aus folgenden Gründen nicht immer realisierbar:

- der Zugang muss für Wartung und Kontrolle gegeben sein,
- die Kühlung (Belüftung) muss gewährleistet sein,
- der Aufwand (Preis) ist manchmal für den vorgesehenen Zweck zu hoch, z. B. bei Gleichstromantrieben.

Der Schutz gegen Verschmutzung kann deshalb je nach Verwendungszweck und Einsatzort bzw. Umgebungsbedingungen unterschiedlich ausgeführt sein (EN 60204-1, Abs. 11.3). Nach EN 1010-1: +A1, Abs. 5.2.5.6 sollten elektrische Betriebsmittel dem Schutzgrad IP54 entsprechen.

Ein geringerer Schutzgrad ist unter Umständen auch bei Einbau in geschützten Bereichen (Kaskadierung der Schutzgrade), z. B. innerhalb des Maschinengehäuses, möglich.

IP-Schutzgrad bei Stellteilen im Schaltschrank

Für das Einstellen oder Zurückstellen von Sollwerten innerhalb von Schaltschränken, die mit Werkzeug geöffnet werden können, sind die notwendigen Sicherheitsabstände bei Stellteilen innerhalb des Schaltschranks zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass bei Stellteilen innerhalb der Radien von 30 mm die Fingersicherheit (IP 2 X) und innerhalb der Radien von 100 mm die Handrücksicherheit (IP 1 X) einzuhalten ist.

Fingersicherer Bereich:

Es gibt keine Anordnungen bezogen auf dieses Betätigungselement.

Öffnung:

Bei einem Abstand von 500 mm zur Basisfläche: 400 mm x 400 mm, wenn Betätigung kniend erfolgt, 400 mm x 500 mm, wenn Betätigung stehend erfolgt.

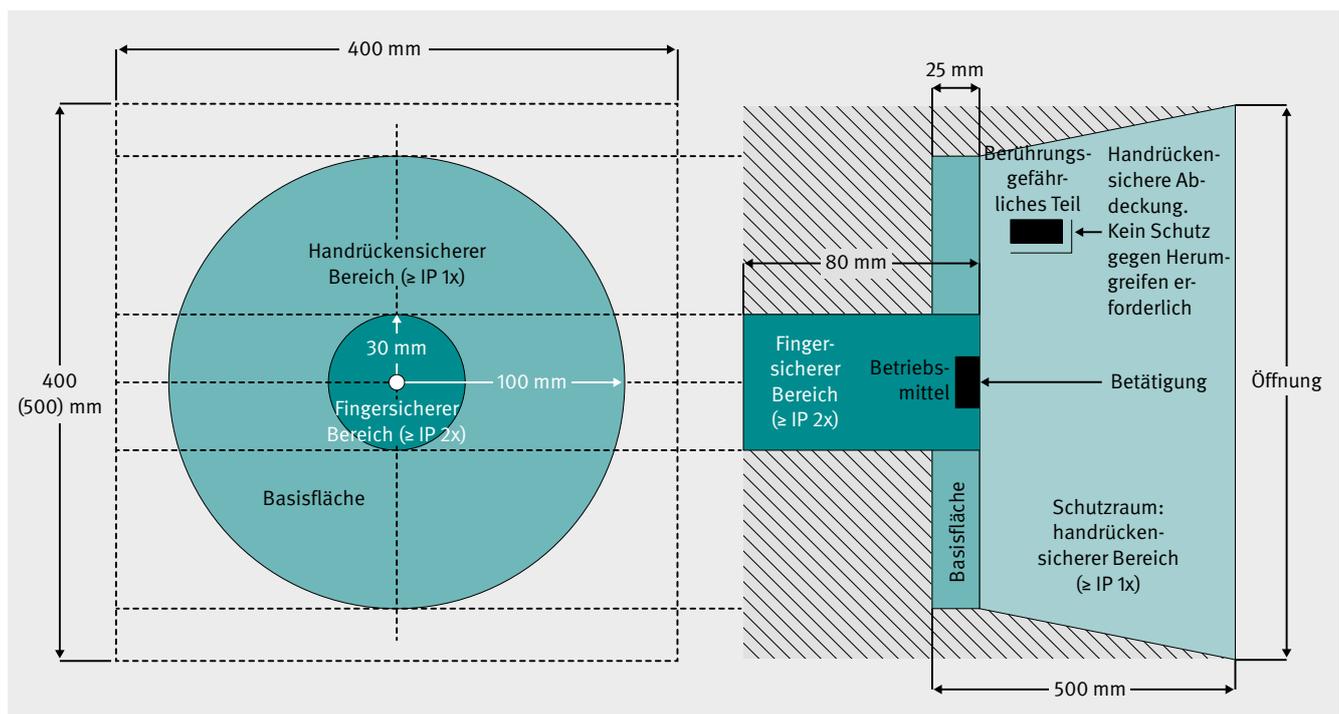
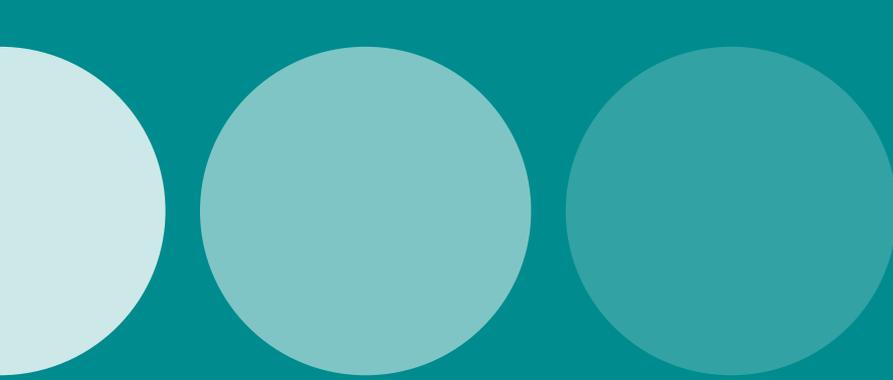
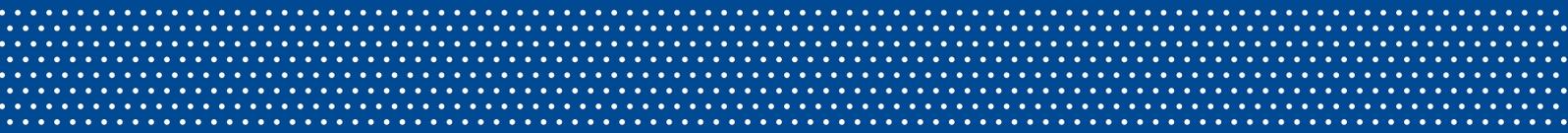


Abbildung 20: IP-Schutzgrad bei Stellteilen im Schaltschrank



4

Anforderungen an die Sensorik

- 4.1 Zweihandschaltungen
 - 4.2 Lichtschranken
 - 4.3 Schalmatten und Schaltplatten
- 

4.1 Zweihandschaltungen

Zweihandschaltungen haben die Aufgabe, eine örtliche Bindung beider Hände der Bedienperson an der Maschine zu bewirken. Dadurch werden die Hände aus der Gefahrstelle ferngehalten. Es wird auf diese Weise nur die Bedienperson geschützt. Deshalb ist es nicht zulässig, dass sich mehrere Personen gleichzeitig im Gefährdungsbereich aufhalten. Die hauptsächlichen Einsatzgebiete von Zweihandschaltungen als Schutzeinrichtung im Bereich Druck und Papierverarbeitung sind Einrichten, Rüstarbeiten, Fehlerbeseitigung sowie Einzelhubarbeiten in der Nähe von Gefahrstellen.

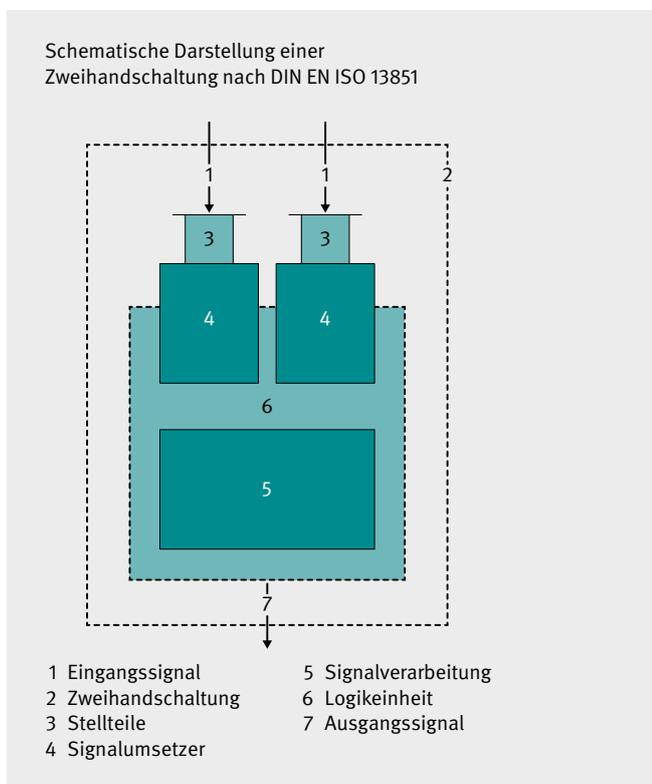


Abbildung 21: Darstellung einer Zweihandschaltung

Die Gefahr bringenden Bewegungen müssen auch nach Freigabe nur eines der beiden Stellteile jederzeit unterbrochen werden können.

Mindestabstände

Es ist erforderlich, dass der Mindestabstand S vom nächstgelegenen Stellteil bis zum Gefährdungsbereich mit Hilfe der folgenden Gleichung nach EN ISO 13855, Abschnitt 8, ermittelt wird:

$$S = (1600 \times T) + C \text{ mit } C = 250 \text{ mm}$$

S ist der Mindestabstand in mm;

K ist ein Parameter in mm/s, abgeleitet von Daten über die Annäherungsgeschwindigkeit der Hände;

T ist der Nachlauf des gesamten Systems in Sekunden;

C ist ein Sicherheitszuschlag in mm, der das Eindringen in den Gefährdungsbereich vor Auslösen der Schutzeinrichtung berücksichtigt.

Wenn das Eindringen der Hände durch zusätzliche Schutzeinrichtungen verhindert ist, kann der Sicherheitszuschlag C entfallen ($C = 0$).

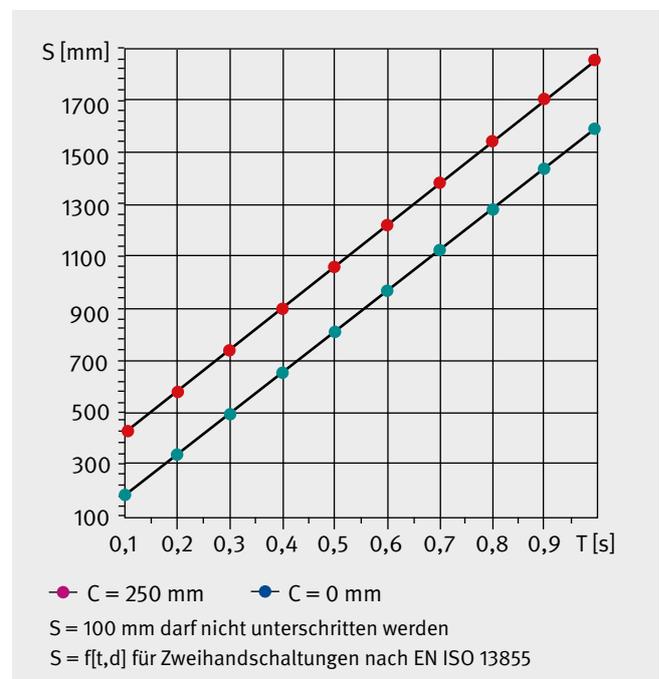


Abbildung 22: Bestimmung des Mindestabstands S

Ein Mindestabstand S von 100 mm darf nicht unterschritten werden. Der Abstand zwischen den Stellteilen muss mindestens 260 mm betragen, damit die beiden Stellteile nicht mit einer Hand betätigt werden können. Durch das Anbringen von Trennwänden oder erhöhten Zonen zwischen den Stellteilen oder durch erhöhte Krage um die Stellteile ist es möglich, die Stellteile in einem geringeren Abstand voneinander anzuordnen. Die Stellteile dürfen jedoch nicht mit einer 260 mm langen Schnur, die die Handspanne nachbildet, erreichbar sein. Für Rüstarbeiten und zur Fehlerbeseitigung darf die Zweihandschaltung über ein Schleppkabel mit der Maschinensteuerung verbunden sein. In diesen Fällen muss der oben erläuterte Mindestabstand S (nach EN ISO 13855) nicht berücksichtigt werden, gemäß EN1010-1+A1, Abschnitt 5.2.8.4 der C-Norm für Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen.

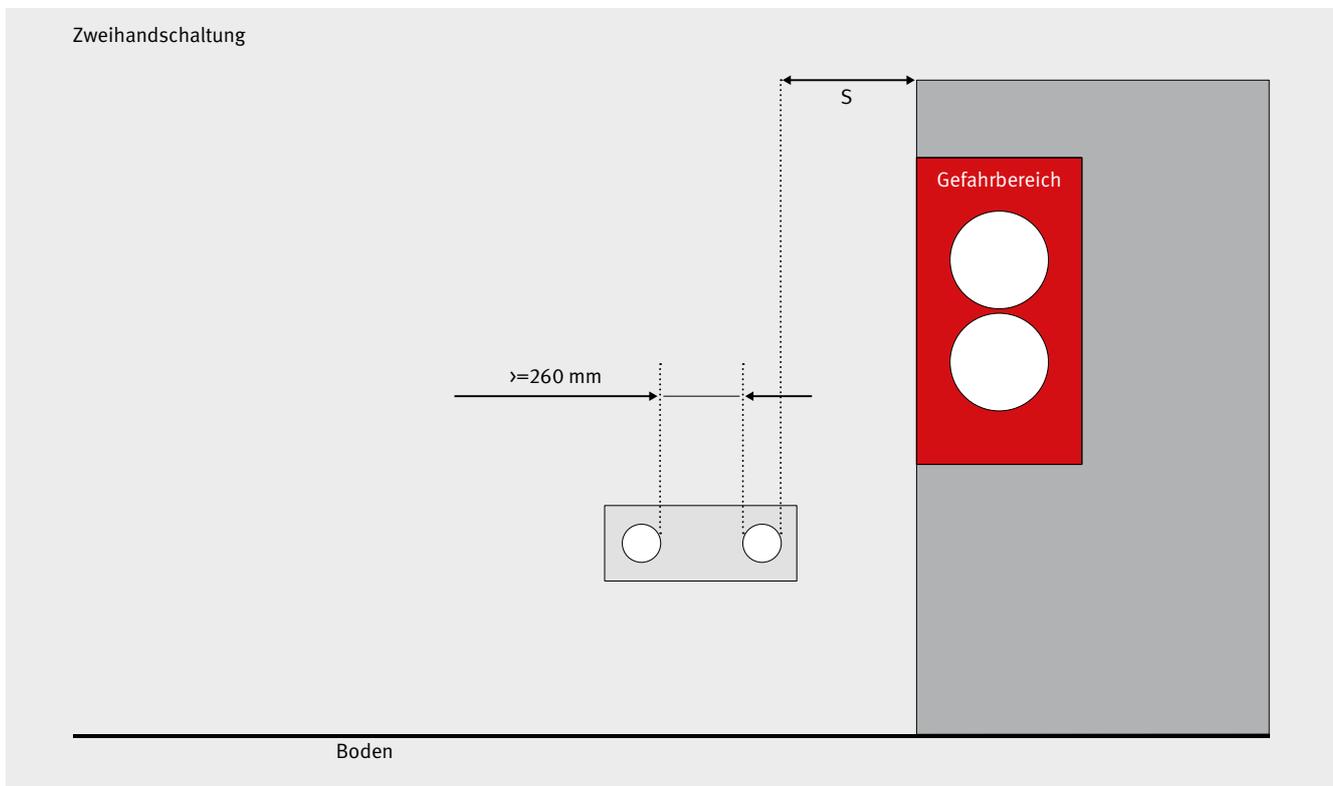


Abbildung 23: Mindestabstand S und minimaler Abstand von 260 mm zwischen beiden Stellteilen

Fest installierte Zweihandschaltungen sind bei der Konstruktion von Maschinen zu bevorzugen. Zweihandschaltungen an Schleppkabeln stellen eine Ausnahme dar.

Steuerungsanforderungen

Zweihandschaltungen als Schutzeinrichtungen an Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen müssen die Anforderungen des Typ III nach EN 60204-1, Abschnitt 9.2.2.8 erfüllen.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Zwei Stellteile müssen bereitgestellt werden, die gleichzeitig in einem maximalen Zeitintervall von 0,5 s durch beide Hände betätigt werden müssen.
- Die gleichzeitige Betätigung muss während des Gefahr bringenden Zustandes dauernd notwendig sein.
- Die Beendigung des Maschinenbetriebs muss sofort erfolgen, wenn ein oder beide Stellteile losgelassen werden und der Gefahr bringende Zustand noch vorhanden ist.
- Der Maschinenbetrieb kann erst wieder gestartet werden, nachdem beide Stellteile losgelassen wurden.

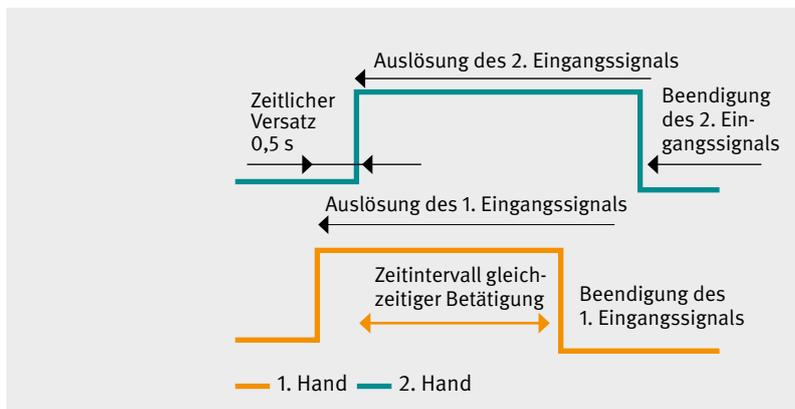


Abbildung 24: geforderte Gleichzeitigkeitsbedingung bei Zweihandschaltungen, die als Schutzeinrichtungen dienen

Fest installierte Zweihandschaltungen sind bei der Konstruktion von Maschinen zu bevorzugen.

Elektrische Zweihandschaltungen müssen die Anforderungen des Typs III C der EN ISO 13851 erfüllen (EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.8.3), wenn betriebsmäßig regelmäßig in den Gefahrenbereich gegriffen werden muss. Dies ist z. B. bei Planschneidemaschinen, Stanztiegeln und winkelöffnenden Siebdruckhalbautomaten mit Handanlage der Fall. Für alle anderen Maschinen des Drucks und der Papierverarbeitung müssen die elektrischen Zweihandschaltungen die Anforderungen des Typs III B der oben genannten Norm erfüllen (EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.8.2). Die notwendige Güte der Steuerung für die Funktion der Zweihandschaltung ergibt sich aus der Risikobeurteilung. Im Allgemeinen wird bei Maschinen, bei denen ein betriebsmäßig regelmäßiger Eingriff in den Gefährdungs-

bereich erforderlich ist, ein Performance Level PL von „e“ zu realisieren sein. Dies ist z. B. bei Planschneidemaschinen, Stanztiegeln und winkelöffnenden Siebdruckhalbautomaten mit Handanlage der Fall. Für alle anderen Maschinen im Bereich Druck und Papierverarbeitung wird ein PL von „c“ oder „d“ ausreichend sein. Wie erwähnt, sind die Anforderungen an Zweihandschaltungen in der EN 13851 beschrieben. Diese Norm nimmt bei der Steuerungsanforderung Bezug auf die EN ISO 13849-1. Danach müssen die Steuerungen von Zweihandschaltungen mindestens erfüllen:
 Typ III A einen erforderlichen Performance Level $PL_{r=c}$
 Typ III B einen erforderlichen Performance Level $PL_{r=d}$
 Typ III C einen erforderlichen Performance Level $PL_{r=e}$

LISTE DER TYPEN VON ZWEIHANDSCHALTUNGEN UND DER MINDEST-SICHERHEITSANFORDERUNGEN

Anforderungen	Typen				
	I	II	III		
			A	B	C
Benutzung beider Hände (gleichzeitige Betätigung)	•	•	•	•	•
Beziehung zwischen Eingangssignalen und Ausgangssignal	•	•	•	•	•
Beendigung des Ausgangssignals	•	•	•	•	•
Vermeidung versehentlicher Betätigung	•	•	•	•	•
Vermeiden des Umgehens	•	•	•	•	•
Erneutes Erzeugen des Ausgangssignals	*)	•	•	•	•
Synchrone Betätigung			•	•	•
Anwendung der Kategorie 1 (EN 13849-1)	•		•		
Anwendung der Kategorie 3 (EN 13849-1)		•		•	
Anwendung der Kategorie 4 (EN 13849-1)					•

*) Anmerkung für die Auswahl von Typ 1: Es müssen Maßnahmen zur Vermeidung des Umgehens durch Blockieren eines Stellteils getroffen werden.

Tabelle 11: Typen von Zweihandschaltungen

4.2 Lichtschranken

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS) für Sicherheitsfunktionen dienen dem Zugangsschutz oder der Anwesenheitserkennung. Sie bestehen mindestens aus einem Sensor (z. B. opto-elektronische Sende- und Empfangseinheit), einem Steuerungs- und Überwachungsteil und einem Ausschaltelement. Häufig werden BWS unter Verwendung von aktiven opto-elektronischen Schutzeinrichtungen aufgebaut (z. B. Lichtschranken, Lichtgitter oder Laser-Scanner). Bei der Auswahl einer opto-elektronischen Schutzeinrichtung sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- die Festlegungen in Normen (z. B. EN ISO 13855, Abschnitt 6, oder Normenreihe EN 1010),
- der zur Verfügung stehende Platz vor den Gefahrstellen,
- ergonomische Einflüsse (z. B. betriebsmäßig regelmäßiger Zugriff zur Gefahrstelle).

Opto-elektronische Schutzeinrichtungen können nicht verwendet werden, wenn Verletzungsgefahr durch wegfliegendes Material besteht oder die Zugriffszeit zur Gefahrstelle kleiner ist als die Nachlaufzeit bis zum Stillstand der Gefahr bringenden Bewegung. Die Wirksamkeit von opto-elektronischen Schutzeinrichtungen hängt wesentlich von der Anordnung des Sensors ab.

Mindestabstände

Der Mindestabstand S bei berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) ist abhängig von

- der Nachlaufzeit der Maschine (z. B. durch das Abbremsen von beschleunigten Massen),
- der Ansprechzeit der Maschinensteuerung,
- der Ansprechzeit der BWS,
- den Sicherheitszuschlägen zum Sicherheitsabstand.

Diese Einflussfaktoren werden in der nachfolgenden allgemeinen Gleichung zur Berechnung der Mindestabstände berücksichtigt:

$$S = (K \times T) + C$$

- S ist der Mindestabstand in mm, gemessen vom Gefährdungsbereich bis zum Erkennungspunkt;
- K ist ein Parameter in mm/s, abgeleitet von Daten über die Annäherungsgeschwindigkeit des Körpers oder von Körperteilen;
- T ist der Nachlauf des gesamten Systems in Sekunden;
- C ist ein Sicherheitszuschlag in mm, der das Eindringen in den Gefährdungsbereich vor Auslösen der Schutzeinrichtung berücksichtigt.

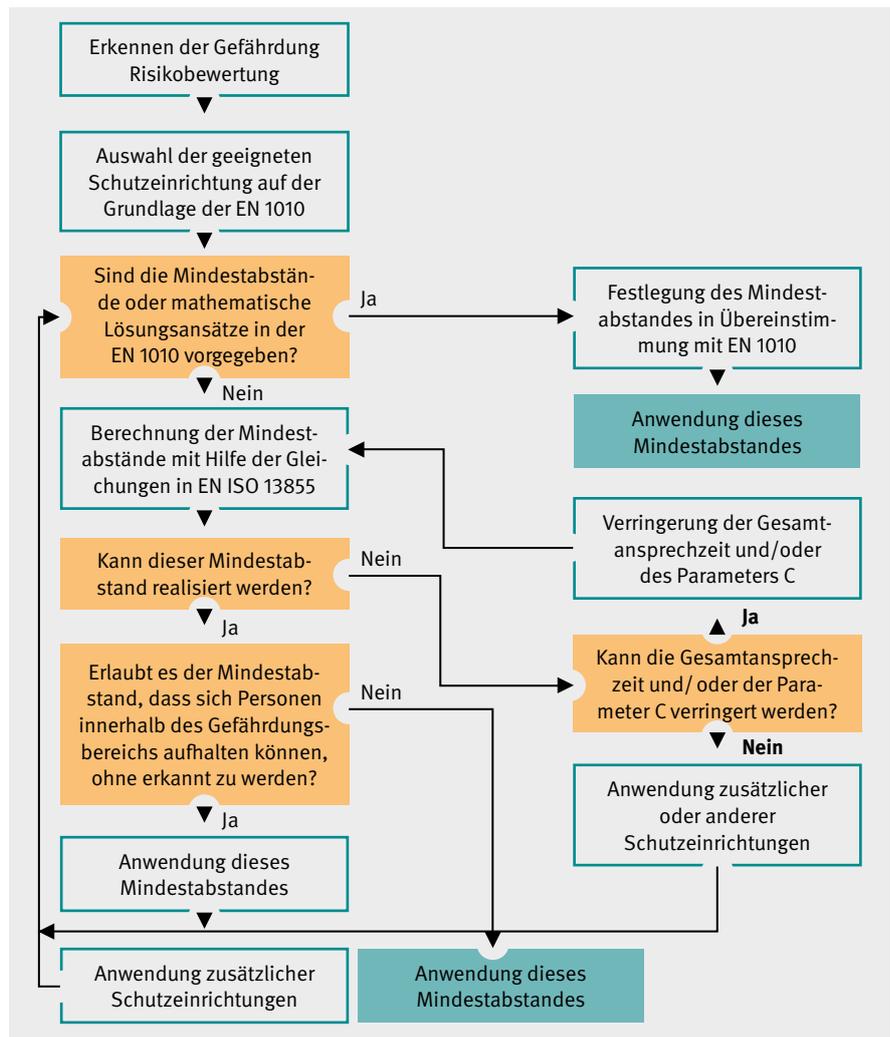


Abbildung 25: Ablaufdiagramm zur Bestimmung des Mindestabstandes S

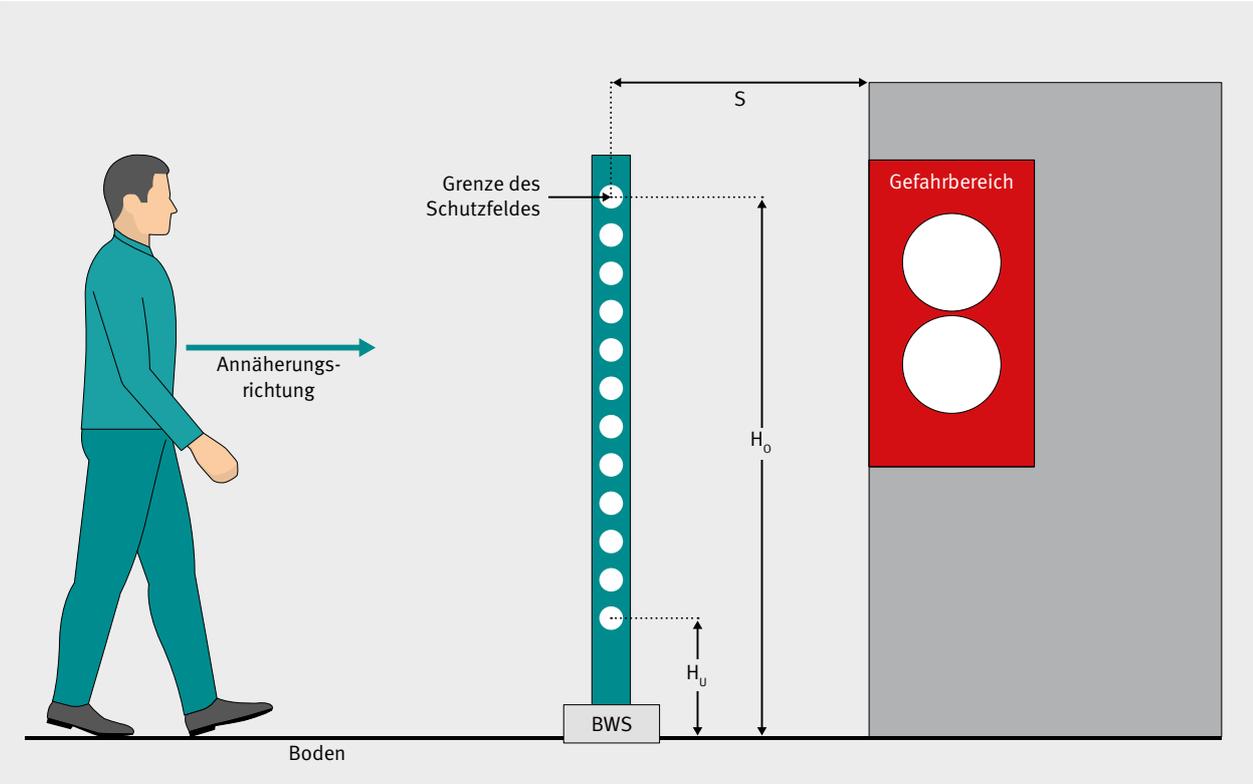


Abbildung 26: Zugangsabsicherung durch vertikale Anordnung einer Lichtschranke

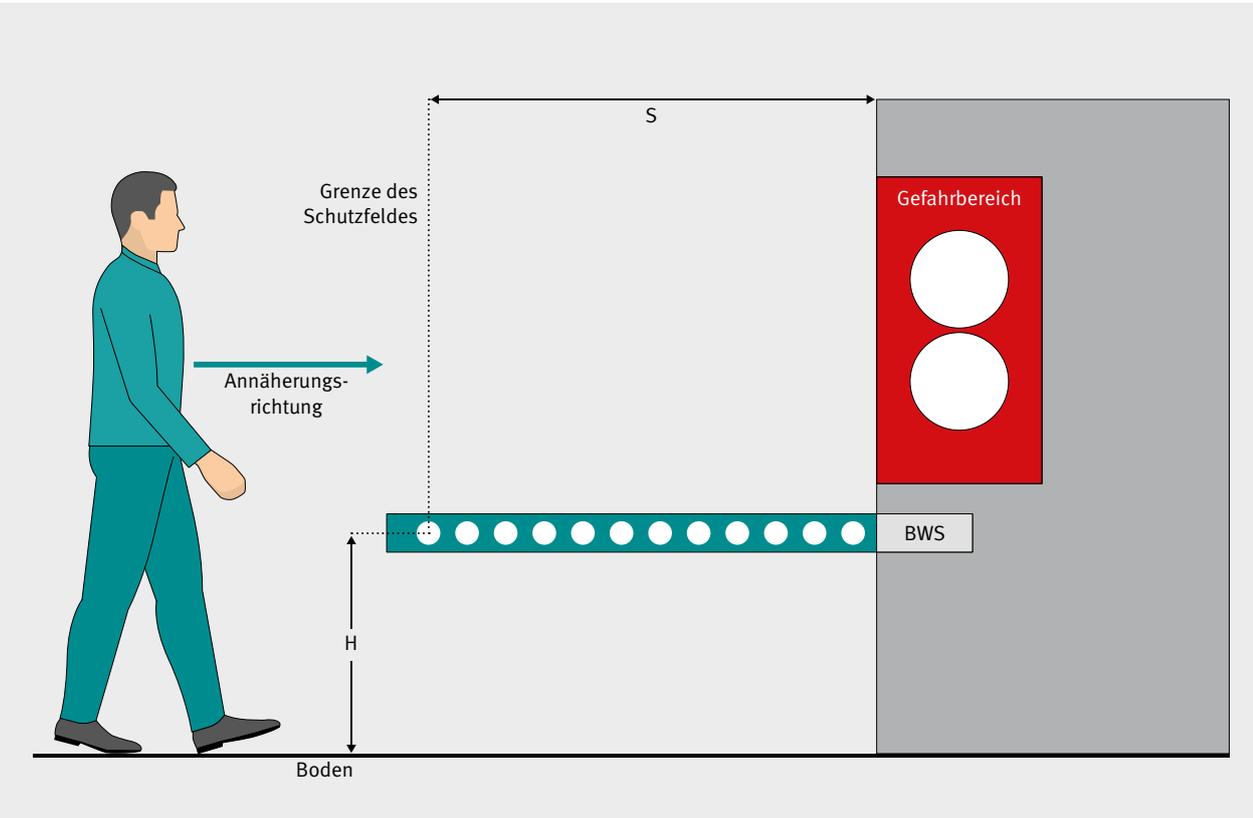


Abbildung 27: Zugangsabsicherung durch horizontale Anordnung einer Lichtschranke

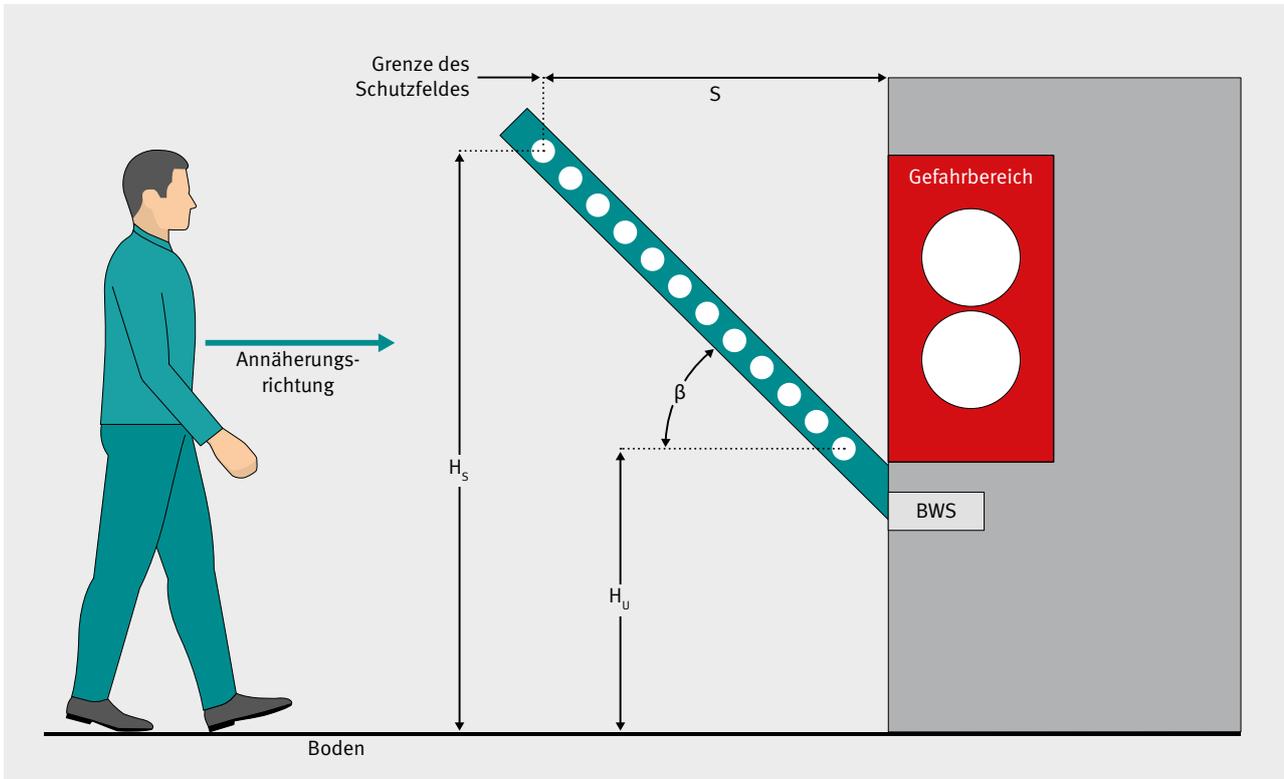


Abbildung 28: Zugangsabsicherung durch diagonale Anordnung einer Lichtschranke

Annäherungsrichtung	Gleichung	Erläuterungen bzw. Voraussetzungen
EN ISO 13857– Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen zusätzlich beachten		
senkrechte Annäherung und		$\beta = 90^\circ (\pm 5^\circ)$ Zugang des gesamten Körpers: $H_u \leq 300 \text{ mm}$ $H_o \geq 900 \text{ mm}$
$14 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$	$S = 2000 \cdot T + 8 \cdot (d - 14)$	$100 \text{ mm} \leq S \leq 500 \text{ mm}$ $(d - 14) > 0$
	$S = 1600 \cdot T + 8 \cdot (d - 14)$	$S > 500 \text{ mm}$ $(d - 14) > 0$
$d \leq 30$	$S = 2000 \cdot T + 8 \cdot (d - 14)$	$S > 150 \text{ mm}$
$d \leq 14$		$S > 100 \text{ mm}$
$40 \text{ mm} < d \leq 70 \text{ mm}$	$S = 1600 \cdot T + 850$	$H_u \leq 300 \text{ mm}$ $H_o \geq 900 \text{ mm}$ Eindringen der Hände wird nicht erfasst



Annäherungsrichtung	Gleichung	Erläuterungen bzw. Voraussetzungen	
$d > 70 \text{ mm}$	$S = 1600 \cdot T + 850$	Eindringen von Körperteilen wird nicht erfasst	
		mehrere Einzelstrahlen	
		Anzahl der Strahlen	Höhen [mm]
		2	400 und 900
		3	300; 700; 1100
$S = 1600 \cdot T + 1200$	einstrahlige Einrichtungen (nur zulässig in Kombination mit anderen Schutzeinrichtungen)		
	1	750	
senkrechte Annäherung (senkrecht unter Berücksichtigung des Hinübergreifens)	Werte für C_{RO} siehe Tabelle 13	$\beta = 90^\circ (\pm 5^\circ)$	
		$H_U \leq 300 \text{ mm}$	
		$H_O \geq 900 \text{ mm}$ H muss bereits bekannt sein	
	$S = 2000 \cdot T + C_{RO}$	$100 \text{ mm} \leq S \leq 500 \text{ mm}$	
		$S > 500 \text{ mm}$	
parallele Annäherung		$\beta = 0^\circ (\pm 5^\circ)$ $H_{\max} = 1000 \text{ mm}$ (nur zulässig in Kombination mit anderen Schutzeinrichtungen) $H \geq 300 \text{ mm}$ (Zugang unter dem Schutzfeld schon möglich)	
$d \leq (H/15) + 50$	$S = 1600 \cdot T + (1200 - 0,4 \cdot H)$	$(1200 - 0,4 \cdot H) \geq 850 \text{ mm}$ deshalb: $H \leq 875 \text{ mm}$ und $H_{\min} = 15(d - 50) \text{ mm}$	
Annäherung im Winkel zur Schutzfeldebene	siehe „senkrechte Annäherung“ und/oder „parallele Annäherung“	$\beta > \pm 30^\circ (\pm 5^\circ)$ siehe „senkrechte Annäherung“	
		$\beta < \pm 30^\circ (\pm 5^\circ)$ siehe „parallele Annäherung“ mit $d \leq (H_s/15) + 50$ und $S = 1600 \cdot T + (1200 - 0,4 \cdot H_s)$ $H_s \leq 1000 \text{ mm}$ (Teile des Schutzfeldes mit $H > 1000 \text{ mm}$ werden nicht berücksichtigt)	

Tabelle 12

S = Mindestabstand in mm

d = Detektionsvermögen bzw. Auflösung in mm

T = Gesamtnachlaufzeit in s

H = Höhe in mm

 β = Winkel zwischen Schutzfeldebene und Annäherungsrichtung C_{RO} = Eindringabstand in den Gefährdungsbereich beim Hinüberreichen über das Schutzfeld

Bei **senkrechter Annäherung** in das Schutzfeld ergibt sich der folgende Kurvenverlauf für den Mindeststand S als Funktion der Gesamtnachlaufzeit der Maschine T mit dem Detektionsvermögen d .

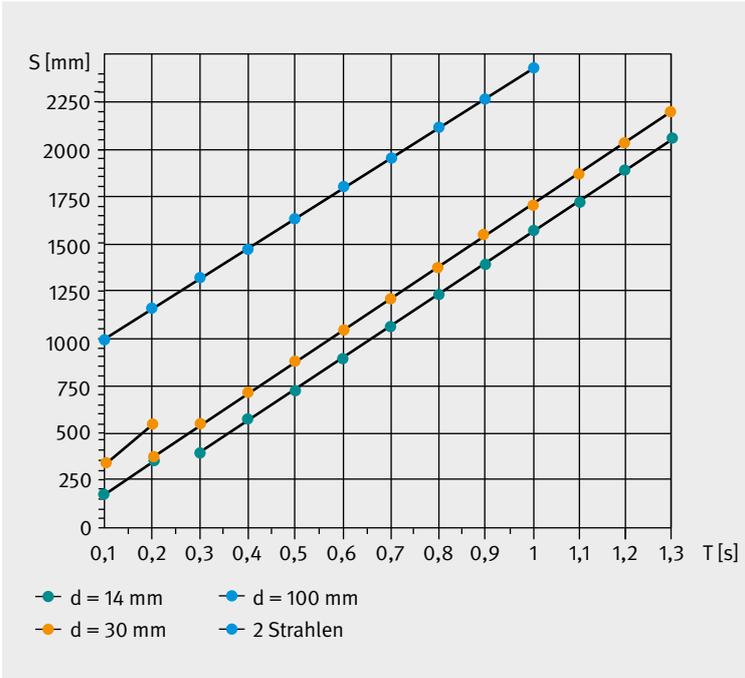


Abbildung 29: $S = f(T, d)$ bei senkrechter Annäherung in das Schutzfeld

Neben dem ermittelten Mindestabstand ist für die Auswahl und Installation von berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) zu prüfen, ob die Gefährdungsbereiche noch durch andere Zugänge erreicht werden können. Auch die Sicherheitsabstände in Bezug auf das Hinüber- bzw. Hinuntergreifen gemäß EN ISO 13857 müssen bei der Risikoabschätzung berücksichtigt werden. Dieser Sachverhalt wird auch beim Vergleich der errechneten Mindestabstände S für Lichtgitter mit einem Detektionsvermögen d von 100 mm und einer zweistrahligen Zugangssicherung deutlich. Die Mindestabstände S sind in beiden Fällen gleich. Die Höhe des oberen Strahls ist bei einer zweistrahligen Zugangssicherung auf 900 mm festgelegt, so dass aufgrund EN ISO 13857 ein größerer Abstand zum Gefahrbereich als der errechnete Mindestabstand S erforderlich sein kann.

Die Höhe des oberen Strahls des Lichtgitters kann über 900 mm angeordnet sein. Dadurch ist es möglich, die Installation auf der Grundlage des errechneten Mindestabstandes S vorzunehmen. Die Gefährdungen, die beim Hintertreten der senkrecht angeordneten BWS entstehen können, müssen bei der Risikobeurteilung mit berücksichtigt werden. Der Vorteil der horizontal angeordneten BWS (parallele Annäherung in das Schutzfeld) liegt darin, dass sie auch zusätzlich installiert werden können.

Wird die BWS so angeordnet, dass die Annäherungsrichtung parallel zum Schutzfeld zeigt, so ergibt sich für den Mindestabstand S der unten dargestellte Kurvenverlauf.

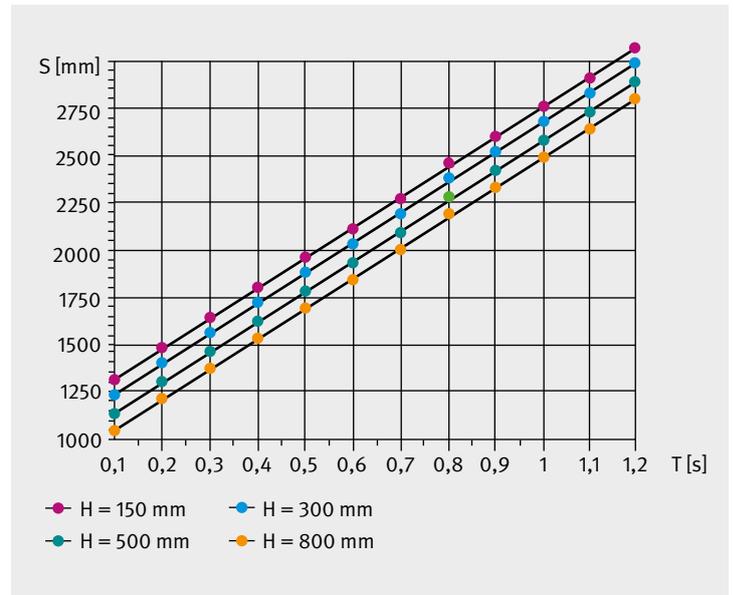


Abbildung 30: $S = f(T, H)$ bei paralleler Annäherung in das Schutzfeld

Bei dieser Anordnung der BWS ist der erforderliche Mindestabstand S größer als bei der senkrechten Anordnung des Lichtgitters bei gleicher Gesamtlaufzeit T der Maschine. Ein Hintertretschutz für diese BWS wird nicht benötigt.

Das erforderliche Detektionsvermögen der BWS wächst mit zunehmender Höhe H bei paralleler Annäherung in das Schutzfeld. Der Abstand zwischen den Strahlen im Lichtgitter kann also größer werden.

Befinden sich **Hindernisse auf dem Weg vom Schutzfeld bis zum Anfang des Gefährdungsbereiches**, so ergibt sich die Länge des vorhandenen Sicherheitsabstandes aus der Länge des kürzesten Weges zwischen diesen beiden Orten. Praktisch kann dieser Abstand mit Hilfe einer Schnur, die diese beiden Punkte verbindet, ermittelt werden. Die Länge der gespannten Schnur entspricht dem vorhandenen Sicherheitsabstand. Dieser Abstand darf nicht kleiner als der berechnete Mindestabstand S sein.

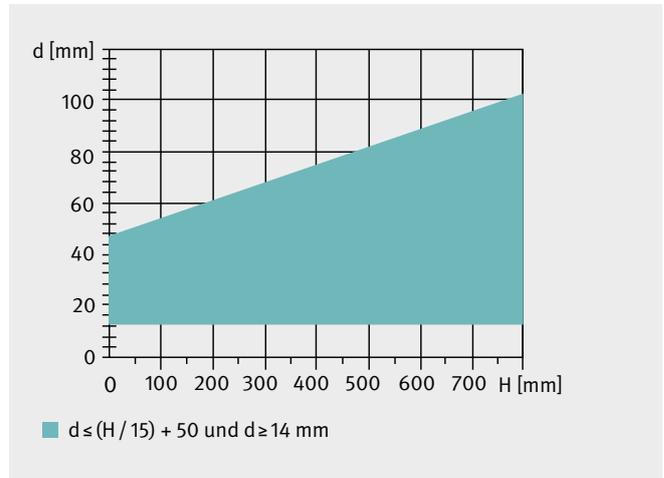


Abbildung 31: $d = f(H)$ bei paralleler Annäherung in das Schutzfeld

Höhe des Gefährdungsbereiches a in mm	Höhe der Oberkante des Schutzfeldes der berührungslos wirkenden Schutzeinrichtung H in mm											
	900	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.600	1.800	2.000	2.200	2.400	2.600
	Zusätzlicher Sicherheitsabstand C_{RO} zum Gefährdungsbereich in mm gemäß EN ISO 13855											
2.600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2.400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2.200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2.000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1.800	1.100	1.100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1.600	1.150	1.150	1.100	1.000	900	850	750	450	0	0	0	0
1.400	1.200	1.200	1.100	1.000	900	850	650	0	0	0	0	0
1.200	1.200	1.200	1.100	1.000	850	800	0	0	0	0	0	0
1.000	1.200	1.150	1.050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1.150	1.050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1.050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Die Höhe der Oberkante des Schutzfeldes kann ein Hinübergreifen in den Gefährdungsbereich ermöglichen. Deshalb wird der Mindestabstand unter Berücksichtigung eines zusätzlichen Sicherheitsabstandes C_{RO} berechnet.

Tabelle 13: Zusammenhang zwischen Höhe des senkrechten Schutzfeldes einer BWS, der Höhe des Gefährdungsbereiches und deren Abstand

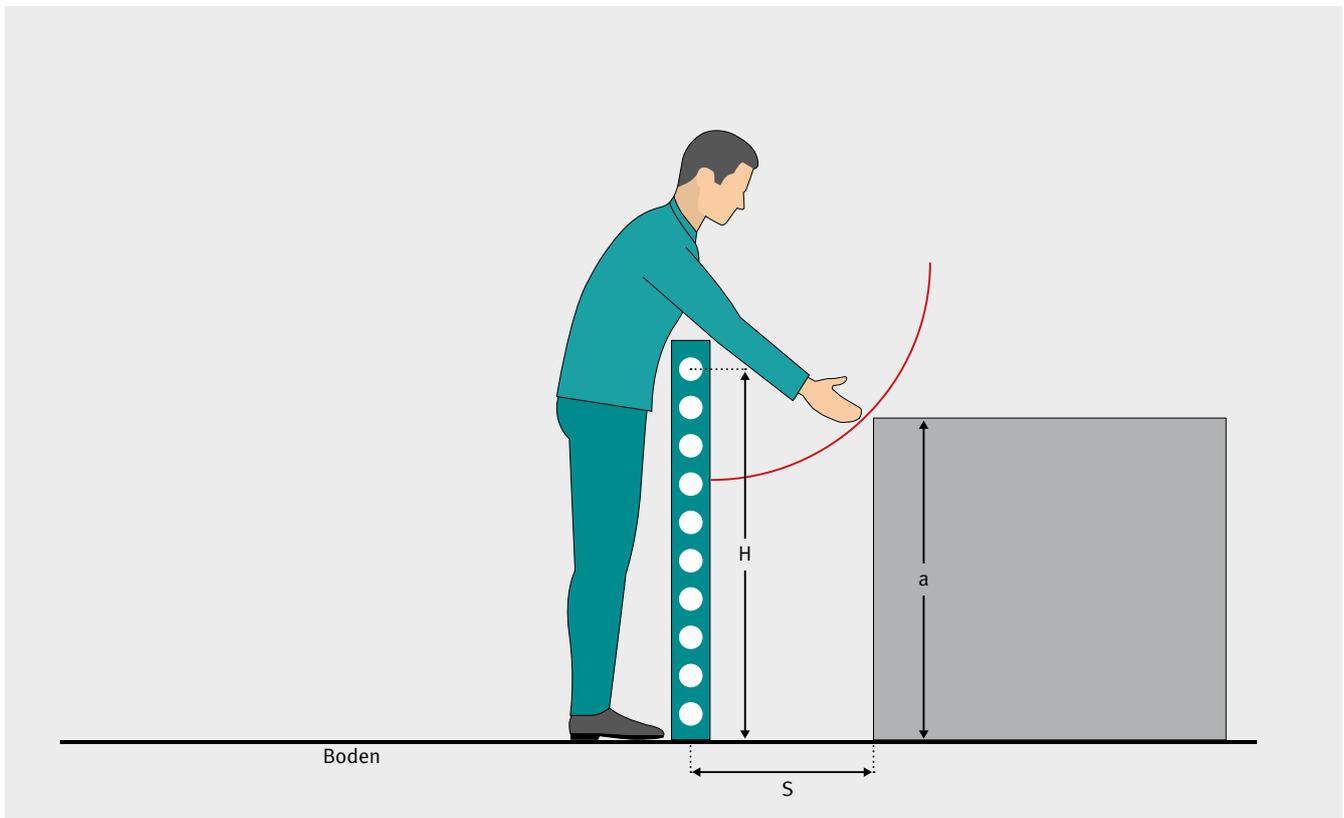


Abbildung 32: Hinübergreifen über die Schutzfeldebene

Kommen **Laserscanner (AOPDDR) oder sichtbasierende Schutzgeräte (VBPD)** mit zweidimensionalem Schutzbereich zur Anwendung, so erfolgen die Berechnungen der notwendigen Mindestabstände S auf die gleiche Weise wie bei Lichtgittern.

In EN 1010-5, Abschnitt 5.2.16.4 wird gefordert zur Absicherung der Aufwärtsbewegung der Stapeltrageinheit von automatischen Downstackern in Wellpappenerzeugungsmaschinen: Die BWS muss in einer Höhe von 150 mm über der Stapeltragplatte angeordnet sein, wenn sich die Stapeltragplatte in der untersten Stellung befindet. Aufgrund der Risikobeurteilung wurde festgelegt, dass der Abstand zwischen den Strahlen in diesem Fall maximal 300 mm betragen darf. Werden BWS als Einschalt-sicherung (Einschalt-sperre) benutzt, so können gemäß EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.9.3 die Forderungen der EN ISO 13855 unberücksichtigt bleiben, wenn zusätzliche Schutzeinrichtungen vorhanden sind.

Steuerungsanforderungen

Bei Einsatz von Lichtschranken als Schutzeinrichtung müssen diese gemäß EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.9.1

vom Typ 2 sein, d. h. mit Testung (EN 61496-1:2008 „Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen; Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen“). Die Testung sollte nicht nur als Anlauf-testung ausgebildet sein, sondern so oft wie möglich erfolgen. Die weitere elektronische Signalverarbeitung der Lichtschranke muss entsprechend der Risikobeurteilung erfolgen. Bei Druck- und Papierverarbeitungs-maschinen ist im Allgemeinen mindestens ein erforderlicher Performance Level PL_r von „d“ bzw. „c“ für die komplette Sicherheitsfunktion notwendig.

Lichtschranken, die den regelmäßigen Zugang in den Gefahrenbereich sichern, müssen Typ 4 entsprechen (EN 61496-1:2008). Ein erforderlicher Performance Level PL_r von „e“ muss in diesem Fall von der Steuerung für die komplette Sicherheitsfunktion erfüllt werden.

Erhöhte Steuerungsanforderungen an Schutzeinrichtungen werden z. B. an folgenden Maschinen gestellt:

- Planschneidemaschinen,
- Stanztiegel mit Handanlage,
- Bogensiebdruckmaschinen mit Handanlage und
- Etikettenstanzen mit Handanlage.

Die EN 61496-1 wurde überarbeitet (Ausgabedatum: Mai 2014). In der neuen EN 61496-1 werden den Typen von berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen erforderliche Performance Level PL_r bzw. SIL zugeordnet. Durch diese Einstufung wird die Qualität der Typ 2 BWSen jetzt schlechter bewertet, als es in der Vergangenheit der Fall

war. Nach der EN ISO 13849-1 ist es auch mit testenden Steuerungssystemen (Kategorie 2) möglich, einen Performance Level von d zu erreichen. Die Risikobeurteilung spielt bei der Auswahl des notwendigen BWS-Typs für die zu realisierende Sicherheitsfunktion nun eine noch größere Rolle.

	Typ		
	2	3	4
Erforderlicher Performance Level PL_r oder SIL, welche durch die BWS erreicht werden können	$PL_r = c$ oder SIL 1	$PL_r = d$ oder SIL 2	$PL_r = e$ oder SIL 3

Tabelle 14: PL oder SIL in Abhängigkeit vom Typ der BWS

4.3 Schaltmatten und Schaltplatten

Schaltmatten und Schaltplatten dienen dazu, Personen zu erkennen, die auf den wirksamen Betätigungsflächen stehen oder auf sie treten. Als wirksame Betätigungsfläche wird der Teil der Oberfläche bezeichnet, auf dem die Betätigungskraft zum Auslösen der Schutzfunktion führt. Die Größe der Betätigungskraft ist in der EN ISO 13856-1, unter Verwendung von Prüfkörpern, festgelegt. Bei der Schaltmatte wird die wirksame Betätigungsfläche räumlich begrenzt verformt, wenn die Betätigungskraft auf sie einwirkt. Im Gegensatz dazu wird bei der Schaltplatte die wirksame Betätigungsfläche als Ganzes bewegt. Neben der Betätigungskraft ist die Ansprechzeit eine charakteristische Größe für den Einsatz von Schaltmatten und Schaltplatten. Die Ansprechzeit und die Betätigungskraft werden vom Hersteller eingestellt. Für den Anwender darf es nicht möglich sein, diese Einstellungen zu verändern. Die maximale Ansprechzeit beträgt 200 ms nach EN ISO 13856-1. Hersteller bieten Schaltmatten mit Ansprechzeiten von ca. 20 ms an.

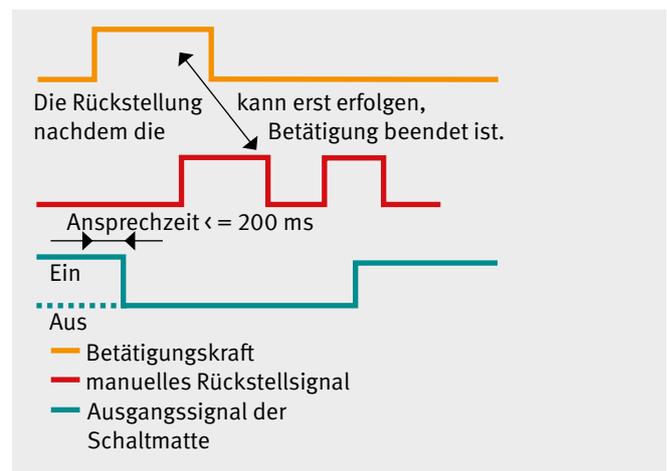


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen der Betätigungskraft, dem Ausgangssignal der Schaltmatte bzw. Schaltplatte und dem Rückstellsignal

Der Einsatz schwerer Lasten (z. B. Flurförderzeuge) im Bereich von Schaltmatten bzw. -platten kann zur Beschädigung dieser Schutzeinrichtungen führen. Hersteller geben für Schaltmatten z. B. einen Maximalwert für die statische Belastung von 750 N/cm² an. Um Stolpergefahren zu

vermeiden, ist ein bodengleicher Einbau der Betätigungsfläche von Vorteil. Mit Stolpergefahren muss gerechnet werden, wenn ein Höhenunterschied von mindestens 4 mm zwischen den aneinander grenzenden Oberflächen besteht (EN ISO 14122-2, Abschnitt 4.2.4.3).

Bei größeren Höhenunterschieden kann ein Rahmen mit einer Neigung von 20° das Stolperrisiko auf ein vertretbares Maß reduzieren. Diese Rampe muss mit Kontrastfarbe oder einer anderen Kennzeichnung deutlich hervorgehoben werden.

Besonders bei Schaltplatten kann durch den Betätigungsweg der Platte eine zusätzliche Stolpergefahr am Übergang zwischen der Platte und dem Fußboden verursacht werden. Deshalb soll dieser Betätigungsweg möglichst gering sein.

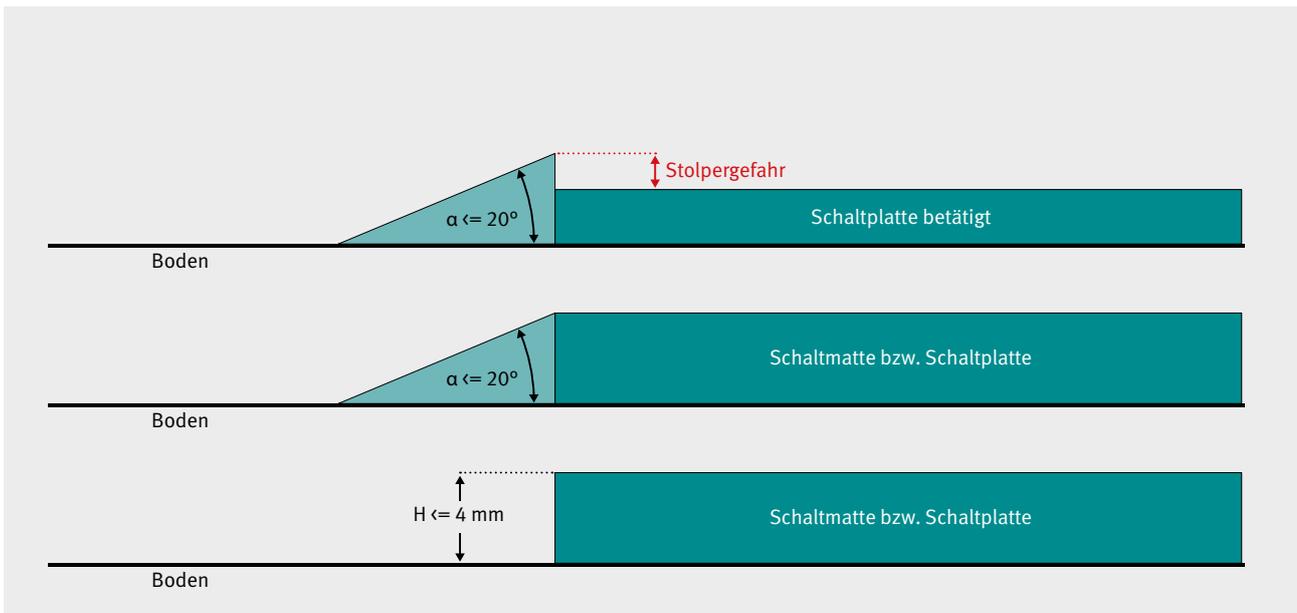


Abbildung 34: Vermeidung von Stolpergefahren beim Einbau von Schaltmatten und Schaltplatten

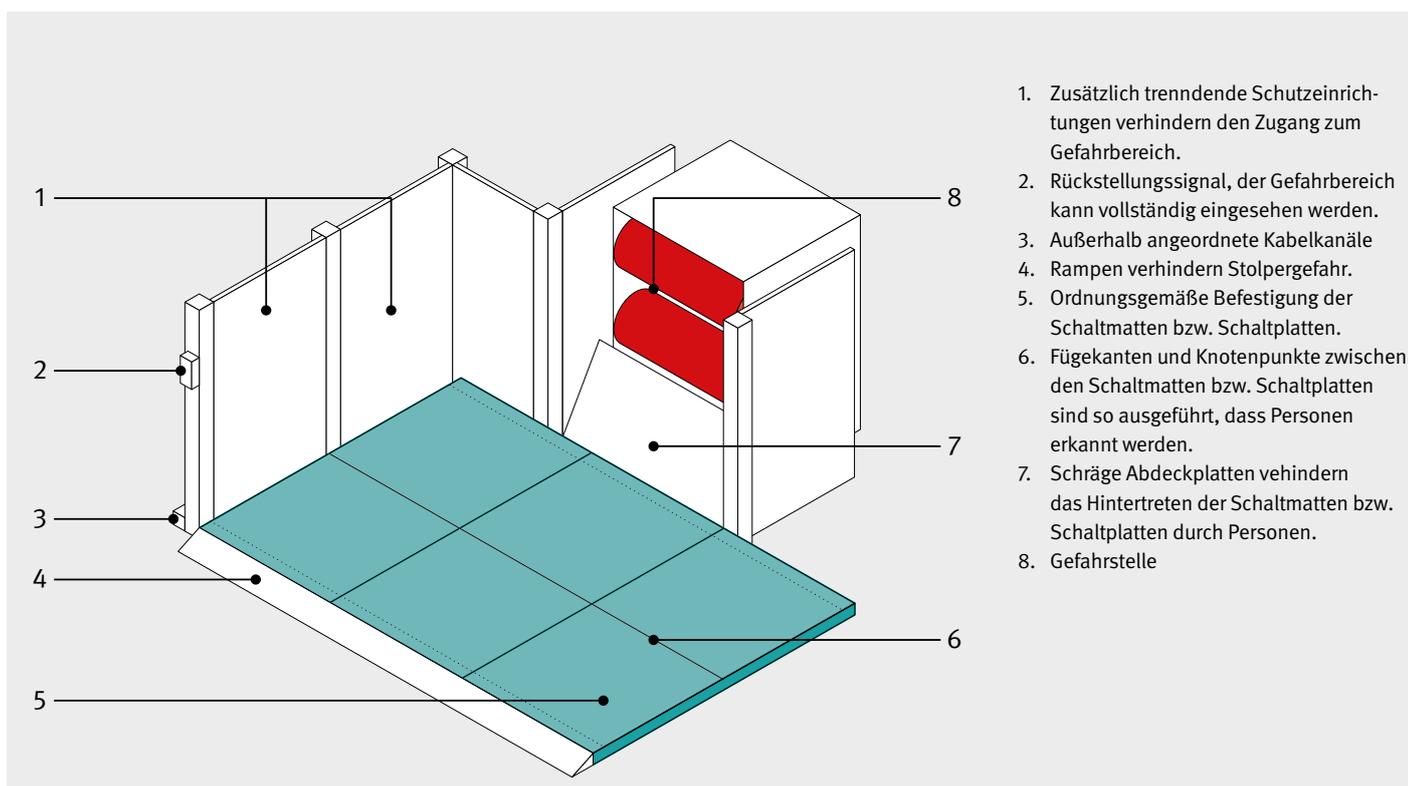


Abbildung 35: Absicherung eines Arbeitsbereiches mit Hilfe von Schaltmatten bzw. Schaltplatten

Die erforderlichen Abmessungen der Schaltmatte bzw. Schaltplatte ergeben sich aus folgender Gleichung:

$$S = 1600 \times T + 1200$$

Wird die Schaltmatte bzw. Schaltplatte auf einer erhöhten Plattform montiert, so reduziert sich der notwendige Mindestabstand S . Die Stufe wird dann als zusätzliche Schutzmaßnahme betrachtet. Die Berechnung erfolgt in diesem Fall anhand der Gleichung:

$$S = 1600 \times T + (1200 - 0,4 \times h_s)$$

$$(S \geq 750\text{mm})$$

Das Vorhandensein von Stufen kann, wie oben erläutert, zu Sturzunfällen führen. Die Anwendung dieser normativen Lösungsvariante ist nur sinnvoll, wenn die Schaltmatte bzw. Schaltplatte als Zugangssicherung für gesperrte Bereiche angewendet werden soll. Als Schutz-einrichtung vor dem Wirkungsbereich eines ständigen Arbeitsplatzes ist diese Lösung ungeeignet.

Um das Stolperrisiko zu reduzieren und eine spürbare Verkleinerung des Mindestabstandes S zu erreichen, sollte die Höhe der Stufe mehr als 400 mm betragen. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die minimalste Breite S einer Schaltmatte/-platte den Wert von 750 mm nicht unterschreiten darf.

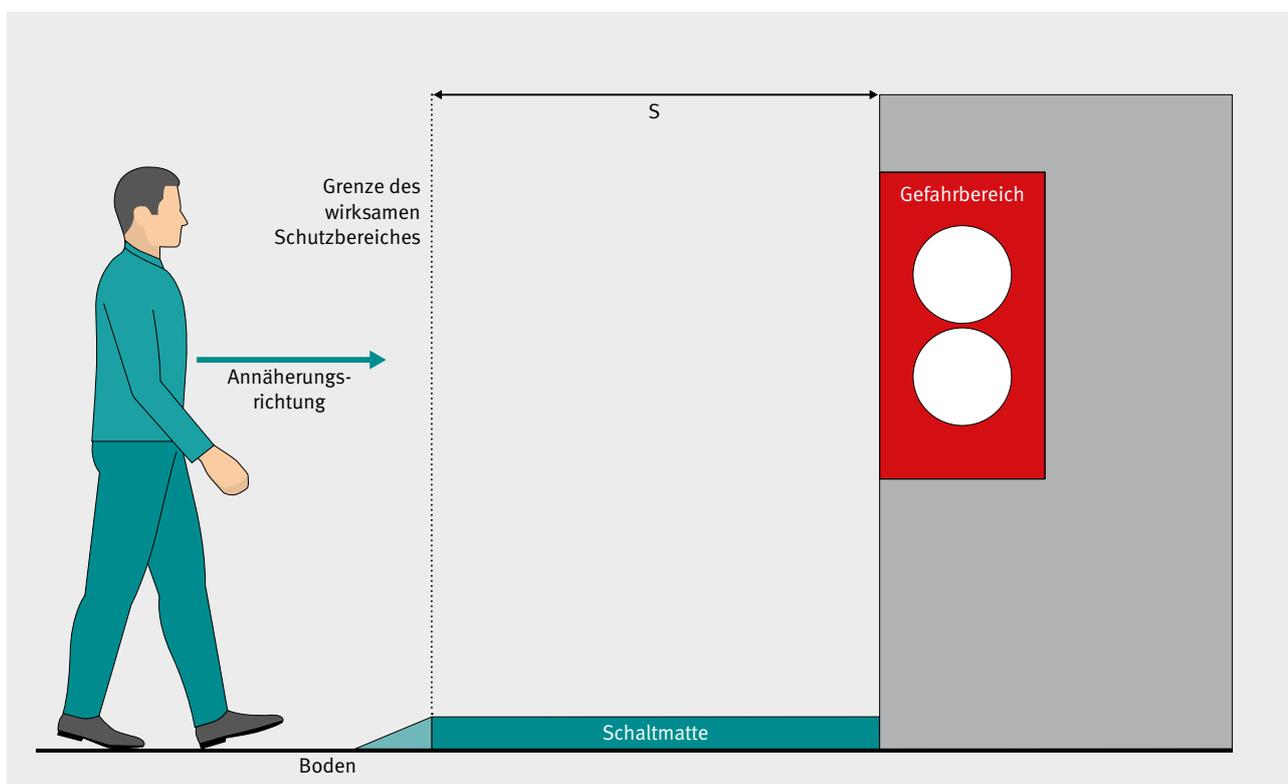


Abbildung 36: minimale Breite S der Schaltmatte bzw. Schaltplatte

- S Mindestabstand in mm, gemessen vom Gefährdungsbereich bis zur Außenkante der wirksamen Betätigungsfläche
- T Nachlauf des gesamten Systems in s
- h_s Höhe einer Stufe zwischen Boden und Schaltmattenoberfläche in mm.

Unter Verwendung der zuvor genannten Gleichung ergeben sich die folgenden zwei Diagramme:

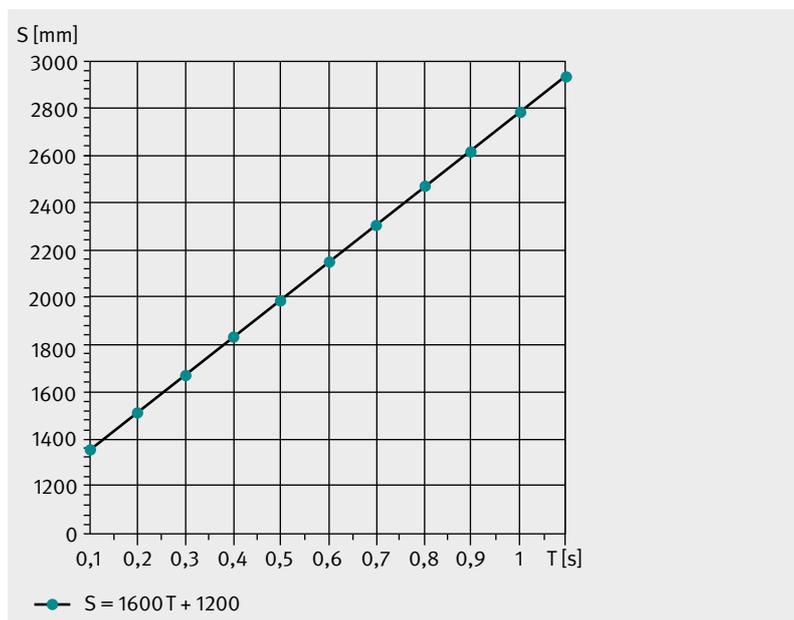


Abbildung 37: Darstellung der Abhängigkeit zwischen der minimalen Breite S der Schaltmatte bzw. Schaltplatte und der Nachlaufzeit T des Systems für das Zeitintervall $0,1s \leq T \leq 1,1s$

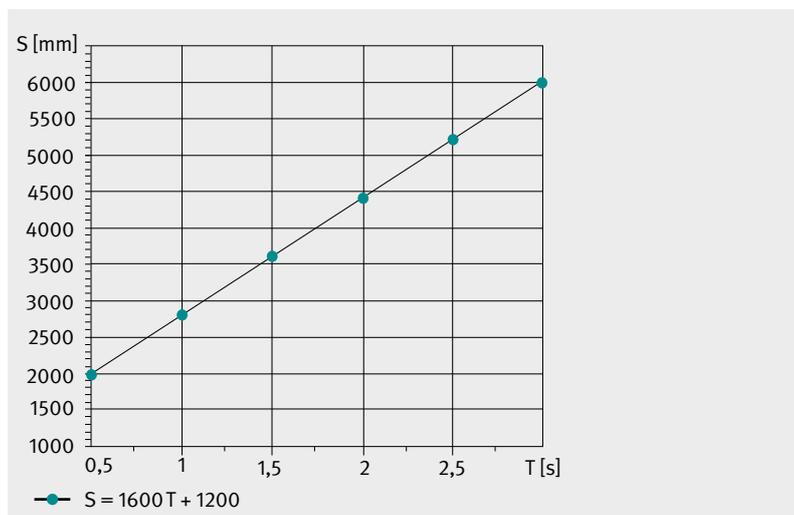


Abbildung 38: Darstellung der Abhängigkeit zwischen der minimalen Breite S der Schaltmatte bzw. Schaltplatte und der Nachlaufzeit T des Systems für das Zeitintervall $0,5s \leq T \leq 3s$

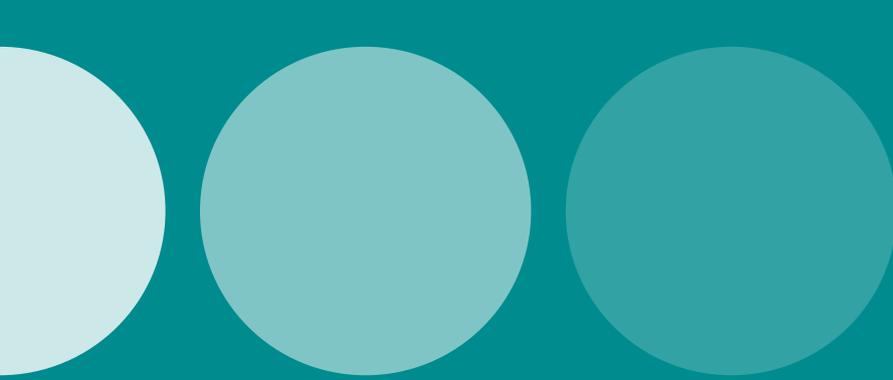
Bei Nachlaufzeiten T von mehr als 1,0 s nimmt der Platzbedarf für Schaltmatten bzw. -platten erhebliche Werte an, deren Umsetzung in der betrieblichen Praxis zu Problemen führen kann. Bei einer Nachlaufzeit von 1,0 s beträgt die minimale Länge S der Schaltmatte bzw. -platte 2,8 m.

Zur Absicherung von Gefahrstellen werden Schaltmatten im Bereich Druck und Papierverarbeitung z. B. an Stanztiegeln mit Handanlage eingesetzt (EN 1010-5, Abschnitt 5.5). Hier wird eine Mindestbreite für die Schaltmatte von 1.000 mm gefordert. Die minimale Länge der Schaltmatte richtet sich nach der Geometrie des Stanztiegels.

Für die elektrische Steuerung von Stanztiegeln mit Handanlage und anderen Maschinen mit betriebsmäßig regelmäßigem Zugriff zum Gefährdungsbereich wird ein Performance Level $PL_r = e$ gemäß EN ISO 13849-1 verlangt.

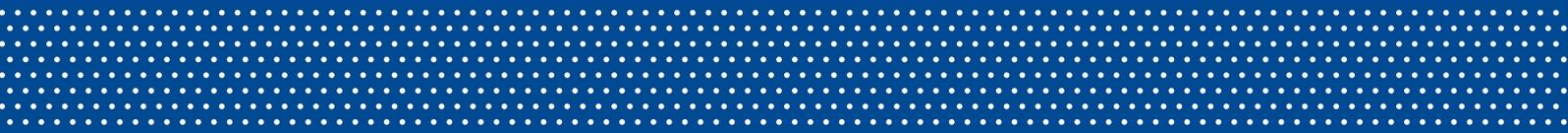
Auch an Rollenab- und -aufwickleinrichtungen können Gefährdungsbereiche mit Hilfe von Schaltmatten gesichert werden (EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.3.5.2).

Bei Maschinen ohne betriebsmäßig regelmäßigen Eingriff in Gefahrenstellen müssen die elektrischen Steuerungen in Verbindung mit den Schaltmatten einen erforderlichen Performance Level von „d“ erfüllen (EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.10.1).



5

Steuerungen

- 5.1 Anforderungen an die Sicherheit von Steuerungen
 - 5.2 Bestimmung des Performance Level PL
 - 5.3 Realisierung von Sicherheitsfunktionen unter Verwendung einer Funktions-SPS und einer Überwachungs-SPS
 - 5.4 Sicherheitsbussysteme an Maschinen und Anlagen
 - 5.5 Maßnahmen zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs
 - 5.6 Steuerungsbeispiele
- 

5.1 Anforderungen an die Sicherheit von Steuerungen

Fakten

Die Norm EN ISO 13849-1:2015 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“ ist die am häufigsten angewendete Norm zur Festlegung

und Bewertung der Sicherheitsanforderungen an die Steuerungen von Maschinen.

Durch die neuen Anforderungen in der Norm erfolgt eine Bewertung der Steuerung nicht nur über die Struktur (Kategorie(n)); zusätzlich wird die Zuverlässigkeit der sicherheitsrelevanten Bauteile mit herangezogen. Die Bewertung der einzelnen ausgeführten Sicherheitsfunktion (n) erfolgt durch den so genannten Performance Level (PL). Die EN ISO 13849 ermöglicht es, innerhalb der Sicherheitsfunktion unterschiedliche Strukturen und/oder unterschiedliche Technologien miteinander zu kombinieren und über den Performance Level zu bewerten.

Die Maschinenrichtlinie fordert, dass in jeder Konstruktionsphase eine Risikobeurteilung durchgeführt wird, um die Gefährdungen ermitteln und bewerten zu können. Ein Großteil der Gefährdungen kann durch inhärente sichere Konstruktion, z. B. durch Einhaltung von normativ geforderten Sicherheitsabständen, gemindert werden. Grundsätzlich sind inhärent konstruktive Maßnahmen gegenüber zusätzlichen sicherheitstechnischen Maßnahmen zu bevorzugen. Bleibt ein Anteil von Gefährdungen, die weitere technische Schutz-

maßnahmen erfordern, kann das geforderte Maß der Risikoreduzierung durch die Verwendung sicherheitsrelevanter Funktionen erzielt werden.

Wie erwähnt, werden technische Schutzmaßnahmen häufig durch Sicherheitsfunktionen realisiert und deren Signale in einer sicherheitsrelevanten Steuerung verarbeitet. Der Performance Level (PL) gibt dabei ein Wahrscheinlichkeitsintervall dafür an, dass eine Sicherheitsfunktion versagt und es zu einer Gefährdung kommen kann. Die Wahrscheinlichkeitsintervalle werden durch die Buchstaben „a“ bis „e“ ausgedrückt, wobei ein Performance Level (PL) „a“ eine höhere Wahrscheinlichkeit des Versagens der Sicherheitsfunktion darstellt als ein Performance Level (PL) „e“. Die konkrete durchschnittliche Wahrscheinlichkeit (PL) eines gefährlichen Ausfalls je Stunde wird mit PFHD bezeichnet.

Abbildung 39 zeigt die systematische Verfahrensweise zur Umsetzung der EN ISO 13849. Anhand von Beispielen wird im Anschluss das Vorgehen diesbezüglich dargestellt.

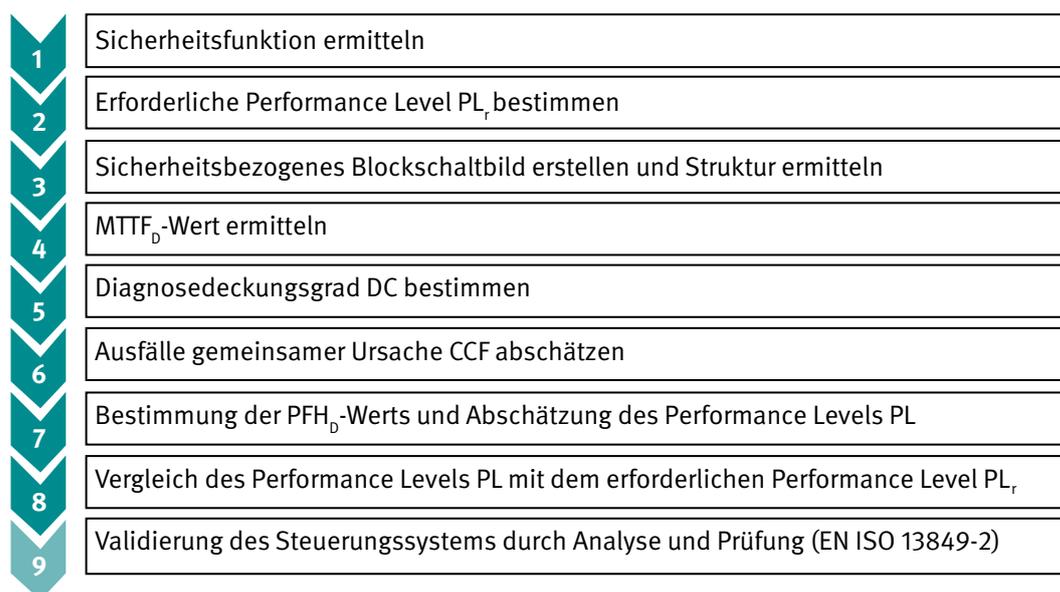


Abbildung 39: Schritte, die zur Erfüllung der Anforderungen der EN ISO 13849 erforderlich sind

5.1.1 Maschinen ohne betriebsmäßig regelmäßigen Zugriff auf die Gefahrenstelle

Nicht regelmäßiges Eingreifen in den Wirkbereich ist z. B. beim Einrichten oder dem Entstören der Maschine gegeben.

Bei Maschinen, bei denen kein betriebsmäßiger Eingriff zwischen die Werkzeugteile im Wirkbereich erfolgt, müssen die elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Steuerungen, die Sicherheitsfunktionen realisieren, mindestens den Performance Level „c“ erfüllen. Falls jedoch die Gefahr besteht, dass im Fehlerfall der Steuerung irreversible Verletzungen verursacht werden, so ist es notwendig, dass die sicherheitsrelevanten Teile mindestens Performance Level „d“ erfüllen.

Gefahr bringende Bewegungen, die entstehen könnten, sind z. B.:

- unbeabsichtigter Anlauf,
- unbeabsichtigter Hochlauf der Maschine im Tippbetrieb,
- Weiterlauf bei beabsichtigter Unterbrechung, z. B. beim Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung.

Bei Schutzeinrichtungen mit Stellungsüberwachung, bei denen die Positionsüberwachung durch Personenschutzschalter erfolgt und begründet durch Auswahl und Anordnung ein Fehlerausschluss angenommen werden kann, ist es zulässig, nur einen einzigen Positionsschalter je Schutzeinrichtung zu verwenden, wenn dieser nach EN 60947-5-1 „Niederspannungsschaltgeräte; Teil 5-1: Steuergeräte und Schaltelemente, Elektromechanische Steuergeräte“ gebaut ist (siehe EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.11.2).

Bei der Verwendung von Näherungsschaltern ist es erforderlich, dass durch die Kombination von Schalter und Auswerteeinheit eine gleichwertige Sicherheit realisiert wird wie beim Einsatz eines mechanischen Positionsschalters für Sicherheitsfunktionen.

5.1.2 Maschinen mit betriebsmäßig regelmäßigem Zugriff auf die Gefahrenstelle

Bei Maschinen, bei denen ein betriebsmäßiger Eingriff zwischen die Werkzeugteile im Wirkbereich erfolgt, müssen die pneumatischen und hydraulischen Steuerungen, die für die Realisierung von Sicherheitsfunktionen verwendet werden, mindestens den Performance Level „d“ erfüllen. Hingegen wird ein Performance Level „e“ für die sicherheitsrelevanten Teile der elektrischen bzw. der elektronischen Steuerung verlangt.

An verriegelten Schutzeinrichtungen müssen je Schutzeinrichtung zwei Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen vorhanden sein (EN 60947-5-1 „Niederspannungsschaltgeräte, Teil 5-1: Steuergeräte und Schaltelemente, Elektromechanische Steuergeräte“), um den Ausfall eines Positionsschalters zu erkennen. Die Anwendung von Fehlerausschlüssen bezüglich der eingesetzten Bauteile ist nicht zulässig.

Bei Maschinen mit regelmäßigem Eingriff in Gefahrenstellen ist das Verletzungsrisiko beim Auftreten eines Fehlers in der Steuerung sehr hoch, daher sind elektronische Bremsen alleine nicht ausreichend. Bei diesen Maschinen müssen auch immer mechanische Bremsen vorhanden sein.

Die mechanische Bremse muss so ausgelegt sein, dass bei Verwendung eines Umrichters (Inverter) das mechanische Bremsmoment größer ist als das maximal generierte elektrische Antriebsmoment, sodass im Fehlerfall des Umrichters (Inverter) die mechanische Bremse die Gefahr bringende Bewegung rechtzeitig zum Stillstand bringt.

5.2 Bestimmung des Performance Level PL

5.2.1 Sicherheitsfunktionen ermitteln

Bevor ein PL bestimmt werden kann, sind alle Sicherheitsfunktionen zu ermitteln, die durch eine Steuerung realisiert werden.

Typische Sicherheitsfunktionen sind zum Beispiel:

- die Not-Halt Funktion (ergänzende Schutzmaßnahme siehe EN ISO 13850),
- die Funktion der Verriegelungseinrichtungen,
- die Funktion der Weg- bzw. Geschwindigkeitsbegrenzung im Tippbetrieb,
- die Funktion der Drosselklappenregelung bei Durchlaufrocknern,

- die Halt-Sicher-Funktion,
- die Funktion der sicher reduzierten Geschwindigkeit (Schleichgang).

Die festgelegten Eigenschaften der Sicherheitsfunktion(en) können der Risikobeurteilung entnommen werden; hier werden die technischen Schutzmaßnahmen üblicherweise dargelegt. Nach der Ermittlung aller Sicherheitsfunktionen der Maschine wird je Sicherheitsfunktion der erforderliche Performance Level PL_r bestimmt.

5.2.2 Erforderlichen Performance Level PL_r bestimmen

Der erforderliche (required) Performance Level (PL_r) wird für jede Sicherheitsfunktion bestimmt. Der PL_r ist der „Soll-Wert“ der Sicherheitsfunktion und beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein gefährliches Versagen einer Sicherheitsfunktion noch zulässig ist.

Für bestimmte Sicherheitsfunktionen ist der erforderliche Performance Level PL_r in C-Normen bereits festgelegt, wie z. B. in der EN 1010 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsanforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen“.

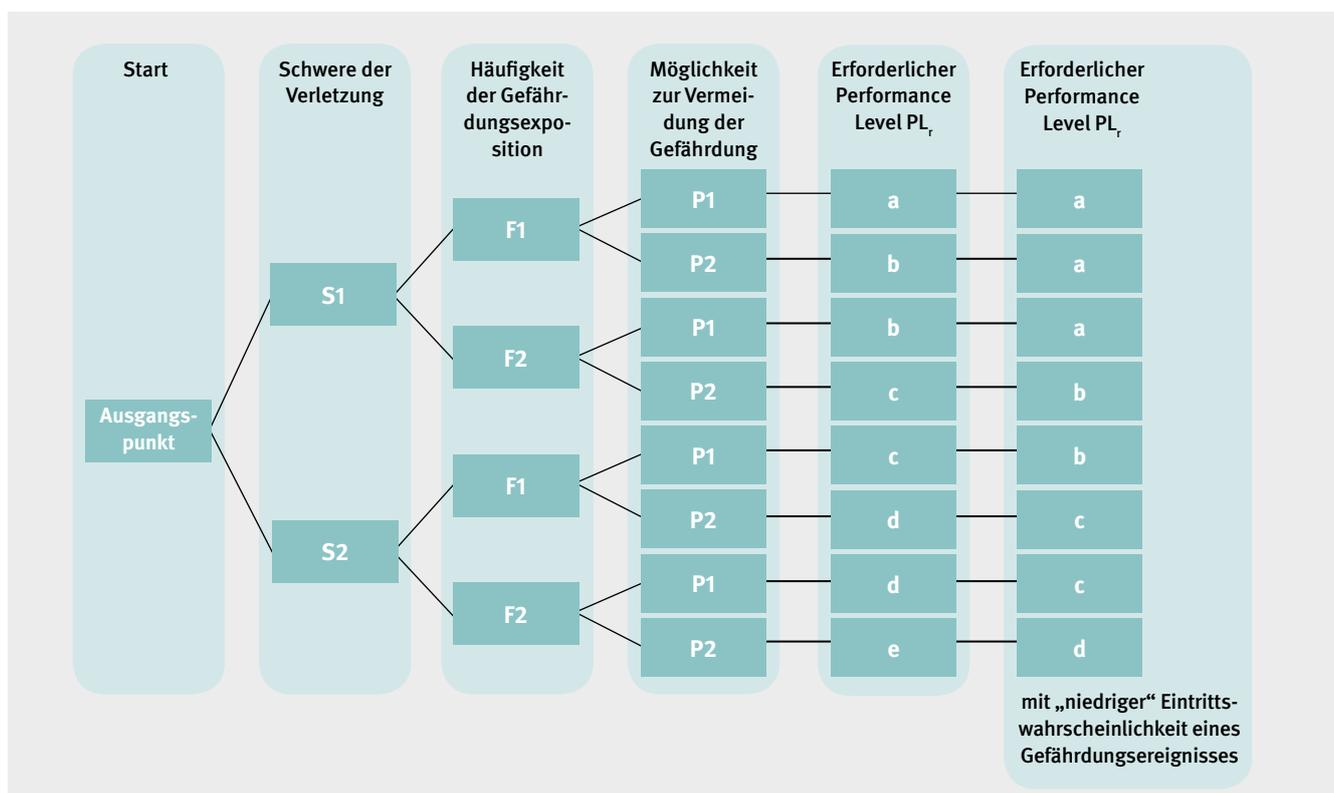


Abbildung 40: Risikograph

Für noch nicht normativ bewertete Sicherheitsfunktionen kann der PL_r durch Anwendung des Risikographs (Abbildung 40) bestimmt werden. Der Risikograph ist ein Hilfsmittel zur Abschätzung der notwendigen Risikominderung durch die Steuerung. Der PL_r wird bestimmt anhand der Kriterien „Schwere der Verletzung S“, „Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition F“ und „Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung P“. Außerdem kann die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses berücksichtigt werden.

Schwere der Verletzung (S)

Bei der Einschätzung des Risikos durch einen Ausfall einer Sicherheitsfunktion werden nur leichte Verletzungen (üblicherweise reversible) und schwere Verletzungen (üblicherweise irreversibel und Tod) berücksichtigt, symbolisiert durch die Bezeichnung S1 und S2. Um eine Entscheidung treffen zu können, sollten die üblichen Auswirkungen der Unfälle und normale Heilungsprozesse bei der Bestimmung von S1 und S2 in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel würden Quetschungen und/oder Fleischwunden ohne Komplikationen als S1 klassifiziert, wohingegen eine Amputation oder der Tod mit S2 einzustufen wären.

Häufigkeit und/oder Dauer der Gefährdungsexposition (F)

Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition werden bewertet mit:

- F1 – selten bis weniger häufig und/oder die Dauer der Gefährdungsexposition ist kurz
- F2 – häufig bis dauernd und/oder die Dauer der Gefährdungsexposition ist lang

Eine feste Grenze zwischen F1 und F2 lässt sich nicht angeben. Erfolgt der Eingriff in den Gefahrenbereich häufiger als einmal alle 15 Minuten, sollte F2 gewählt werden. Die Entscheidung sollte auf F1 fallen, wenn die gesamte Expositi-

tionsdauer nicht größer als $1/20$, also 5 % der Betriebsdauer der Maschine ist und der Eingriff in den Gefahrenbereich nicht öfter als einmal alle 15 Minuten bzw. viermal pro Stunde erfolgt. Bei der Bewertung der Häufigkeit und Dauer ist es nicht zulässig zu unterscheiden, ob dieselbe oder unterschiedliche Personen der Gefährdung ausgesetzt werden.

Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung (P)

An dieser Stelle soll bewertet werden, ob die Vermeidung einer Gefährdungssituation

- P1 – unter bestimmten Bedingungen möglich oder
- P2 – kaum möglich ist.

Bei der Festlegung dieses Parameters sind u. a. die physikalischen Eigenschaften einer Maschine und die mögliche Reaktion des Bedieners von Bedeutung. So hat der Bediener bei langsam auftretenden Gefährdungen die Möglichkeit, sich bei ausreichendem Bewegungsraum aus dem Gefahrenbereich zu entfernen (P1). P2 ist zu wählen, wenn hoch dynamische Bewegungen stattfinden können und die Chance, den Unfall durch Ausweichen zu vermeiden, praktisch nicht gegeben ist.

Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses

Als ein weiteres Entscheidungskriterium kann zusätzlich die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses berücksichtigt werden. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist aber meist nur schwer mit der erforderlichen statistischen Verlässlichkeit bestimmbar. Der Risikograph im Anhang A der EN ISO 13849-1 wurde unter Berücksichtigung einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit entwickelt. In Einzelfällen, die nachvollziehbar begründet werden müssen, darf sie als niedrig bewertet werden. Dies führt dann dazu, dass der PL_r im begründeten Fall um einen Level verringert werden kann. Hierbei stellt jedoch der PL_r mit dem Wert a die untere Grenze dar.

5.2.3 Sicherheitsbezogenes Blockdiagramm erstellen und die Struktur ermitteln

Sicherheitsbezogenes Blockdiagramm erstellen

In den meisten Fällen existiert bereits eine Maschine mit einem Schutzkonzept, in dem ein Beitrag zur Risikominimierung durch steuerungstechnische Maßnahmen realisiert ist. Dieses kann mit wenig Aufwand in ein sicherheitsbezogenes Blockdiagramm umgesetzt werden. Eine große Hilfe bei der Erstellung des sicherheitsbezogenen Blockdiagramms ist der Stromlaufplan.

Bei der Erstellung des logischen Blockschaltbildes werden alle Bauteile betrachtet, die für die Ausführung der Sicherheitsfunktion verantwortlich sind. Das sicherheitsbezogene Blockdiagramm beinhaltet alle an der Sicherheitsfunktion beteiligten logischen Einheiten (Bauteile) – weshalb auch vom logischen Blockschaltbild gesprochen wird. Im Allgemeinen besteht ein sicherheitsbezogenes Blockdiagramm aus den drei Blöcken, „Eingabe“, „Logik“ und „Ausgabe“. In der Praxis existieren meist mehrere

Bauteile, die den Blöcken „Eingabe“, „Logik“ und „Ausgabe“ zugeordnet werden.

Beispiel:

Abbildung 41 verdeutlicht anhand einer Beispielschaltung den Aufbau eines sicherheitsbezogenen Blockschaltbildes. Die Beispielschaltung soll den Ausschnitt eines Schaltplans darstellen, der auf die Bauteile zur Umsetzung

Bauteil Merkmale:

Das Not-Halt-Stellteil entspricht dem Stand der Technik und wurde nach Herstellerangaben installiert. Durch konstruktive Maßnahmen kann begründet für das Not-Halt-Stellteil ein Fehlerausschluss angenommen werden. Für den Sicherheitsbaustein wird angenommen, dass der Hersteller in seiner Dokumentation folgende Angaben liefert entsprechend der EN ISO 13849-1: PL=e, Kategorie 4, $PFH_0 = 4,9 \times 10^{-9}$.

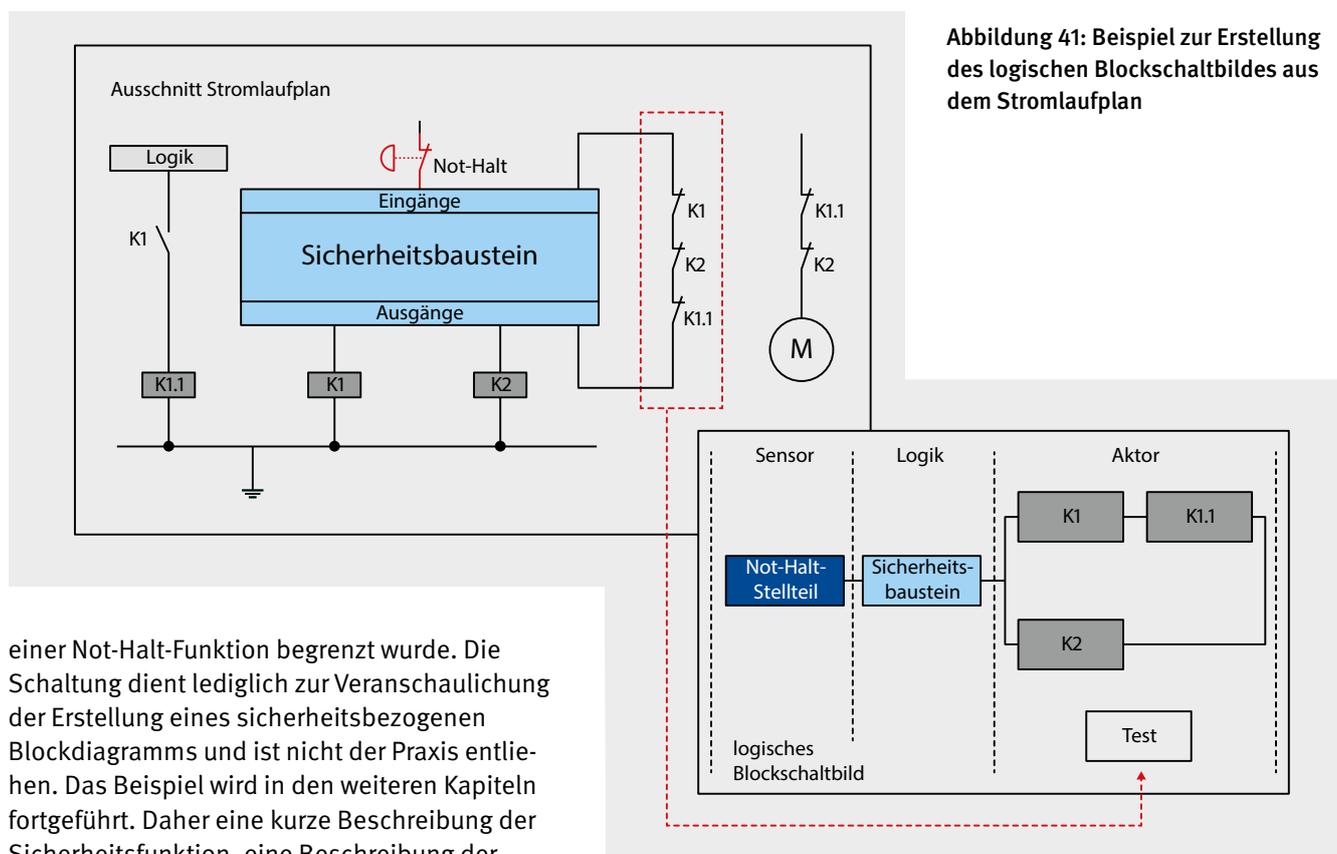


Abbildung 41: Beispiel zur Erstellung des logischen Blockschaltbildes aus dem Stromlaufplan

einer Not-Halt-Funktion begrenzt wurde. Die Schaltung dient lediglich zur Veranschaulichung der Erstellung eines sicherheitsbezogenen Blockdiagramms und ist nicht der Praxis entliehen. Das Beispiel wird in den weiteren Kapiteln fortgeführt. Daher eine kurze Beschreibung der Sicherheitsfunktion, eine Beschreibung der Funktionsweise und weitere Annahmen.

Sicherheitsfunktion:

Bei Auslösen des Not-Halt Stellteils soll der Motor M unmittelbar stillgesetzt werden; das Stillsetzen erfolgt durch galvanische Trennung der Spannungsversorgung.

Funktionsweise:

Das Auslösen des Not-Halt-Stellteils wird vom Sicherheitsbaustein erkannt und es werden die Schütze K1 und K2 geschaltet. Das Schütz K1 besitzt eine Kontakterweiterung auf K 1.1, welches mit dem Schütz K2 zur Abschaltung des Motors führt. Alle Schütze werden durch den Sicherheitsbaustein überwacht, so dass ein Fehler in den Schützen erkannt wird.

Die Schütze entsprechen ebenfalls dem Stand der Technik und sind nach Herstellerangaben installiert. Sie gelten als bewährte Bauteile.

Erforderlicher Performance Level PL_r : Es wird angenommen, dass auf Basis des Risikographen für die Not-Halt Funktion ein $PL_r = d$ gefordert wird (vergleiche Abbildung 41).

Struktur ermitteln:

Die Struktur wird aus dem sicherheitsbezogenen Blockdiagramm entsprechend den normativ vorgesehenen Architekturen und deren Systemverhalten zugeordnet (siehe Tabelle 15).

ÜBERBLICK ÜBER DIE NORMATIV ANGEBOTENEN ARCHITEKTUREN FÜR DIE SICHERHEITSBEZOGENEN BLOCKDIAGRAMME

Kategorie	B					
	Struktur			Anforderungen		
B				SRP/CS(en) und/oder ihre Schutzeinrichtungen sowie ihre Bauteile müssen in Übereinstimmung mit den zutreffenden Normen so gestaltet, gebaut, ausgewählt, zusammengebaut und kombiniert werden, dass sie den zu erwartenden Einflüssen standhalten können. Grundlegende Sicherheitsprinzipien müssen verwendet werden.		
	Systemverhalten	Prinzip zum Erreichen der Sicherheit	Maximal erreichbarer PL	MTTF _D je Kanal	DC _{avg}	CCF
	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.	Überwiegend durch die Auswahl von Bauteilen charakterisiert	b	niedrig bis mittel	kein	nicht relevant
Kategorie	1					
	Struktur			Anforderungen		
1				Die Anforderungen von B müssen erfüllt sein. Bewährte Bauteile und bewährte Sicherheitsprinzipien müssen angewendet werden.		
	Systemverhalten	Prinzip zum Erreichen der Sicherheit	Maximal erreichbarer PL	MTTF _D je Kanal	DC _{avg}	CCF
	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen, aber die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ist geringer als in Kategorie B.	Überwiegend durch die Auswahl von Bauteilen charakterisiert	c	hoch	kein	nicht relevant

ÜBERBLICK ÜBER DIE NORMATIV ANGEBOTENEN ARCHITEKTUREN FÜR DIE SICHERHEITSBEZOGENEN BLOCKDIAGRAMME

Kategorie	2					
	Struktur		Anforderungen			
			<p>Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Die Sicherheitsfunktion muss in geeigneten Zeitabständen durch die Maschinensteuerung getestet werden.</p>			
2	Systemverhalten	Prinzip zum Erreichen der Sicherheit	Maximal erreichbarer PL	MTTF _D je Kanal	DC _{avg}	CCF
	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion zwischen den Tests führen. Der Verlust der Sicherheitsfunktion wird durch den Test erkannt.	Überwiegend durch die Struktur charakterisiert.	d	niedrig bis hoch	niedrig bis mittel	relevant
Kategorie	3					
	Struktur		Anforderungen			
			<p>Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet werden, dass:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt, und • wenn immer in angemessener Weise durchführbar, der einzelne Fehler erkannt wird. 			
3	Systemverhalten	Prinzip zum Erreichen der Sicherheit	Maximal erreichbarer PL	MTTF _D je Kanal	DC _{avg}	CCF
	Wenn ein einzelner Fehler auftritt, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. Einige, aber nicht alle Fehler werden erkannt. Eine Anhäufung von unerkannten Fehlern kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.	Überwiegend durch die Struktur charakterisiert	e	niedrig bis hoch	niedrig bis mittel	relevant

ÜBERBLICK ÜBER DIE NORMATIV ANGEBOTENEN ARCHITEKTUREN FÜR DIE SICHERHEITSBEZOGENEN BLOCKDIAGRAMME

Kategorie	4			Anforderungen		
Struktur						
				<p>Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet werden, dass:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und • der einzelne Fehler bei oder vor der nächsten Anforderung der Sicherheitsfunktion erkannt wird. Wenn diese Erkennung nicht möglich ist, darf eine Anhäufung von unerkannten Fehlern nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. 		
4	Systemverhalten	Prinzip zum Erreichen der Sicherheit	Maximal erreichbarer PL	MTTF _D je Kanal	DC _{avg}	CCF
<p>Wenn ein einzelner Fehler auftritt, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. Die Erkennung von Fehleranhäufungen reduziert die Wahrscheinlichkeit des Verlustes der Sicherheitsfunktion (hohe DC). Die Fehler werden rechtzeitig erkannt, um einen Verlust der Sicherheitsfunktion zu verhindern.</p>		Überwiegend durch die Struktur charakterisiert	e	hoch	hoch	relevant

Tabelle 15: Zusammenstellung der Anforderungen an die Kategorien

Beispiel:

Es wird empfohlen, für die Berechnung des Performance Levels das kostenfreie Softwareprogramm SISTEMA zu verwenden. Im Anschluss wird die Vorgehensweise für die Berechnung ohne Hilfsmittel erläutert, um die einzelnen notwendigen Schritte zur Bestimmung des Performance Levels nachvollziehbar darzustellen.

Im ersten Schritt ist eine Unterteilung des Blockdiagramms in so genannte Subsysteme notwendig. Im Anschluss muss jedem Subsystem eine Kategorie zugeordnet werden. Übertragen auf das sicherheitsbezogene

Blockdiagramm in Abbildung 41, ergeben sich die in Abbildung 42 dargestellten Subsysteme.

- **Subsystem 1:** Das Not-Halt Stellteil mit Fehlerausschluss
- **Subsystem 2:** Der Sicherheitsbaustein entspricht nach Herstellerangaben Kategorie 4
- **Subsystem 3:** Die Schütze wirken in zwei getrennten Kanälen. Ein Fehler in einem der Kanäle führt nicht zum Verlust der Sicherheit. Außerdem wird über die Testung ein Fehler erkannt. Aus diesen Gründen entspricht das Subsystem 3 mindestens der Kategorie 3.

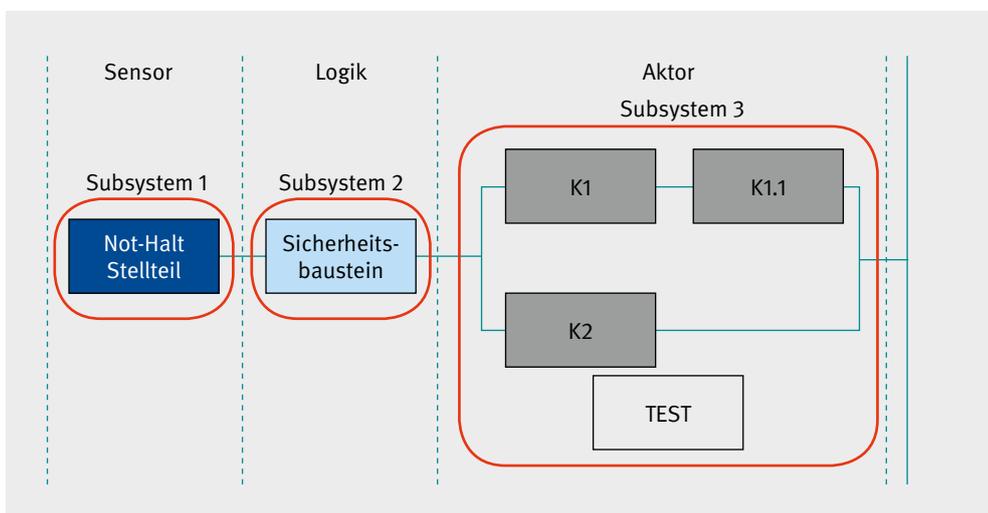


Abbildung 42: Aufteilung des sicherheitsbezogenen Blockdiagramms in Subsysteme

5.2.4 MTTF_D-Werte ermitteln

In den folgenden Schritten geht es um die Ermittlung des MTTF_D-Werts. Der MTTF_D-Wert ist eine statistische Größe, die die mittlere Zeit bis zu einem Gefahr bringenden Ausfall eines Bauteils darstellt (Mean Time To Dangerous Failure). Der MTTF_D-Wert wird je Bauteil und Subsystem bestimmt.

Beispiel:

Subsystem 1: Für das Not-Halt-Stellteil kann entsprechend der Herstellerangaben ein Fehlerausschluss gemacht werden. Daher ist eine Bestimmung des MTTF_D-Wert nicht erforderlich (MTTF_{D Not-Halt} = nicht relevant).

Subsystem 2: Für den Sicherheitsbaustein gibt der Hersteller Werte an (Kategorie 4; PL = e; PFH_D = 4,90 x 10⁻⁹). Bei Angabe des PFH_D-Werts ist eine Bestimmung des MTTF_D-Werts nicht zwingend erforderlich, da mit dem PFH-Wert gerechnet werden kann (siehe Kapitel 5.2.6). Sollte dennoch der MTTF_D-Wert für andere Applikationen erforderlich sein, so kann er über die Tabelle in Anhang K der Norm bestimmt werden (siehe Tabellen 16 und 17 sowie Kapitel 5.2.7).

PROBABILITY OF DANGEROUS FAILURE PER HOUR (PFH_D) [1/H] UND DER ZUGEHÖRIGE PERFORMANCE LEVEL (PL)

MTTF _D für jeden Kanal [Jahre]	Kat. B	PL	Kat. 1	PL	Kat. 2	PL	Kat. 2	PL	Kat. 3	PL	Kat. 3	PL	Kat. 4	PL
	kein DC _{avg}		kein DC _{avg}		DC _{avg} = niedrig		DC _{avg} = mittel		DC _{avg} = niedrig		DC _{avg} = mittel		DC _{avg} = hoch	
10	1,14 × 10 ⁻⁵	a			7,18 × 10 ⁻⁶	b	5,14 × 10 ⁻⁶	b	3,21 × 10 ⁻⁶	b	1,36 × 10 ⁻⁶	c		
11	1,04 × 10 ⁻⁵	a			6,44 × 10 ⁻⁶	b	4,53 × 10 ⁻⁶	b	2,81 × 10 ⁻⁶	c	1,18 × 10 ⁻⁶	c		
12	9,51 × 10 ⁻⁶	b			5,84 × 10 ⁻⁶	b	4,04 × 10 ⁻⁶	b	2,49 × 10 ⁻⁶	c	1,04 × 10 ⁻⁶	c		
13	8,78 × 10 ⁻⁶	b			5,33 × 10 ⁻⁶	b	3,64 × 10 ⁻⁶	b	2,23 × 10 ⁻⁶	c	9,21 × 10 ⁻⁷	d		
15	7,61 × 10 ⁻⁶	b			4,53 × 10 ⁻⁶	b	3,01 × 10 ⁻⁶	b	1,82 × 10 ⁻⁶	c	7,44 × 10 ⁻⁷	d		
16	7,13 × 10 ⁻⁶	b			4,21 × 10 ⁻⁶	b	2,77 × 10 ⁻⁶	c	1,67 × 10 ⁻⁶	c	6,76 × 10 ⁻⁷	d		
18	6,34 × 10 ⁻⁶	b			3,68 × 10 ⁻⁶	b	2,37 × 10 ⁻⁶	c	1,41 × 10 ⁻⁶	c	5,67 × 10 ⁻⁷	d		
20	5,71 × 10 ⁻⁶	b			3,26 × 10 ⁻⁶	b	2,06 × 10 ⁻⁶	c	1,22 × 10 ⁻⁶	c	4,85 × 10 ⁻⁷	d		
22	5,19 × 10 ⁻⁶	b			2,93 × 10 ⁻⁶	c	1,82 × 10 ⁻⁶	c	1,07 × 10 ⁻⁶	c	4,21 × 10 ⁻⁷	d		
24	4,76 × 10 ⁻⁶	b			2,65 × 10 ⁻⁶	c	1,62 × 10 ⁻⁶	c	9,47 × 10 ⁻⁷	d	3,70 × 10 ⁻⁷	d		
27	4,23 × 10 ⁻⁶	b			2,32 × 10 ⁻⁶	c	1,39 × 10 ⁻⁶	c	8,04 × 10 ⁻⁷	d	3,10 × 10 ⁻⁷	d		
30			3,80 × 10 ⁻⁶	b	2,06 × 10 ⁻⁶	c	1,21 × 10 ⁻⁶	c	6,94 × 10 ⁻⁷	d	2,65 × 10 ⁻⁷	d	9,54 × 10 ⁻⁸	e
33			3,46 × 10 ⁻⁶	b	1,85 × 10 ⁻⁶	c	1,06 × 10 ⁻⁶	c	5,94 × 10 ⁻⁷	d	2,30 × 10 ⁻⁷	d	8,57 × 10 ⁻⁸	e
36			3,17 × 10 ⁻⁶	b	1,67 × 10 ⁻⁶	c	9,39 × 10 ⁻⁷	d	5,16 × 10 ⁻⁷	d	2,01 × 10 ⁻⁷	d	7,77 × 10 ⁻⁸	e
39			2,93 × 10 ⁻⁶	c	1,53 × 10 ⁻⁶	c	8,40 × 10 ⁻⁷	d	4,53 × 10 ⁻⁷	d	1,78 × 10 ⁻⁷	d	7,11 × 10 ⁻⁸	e
43			2,65 × 10 ⁻⁶	c	1,37 × 10 ⁻⁶	c	7,34 × 10 ⁻⁷	d	3,87 × 10 ⁻⁷	d	1,54 × 10 ⁻⁷	d	6,37 × 10 ⁻⁸	e
47			2,43 × 10 ⁻⁶	c	1,24 × 10 ⁻⁶	c	6,49 × 10 ⁻⁷	d	3,35 × 10 ⁻⁷	d	1,34 × 10 ⁻⁷	d	5,76 × 10 ⁻⁸	e
51			2,24 × 10 ⁻⁶	c	1,13 × 10 ⁻⁶	c	5,80 × 10 ⁻⁷	d	2,93 × 10 ⁻⁷	d	1,19 × 10 ⁻⁷	d	5,26 × 10 ⁻⁸	e
56			2,04 × 10 ⁻⁶	c	1,02 × 10 ⁻⁶	c	5,10 × 10 ⁻⁷	d	2,52 × 10 ⁻⁷	d	1,03 × 10 ⁻⁷	d	4,73 × 10 ⁻⁸	e
62			1,84 × 10 ⁻⁶	c	9,06 × 10 ⁻⁷	d	4,43 × 10 ⁻⁷	d	2,13 × 10 ⁻⁷	d	8,84 × 10 ⁻⁸	e	4,22 × 10 ⁻⁸	e
68			1,68 × 10 ⁻⁶	c	8,17 × 10 ⁻⁷	d	3,90 × 10 ⁻⁷	d	1,84 × 10 ⁻⁷	d	7,68 × 10 ⁻⁸	e	3,80 × 10 ⁻⁸	e
75			1,52 × 10 ⁻⁶	c	7,31 × 10 ⁻⁷	d	3,40 × 10 ⁻⁷	d	1,57 × 10 ⁻⁷	d	6,62 × 10 ⁻⁸	e	3,41 × 10 ⁻⁸	e
82			1,39 × 10 ⁻⁶	c	6,61 × 10 ⁻⁷	d	3,01 × 10 ⁻⁷	d	1,35 × 10 ⁻⁷	d	5,79 × 10 ⁻⁸	e	3,08 × 10 ⁻⁸	e
91			1,25 × 10 ⁻⁶	c	5,88 × 10 ⁻⁷	d	2,61 × 10 ⁻⁷	d	1,14 × 10 ⁻⁷	d	4,94 × 10 ⁻⁸	e	2,74 × 10 ⁻⁸	e
100			1,14 × 10 ⁻⁶	c	5,28 × 10 ⁻⁷	d	2,29 × 10 ⁻⁷	d	1,01 × 10 ⁻⁷	d	4,29 × 10 ⁻⁸	e	2,47 × 10 ⁻⁸	e

Tabelle 16: Auszug aus Tabelle K.1 der EN ISO 13849-1 – Durchschnittliche Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Ausfalls pro Stunde [1/h] (PFH_D) und der zugehörige Performance Level (PL)

MTTF_D (JAHRE) UND PFH_D (DURCHSCHNITTLICHE WAHRSCHEINLICHKEIT EINES GEFÄHRLICHEN AUSFALLS PRO STUNDE [1/H])
 KAT 4; DC_{AVG} = HOCH; PL= e

MTTF _D	PFH _D [1/h]	MTTF _D [Jahre]	PFH _D [1/h]	MTTF _D [Jahre]	PFH _D [1/h]	MTTF _D [Jahre]	PFH _D [1/h]
100	$2,47 \times 10^{-8}$	240	$9,81 \times 10^{-9}$	560	$4,11 \times 10^{-9}$	1.300	$1,75 \times 10^{-9}$
110	$2,23 \times 10^{-8}$	270	$8,67 \times 10^{-9}$	620	$3,70 \times 10^{-9}$	1.500	$11,51 \times 10^{-9}$
120	$2,03 \times 10^{-8}$	300	$7,76 \times 10^{-9}$	680	$3,37 \times 10^{-9}$	1.600	$1,42 \times 10^{-9}$
130	$1,87 \times 10^{-8}$	330	$7,04 \times 10^{-9}$	750	$3,05 \times 10^{-9}$	1.800	$1,26 \times 10^{-9}$
150	$1,61 \times 10^{-8}$	360	$6,44 \times 10^{-9}$	820	$2,79 \times 10^{-9}$	2.000	$1,13 \times 10^{-9}$
160	$1,50 \times 10^{-8}$	390	$5,94 \times 10^{-9}$	910	$2,51 \times 10^{-9}$	2.200	$1,03 \times 10^{-9}$
180	$1,33 \times 10^{-8}$	430	$5,38 \times 10^{-9}$	1.000	$2,28 \times 10^{-9}$	2.300	$9,85 \times 10^{-10}$
200	$1,19 \times 10^{-8}$	470	$4,91 \times 10^{-9}$	1.100	$2,07 \times 10^{-9}$	2.400	$9,44 \times 10^{-10}$
220	$1,08 \times 10^{-8}$	510	$4,52 \times 10^{-9}$	1.200	$1,90 \times 10^{-9}$	2.500	$9,06 \times 10^{-10}$

Tabelle 17: Fortführung der Tabelle K.1 des Anhang K der EN ISO 13849-1

Subsystem 3: Schütze unterliegen einem Verschleiß, so auch die Schütze K1, K1.1 und K2. Für alle verschleißbehafteten Bauteile wird der so genannte B_{10D}-Wert angeführt. Der B_{10D}-Wert gibt die Anzahl von Schaltzyklen an, bis 10 % der Bauteile gefährlich ausgefallen sind.

Gibt der Hersteller keinen B_{10D}-Wert an, so kann die Tabelle im Anhang C.1 der EN ISO 13849-1 für eine Auswahl von Bauteilen diese Werte liefern (siehe Tabelle 18). Dieses „Verfahren guter ingenieurmäßiger Praxis“ sollte nur angewendet werden, wenn keine Herstellerangaben vorliegen.

AUSZUG AUS TABELLE C.1 DER EN ISO 13849-1: MTTF_D - UND B_{10D}-WERT „GUTER INGENIEURMÄSSIGER PRAXIS“

Bauteile	Typische MTTF _D (Jahre) oder B _{10D} (Zyklen) Werte
Mechanische Bauteile	MTTF _D = 150 Jahre
Hydraulische Bauteile und n _{op} ≥ 1 000 000 Zyklen/Jahr	MTTF _D = 150 Jahre
Hydraulische Bauteile mit 1 000 000 > n _{op} ≥ 500 000 Zyklen/Jahr	MTTF _D = 300 Jahre
Hydraulische Bauteile mit 500 000 > n _{op} ≥ 250 000 Zyklen/Jahr	MTTF _D = 600 Jahre
Hydraulische Bauteile und n _{op} < 250 000 Zyklen/Jahr	MTTF _D = 1200 Jahre
Pneumatische Bauteile	B _{10D} = 20 000 000
Relais und Hilfsschütze mit geringer Last (mechanischer Belastung)	B _{10D} = 20 000 000
Relais und Hilfsschütze mit maximaler Belastung	B _{10D} = 400 000
Näherungsschalter mit geringer Last ¹⁾	B _{10D} = 20 000 000
Näherungsschalter mit maximaler Belastung	B _{10D} = 400 000
Schütze mit geringer Last ¹⁾	B _{10D} = 20 000 000
Schütze mit nominaler Last	B _{10D} = 1 300 000
Positionsschalter, wenn der Fehlerausschluss für die Zwangsöffnung möglich ist	B _{10D} = 20 000 000
Positionsschalter (mit separatem Aktor, Zuhaltung)	B _{10D} = 2 000 000
Not-Aus-Einrichtungen unabhängig von der Last, wenn der Fehlerausschluss für die Zwangsöffnung möglich ist	B _{10D} = 100 000
Taster (z. B. Freigabetaster) unabhängig von der Last, wenn der Fehlerausschluss für die Zwangsöffnung möglich ist	B _{10D} = 100 000

¹⁾ Geringe Last bedeutet z. B. 20 % des Bemessungswertes; für weitere Informationen siehe EN ISO 13849-2

Tabelle 18: Auszug aus Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1: MTTF_D- und B_{10D}-Wert „guter ingenieurmäßiger Praxis“

Für unser Beispiel nutzen wir das Verfahren „guter ingenieurmäßige Praxis“. Die Tabelle C.1 im Anhang liefert für Schütze mit nominaler Last einen B_{10D}-Wert von 1 300 000 Zyklen. Diesen nutzen wir zur weiteren Berechnung.

Über die Formel $MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 * n_{op}}$ kann der MTTF_D-Wert über den B_{10D}-Wert ermittelt werden. n_{op} ist dabei die mittlere Anzahl der jährlichen Betätigungen und berechnet sich nach folgender Formel:

$$n_{op} = \frac{d_{op} * h_{op} * 3600^s/h}{t_{Zyklus}}$$

h_{op} ist die mittlere Betriebszeit in Stunden je Tag;
d_{op} ist die mittlere Betriebszeit in Tagen je Jahr;

t_{Zyklus} ist die mittlere Zeit zwischen dem Beginn zweier aufeinander folgender Zyklen des Bauteils (z. B. Schalten eines Ventils) in Sekunden je Zyklus.

Die Werte zur Berechnung der mittleren Anzahl der jährlichen Betätigungen (n_{op}) sind entsprechend der Erfahrung über den Einsatz der Maschine anzunehmen. In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass die Maschine im Durchschnitt 220 Tage pro Jahr (d_{op}), 16 Stunden pro Arbeitstag (h_{op}) betrieben wird. Die Schütze werden nicht nur durch die Not-Halt-Funktion geschaltet, sondern z. B. auch beim Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung oder beim betriebsmäßigen STOPP. So wird davon ausgegangen, dass die Schütze alle 3 Minuten schalten (t_{Zyklus} = 180 s).

Daraus berechnet sich eine mittlere Anzahl der jährlichen Betätigungen $n_{op} = 70400$.

$$n_{op} = \frac{220 \text{ Tage} * 16 \text{ h} * 3600^s/h}{180 \text{ s}} = 70400$$

Mit den Werten aus der Tabelle C.1 und der berechneten Anzahl von Operationen ergibt sich für die Schütze K1, K1.1 und K2 ein $MTTF_D$ -Wert von je 184 Jahren.

$$MTTF_{DK1} = MTTF_{DK1.1} = MTTF_{DK2} = \frac{1300000}{0,1 * 70400} \approx 184 \text{ Jahre}$$

Nach der Ermittlung der $MTTF_D$ -Werte je Bauteil muss der $MTTF_D$ -Wert je Kanal bestimmt werden. Alle Systeme der Kategorie 3 und 4 bestehen aus zwei Kanälen. In unserem Beispiel besteht der erste Kanal aus den Schützen K1 und K1.1 und der zweite Kanal aus dem Schütz K2. Für den ersten Kanal wird mit Hilfe der folgenden allgemeinen Formel der $MTTF_D$ -Wert des Kanals bestimmt.

Die Betriebszeit verschleißbehafteter Bauteile ist auf T_{10D} begrenzt, d. h. die mittlere Zeit bis 10 % der Bauteile gefährlich ausfallen. **Die Betriebszeit T_{10D} ergibt sich aus den Quotienten B_{10D}/n_{op} .** Liegt die T_{10D} unterhalb der Gebrauchsdauer TM (bei der vereinfachten Berechnungsmethode nach der EN ISO 13849-1 beträgt die Zeit 20 Jahre)

muss nach Ablauf der Zeit (T_{10D}) das Bauteil gewechselt werden, um die normativen Anforderungen zu erfüllen.

$$\frac{1}{MTTF_D} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_{Di}}$$

$$\frac{1}{MTTF_{DKanal1}} = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{MTTF_{Di}} = \frac{1}{MTTF_{DK1}} + \frac{1}{MTTF_{DK1.1}}$$

Daraus ergibt sich ein $MTTF_{DKanal1} \approx 92$ Jahre.

Im zweiten Kanal ist nur das Schütz K2 vorhanden, so dass im Prinzip $MTTF_{DK2} = MTTF_{DKanal2} = 184$ Jahre wäre. Die EN ISO 13849-1 begrenzt aber den $MTTF_D$ -Wert pro Kanal auf 100 Jahre, so dass $MTTF_{DKanal2} = 100$ Jahre ist. Bisher wurde der $MTTF_D$ -Wert je Bauteil und Kanal ermittelt. Zur Ermittlung des $MTTF_D$ -Werts des Subsystems wird die so genannte Symmetrierungsformel angewendet. Mit ihr werden redundante Systeme mit unterschiedlichen $MTTF_D$ -Werten je Kanal berechnet.

$$MTTF_D = \frac{2}{3} \left[MTTF_{DKanal1} + MTTF_{DKanal2} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{DKanal1}} + \frac{1}{MTTF_{DKanal2}}} \right]$$

Mit den oben ermittelten Werten ergibt sich für das Subsystem 3 ein $MTTF_{DSub3} \approx 96$ Jahre.

5.2.5 Diagnosedeckungsgrad bestimmen

Der Diagnosedeckungsgrad (DC) ist ein Maß für die Wirksamkeit der Fehlererkennung einer Sicherheitsfunktion und ist bei Strukturen der Kategorie 2 bis 4 zu beachten. Durch Überwachung (Tests) der an der Sicherheitsfunktion beteiligten Bauteile kann ein Versagen oder ein Defekt der Bauteile erkannt werden. Der DC kann aus dem Verhältnis der *Ausfallrate der erkannten gefährlichen Ausfälle* und der *Ausfallrate aller Ausfälle* berechnet werden. Zur Bestimmung des durchschnittlichen Diagnosedeckungsgrad (DC_{avg}) einer sicherheitsbezogenen Steuerung wird die folgende Formel angewendet.

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{D1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{D2}} + \dots + \frac{DC_n}{MTTF_{Dn}}}{\frac{1}{MTTF_{D1}} + \frac{1}{MTTF_{D2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{Dn}}}$$

Als Hilfe, welcher Diagnosedeckungsgrad unter welchen Umständen anzuwenden ist, gibt die EN ISO 13849-1 in der Tabelle in Anhang E Auskunft.

Beispiel:

Das *Subsystem 1* entspricht der Kategorie 1. Eine Fehlererkennung ist nicht vorhanden. In einem Kategorie 1-System ist der Diagnosedeckungsgrad DC grundsätzlich null. Aufgrund des angewendeten Fehlerrückfalls ist der Diagnosedeckungsgrad für das *Subsystem 1* jedoch nicht relevant. Für das *Subsystem 2*, bestehend aus dem Sicherheitsbaustein, gibt der Hersteller PL=e und Kategorie 4 an. Dieses wird nach Tabelle K.1 nur erreicht, wenn der DC größer 99% ist. Für das *Subsystem 3*, bestehend aus den Schützen, ist eine Diagnose (Testung) über den Sicherheitsbaustein realisiert. Eine Fehlfunktion der Schütze, die zwangsgeführte Kontakte besitzen, wird durch den Sicherheitsbaustein erkannt und es wird die Stopp-Funktion eingeleitet. Der einzelne Fehler im Schütz wird bei der nächsten Anforderung der Sicherheitsfunktion erkannt. Aus diesem Grund kann von einer direkten Überwachung entsprechend der Tabelle in Anhang E der Norm und damit einem Diagnosedeckungsgrad von 99% ausgegangen werden.

Der durchschnittliche Diagnosedeckungsgrad DC_{avg} berechnet sich für das Subsystem 3 wie folgt:

$$DC_{avgSub3} = \frac{\frac{DC_{K1}}{MTTF_{DK1}} + \frac{DC_{K1.1}}{MTTF_{DK1.1}} + \frac{DC_{K2}}{MTTF_{DK2}}}{\frac{1}{MTTF_{DK1}} + \frac{1}{MTTF_{DK1.1}} + \frac{1}{MTTF_{DK2}}} = \frac{\frac{99\%}{184 \text{ Jahre}} + \frac{99\%}{184 \text{ Jahre}} + \frac{99\%}{184 \text{ Jahre}}}{\frac{1}{184 \text{ Jahre}} + \frac{1}{184 \text{ Jahre}} + \frac{1}{184 \text{ Jahre}}} = 99\%$$

Einen $DC_{avgSub3} = 99\%$ bewertet die EN ISO 13849-1 mit „hoch“. Die Bewertungskriterien sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Bewertung	Bereich
keine	$DC < 60\%$
niedrig	$60\% \leq DC < 90\%$
mittel	$90\% \leq DC < 99\%$
hoch	$99\% \leq DC$

Tabelle 19

5.2.6 Abschätzung von Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache

Die Abschätzung der Ausfälle aufgrund gemeinsamer Ursache – auch Fehler gemeinsamer Ursache (Common Cause Failure = CCF) genannt – hat keinen direkten Einfluss auf die Abschätzung des PL. Es handelt sich dabei um die Überprüfung von notwendigen Maßnahmen, die auf redundante Systeme und Systeme mit Testung, also Subsystemen der Kategorien 2, 3 und 4, anzuwenden sind.

Ziel ist der Nachweis, dass durch einen Fehler nicht gleichzeitig beide Kanäle eines redundanten Systems oder der Kanal und die Testeinrichtung ausfallen. Der Nachweis erfolgt über die Tabelle im Anhang F der Norm (siehe folgende Tabelle). Dabei sind mindestens 65 Punkte zu erreichen.

VERFAHREN ZUR QUANTIFIZIERUNG FÜR MASSNAHMEN GEGEN FEHLER GEMEINSAMER URSACHE (CCF) (TABELLE F.1 DER EN 13849-1)

Nr.	Maßnahme gegen Fehler gemeinsamer Ursache (CCF)	Punkte
1	Trennung/Abtrennung	
	Physikalische Trennung zwischen den Signalpfaden z. B. Trennung der Verdrahtung/Verrohrung z. B. Ausreichende Luft- und Kriechstrecken auf gedruckten Schaltungen	15
2	Diversität	
	Unterschiedliche Technologien/Gestaltung oder physikalische Prinzipien werden verwendet z. B. der erste Kanal in programmierbarer Elektronik und der zweite Kanal festverdrahtet z. B. Art der Initiierung z. B. Druck und Temperatur Messung von Entfernung und Druck z. B. digital und analog Bauteile von unterschiedlichen Herstellern	20
3	Entwurf/Anwendung/Erfahrung	
3.1	Schutz gegen Überspannung, Überdruck, Überstrom usw.	15
3.2	Verwendung bewährter Bauteile	5
4	Beurteilung/Analyse	
	Sind die Ergebnisse einer Ausfallart und Effektanalyse berücksichtigt worden, um Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache in der Entwicklung zu vermeiden?	5

VERFAHREN ZUR QUANTIFIZIERUNG FÜR MASSNAHMEN GEGEN FEHLER GEMEINSAMER URSACHE (CCF) (TABELLE F.1 DER EN 13849-1)

Nr.	Maßnahme gegen Fehler gemeinsamer Ursache (CCF)	Punkte
5	Kompetenz/Ausbildung	
	Sind Konstrukteure/Monteure geschult worden, um die Gründe und Auswirkungen von Ausfällen infolge gemeinsamer Ursache zu erkennen?	5
6	Umgebung	
6.1	Schutz vor Verunreinigung und elektromagnetischer Beeinflussung (EMC) gegen CCF in Übereinstimmung mit den angemessenen Normen Fluidische Systeme: Filtrierung des Druckmediums, Verhinderung von Schmutzeintrag, Entwässerung von Druckluft, z. B. in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Herstellers für die Reinheit des Mediums Elektrische Systeme: Wurde das System hinsichtlich elektromagnetischer Immunität geprüft, z. B. wie in zutreffenden Normen gegen CCF spezifiziert? Bei kombinierten fluidischen und elektrischen Systemen sollten beide Aspekte berücksichtigt werden.	25
6.2	Andere Einflüsse Wurden alle Anforderungen hinsichtlich Unempfindlichkeit gegenüber allen relevanten Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Schock, Vibration, Feuchtigkeit (z. B. wie in den zutreffenden Normen festgelegt) berücksichtigt?	10
	Gesamt	[max.100 erreichbar]
Gesamtpunkte	Maßnahmen, um Fehler gemeinsamer Ursache zu vermeiden	
65 oder besser	Anforderungen erreicht	
kleiner als 65	Verfahren gescheitert ==> Auswahl zusätzlicher Maßnahmen	

Tabelle 20: Verfahren zur Quantifizierung für Maßnahmen gegen Fehler gemeinsamer Ursache (CCF) (Tabelle F.1 der EN 13849-1)

5.2.7 Bestimmung der PFH-Werte und Abschätzung des PL

Der PFH_D -Wert steht für Probability of Dangerous Failure per Hour (Wahrscheinlichkeit eines Gefahr bringenden Ausfalls pro Stunde). Die PFH_D -Werte der einzelnen Subsysteme lassen sich addieren. Dementsprechend müssen die PFH_D -Werte aller Subsysteme bekannt sein, damit der Performance Level PL abgeschätzt werden kann.

Beispiel:

Für das Not-Halt-Stellteil in Subsystem1 haben wir einen Fehlerausschluss gemacht. Der Wert entspricht $PFH_{D, Sub1} = 0$.

Für den Sicherheitsbaustein in Subsystem 2 wurde vom Hersteller der PFH_D -Wert mit $PFH_{D, Sub2} = 4,90 \times 10^{-9}$ angegeben.

Für das Subsystem 3 ist eine Ermittlung des PFH_D -Werts notwendig. Dieser ist am einfachsten über die Tabelle in Anhang K der Norm zu bestimmen (siehe Tabellen 16 und 17). In Kapitel 5.2.3 wurde für das Subsystem 3 die Kategorie 3 festgelegt. Die Architekturen der Kategorien 3 und 4 unterscheiden sich nicht. Der Unterschied zwischen den beiden Kategorien liegt in den dazu gehörigen Diagnosedeckungsgraden. Aus diesem Grund hat das Subsystem 3 im Beispiel eine Struktur der Kategorie 4 ($DC_{avg, Sub3} = 99\%$; hoch) und nicht, wie anfänglich angenommen, Kategorie 3.

In Kapitel 5.2.4 wurde ein $MTTF_D$ von 96 Jahren berechnet. Mit diesen Werten kann aus der Tabelle 16 (Anhang K der Norm) der dazugehörige PFH_D -Wert abgeschätzt werden. Dieses wird in der folgenden Tabelle verdeutlicht.

In unserem Beispiel wurde ein Diagnosedeckungsgrad „hoch“ und somit Kategorie 4 ermittelt. Ein $MTTF_D$ -Wert von 96 Jahren ist in der Tabelle nicht aufgeführt. In einem solchem Fall wird der niedrigere Wert (also 91 Jahre) zur Bestimmung des PFH_D -Werts verwendet.

Der PFH_D -Wert für das Subsystem 3 lautet entsprechend $PFH_{DSub3} = 2,74 \cdot 10^{-8}$ (siehe Tabelle 21).

Die Berechnung des PFH_D -Werts der gesamten Sicherheitsfunktion erfolgt, wie bereits erwähnt, über Addition der einzelnen PFH -Werte.

$$PFH_{D\text{Gesamt}} = PFH_{DSub1} + PFH_{DSub2} + PFH_{DSub3}$$

$$PFH_{D\text{Gesamt}} = 0 + 4,9 \cdot 10^{-9} + 2,74 \cdot 10^{-8} = 3,23 \cdot 10^{-8}$$

Um den Performance Level abzuschätzen, geht man wieder in die Tabelle des Anhangs K und schaut, welcher Wert größer oder gleich dem PFH_D -Wert des Gesamtsystems ist und liest den zugehörigen PL ab.

In unserem Beispiel ist der nächstgrößere PFH_D -Wert also $3,41 \cdot 10^{-8}$ und entspricht damit einem PL von e. Da der PL unter der Anwendung eines Fehlerausschlusses ermittelt wurde, ist eine Bewertung der Steuerung mit einem PL von e nicht möglich, da normativ ein Fehlerausschluss nur bis Performance Level PL = d zulässig ist.



Bild 11

DURCHSCHNITTLICHE WAHRSCHEINLICHKEIT EINES GEFÄHRLICHEN AUSFALLS JE STUNDE (PFH_D IN 1/H) UND DER DAZUGEHÖRIGE PERFORMANCE LEVEL (PL)

$MTTF_D$	$MTTF_D$ [a]	Kat.2 DC_{avg} = niedrig	Kat.2 DC_{avg} = mittel	Kat.3 DC_{avg} = niedrig	Kat.3 DC_{avg} = mittel	Kat.4 DC_{avg} = hoch
mittel	12	b	b	c	$1,04 \cdot 10^{-6}$ c	
	13	b	b	c	$9,21 \cdot 10^{-7}$ d	
	15	b	b	c	$7,44 \cdot 10^{-7}$ d	
	16	b	c	c	$6,76 \cdot 10^{-7}$ d	
	18	b	c	c	$5,67 \cdot 10^{-7}$ d	
	20	b	c	c	$4,85 \cdot 10^{-7}$ d	
	22	c	c	$1,07 \cdot 10^{-7}$ c	$4,21 \cdot 10^{-7}$ d	
	24	c	c	$9,47 \cdot 10^{-7}$ d	$3,70 \cdot 10^{-7}$ d	
	27	c	c	$8,04 \cdot 10^{-7}$ d	$3,10 \cdot 10^{-7}$ d	



DURCHSCHNITTliche WAHRSCHEINLICHKEIT EINES GEFÄHRLICHEN AUSFALLS JE STUNDE (PFH₀ IN 1/H) UND DER DAZUGEHÖRIGE PERFORMANCE LEVEL (PL)

	30	c	c	6,94 10 ⁻⁷ d	2,65 10 ⁻⁷ d	9,54 10 ⁻⁸ e
	33	c	1,06 10 ⁻⁶ c	5,94 10 ⁻⁷ d	2,30 10 ⁻⁷ d	8,57 10 ⁻⁸ e
	36	c	9,39 10 ⁻⁷ d	5,16 10 ⁻⁷ d	2,01 10 ⁻⁷ d	7,77 10 ⁻⁸ e
	39	c	8,40 10 ⁻⁷ d	4,53 10 ⁻⁷ d	1,78 10 ⁻⁷ d	7,11 10 ⁻⁸ e
	43	c	7,34 10 ⁻⁷ d	3,87 10 ⁻⁷ d	1,54 10 ⁻⁷ d	6,37 10 ⁻⁸ e
	47	c	6,49 10 ⁻⁷ d	3,35 10 ⁻⁷ d	1,34 10 ⁻⁷ d	5,76 10 ⁻⁸ e
	51	c	5,80 10 ⁻⁷ d	2,93 10 ⁻⁷ d	1,19 10 ⁻⁷ d	5,26 10 ⁻⁸ e
hoch	56	1,02 10 ⁻⁶ c	5,10 10 ⁻⁷ d	2,52 10 ⁻⁷ d	1,03 10 ⁻⁷ d	4,73 10 ⁻⁸ e
	62	9,06 10 ⁻⁷ d	4,43 10 ⁻⁷ d	2,13 10 ⁻⁷ d	8,84 10 ⁻⁸ e	4,22 10 ⁻⁸ e
	68	8,17 10 ⁻⁷ d	3,90 10 ⁻⁷ d	1,84 10 ⁻⁷ d	7,68 10 ⁻⁸ e	3,80 10 ⁻⁸ e
	75	7,31 10 ⁻⁷ d	3,40 10 ⁻⁷ d	1,57 10 ⁻⁷ d	6,62 10 ⁻⁸ e	3,41 10 ⁻⁸ e
	82	6,61 10 ⁻⁷ d	3,01 10 ⁻⁷ d	1,35 10 ⁻⁷ d	5,79 10 ⁻⁸ e	3,08 10 ⁻⁸ e
	91	5,88 10 ⁻⁷ d	2,01 10 ⁻⁷ d	1,14 10 ⁻⁷ d	4,04 10 ⁻⁸ e	2,74 10 ⁻⁸ e
	100	5,28 10 ⁻⁷ d	2,29 10 ⁻⁷ d	1,01 10 ⁻⁷ d	4,29 10 ⁻⁸ e	2,47 10 ⁻⁸ e

Tabelle 21: Ermittlung des PFH₀-Werts

Hinweis: Eine Validierung dieses Beispiels finden Sie im Abschnitt 6.

Nach Abschluss der Quantifizierungsmaßnahmen der einzelnen Sicherheitsfunktionen müssen zusätzliche nicht quantifizierbare Maßnahmen berücksichtigt werden, wie zum Beispiel:

- Vermeidung systematischer Fehler im Design oder während der Entwicklungsphase
- fehlervermeidende Maßnahmen bei der Gestaltung der sicherheitsrelevanten Teile der Software

Als abschließender Prozess ist in Abhängigkeit von der Komplexität der Steuerung noch eine Validierung der einzelnen Sicherheitsfunktionen durchzuführen. Detaillierte Informationen bzgl. der notwendigen Validierung sind in Abschnitt 6 erläutert.

5.2.8 Vergleich des erforderlichen Performance Level PL_r mit dem Performance Level PL

Im letzten Schritt wird geprüft, ob unsere Sicherheitsfunktion die Anforderung erfüllt, der zufolge der erforderliche Performance Level kleiner oder gleich dem Performance Level ist (PL_r ≤ PL).

In unserem Beispiel war für die Sicherheitsfunktion PL_r = d über den Risikograph gefordert (siehe Kapitel 5.2.1 und 5.2.2). Die Schaltung aus Abbildung 41 entspricht, wie in

Kapitel 5.2.3 bis 5.2.7 berechnet, einem PL=d. Damit ist der erreichte Performance Level der Schaltung gleich dem erforderliche Performance Level. Die Anforderungen der EN ISO 13849-1 werden also für die Not-Halt-Sicherheitsfunktion erfüllt.

5.3 Realisierung von Sicherheitsfunktionen unter Verwendung einer Funktions-SPS und einer Überwachungs-SPS

5.3.1 Beschreibung des Steuerungssystems

Das hier betrachtete Steuersystem ist in Abbildung 43 dargestellt. Im Beispiel werden folgende Sicherheitsfunktionen (SF) abgebildet:

- SF1: Einleitung der Stoppfunktion durch Öffnen einer elektrisch verriegelten Schutzeinrichtung
- SF2: Vermeidung des unerwarteten Anlaufs bei geöffneter verriegelter Schutzeinrichtung
- SF3: Sicher reduzierte Geschwindigkeit für die Ausführung des Tippbetriebs
- SF4: Vermeidung des unerwarteten Anlaufs im Tippbetrieb

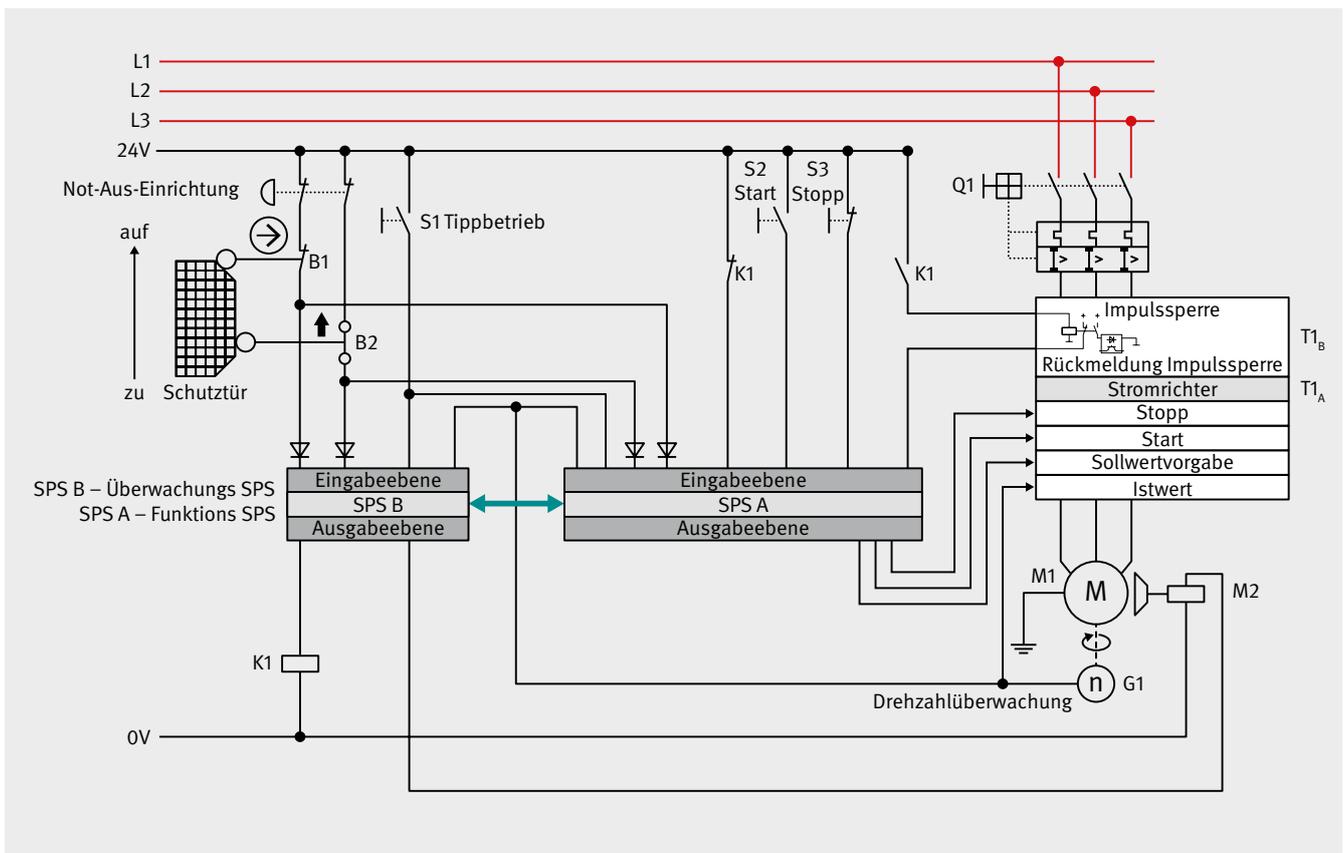


Abbildung 43: elektrisches Funktionsdiagramm

Kennzeichnung des Bauteils	Funktion	Element	Eigenschaft	Bewährtes Sicherheitsprinzip ^a	Möglicher Fehlerausschluss
B1	Überwachung der Stellung der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung	Positionsschalter für verriegelte Schutzeinrichtung mit Zwangsführung	IEC 60947-5-1, einschließlich Zwangsoffnung nach IEC 60947-5-1, Anhang K	Zwangsläufiger Betätigungsmodus	Ein Ausfall der Schaltkontakte zur Öffnung bei Betätigung kann ausgeschlossen werden. Elektrische Fehler, weil B1 über einen zwangsläufigen Betätigungsmodus verfügt
B2	Überwachung der Stellung der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung	Positionsschalter für verriegelte Schutzeinrichtung federkraftbetätigt	IEC 60947-5-1	nein	nein
S1	Erzeugt die selbsttätige Rückstellungsbewegung im Tipbetrieb	Schließerdrucktaster	—	nein	nein
SPS A	Verarbeitung sicherheitsbezogener und nicht sicherheitsbezogener Signale	Funktions-SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung	IEC 61131-1 und IEC 61131-2	nein	nein
SPS B	Verarbeitung sicherheitsbezogener und nicht sicherheitsbezogener Signale	Überwachungs-SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung	IEC 61131-1 und IEC 61131-2	nein	nein
K1	Erzeugt ein redundantes STOPP-Signal für den Umrichter bei einem Versagen im Pfad der Funktions-SPS sichere Impulssperre	Hilfsschütz	IEC 60947-5-1, einschließlich zwangsgeführter Kontaktelemente nach IEC 60947-5-1, Anhang L und EN 50205	Zwangsgeführte Kontakte	nein
T1 _A	Steuert den Elektromotor für den Antrieb der Maschine an	Frequenzumrichter (Antriebsrechner)	—	nein	nein
T1 _B	Unterbrechung der Energieversorgung zum Antrieb durch eine sichere Impulssperre	Frequenzumrichter (sichere Impulssperre)	—	Relais mit zwangsgeführten Kontakten	nein
G1	Misst die Geschwindigkeit des Elektromotors	Drehzahlsensor (Sin-/Cos-Geber)	—	nein	nein

Tabelle 22: Eigenschaften der Komponenten

5.3.1.1 Spezifikation der Sicherheitsfunktionen SF1 bis SF4

Die Position der verriegelten Schutzvorrichtung wird über zwei Positionsschalter B1 (zwangsläufig betätigt mit zwangsgeführten Kontakten) und B2 (federkraftbetätigte Kontakte) abgefragt. Die unterschiedlichen Wirkprinzipien sind ein probates Mittel zur Vermeidung der Manipulation.

SF1 und SF2: Einleitung der Stoppfunktion durch Öffnen einer elektrisch verriegelten Schutzvorrichtung und Vermeidung des unerwarteten Anlaufs

Wenn die Schutzvorrichtung geöffnet wird, erfolgt die Verarbeitung dieser Information sowohl in der Funktions-SPS (SPS A) als auch in der Überwachungs-SPS (SPS B). Die Funktions-SPS (SPS A) löst einen Stopp über den Frequenzumrichter ($T1_a$) aus. Das Rotationssignal des sin-/cos-Gebers G1 wird verwendet, um den aktuellen Geschwindigkeitswert in die Überwachungs-SPS (SPS B) zu lesen und ihn mit dem Sollwert zu vergleichen. Übersteigt der Geschwindigkeitswert im Falle der Abweichung eine definierte Toleranzschwelle (Fehlerfall), trennt die Überwachungs-SPS (SPS B) den Umrichter ($T1_b$) von der Stromversorgung mittels einer sicheren Impulssperre (über K1). Bei ordnungsgemäßem Absteuern des Antriebes wird nach Erreichen des Stillstandes über die Überwachungs-

SPS (SPS B) die sichere Impulssperre $T1_b$ eingeleitet, um bei geöffneter verriegelter Schutzvorrichtung den unerwarteten Anlauf sicher zu verhindern. Beide Steuerungen können sicherheitsgerichtete Maßnahmen einleiten. Befindet sich die elektrisch verriegelte Schutzvorrichtung nicht in Schutzstellung (z. B. geöffnete Position), muss sichergestellt sein, dass ein Fehler im Freigabepfad der Funktions-SPS zu keinem unerwarteten Anlauf führt. Dies kann über die sichere Impulssperre ($T1_b$) erfolgen. Falls eine Trennung von der Stromversorgung (sichere Impulssperre ($T1_b$)) nicht akzeptabel ist (Verlust der Position), kann alternativ die Sicherheit durch eine Stillstandsüberwachung (Lageregelung) erreicht werden.

Ein fehlerhafter Zustand der Überwachungs-SPS (Ü-SPS B) wird indirekt durch Rückführung des Öffnerkontaktes von K1 erkannt. Weiterhin erfolgt eine Fehlererkennung des Frequenzumrichters und den Funktions-SPS durch Rücklesen des Feedback-Signals (G1).

Eine Fehlererkennung des Drehgebers erfolgt durch den Prozess, da eine Synchronität in der Geschwindigkeit und in der Position produktionstechnisch zwingend erforderlich ist. Ferner wird in der Funktions-SPS eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt ($\cos^2 + \sin^2 = 1$). Ausgehend von der technischen Realisierung kann dieses Steuersystem bezüglich der Fehlertoleranz (Anzahl der Kanäle), Effizienz

des Tests (DC) und der Lebensdauer ($MTTF_p$) bei Einsatz geeigneter Komponenten als Kategorie 3 (Redundanzsystem) interpretiert werden.

SF3: Sicher reduzierte Geschwindigkeit für die Ausführung des Tippbetriebs

Einricht-, Reinigungs- und Wartungsarbeiten mit einem Zugriff in die Gefahrenzone führen zu erhöhten Risiken für die Bediener. Der Tipptaster schützt die Hände des Bedieners im Falle eines Eingriffs in eine Gefahrenzone. In der Praxis steuert der Bediener die Bewegung der Maschine und ist durch die Ortsbindung in Kombination mit der sicher reduzierten Geschwindigkeit geschützt.

Ein Ingangsetzen der Maschine bei geöffneter verriegelter Schutzvorrichtung darf nur mit sicher reduzierter Geschwindigkeit im Tippbetrieb

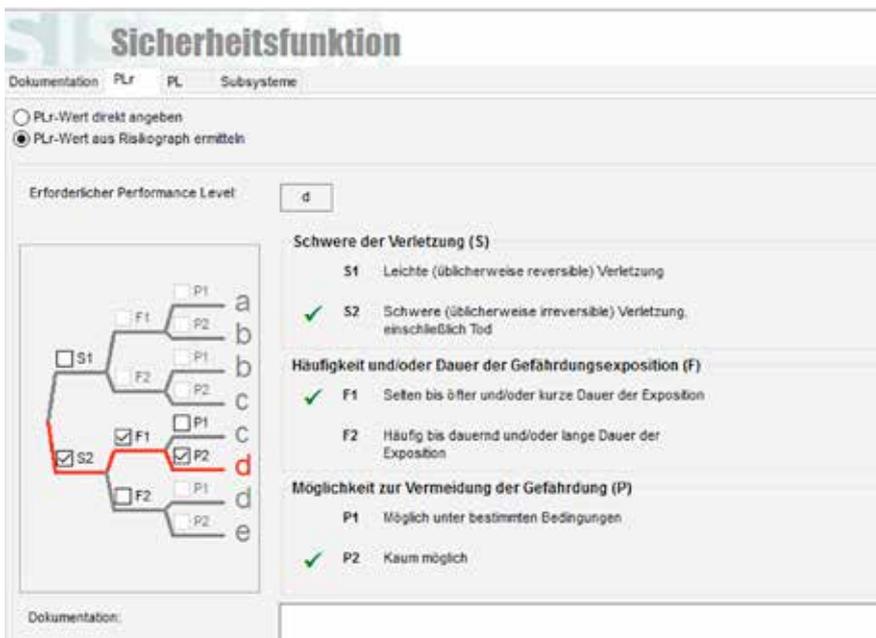


Abbildung 44: Darstellung des Risikograph für $PL_r = d$ aus dem Softwaretool SISTEMA für SF1 und SF2

(Totmannschaltung) möglich sein. Das Signal des Tipp-tasters (S1) wird in beide Steuerungen eingelesen. Die Funktions-SPS wirkt auf den Umrichter (T1_A), d. h. sie dient zur Freigabe und zur Vorgabe von Sollwerten. Das Rotationssignal von G1 wird sowohl zur Steuerung als auch für die Geschwindigkeitsüberwachung in der Funktions-SPS (SPS A) verwendet. Das Einlesen der Istwerte (G1) erfolgt sowohl in der Funktions-SPS (SPS A) als auch in der Überwachungs-SPS (SPS B). Im Falle einer unakzeptablen Erhöhung der Geschwindigkeit aufgrund eines Fehlers in der Funktions-SPS (SPS A) oder im Umrichter (T1_A) wird dieser Fehler in der Überwachungs-SPS (SPS B) durch Zurücklesen von G1 erkannt. Die Überwachungs-SPS (SPS B) kann eine sicherheitsgerichtete Aktion durch Aktivieren der sicheren Impulssperre (T1_B) einleiten. Falsche Sollwerte aufgrund eines Fehlers in der Funktions-SPS (SPS A) werden durch die Überwachungs-SPS (SPS B) erkannt und führen im Fall der Überschreitung der Geschwindigkeitsgrenze zum Einleiten der Stillsetzbewegung über die sichere Impulssperre (T1_B). – siehe auch Abschnitt 5.5 „Maßnahmen zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs“.

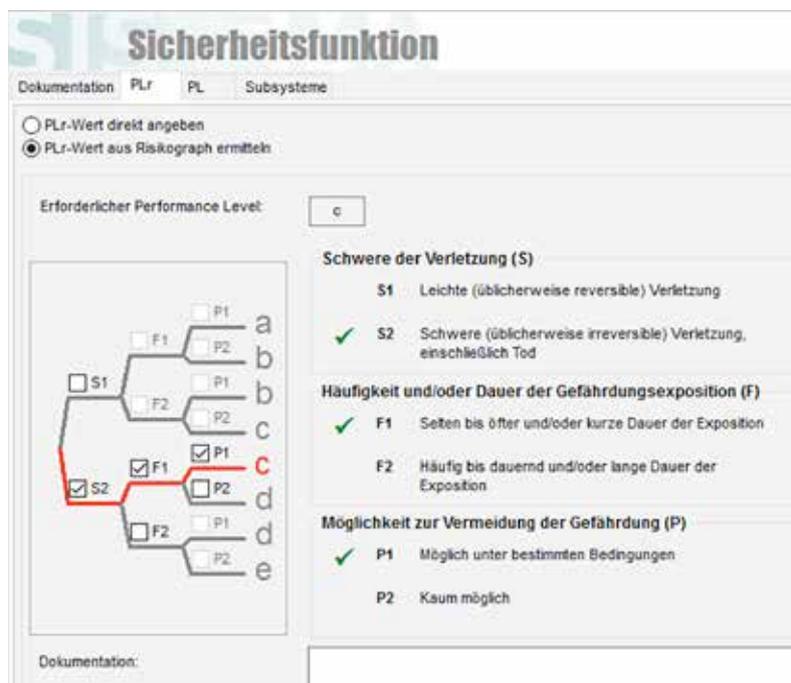


Abbildung 46: Darstellung des Risikograph für PL_r=c aus dem Softwaretool SISTEMA für SF4

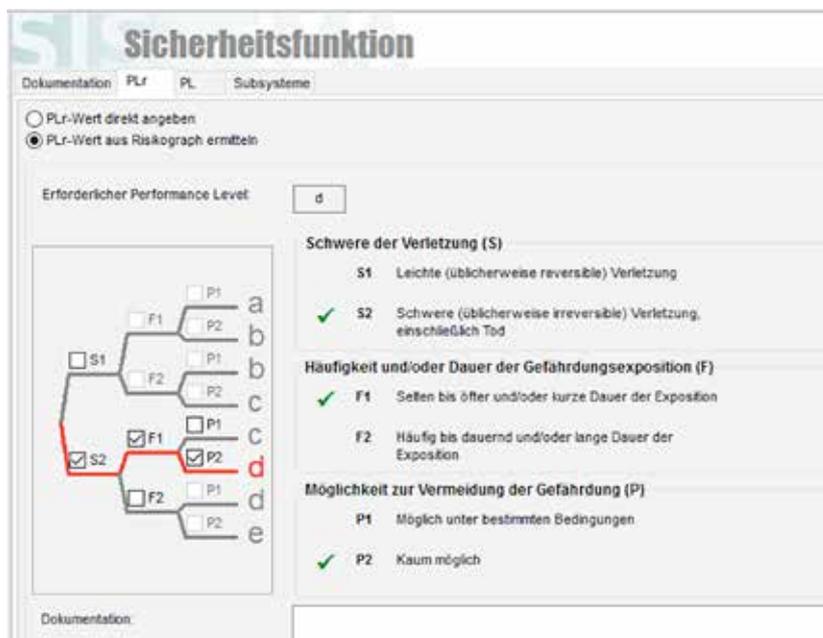


Abbildung 45: Darstellung des Risikograph für PL_r= d aus dem Softwaretool SISTEMA für SF3

SF4: Vermeidung des unerwarteten Anlaufs im Tippbetrieb

Die erforderliche PL_r zum Schutz vor unerwartetem Anlauf im Tippbetrieb hängt vom Grad der Gefährdung ab. Unter

Berücksichtigung der Ausführung der sicher reduzierten Geschwindigkeit nach EN ISO 13849-1 mit einem Performance Level d kann der erforderliche Performance Level für die Startfunktion, ausgelöst durch einen Tipp-taster, im Niveau PL=c realisiert werden. Dies erfolgt unter der Berücksichtigung, dass die Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung (P) unter bestimmten Bedingungen als niedrig bewertet werden kann.

Die Steuerung muss so ausgelegt sein, dass vor dem Start der Maschine ein akustisches Signal für eine Dauer von 1 s bis 3 s (Signalzeit) ertönt (siehe Punkt 5.5.2). Von dem Zeitpunkt an, an dem das Signal ausgelöst wurde, müssen mindestens 3 s verstreichen (Wartezeit), bevor die Maschine durch eine wiederholte Betätigung des gleichen oder eines anderen Bedienelements gestartet werden kann.

Diese Betätigungssequenz zum Starten der Maschine ist erforderlich als Schutz gegen falsche Startbefehle, die aufgrund menschlicher Fehler erzeugt werden können.

5.3.1.2 Bestimmung der Performance Level PL für SF1 bis SF4

Für das Betreiben der Maschine werden nachfolgende Voraussetzungen angenommen:
 Die Maschine wird in drei Schichten pro Tag und an 240 Betriebstagen im Jahr genutzt. Die mittlere Zeit zwischen dem Beginn von zwei aufeinanderfolgenden Schaltungen der Schalter B1, B2 und des Relais K1 wird auf 3600 Sekunden geschätzt.

Dies führt zu folgendem Ergebnis: d_{op} : 240 Tage; h_{op} : 24h (3 Schichten); t_{zyklus} : 3600 s

Die folgende Tabelle zeigt die ausgewählten Daten von $MTTF_D$ für jede sicherheitsrelevante Komponente des Steuerungssystems unter Berücksichtigung des Anhangs C der EN ISO 13489-1 oder der Daten des Herstellers der Komponenten und der berechneten Werte jedes Kanals und für die gesamte Struktur des Steuerungssystems.

ZUVERLÄSSIGKEITSWERTE DER RELEVANTEN BAUTEILE, WELCHE IN DER SISTEMA-BERECHNUNG FÜR DAS STEUERUNGSSYSTEM VERWENDET WERDEN

Bauteil	Wert	$MTTF_D$	Begründung
	B_{100} (Zyklen)	(Jahre)	
B1	20 000 000	34 722	Daten aus Anhang C Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1
B2	20 000 000	34 722	Daten aus Anhang C Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1
S1	200 000		Daten vom Hersteller
SPS	nicht relevant	30	Daten vom Hersteller
üSPS	nicht relevant	30	Daten vom Hersteller
K1	400 000	694	Daten aus Anhang C Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1
T1 _A	nicht relevant	50	Daten vom Hersteller
T1 _B	400 000	694	Betrachtung des Umrücker-internen Schützes zum Schalten der Endstufe analog zu K1 (Anhang C Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1).
G1	nicht relevant	50	Daten vom Hersteller

Tabelle 23: Zuverlässigkeitswerte der relevanten Bauteile, welche in der SISTEMA-Berechnung für das Steuerungssystem verwendet werden.

Die zugehörige DC_{avg} jeder getesteten Komponente ist in Tabelle 24 dargestellt, unter Berücksichtigung des verein-

fachten Verfahrens nach Tabelle E.1 im Anhang E der Norm EN ISO 13849-1.

WERTE FÜR DEN DIAGNOSEDECKUNGSGRAD DER RELEVANTEN BAUTEILE, WELCHE IN DER SISTEMA-BERECHNUNG FÜR DAS STEUERUNGSSYSTEM VERWENDET WERDEN

Bauteil	DC (in %)	Begründung
B1	99	Angabe aus Anhang E Tabelle E.1 der EN ISO 13849-1: Plausibilitätsprüfung, z. B. Überwachung elektromechanischer Einheiten durch Zwangsführung
B2	90	Aufgrund fehlender Zwangsöffnung gegenüber B1 nur ein DC von 90 %
S1	90	Testung durch dynamischen Signalwechsel (Anlaufwarneinrichtung)
SPS A	90	Fehlererkennung durch den Prozess (über SPS laufen im Prozess viele Funktionen, welche für ein korrektes Arbeiten der Maschine fehlerfrei ausgeführt werden müssen) sowie Rücklesen des Rotationssignals von G1 mit Plausibilitätstests
SPS B	90	Testung der Reaktionsmöglichkeit der Überwachungseinrichtung (z. B. Watchdog) durch den Hauptkanal nach Anlauf oder wann immer die Sicherheitsfunktion angefordert wird oder wann immer ein externes Signal dies durch eine Eingangseinrichtung anfordert
K1	99	Angabe aus Anhang E Tabelle E.1 der EN ISO 13849-1: Plausibilitätsprüfung, z. B. Überwachung elektromechanischer Einheiten durch Zwangsführung
T1 _A	99	Redundanter Abschaltpfad mit Überwachung der Betätigungselemente durch die Logik und Testeinrichtung
T1 _B	99	Betrachtung des Umrichter-internen Schützes zum Schalten der Endstufe analog zu K1 (Anhang C Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)
G1	99	Fehlererkennung durch den Prozess (alle Maschinenelemente müssen absolut synchron laufen) sowie durch die Durchführung eines funktionalen Tests für den Rotationsgeber: $\text{Summe } \sin^2 + \cos^2 = 1$ (zu jedem Zeitpunkt)

Tabelle 24

SF1 und SF2: Einleitung der Stoppfunktion durch Öffnen einer elektrisch verriegelten Schutzeinrichtung und Vermeidung des unerwarteten Anlaufs

Aus dem elektrischen Funktionsdiagramm (Abbildung 43) kann für SF1 und SF2 nachfolgendes sicherheitsbezogenes Blockdiagramm abgeleitet werden (Abbildung 47):

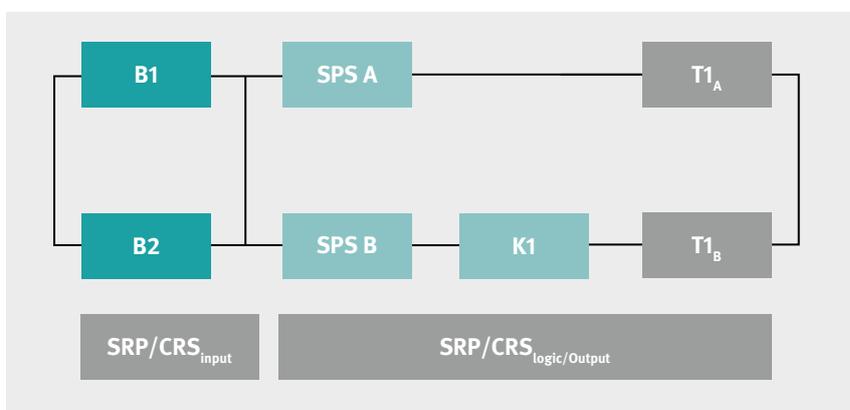


Abbildung 47: sicherheitsbezogenes Blockdiagramm SF1 und SF2

Unter Verwendung des Softwaretools SISTEMA ergibt sich nach Eingabe der Sicherheitsfunktion SF1/SF2 folgende Struktur und ein Gesamtergebnis für die Sicherheitsfunk-

tion von PFHD [1/h]= 3,5E-7, welches einem Performance Level von d entspricht (Abbildung 48):

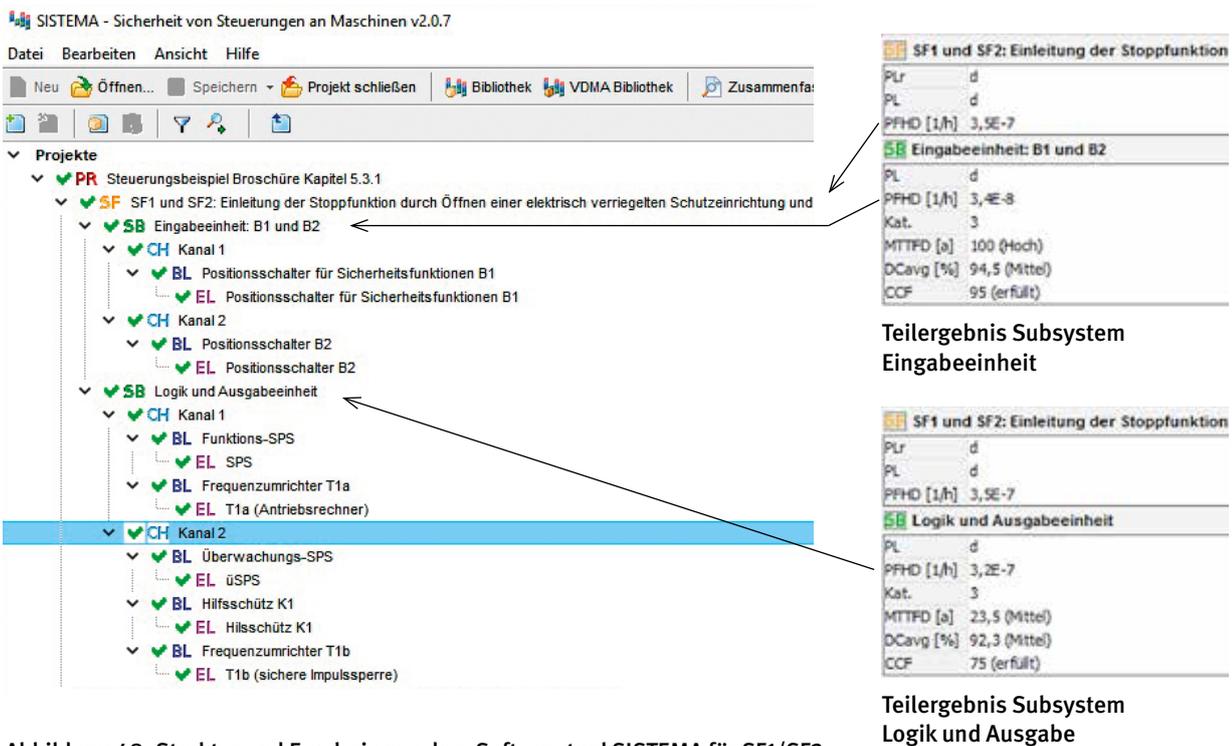


Abbildung 48: Struktur und Ergebnis aus dem Softwaretool SISTEMA für SF1/SF2

SF3 Sicher reduzierte Geschwindigkeit für die Ausführung des Tippbetriebes

Aus dem elektrischen Funktionsdiagramm (Abbildung 43) kann für SF3 nachfolgendes sicherheitsbezogenes Blockdiagramm abgeleitet werden (Abbildung 49):

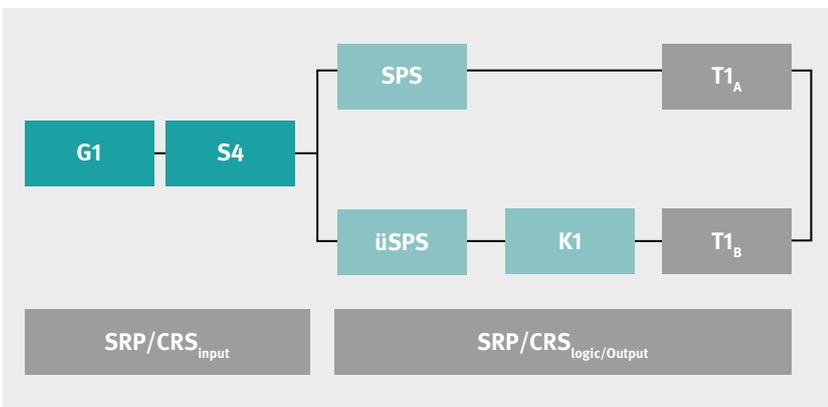
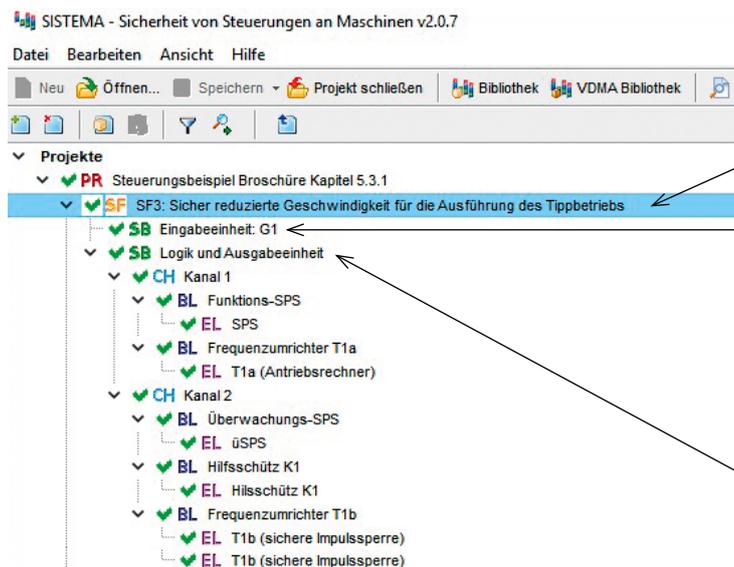


Abbildung 49: sicherheitsbezogenes Blockdiagramm SF3

Unter Verwendung des Softwaretools SISTEMA ergibt sich nach Eingabe der Sicherheitsfunktion SF3 folgende Struktur und ein Gesamtergebnis für die Sicherheitsfunktion

von PFHD [1/h]= 9,2E-7, welches einem Performance Level von d entspricht (Abbildung 50):



SF3: Sicher reduzierte Geschwindigkeit	
PLr	d
PL	d
PFHD [1/h]	9,2E-7
Eingabeeinheit: G1	
PL	d
PFHD [1/h]	6E-7
Kat.	2
MTTFD [a]	50 (Hoch)
DCavg [%]	99 (Hoch)
CCF	75 (erfüllt)

Teilergebnis 1

SF3: Sicher reduzierte Geschwindigkeit	
PLr	d
PL	d
PFHD [1/h]	9,2E-7
Logik und Ausgabeeinheit	
PL	d
PFHD [1/h]	3,2E-7
Kat.	3
MTTFD [a]	23,5 (Mitte)
DCavg [%]	92,3 (Mitte)
CCF	75 (erfüllt)

Teilergebnis 2

Abbildung 50: Struktur und Ergebnis aus dem Softwaretool SISTEMA für SF3

SF4 Vermeidung des unerwarteten Anlaufs im Tippbetrieb

Aus dem elektrischen Funktionsdiagramm (Abbildung 43) kann für SF4 nachfolgendes sicherheitsbezogenes Blockdiagramm abgeleitet werden (Abbildung 51):

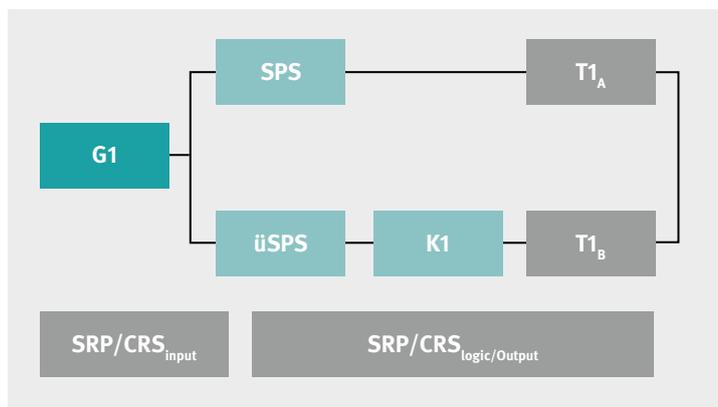


Abbildung 51: sicherheitsbezogenes Blockdiagramm SF4

Unter Verwendung des Softwaretools SISTEMA ergibt sich nach Eingabe der Sicherheitsfunktion SF4 folgende Struktur und ein Gesamtergebnis für die Sicherheitsfunktion

von PFHD [1/h]= 9,2E-6, welches einem Performance Level von d entspricht (Abbildung 52):

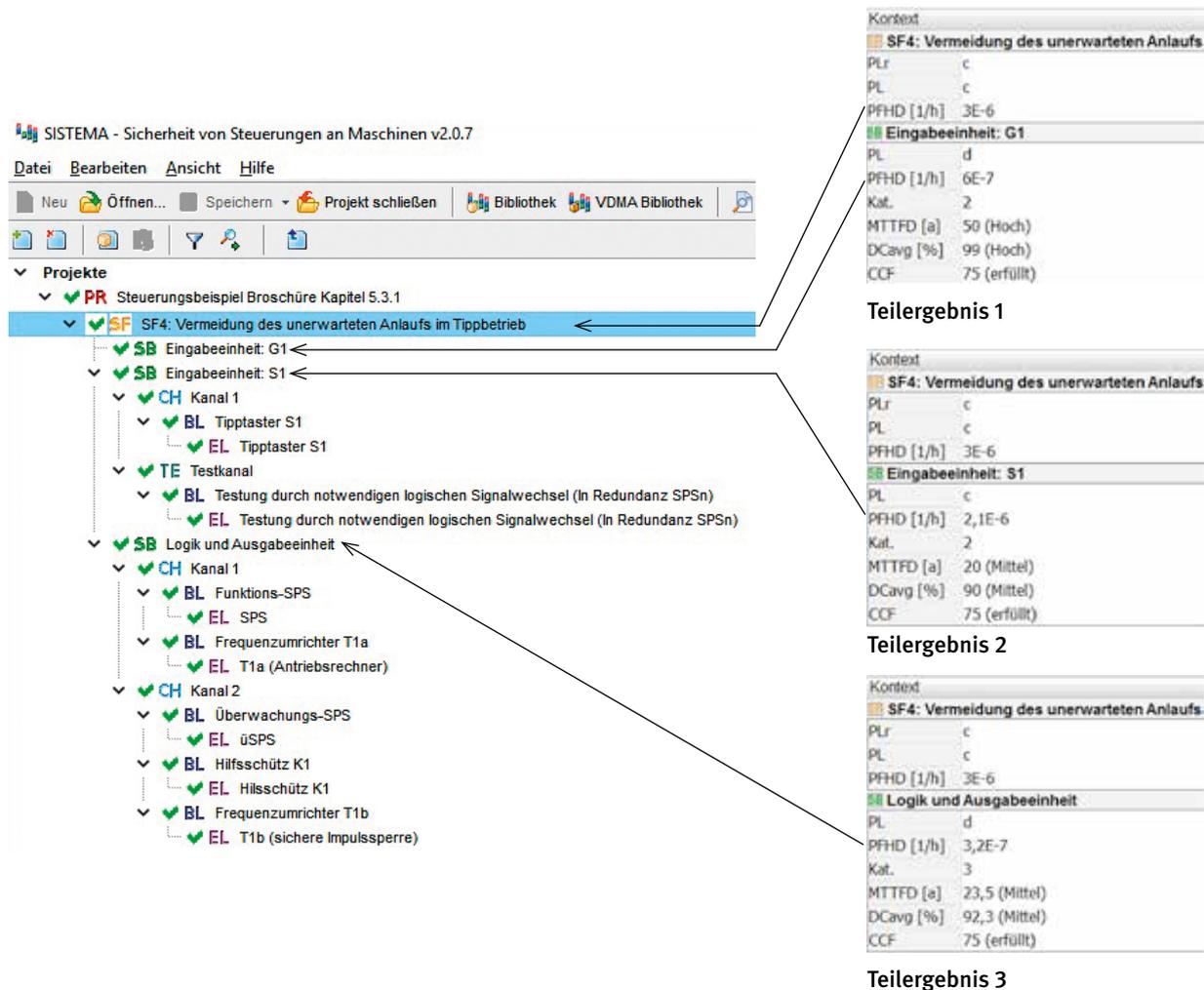


Abbildung 52: Struktur und Ergebnis aus dem Softwaretool SISTEMA für SF4

5.3.1.3 Abschließende Beurteilung

Die Ergebnisse der Berechnung der PFHD-Werte des Steuersystems mit der Funktion der sicher reduzierten Geschwindigkeit entsprechen dem für die jeweilige Sicherheitsfunktion geforderten Performance Level PL_r.



5.4 Sicherheitsbussysteme an Maschinen und Anlagen

In vielen nicht sicherheitsrelevanten Anwendungen werden innerhalb des Geltungsbereiches der Maschinenrichtlinie derzeit Bussysteme bereits angewendet, um Signale zwischen Steuerungssystem und Sensoren oder Aktoren an der Maschine bzw. Anlage zu übermitteln. Bussysteme sind andererseits auch für die Übertragung von Zuständen zwischen verschiedenen Teilen von Steuerungen verantwortlich. Es ist ein wachsendes Interesse zu verzeichnen, kommerzielle Bussysteme (z. B. CAN-Bus, Profibus-DP, ASI-Bus oder Interbus-S) für sicherheitsbezogene Anwendungen zu verwenden. Die wichtigste Frage in Bezug auf sicherheitsrelevante Datenübertragung ist, ob sich Standard-Buskomponenten oder Standard-Bussysteme, die bereits in der Maschinen- oder Anlagensteuerung implementiert sind, für sicherheitsrelevante Funktionen eignen. Die Normensituation gibt heute keine befriedigende Antwort auf diese Frage. Viele Normen, die sich mit sicherheitsrelevanten Steuerungssystemen an Maschinen und Anlagen beschäftigen, gehen derzeit nicht oder nur unzureichend auf die Verwendung von Bussystemen ein.

Die Verwendung von Bussystemen in der Sicherheitstechnik ist an Maschinen und Anlagen im Geltungsbereich der Maschinenrichtlinie ein neues Feld. Ein Bussystem ist für die Übertragung von Zustandsinformationen zwischen Sensoren/Aktoren (z. B. Schutztürschaltern, Steuertafeln, Relais und Schützen) und dem Steuerungssystem einer Anlage verantwortlich. Was heute signaltechnisch durch so genannte „harte Verdrahtung“ an solchen Einrichtungen realisiert wird, wird in Zukunft durch einfache Übertragungsstrecken mit geringem Verdrahtungsaufwand und hohem Diagnosedeckungsgrad durch Bussysteme bewältigt. Ein Bussystem erleichtert die Verdrahtung und reduziert damit mögliche Fehler, die hierbei entstehen können. Man erkennt deutlich, dass aufgrund des minimierten Verdrahtungsaufwandes die Erstellung und auch die Wartung der sicherheitsrelevanten Teile der Steuerung zurückgehen. Der Aufwand zur Verdrahtung und die Diagnose sicherheitsrelevanter Schutzeinrichtungen kann bei einer Rotationsdruckmaschine deutlich reduziert werden. Die Nachverfolgung sicherheitsrelevanter Signalleitungen wird wesentlich verbessert unter gleichzeitiger drastischer Kostenreduzierung. Die Kostenreduzierung ist neben anderen Effekten auch entscheidend für die Akzeptanz von Bussystemen in der Sicherheitstechnik.

In einfachen Bussystemen sendet eine Nachrichtenquelle über eine Schnittstelle Nachrichten zum so genannten Busüberträger. In der Regel handelt es sich dabei um einen kommerziellen Chip, der die parallel oder seriell eingehenden Daten in ein serielles, busspezifisches Protokoll zur Übertragung auf einer Zweidrahtleitung umwandelt. Das bustypische Protokoll wird an die Empfänger übertragen, die die Nachricht wiederum in ein für die sog. Senke verarbeitbares Signal umwandeln. Überträger, Medium und Empfänger bilden das Bussystem, welches kommerziell erhältlich ist (z. B. CAN-Bus oder ASI-Bus).

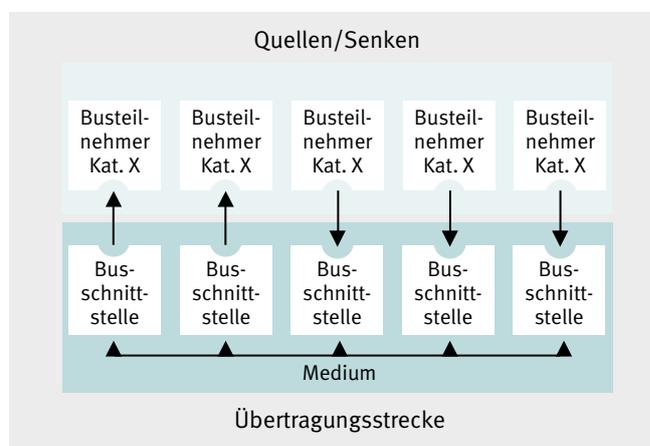


Abbildung 53: Struktur eines Bussystems

Eine Nachricht besteht zum einen aus den zu übertragenden Prozessdaten (den eigentlichen Informationen) und den Adressdaten (Information, an welche Senke gesendet werden soll). Prozessdaten und Adressen werden unter dem Begriff Nutzdaten zusammengefasst. Zusätzlich wird zur Überprüfung des korrekten Empfangs oft ein Datensicherungsdatum mitgesendet. Häufig wird dabei der so genannte CRC-Check verwendet, der aus den Nutzdaten über einen mathematischen Algorithmus eine Prüfsumme gewinnt. Diese Prüfsumme kann im empfangenden Busteilnehmer wiederum aus den Nutzdaten berechnet und mit der mitgeschickten Datensicherung verglichen werden. Im Falle eines Übertragungsfehlers ist die vom Datensicherungsmechanismus abhängige Fehleraufdeckung dadurch gewährleistet.

Die Reaktionszeit ist diejenige Zeit vom Auftreten einer Anforderung eines Busteilnehmers bis einschließlich zur Ausführung der angeforderten Reaktion aller in Frage kommenden Empfänger.

Alle zugehörigen Einheiten sollen den sicherheitsbezogenen Teil einer Steuerung realisieren, der eine Sicherheitsfunktion ausführt (z. B. Not-Halt, Stopp-Anforderung, Schutztürüberwachung). Jeder Einzelempfänger entspricht den sicherheitstechnischen Anforderungen einer Kategorie X (gem. EN 13849-1). Vom Standpunkt der EN 13849-1 „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“ dürfen in den sog. Steuerungskategorien 3 und 4 Fehler nicht zu einem Verlust der Sicherheitsfunktion führen. Diese beiden Kategorien der EN 13849-1 sind im Bereich der Maschinen und Anlagen von entscheidender Bedeutung und werden des-

halb im Folgenden weiter betrachtet. Von den Anforderungen der EN 13849-1 leitet sich die entsprechende Anforderung an die Einbindung des eigentlichen Bussystems ab, dass Übertragungsfehler innerhalb der angegebenen Reaktionszeit des Systems erkannt werden und nicht zu einem Verlust der Sicherheitsfunktion führen dürfen. Darüber hinaus muss, wenn immer möglich, ein Fehler erkannt und in Kat. 4 die Fehleranhäufung durch aufwendige Fehlererkennungsmechanismen ermöglicht bzw. deren Auswirkungen durch das Einleiten des sicheren Zustandes verhindert werden.

5.4.1 Übertragungsfehler von Bussystemen

Eine genaue Untersuchung unterschiedlicher Fehler in Hard- und Software zeigt, dass sich diese glücklicherweise immer als wenige, gleiche Übertragungsfehler von Bussystemen äußern. Von entscheidender Bedeutung bzgl. des Fehlers Verfälschung ist, dass die Adressen von Nachrichten als zu übertragende Daten betrachtet werden. Sollte die Adressierung von Busteilnehmern nicht durch die Datenübertragung erfolgen (z. B. beim CAN-Bus), muss zusätzlich auch die so genannte Maskerade berücksichtigt werden, bei der eine korrekte Nachricht zum fal-

schon Empfänger geleitet wird. Folgende Übertragungsfehler können in sicherheitsrelevanten Bussystemen vorkommen.

- **Wiederholung**
Durch den Fehler eines Busteilnehmers werden alte, nicht mehr aktuelle Nachrichten zur Unzeit wiederholt, so dass ein Empfänger gefährlich gestört wird. Beispielsweise könnte die Nachricht „Schutztür geschlossen“ zur Unzeit wiederholt werden, obwohl die Türe bereits geöffnet ist.
- **Verlust**
Durch den Fehler eines Busteilnehmers wird eine Nachricht gelöscht. Die oberen Kästchen entsprechen den in kurzen Zeitabständen wiederholten, unverfälschten (wahren) Nachrichten. Die untere Reihe zeigt den Verlust der Daten, die Stopp-Anforderung kann hier vom übergeordneten Steuerungssystem nicht erkannt werden.

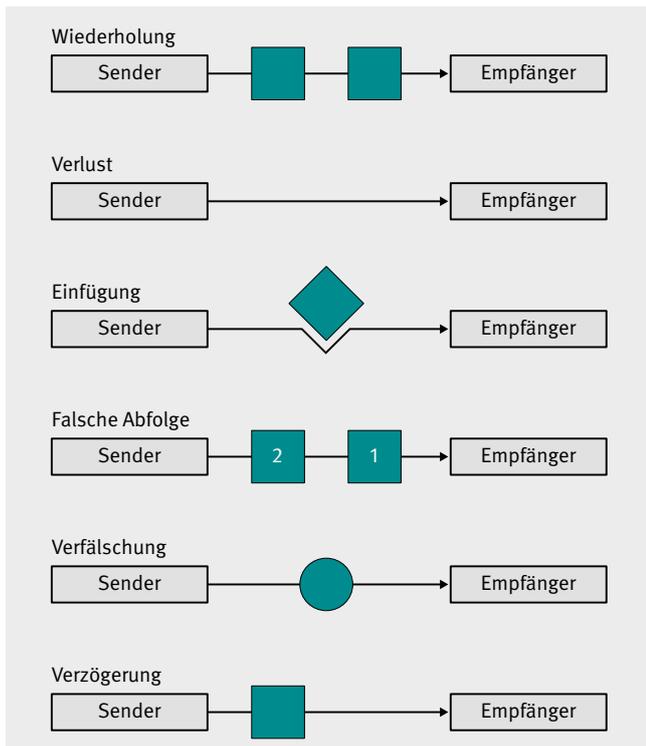


Abbildung 54: mögliche Übertragungsfehler

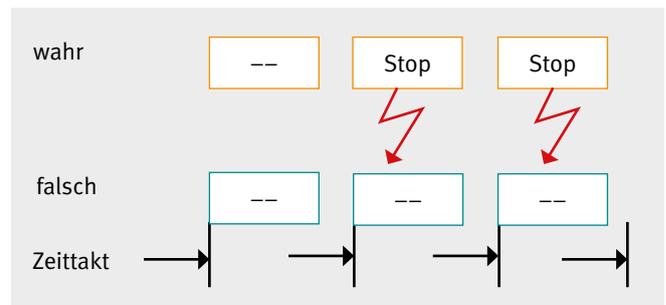


Abbildung 55: Verlust einer Nachricht

- **Einfügung**
Durch den Fehler eines Busteilnehmers wird eine Nachricht eingefügt. Beispielhaft ist die Einfügung eines nicht erwünschten Start-Befehls an die Maschine dargestellt.

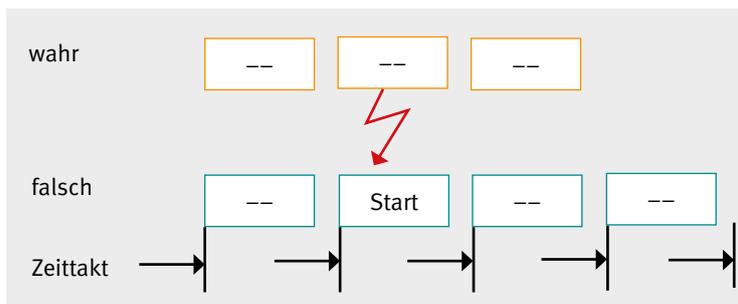


Abbildung 56: Einfügung einer Nachricht

- **Falsche Abfolge**
Durch einen Fehler eines Busteilnehmers wird die Reihenfolge von Nachrichten verändert. Im korrekten Ast wird zunächst die Nachrichtenfolge Anforderung „Sicher reduzierte Geschwindigkeit“ (SG) mit darauf folgendem „Sicheren Halt“ (SH) dargestellt. Bei einer Vertauschung der beiden Befehle im Fehlerfall (falsche Nachrichtenfolge unten) würde die Maschine zunächst stillstehen, könnte danach allerdings anlaufen. Eine besonders kritische Situation, da der Maschinenbenutzer sich bereits in der Nähe der Gefahr bringenden Bewegung aufhalten könnte.

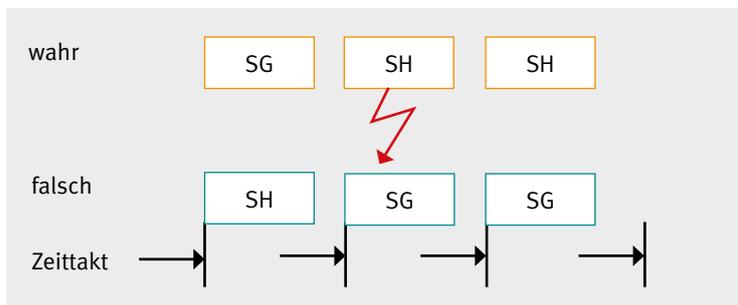


Abbildung 57: falsche Abfolge einer Nachricht

- **Verfälschung**
Durch den Fehler eines Busteilnehmers oder durch Fehler auf der Übertragungsstrecke werden Nachrichten verfälscht. Es werden Drehzahlinformationen beim Beschleunigen eines Motors an die übergeordnete Steuerung übermittelt. Diese könnte beispielsweise eine Schutztür bei gewisser Drehzahl verriegeln. Bei Verfälschung dieser Daten hätte der Benutzer möglicherweise freien Zugang zur Gefahr bringenden Bewegung.

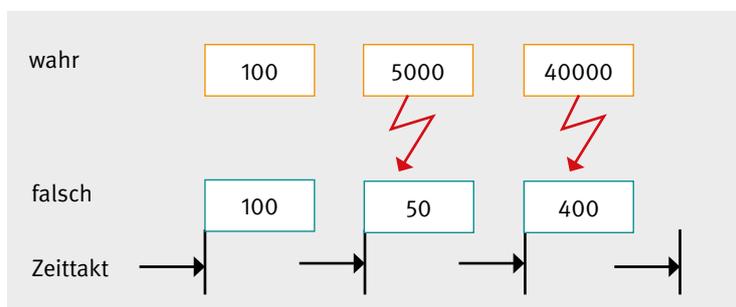


Abbildung 58: Verfälschung einer Nachricht

- **Verzögerung**
Eine Nachricht wird nicht innerhalb der angegebenen Reaktionszeit übermittelt. Hierzu kann es im Wesentlichen zwei Ursachen geben:
a) Die Übertragungsstrecke ist durch den betriebsmäßigen Datenaustausch oder Störungen überlastet.
b) Ein Busteilnehmer verursacht eine Überlastung der Übertragungsstrecke durch Vortäuschen falscher Nachrichten (Dauersenden), so dass ein zur Nachricht zugehöriger Dienst verzögert oder verhindert wird bzw. andere Nachrichten nicht rechtzeitig ankommen.

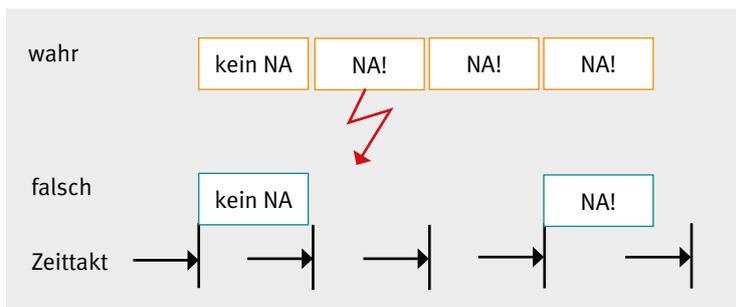


Abbildung 59: Verzögerung einer Nachricht

5.4.2 Maßnahmen gegen Übertragungsfehler

Gegen die oben genannten Übertragungsfehler ist eine Vielzahl von Maßnahmen in der übergeordneten Steuerung möglich. Diese Maßnahmen sind in kommerziellen Bussystemen bekannt, dort jedoch in den nicht als sicher betrachteten Busbausteinen (Mikrochips) realisiert. Das bedeutet, dass solche Maßnahmen im Fehlerfall unbemerkt ausfallen können, und damit ist die Übertragungssicherheit nicht mehr gewährleistet. Werden solche Maßnahmen in den Kategorie-X-Quellen und -Senken entsprechend der geforderten Fehlertoleranz bewerkstelligt, hat also die übergeordnete Steuerung die Kontrolle über diese Maßnahmen, ist die Fehlertoleranz des gesamten Systems weiterhin innerhalb der Kategorie X für die angegebene Reaktionszeit gewährleistet. Im Folgenden werden die Maßnahmen und ihre Wirkung auf die Übertragungsfehler beschrieben.

- Laufende Nummer**
 An jede Nachricht, die Sender und Empfänger austauschen, wird zusätzlich eine laufende Nummer angehängt. Diese laufende Nummer kann als zusätzliches Datenfeld definiert werden, das eine Zahl enthält, die sich in vordefinierter Art und Weise von Nachricht zu Nachricht ändert. Der Empfänger kennt die Nummer der nächsten Nachricht und braucht diese nur mit der mitgesendeten zu vergleichen. Die laufende Nummer wirkt, wie sofort ersichtlich, gegen die Übertragungsfehler Wiederholung, Verlust, Einfügung und falsche Abfolge.

Produktabfolge:

0001*****	0002*****	0003*****	0004*****
-----------	-----------	-----------	-----------

***** = Rest der Information

auch Toggle-Bit

1*****	0*****	1*****	0*****
--------	--------	--------	--------

Warnung: Die laufende Nummer oder das Toggle-Bit darf nicht von einer Instanz gesetzt werden, die unabhängig von der die Information erzeugenden Instanz ist!

Abbildung 60: Laufende Nummer einer Nachricht

- Zeitmarke**
 Der Inhalt einer Nachricht ist in der Regel nur zu bestimmten Zeiten gültig. Die Zeitmarke ist z. B. eine Uhrzeit, die einer Nachricht vom Sender angehängt

wird. Es existieren verschiedene Techniken zur Erzeugung einer Zeitmarke (Absolutzeit, Relativzeit etc.). Die Zeitmarke wirkt gegen die Übertragungsfehler Wiederholung, falsche Abfolge und Verzögerung. Protokollabfolge:

15:07:00***	15:07:23***	15:07:34***	15:07:55***
-------------	-------------	-------------	-------------

*** = Rest der Information

Abbildung 61: Zeitmarke einer Nachricht

- Zeiterwartung**
 Bei einer Überwachung kann der Empfänger überprüfen, ob die Verzögerung zwischen Nachrichten einen vorgegebenen Wert überschreitet. Ist dies der Fall, muss ein Fehler angenommen werden. Der Empfänger überwacht innerhalb eines Zeitfensters den Abstand zweier benachbarter Nachrichten und schaltet bei Überschreitung die Gefahr bringende Bewegung ab. Die Zeiterwartung wirkt gegen den Übertragungsfehler Verzögerung.

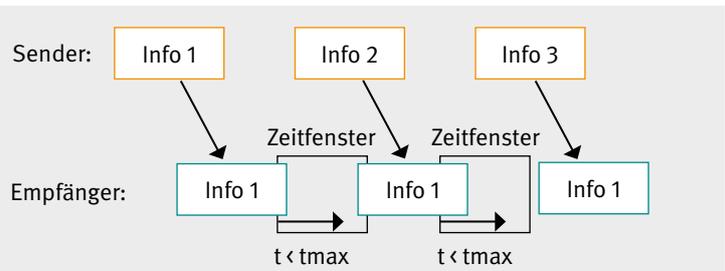
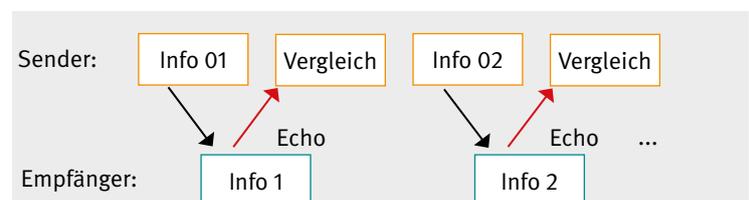


Abbildung 62: Zeiterwartung einer Nachricht

- Echo**
 Der Empfänger einer Nachricht sendet eine Rückmeldung (Echo) über den Erhalt der Nachricht an den entsprechenden Sender zurück. Das Echo kann beispielsweise die Daten wiederholen, um dem Sender die Überprüfung des



Warnung: Echo ist kein Reflex

Abbildung 63: Echo einer Nachricht

5.5 Maßnahmen zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs

Um Gefährdungen für Personen (Bediener, Service- und Wartungstechniker) auszuschließen, muss z. B. bei Maschinen mit einer „elektronischen Welle“ während des Eingreifens in den Gefahrenbereich der Maschine ein sicherer Zustand gehalten werden. Deshalb wird eine zuverlässige Verhinderung eines unerwarteten Anlaufs u. a. gefordert in der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (Maschinen-Richtlinie), Anhang I, Ziffern 1.2.1 und 1.2.6 sowie in den europäischen Normen DIN EN ISO12100, Ziffer 6.2.11, FprEN 60204-1:2014, Abschnitte 5.4 und 7.5 und EN 1037.

Unter unerwartetem Anlauf versteht man nach DIN EN ISO 12100-1 jeden Anlauf, der durch sein unerwartetes Auftreten ein Risiko für Personen hervorrufen kann. Es soll nicht nur der Übergang vom Ruhezustand in den Betriebszustand betrachtet werden, sondern auch der unerwartete Hochlauf der Maschine, also der Übergang von einer sicheren Bewegung in eine unsichere Bewegung. Dies ist erforderlich, da der Bediener sehr oft Reinigungs- und Einrichtarbeiten bei geöffneten Schutzeinrichtungen durchführen muss und sich die Finger bzw. die Hand vor den Einzugs- bzw. Scherstellen befinden. Deshalb besteht eine zusätzliche Sicherheitsmaßnahme darin, dass die Maschine nur mit reduzierter Geschwindigkeit im Tippbetrieb bewegt werden kann. Ein unerwartetes Hochlaufen der Maschine aus der reduzierten Geschwindigkeit in eine höhere Geschwindigkeit ist mit erheblichen Gefährdungspotentialen verbunden. Untersuchungen haben ergeben, dass der unerwartete Hochlauf der Maschine in der Regel auf Unterbrechung des Regelkreises zurückzuführen ist. In diesem Fall ist der Antrieb regelungs-

bedingt bestrebt, mit maximalem Beschleunigungsmoment die höchste Geschwindigkeit zu erreichen. Bei Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ ist daher der unerwartete Anlauf insofern mit einem wesentlich höheren Gefährdungspotential gegenüber konventionellen Maschinen verbunden, da digital-/frequenzgesteuerte Servoantriebe verwendet werden, die gegenüber den bisher verwendeten Gleichstromantrieben ein bis zu zehnfaches Beschleunigungsmoment aufweisen und direkt an den anzutreibenden Wellen befestigt sind. Der Bediener hat daher bei einem unerwarteten Anlauf aufgrund der extremen Beschleunigungsmomente nicht mehr die Möglichkeit, rechtzeitig die Finger bzw. Hand aus dem Gefahrenbereich zu entfernen. Unter Berücksichtigung dieser Sachverhalte ist jeder Anlauf einer Maschine, z. B. einer Rollenrotationsdruckmaschine mit einer „elektronischen Welle“, zu betrachten, der verursacht wird durch:

- eine fehlerhafte Steuerung und den dadurch verursachten Startbefehl, z. B. Fehler in der Software, Hardware oder Sensorik,
- Wiederkehr der Energie nach einer Unterbrechung der Energieversorgung,
- Erzeugung eines Startbefehls durch menschliches Fehlverhalten, wie z. B.:
 - unbeabsichtigtes Betätigen des Tiptasters,
 - zu hohe Sollwertvorgabe, bedingt durch eine fehlerhafte Steuerung,
 - fehlerhaften Istwert, z. B. durch Tachobrush,
 - Fehler im Leistungsteil des Frequenzumrichters und
 - Umwelteinflüsse.

5.5.1 Geöffnete, elektrisch verriegelte Schutzeinrichtung

Bei geöffneter, elektrisch verriegelter Schutzeinrichtung muss der Antrieb stillgesetzt und sicher in Ruhelage gehalten werden. Der Antrieb darf kein Drehmoment und somit keine Gefahr bringende Bewegung erzeugen. Bei Druckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ ist es nicht erforderlich, die gesamten Antriebe der Maschine sicher stillzusetzen. Es müssen nur diejenigen Antriebe sicher stillgesetzt werden, die bei geöffneter Schutzeinrichtung Gefahr bringende Bewegungen erzeugen können.

Die Signalverarbeitung der Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen, die die Stellungen der Schutzeinrichtungen überwachen, muss in der Steuerung für die Hauptantriebe entsprechend Performance Level „d“ erfolgen. Eine

kontaktbehafte Trennung der Energieversorgung kann, muss jedoch nicht erfolgen. Bei Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer mechanischen Welle stellt die galvanische Trennung im Lastkreis kein Problem dar, da nur ein Antrieb für die Bewegung der Maschine verantwortlich ist. Hingegen gibt es bei Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ eine Vielzahl von Antrieben, und somit ist der Aufwand an Leistungsschützen erheblich. Da die Trennung der Energie und deren Ableitung in diesem Fall keine geeignete Möglichkeit darstellt, müssen andere Maßnahmen zur Vermeidung eines unerwarteten Anlaufs vorgesehen werden.

Nachfolgend sind Maßnahmen beschrieben, die in diesen Fällen zu ergreifen sind. Die beschriebenen Maßnahmen sind nur auf Wechselrichterantriebe und Servoantriebe anwendbar.

Mit der Entwicklung der Halbleitertechnik haben sich die Möglichkeiten in der Antriebstechnik grundlegend gewandelt. Durch die Leistungselektronik und die damit verbundene Weiterentwicklung in der Halbleitertechnik hat man heute die Möglichkeit der stufenlosen Anpassung von physikalischen Größen wie Drehzahl, Drehmoment, Temperatur oder Druck an einen Fertigungsprozess. Dabei wird dem Netz Energie entnommen, in den Betriebsmitteln der Leistungselektronik (Stromrichter, Frequenzumrichter, Steller) aufbereitet und dem Verbraucher, z. B. dem Motor, zugeführt.

Von der Funktion her ist es unerheblich, ob die Energie durch ein Schütz oder durch gesperrte Halbleiter getrennt wird. Im Hinblick auf die Arbeitssicherheit ist es ein gravierender Unterschied, ob die Energietrennung durch ein Schütz oder durch Sperren mittels Halbleiter erfolgt, da das alleinige Sperren durch Halbleiter nicht als sicheres Trennen betrachtet wird. So ist es nicht möglich, dass sich ein abgeschaltetes Schütz aufgrund eines internen Fehlers selbstständig einschaltet. Hingegen kann ein Transis-

tor ohne äußere Einflüsse leitfähig werden. Dieser sicherheitstechnische Nachteil elektronischer Bauteile muss durch geeignete Schaltungskonzepte beherrscht werden. Bei Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ ist es erforderlich, auf das galvanische Trennen im Lastkreis zu verzichten, da funktionsbedingt ein über einen Stromrichter versorgter Antrieb betriebsmäßig häufig stillgesetzt und gestartet wird. Das ständige Entladen und Wiederaufladen des Gleichstromzwischenkreises stellt eine hohe Belastung für die betroffenen Bauteile dar und führt ggf. zu störenden Wartezeiten und Ausfällen der Bauteile. Der Leistungsteil eines Stromrichters besteht aus drei Funktionsblöcken:

- Netzgleichrichter (Zwischenkreisregler),
- Gleichstromzwischenkreis,
- Wechselrichter.

Der Netzgleichrichter besteht aus einer Brückenschaltung, die das speisende Netz gleichrichtet, wobei dem Gleichstromzwischenkreis die Aufgabe zukommt, das starre Versorgungsnetz vom variablen Ausgangsnetz zu entkoppeln. Der Wechselrichter wandelt die aus dem Netzgleichrichter und dem Zwischenkreis erzeugte Gleichspannung in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz mit veränderlicher Spannung und Frequenz um.

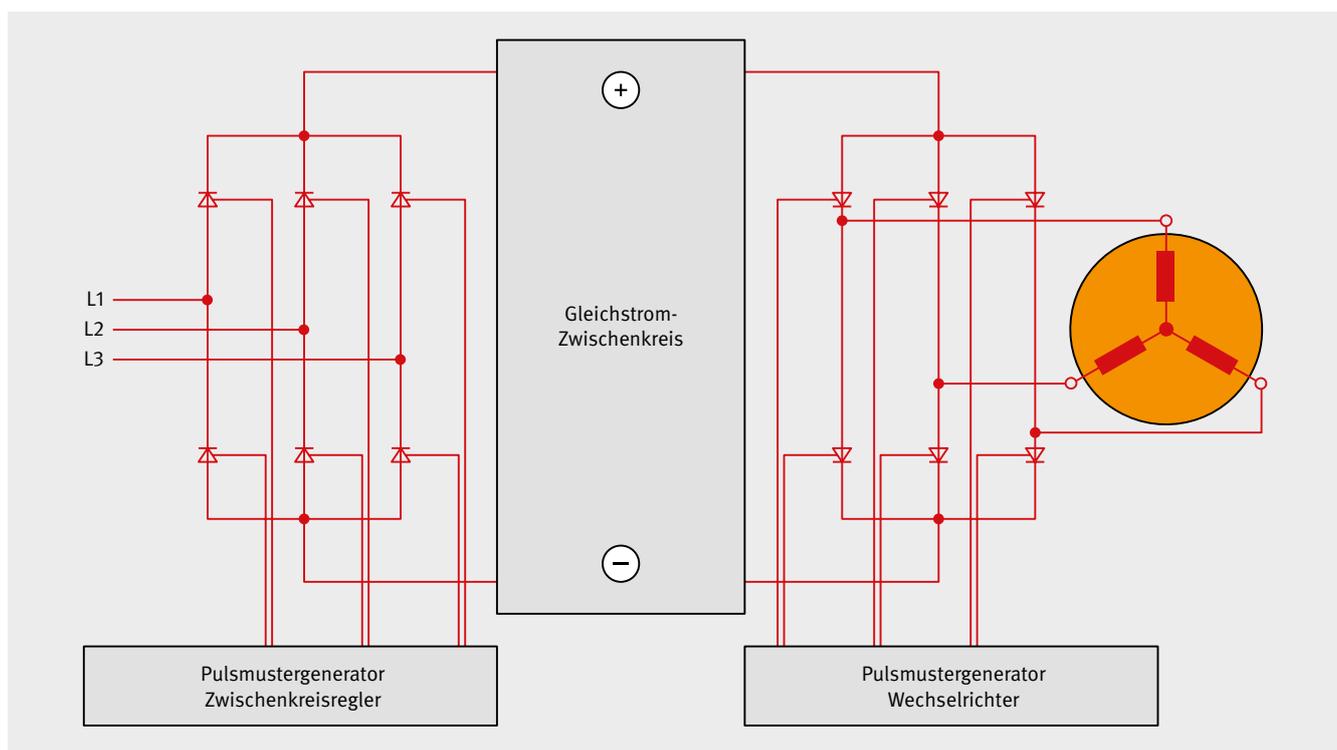


Abbildung 66: Darstellung eines Stromrichters mit Gleichstromzwischenkreis

Die Voraussetzung für den Anlauf eines Drehstromasynchronmotors ist die Erzeugung eines Drehfeldes, das den Läufer des Motors treibt. Um ein gutes Regelverhalten und einen geringen Oberschwingungsgehalt zu haben, wird zur Erzeugung der in der Frequenz variablen dreiphasigen Wechselspannung ein komplexes Impulsmuster zum sinnvollen Zünden und Löschen der Leistungshalbleiter benötigt. Das geschieht durch einen Mikroprozessor μP oder eine komplexe Elektronik, wobei zur Erzeugung der Zünd- und Löschimpulse eine Trennung zwischen dem Potential der Wechselrichterelektronik und dem Potential des jeweiligen Leistungshalbleiters durchgeführt werden muss. Dies erfolgt entweder durch Zündübertrager oder Optokoppler.

Zur Erzeugung eines variablen Drehfeldes müssen zwei Bedingungen erfüllt sein. Zum einen muss ein definiertes Impulsmuster anliegen, zum anderen muss eine Spannungsversorgung zu den Optokopplern bzw. Zündübertragern vorhanden sein, um die komplexen Zünd- und Löschimpulse zur Erzeugung des Drehfeldes zu generieren.

So kann z. B. das durch einen Fehler in der Elektronik des Wechselrichters erzeugte Impulsmuster nicht zu einem Anlauf führen, wenn die zweite Voraussetzung, d. h. die Spannungsversorgung der Optokopplerstufe bzw. Zündübertrager, nicht gegeben ist. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der sicheren Abtrennung der aus Impulsmustern bestehenden Energie. Bei der Abschaltung eines Stranges durch zwei unabhängige Maßnahmen wird zum einen der Antrieb über den Steuersatz (Antriebsrechner) stillgesetzt und zum anderen die Spannungsversorgung der für die Impulsübertragung verantwortlichen Zündübertrager getrennt.

Der Schutz gegen unerwarteten Anlauf wird also durch eine der Elektronik übergeordnete elektromechanische Maßnahme erreicht: durch eine sichere galvanische Trennung an anderer Stelle als im Lastkreis. Bei Verwendung eines 4-Q-Antriebes darf das Wegschalten der Spannungsversorgung erst erfolgen, wenn der Antrieb den Stillstand erreicht hat.

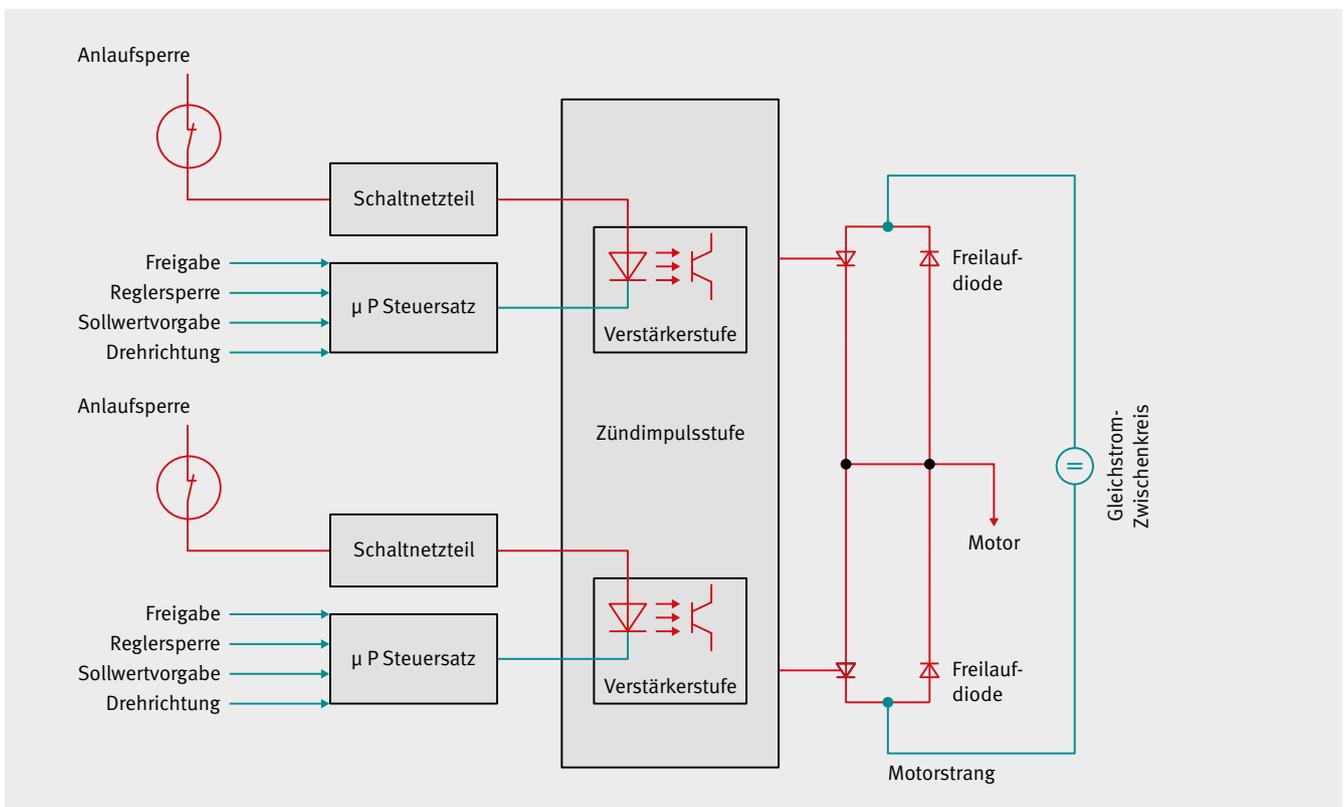


Abbildung 67: Abschaltung eines Stranges durch zwei unabhängige Maßnahmen

Die Energieunterbrechung zu den Wicklungen des Motors wird bei Stillstand durch das Sperren der Leistungshalbleiter erreicht. Unter Umständen muss Halbleitern ein Durchlegieren oder ein Einschalten, z. B. aufgrund elektromagnetischer Störungen, unterstellt werden.

Antriebs hat. Hier gibt es zwei denkbare Kombinationsmöglichkeiten. Bei der ersten Möglichkeit wird der Gleichstromzwischenkreis unmittelbar kurzgeschlossen, während bei dem zweiten Fall der Kurzschluss über die Wicklungen erfolgt.

Zu überlegen ist, welche Auswirkungen ein solcher Fehler möglicherweise auf das Verhalten des stillgesetzten

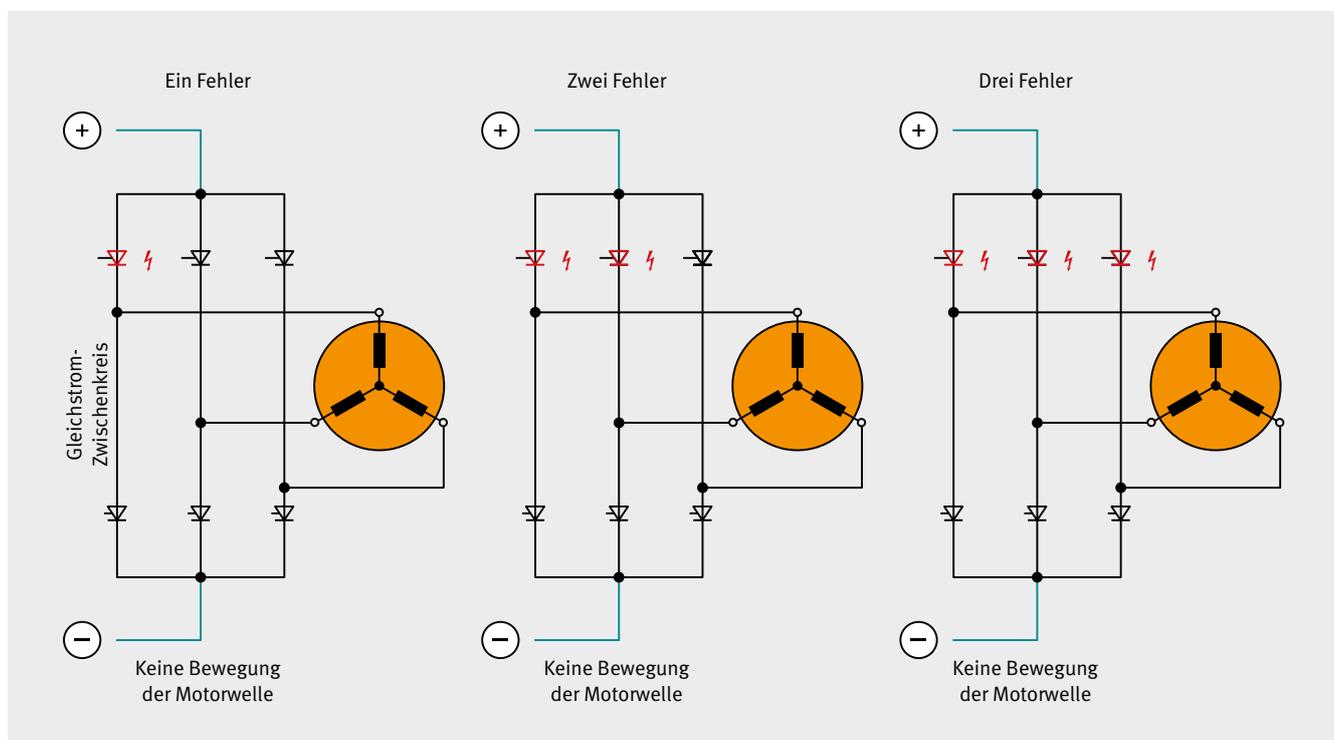


Abbildung 68: Zünden eines einzelnen oder mehrerer Leistungshalbleiter am gleichen Pol des Gleichstromzwischenkreises

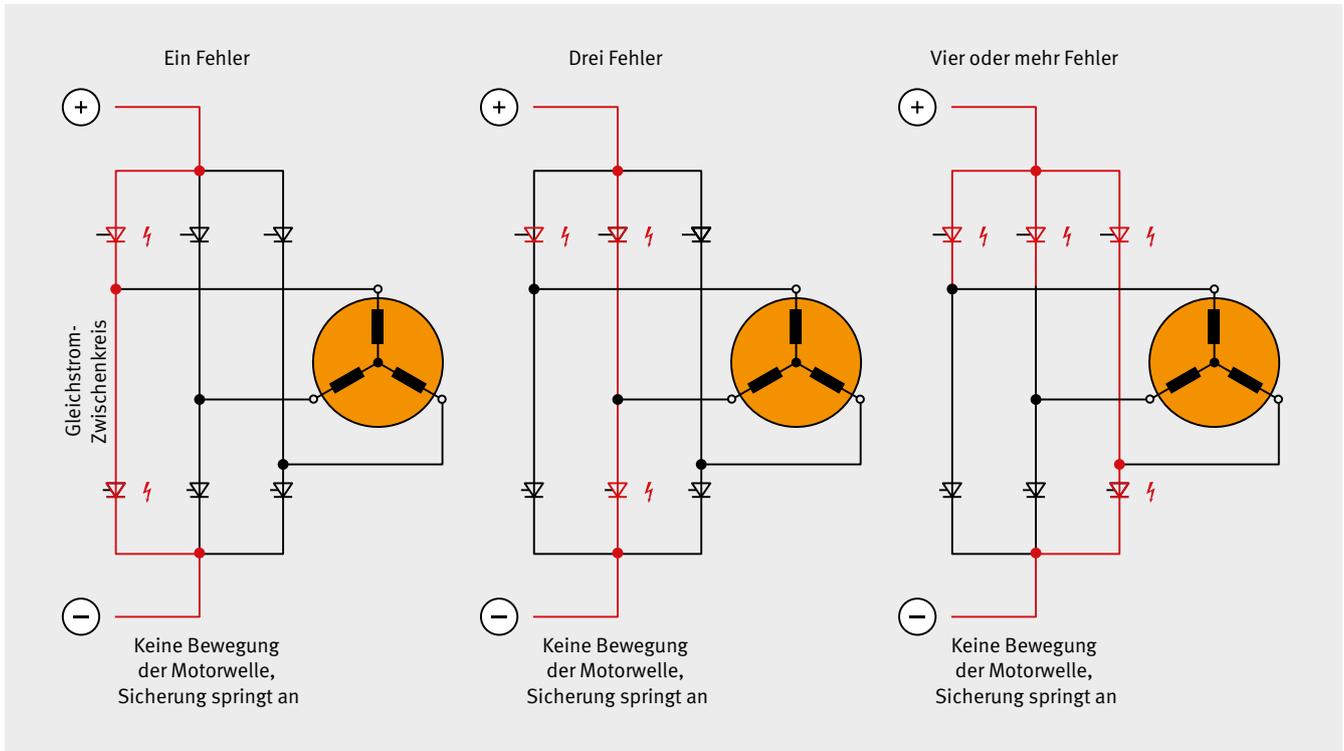


Abbildung 69: Zünden von Halbleitern an beiden Polen des Gleichstromzwischenkreises

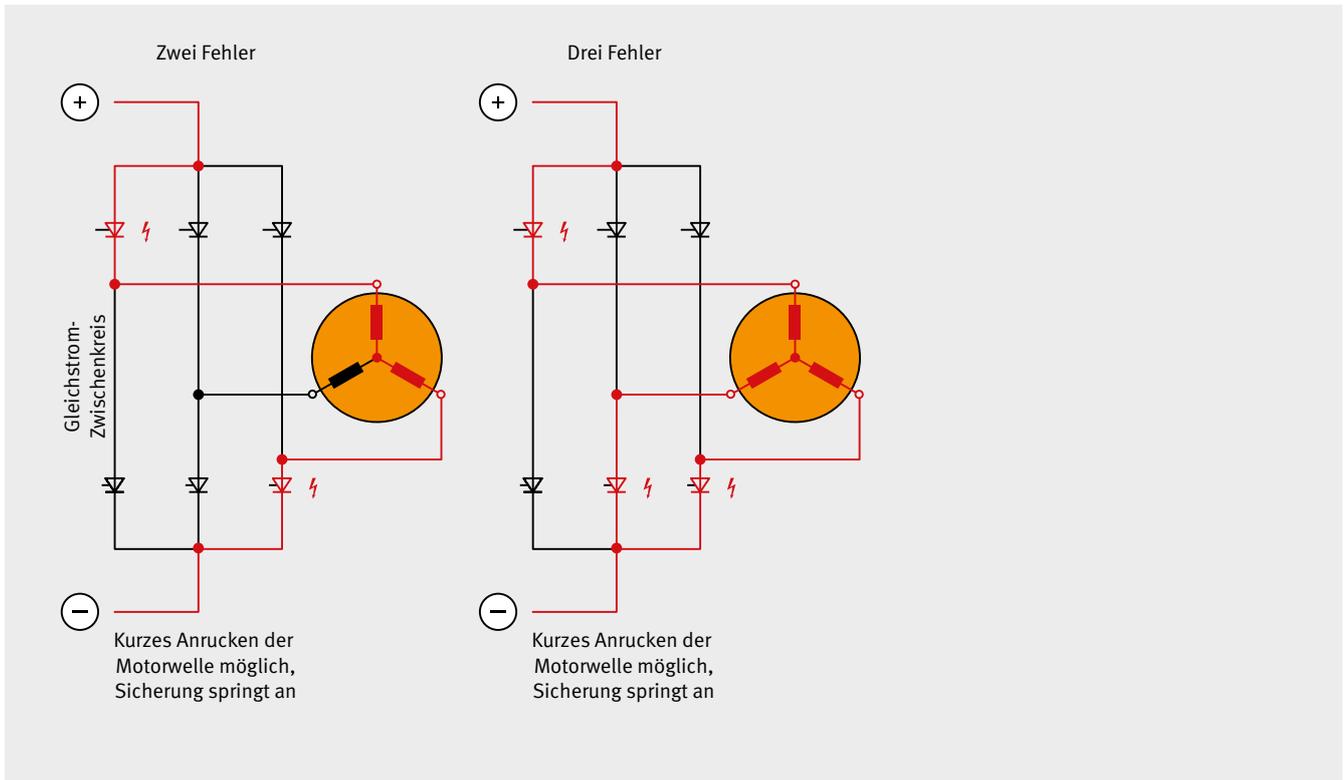


Abbildung 70: Kurzschlussstrom über die Wicklungen des Motors

Zu überlegen ist, welche Auswirkungen ein solcher Fehler möglicherweise auf das Verhalten des stillgesetzten Antriebs hat.

Das Durchlegieren oder zufällige Zünden eines einzelnen Leistungshalbleiters oder mehrerer Leistungshalbleiter am gleichen Pol des Gleichstromzwischenkreises, wie im Bild durch Blitzpfeile angedeutet, führt nicht zu einem unkontrollierten Anlauf, da kein Stromfluss und Feld zustande kommen. Erst wenn zusätzlich ein weiterer Leistungshalbleiter am anderen Pol des Gleichstromzwischenkreises durchgeschaltet wird, kann Strom fließen.

Hier gibt es zwei denkbare Kombinationsmöglichkeiten. Bei der ersten Möglichkeit wird der Gleichstromzwischenkreis unmittelbar kurzgeschlossen, während bei dem zweiten Fall der Kurzschluss über die Wicklungen erfolgt.

5.5.2 Anlaufwarneinrichtung

Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ müssen aufgrund der Baugröße mit einer akustischen Anlaufwarneinrichtung ausgerüstet sein. Die Anlaufwarneinrichtung muss vor Anlauf der Maschine zwangsläufig ein deutlich wahrnehmbares akustisches Signal geben. Das Anlaufsignal muss so rechtzeitig vor dem Anlaufen der Rollenrotationsmaschine zur Wirkung kommen, dass Bedienpersonen sich rechtzeitig aus dem Gefahrenbereich entfernen können. Die Schaltung muss so ausgelegt sein, dass vor dem Ingangsetzen der Rollenrotationsdruckmaschine ein akustisches Signal mindestens 1 s bis maximal 3 s ertönt (Signalzeit). Vom Zeitpunkt der Signalbetätigung an müssen mindestens 3 s Wartezeit vergehen, bevor durch ein erneutes Betätigen desselben oder eines anderen Tasters die Rollenrotationsdruckmaschine in Gang gesetzt werden kann. Die notwendige Betätigungsfolge zum Ingangsetzen der Rollenrotationsdruckmaschine stellt eine Maßnahme gegen einen fehlerhaft erzeugten Startbefehl durch menschliches Fehlverhalten dar.

Unter Umständen kann der Rotor aufgrund des vorhandenen Restmagnetismus eine geringfügige Anruckbewegung des Läufers ausführen. Hier muss unter Berücksichtigung der verwendeten Technologie (Polpaarzahl des Motors) überprüft werden, ob die mögliche Anruckbewegung zu einer gefährlichen Bewegung führen kann. Im Übrigen wirkt der durchgeschaltete Gleichstromzwischenkreis wie eine Bremse, d. h. nach Beendigung der Anruckbewegung befindet sich der Antrieb im festgebremsten Zustand. Ein Hochlauf des Antriebes ist ausgeschlossen.

Diese Überlegungen lassen sich sinngemäß auf andere Antriebe, bei denen Leistungshalbleiter in einer bestimmten Sequenz ein- und ausgeschaltet werden müssen, um eine Bewegung zu bewirken, übertragen, wie z. B. Schrittmotoren, Synchronmotoren und bürstenlose Gleichstrommotoren.

Nach Ablauf der Wartezeit oder nach Beendigung eines vorhergegangenen Maschinenlaufs im Tippbetrieb ist ein Ingangsetzen der Rollenrotationsdruckmaschine innerhalb von 0 bis 12 s ohne vorherige akustische Signalgabe zulässig (Freigabezeit). Die Freigabezeit beginnt nach Ablauf der Wartezeit oder wenn der Tippbetrieb unterbrochen wird. Die Freigabezeit darf 12 s nicht überschreiten. Die folgende Darstellung verdeutlicht die notwendige Signalfolge für das betriebsmäßige Ingangsetzen der Rollenrotationsdruckmaschine und den Tippbetrieb bei geöffneten verriegelten Schutzeinrichtungen.

Nach Ablauf der Freigabezeit, nach Betätigen des Tasters einer Aus-Befehlseinrichtung oder einer Not-Befehlseinrichtung darf die Rollenrotationsdruckmaschine nur nach erneuter akustischer Signalgabe in Gang gesetzt werden können, d. h. durch zweimaliges Betätigen des Tasters.

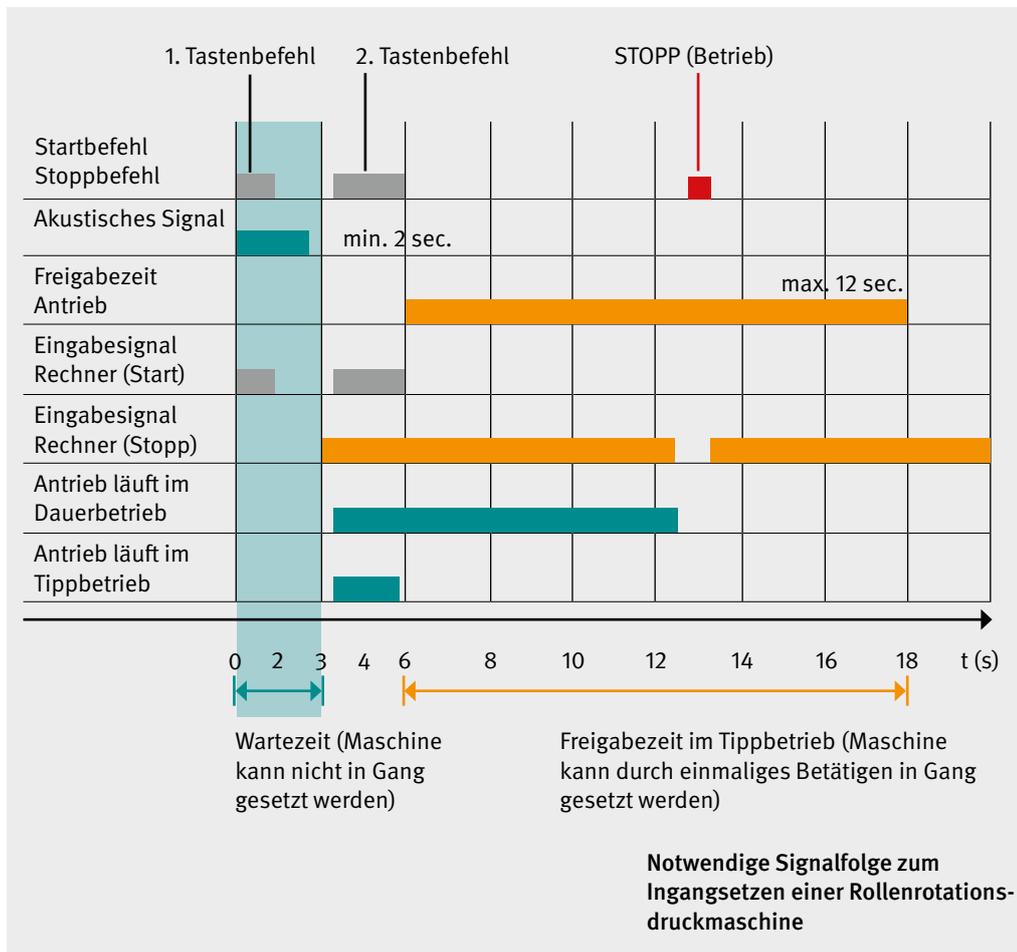


Abbildung 71: Signalfolge zum betriebsmäßigen Starten der Maschine und im Tippbetrieb

5.5.3 Gegenseitige Verriegelung der nicht einsehbaren Bereiche

Sind mehrere verriegelte Schutzeinrichtungen geöffnet und können dadurch zugängliche, nicht gesicherte Gefahrstellen vom Standort der Stellteile zum Ingangsetzen nicht eingesehen werden, muss ein kraftbetriebenes Bewegen der Rollenrotationsdruckmaschine verhindert werden. Bei Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ und n elektrisch verriegelten Schutzeinrichtungen gibt es theoretisch $2^n - 1$ Kombinationsmöglichkeiten, die elektrisch verriegelten Schutzeinrichtungen zu öffnen. Aufgrund des geringen Risikos ist es ausreichend, durch einen Rechner prüfen zu lassen, ob elektrisch verriegelte Schutzeinrichtungen im nicht einsehbaren Bereich geöffnet sind.

Im Fehlerfall des Rechners kann die Maschine im nicht einsehbaren Bereich nur im Tippbetrieb mit reduzierter Geschwindigkeit in Gang gesetzt werden, wobei zuvor die akustische Anlaufwarnung ertönt. Während der Freigabezeit kann, im Fehlerfall des Rechners, die Rollenrotationsdruckmaschine im nicht einsehbaren Bereich ohne Anlaufwarnung in Gang gesetzt werden. Dies kann jedoch, gemessen an dem geringen Gefährdungspotential, akzeptiert werden, da ein Ingangsetzen nur mit sicher reduzierter Geschwindigkeit möglich ist, wenn die beschriebenen steuerungstechnischen Maßnahmen im Tippbetrieb eingehalten sind.

5.5.4 Sichere Verarbeitung der Tipp-Befehls-gabe

Wird die Signal-gabe des Tipptasters kontakt-behaftet in beide Rechnersysteme eingeschleift, bedeutet dies, gemessen an der Baugröße einer Rollenrotationsdruckmaschine mit einer „elektronischen Welle“ und der großen Anzahl vorhandener Tipptaster, einen erheblichen Aufwand an Hardware. Unter Berücksichtigung der beschriebenen erforderlichen Signalfolgen zum Ingangsetzen der Maschine wird an einem Beispiel exemplarisch dargestellt, dass die gleiche Sicherheit bei reduziertem Hardwareaufwand erreicht werden kann. Die Sicherheit kann auch dadurch erreicht werden, dass z. B. das Signal des Tipptasters in ein Ein-/Ausgabemodul eingelesen

wird, das über einen Bus (Datenverbindung) mit dem Antriebsrechner kommuniziert. Der Status der Signal-gabe des Tipptasters wird einkanalig im Antriebsrechner verarbeitet. Der Antriebsrechner steuert den Antrieb über die Sollwertvorgabe und Reglerfreigabe an. Zusätzlich wird durch den Antriebsrechner über eine Busankopplung der Statuszustand des Tipptasters in den Sicherheitsrechner eingelesen.

Bei Betätigung des Tipptasters wird durch den Sicherheitsrechner die Anlauf-sperre freigegeben.

Bei dem beschriebenen Ablauf würde bei einem statischen Fehler im Ein-/Ausgabemodul bzw. Antriebsrechner ein Startbefehl an beiden Kanälen anstehen. Dieser Fehler kann nicht erkannt werden. Es müssen zusätzlich fehlerbeherrschende Maßnahmen ergriffen werden. Als zusätzliche Maßnahme muss die notwendige Signalfolge (Eingabesignal Rechner-Start) zur Plausibilitätsprüfung genutzt werden, indem der Sicherheitsrechner erst die Anlauf-sperre freigibt, wenn das entsprechende Impuls-muster ansteht.

Durch den geforderten dynamischen Signalwechsel (Detektion der steigenden und der fallenden Flanke) wird ein statischer Fehler im Ein-/Ausgabemodul bzw. im Antriebsrechner durch eine Plausibilitätsprüfung im Sicher-

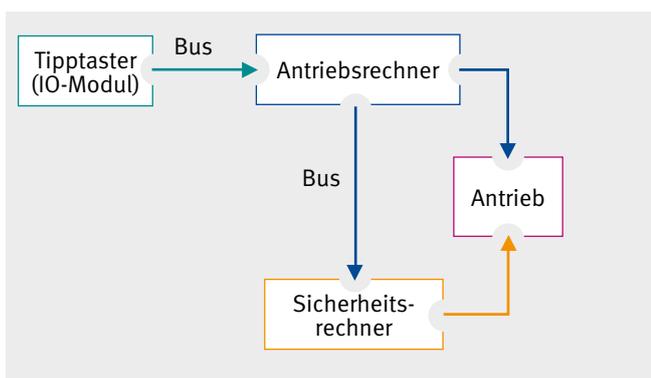


Abbildung 72: einkanaliges Einlesen des Tippsignals mit redundanter Signalauswertung

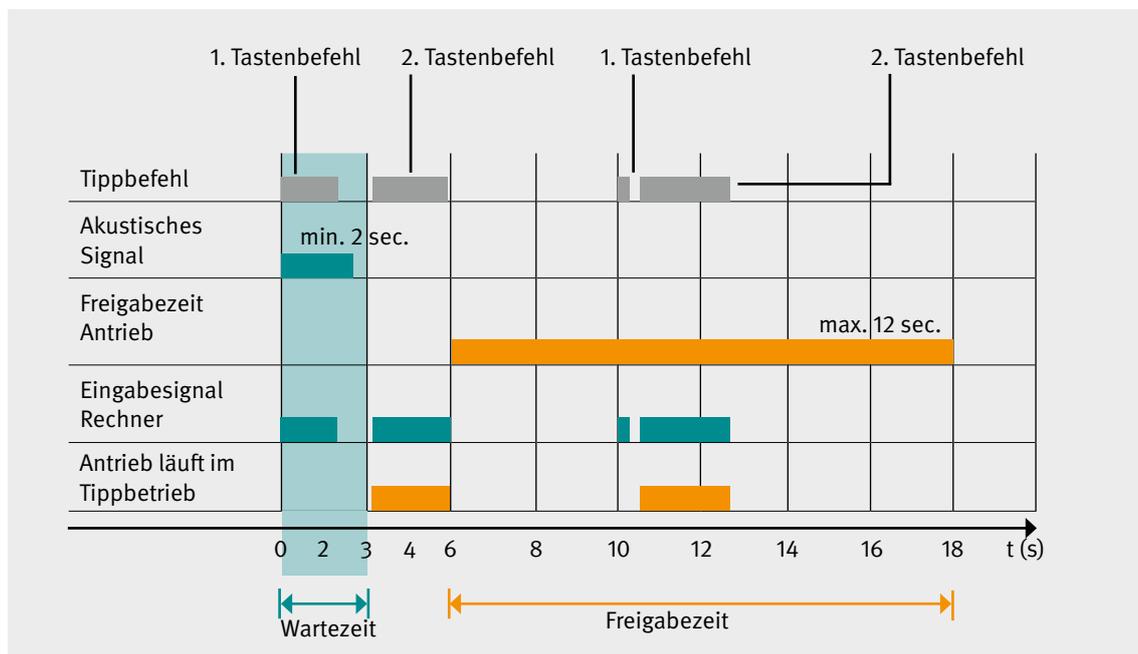


Abbildung 73: notwendige Signalfolge im Tippbetrieb

heitsrechner erkannt. Ein Fehler während der Freigabezeit wird hingegen nicht erkannt. Um einen unerwarteten Anlauf innerhalb der Freigabezeit zu verhindern, ist, abgesehen von der redundanten Verarbeitung der Tipptastensignale, auch ein zweimaliges Betätigen der Tipptaster während der Freigabezeit erforderlich (zweimaliges Betätigen der Taste mit Abstand von einigen 100 ms im Tippbetrieb).

Das erforderliche Impulsmuster für die Signalfolge im Tippbetrieb zeigt die Abbildung 73. Das zweimalige Betätigen während der Freigabezeit stellt für den Bediener keinen Nachteil dar, da dadurch keine zusätzlichen Wartezeiten entstehen. Die Bedienerfreundlichkeit ist durch diese Maßnahme nicht eingeschränkt.

5.5.5 Geber zur Lage- und Geschwindigkeitserfassung

Die Antriebssysteme einer Rollenrotationsdruckmaschine mit „elektronischer Welle“ sind mit hochauflösenden opto-elektronischen Sinus-/Cosinus-Gebern (ca. 5×10^6 Impulse pro 360° Drehung) zur Erfassung der absoluten Winkelposition ausgestattet, die unmittelbar nach dem Einschalten der Maschine oder nach einer Spannungsunterbrechung eine absolute Winkelposition liefern. Diese hochauflösenden Gebersysteme sind erforderlich, um die gewünschte Druckqualität und die damit verbundene

- Rechteckoszillationen auf einem oder allen Ausgängen,
- Geberwellenbruch: Bei Bruch der Geberwelle darf es nur zu einer unwesentlichen Erhöhung der Motordrehzahl kommen,
- Unterbrechung der einzelnen sicherheitsrelevanten Leitungen,
- beliebige Kurzschlüsse zwischen den sicherheitsrelevanten Leitungen (Spuren) usw.,
- statische 0 oder statische 1 auf einem oder allen Ausgängen und
- Verringerung oder Erhöhung der Amplituden an den Ausgängen.

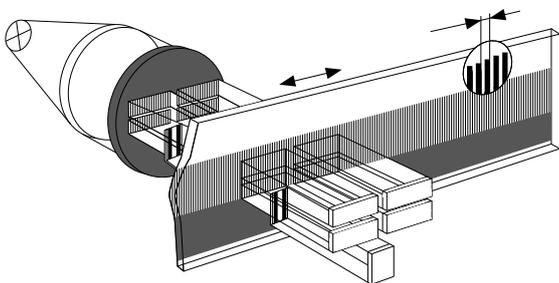


Abbildung 74

Synchronisation einer Rollenrotationsdruckmaschine mit einer „elektronischen Welle“ zu erreichen.

Abweichend von der Realisierung mit zwei Winkelgebern können Winkelgeber auch einkanalig verwendet werden, wenn eine Fehlerdiagnose, z. B. durch den Produktionsprozess, erfolgt. Die Verwendung eines einzelnen Gebers ist nur dann zulässig, wenn Fehler innerhalb von 5 Sekunden erkannt werden. Beim Auftreten von Fehlern, die zu einem sicherheitskritischen Zustand führen, muss das Antriebssystem sofort in den sicheren Zustand überführt werden. Ein erneutes Starten des Antriebes darf erst nach Fehlerbeseitigung möglich sein.

Folgende Fehler sind bei einkanaligen photoelektronischen Gebern möglich und müssen beherrscht werden:

- kein Licht von der Sendediode,
- Verschmutzung der Glasscheibe,

Um einen Fehler aufzudecken, müssen die Gebersignale in beide Rechnersysteme eingelesen und kreuzweise auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Ein erkannter Fehler muss eine Systemreaktion einleiten, die zum Stillstand des Motors führt.

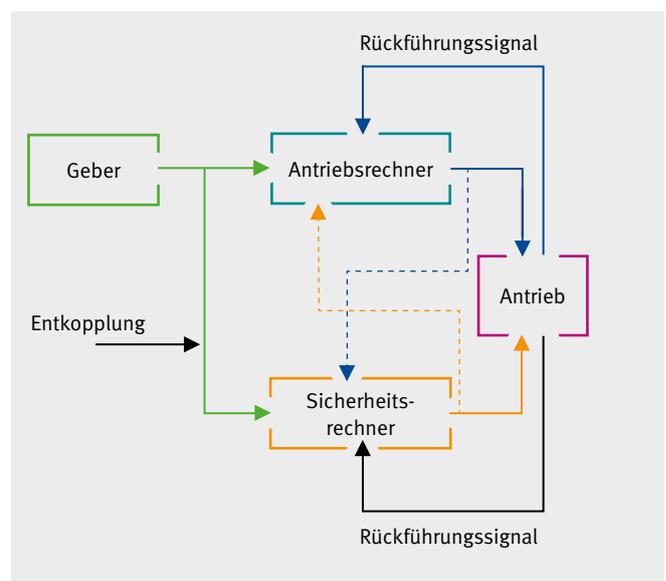


Abbildung 75: zweikanalige Rechnerstruktur mit kreuzweisem Datenvergleich

5.5.6 Fehlervermeidende und fehlerbeherrschende Maßnahmen

Der Konstrukteur hat in der Entwicklungsphase nach DIN EN ISO 13849-1 fehlervermeidende und fehlerbeherrschende Maßnahmen zu ergreifen, um Fehler zu vermeiden bzw. Fehler im Prozess aufzudecken und ggf. zu korrigieren. Die zu ergreifenden Einzelmaßnahmen zur Fehlervermeidung und Fehlerbeherrschung sind in DIN EN ISO 13849-1 nach ihrer Wirksamkeit bewertet. So stellt z. B. eine wichtige fehlervermeidende Maßnahme die Programmierung des Anwenderprogramms in „Aktiv-High“ dar, um sicherzustellen, dass bei Leistungsausfall bzw. Spannungsausfall der Antrieb stillgesetzt wird. Diese Forderung ist auch im Hinblick auf Leiterbruch (Ruhestrom-

prinzip) unerlässlich. Bei der „Aktiv-High-Technik“ erfolgt das Entregen eines Rechnerausganges immer durch Rücknahme der positiven Spannung am Eingang des Rechners auf „Low Potential“. Das Setzen und somit das Einleiten der Bewegung der Rotationsdruckmaschine muss hingegen stets durch Anlegen eines „High Potential“ (positive Spannung) erfolgen. Die Steuerung von Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ ist durch eine zweikanalige Rechnerstruktur aufgebaut. Für ganz bestimmte sicherheitsrelevante Funktionen ist ein kreuzweiser Datenvergleich zur Fehlerbeherrschung notwendig.

5.5.7 Maßnahmen zur Verhinderung eines unerwarteten Anlaufs bei Erdschluss

Erdschlüsse in Steuerkreisen dürfen weder eine Rollenrotationsdruckmaschine mit einer „elektronischen Welle“ anlaufen lassen noch das Stillsetzen verhindern. Um diese Anforderung sicherheitsgerecht erfüllen zu können, muss eine Seite der Spannungsversorgung auf der Sekundärseite des Trafos bzw. Schaltnetztes geerdet werden

(Fehler vermeidende Maßnahme). Bei Gleichrichterschaltungen muss die Erdung der Sekundärseite immer auf der Gleichstromseite erfolgen. Stellt das Erden der Spannungsversorgung Probleme dar, muss eine vergleichbare Maßnahme ergriffen werden, z. B. eine Isolationsüberwachung, die einen Erdschluss detektiert.

5.5.8 Maßnahmen zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit

Bei Rollenrotationsdruckmaschinen mit einer „elektronischen Welle“ kommen hauptsächlich elektronische Betriebsmittel zum Einsatz. Aus diesem Grund müssen Maßnahmen zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) getroffen werden. So kommen z. B. bei modernen Antriebssteuerungen verstärkt digitale Frequenzumrichter, getaktete Schaltnetztes und Aktuatoren zum Einsatz, die zu den potenziellen Störquellen gehören. Durch die starke Zunahme der elektronischen Betriebsmittel müssen neben der geeigneten Auswahl auch deren komplexe elektromagnetische Kopplungsmechanismen zueinander in der Maschinensteuerung berücksichtigt werden. Die Störquellen und Kopplungsmechanismen können unter Umständen kritische Betriebszustände, wie z. B. den unerwarteten Anlauf, hervorrufen. Es wird zum Beispiel in der EN 60204-1 eine Überprüfung der Störfestigkeit für jede vollständig installierte Maschine gefordert. Durch die Prüfungen soll sichergestellt werden,

dass die Maschine in ihrer elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend funktioniert. Da aufgrund der Baugröße einer Rollenrotationsdruckmaschine die EMV-Prüfung an der Gesamtmaschine nicht realisierbar ist, müssen praktikable Wege zur Nachweisbarkeit der Störfestigkeit beschritten werden.

Eine Lösung besteht darin, dass der Maschinenhersteller nur EMV-geprüfte elektrische Komponenten verwendet und beim Zusammenbau der Maschine die Vorgaben der Hersteller elektrischer Komponenten beachtet. Zusätzlich müssen nachfolgende schaltungstechnische Maßnahmen berücksichtigt werden, um ein störungsunempfindliches Zusammenwirken der elektrischen Betriebsmittel innerhalb der Maschine sicherzustellen:

- geeignete Auswahl des Erdungssystems,
- Massung,
- Schirmung,

- räumliche Anordnung von Geräten oder Baugruppen in Zonen mit unterschiedlichem Störklima,
- entsprechende Wahl von Kabeln,
- getrennte Kabelverlegung von Signal-, Daten- und Laststromkreisen,
- EMV-gerechte Schnittstellenauslegung,

- Überspannungsschutz und geeignete Auswahl von Störfiltern.

Darüber hinaus müssen zur Verbesserung der elektromagnetischen Verträglichkeit programmtechnische Maßnahmen getroffen werden, um die Sicherheit der Maschine zu verbessern.

5.6 Steuerungsbeispiele

5.6.1 Einkanalige Steuerung

5.6.1.1 Elektromechanische Steuerung

Bei der Steuerung in Abbildung 76 wird die Gefahr bringende Bewegung durch das Leistungsschütz K2 eingeleitet. Der Gefahrenbereich ist durch ein Schutzgitter abgesichert. Ist das Schutzgitter geschlossen, kann die Maschine anlaufen, ein Zugriff zur Gefahrstelle ist nicht möglich. Wird das Schutzgitter geöffnet, wird über den Personenschutzschalter für Sicherheitsfunktionen B2 dem Leistungsschütz K2 die Spannung durch das Hilfsschütz K1 entzogen und somit die Gefahr bringende Bewegung stillgesetzt. Durch diese Schaltung kann eine Steuerung aufgebaut werden, deren Performance Level maximal c beträgt.

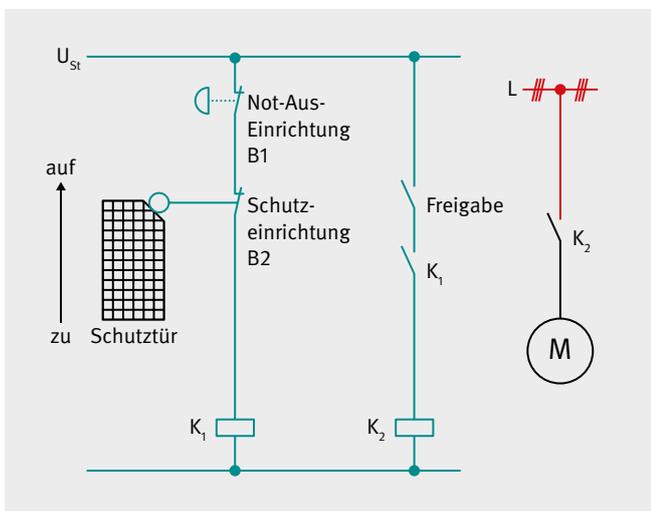


Abbildung 76: Steuerung einkanalig

Mithilfe dieser Schaltung werden zwei Sicherheitsfunktionen verwirklicht:

- Sicherheitsfunktion 1 (SF1): sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung und
- Sicherheitsfunktion 2 (SF2): sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils.

In den Abbildungen 77 und 78 sind die sicherheitsbezogenen Blockstrukturen dieser beiden Sicherheitsfunktionen dargestellt.



Abbildung 77: SF1: sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung



Abbildung 78: SF2: sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils

Dieses Schaltungskonzept ist sicherheitstechnisch bei höheren Risiken bedenklich, weil die Signalverarbeitung des Personenschutzschalters, der die Schutzeinrichtung überwacht, nur über ein Hilfsrelais erfolgt. Ein Fehlverhalten des Hilfsrelais K1, sei es durch ein Verschweißen des Schließkontaktes oder durch ein Klebenbleiben des Kontaktes, kann dazu führen, dass bei geöffneten Schutzeinrichtungen die sicherheitsgefährdende Bewegung nicht unterbrochen wird, d. h. ein Fehler in der Steuerung führt zu einem Fehlverhalten. Hingegen wird ein Fehler im Leistungsschütz K2 im Prozess durch betriebsmäßiges Stillsetzen über die Freigabe erkannt. Dies kann akzeptiert werden, da die Anforderungsrate des betriebsmäßigen

Stillsetzens um den Faktor 100 größer ist als das sicherheitstechnische Stillsetzen über die verriegelte Schutzeinrichtung. Diese Vorgehensweise wird in EN ISO 13849-1 bei den Erläuterungen zur Kategorie 2 näher beschrieben.

5.6.1.2 Elektronische Steuerung

In der nachfolgenden Abbildung wird die Gefahr bringende Bewegung durch das Leistungsschutz K1 eingeleitet. Der Gefahrbereich ist durch ein Schutzgitter abgesichert. Ist das Schutzgitter geschlossen, kann die Maschine anlaufen, ein Zugriff zur Gefahrstelle ist nicht möglich. Wird das Schutzgitter geöffnet, wird über den Positionsschalter B2 für Sicherheitsfunktionen dem Leistungsschutz K1 die Spannung über die SPS entzogen und somit der Antrieb stillgesetzt.

Durch diese Schaltung werden zwei Sicherheitsfunktionen realisiert:

- Sicherheitsfunktion 1 (SF1): sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung und
- Sicherheitsfunktion 2 (SF2): sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils.

In den Abbildungen 80 und 81 sind die sicherheitsbezogenen Blockstrukturen dieser beiden Sicherheitsfunktionen veranschaulicht.

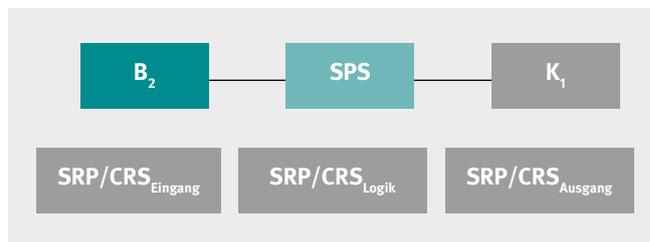


Abbildung 80: SF1: sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung

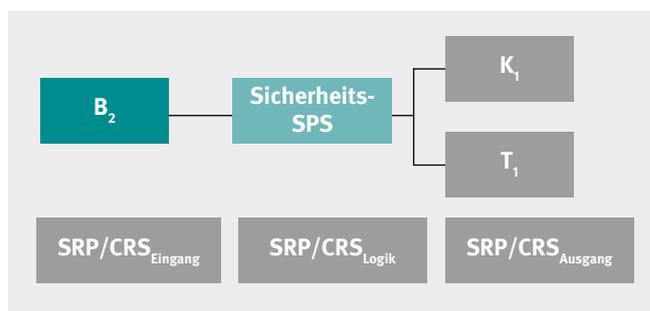


Abbildung 80.1: SF1: sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung

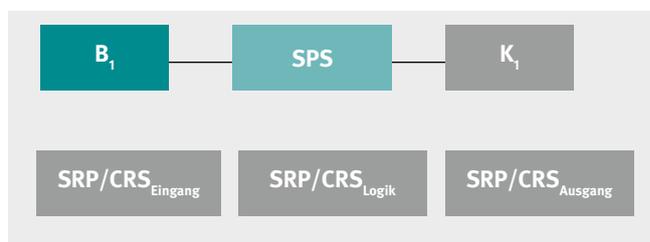


Abbildung 81: SF2: sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils

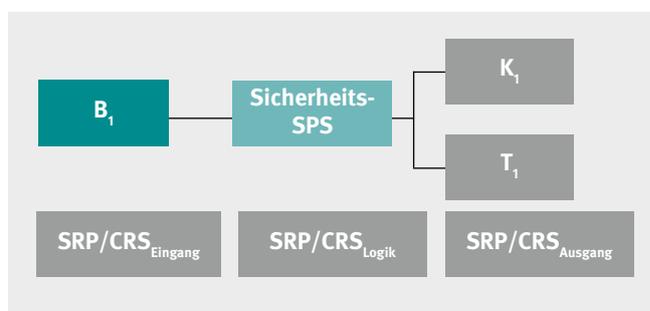


Abbildung 81.1: SF2: sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils

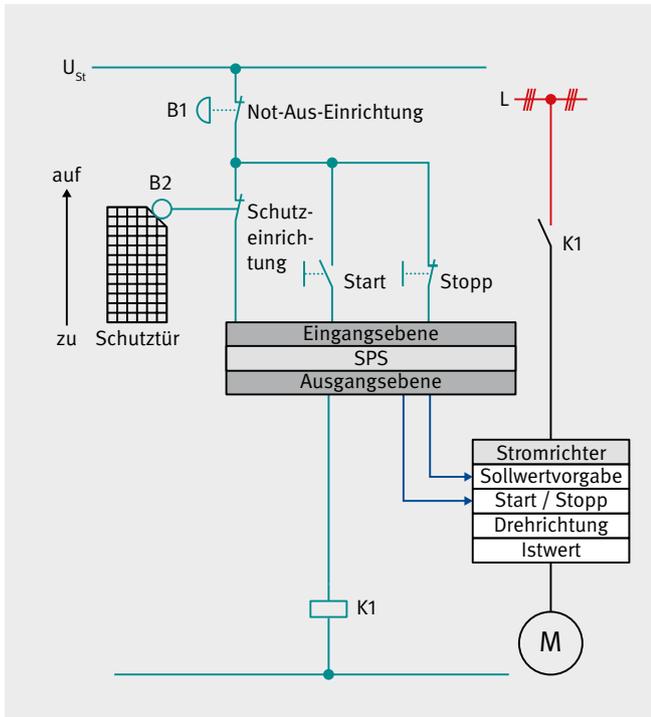


Abbildung 79: elektronische Steuerung mit Standard SPS

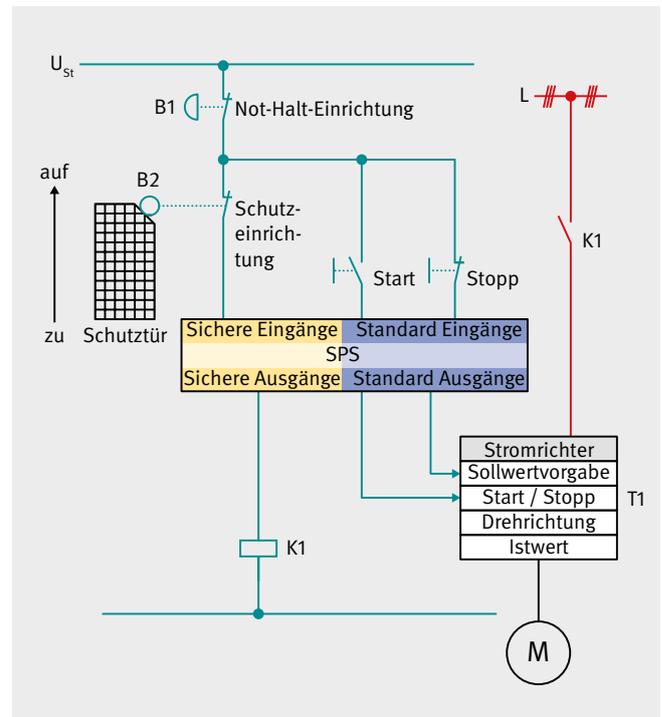


Abbildung 79.1: elektronische Steuerung mit Sicherheits-/Standard SPS

Dieses Schaltungskonzept ist sicherheitstechnisch bedenklich, weil die Signalverarbeitung des Positionsschalters B2, der die Schutzeinrichtung überwacht, nur in die Elektronik eingreift. Ein Fehlverhalten der speicherprogrammierbaren Steuerung, sei es durch Soft- oder Hardware-Fehler im Rechner oder durch Fehler in der Eingangsebene bzw. in der Ausgangsebene, kann dazu führen, dass bei geöffneter Schutzeinrichtung die Gefahr bringende Bewegung selbstständig anläuft bzw. beim Öffnen der Schutzeinrichtung die Gefahr bringende Bewegung nicht unterbrochen wird.

Da eine Standard-SPS kein „bewährtes Bauteil“ ist, kann durch diese elektronische Steuerung nur ein Performance Level von maximal „b“ erreicht werden.

Eine Verbesserung stellt die in Abbildung 79.1 dargestellte Steuerung dar, da hier ein Performance Level von „d“ unter Verwendung einer Sicherheits-SPS erreicht werden kann. Durch Öffnen der verriegelten Schutzeinrichtung (Schutzgitter) wird das Signal des zwangsöffnenden Personenschutzschalters B2 in die Sicherheits-SPS eingelesen und dort logisch verknüpft. Die sicherheitsgerichtete Stillsetzbewegung erfolgt durch ein Ansteuern des Umrichters T1. Ferner wird zur Verhinderung des unerwarteten Anlaufs als redundante Maßnahme dem Relais K1 über die Sicherheits SPS die Spannungsversorgung weggeschaltet (Ruhestromprinzip).

5.6.2 Zweikanalige Steuerung

5.6.2.1 Hakenschaltung

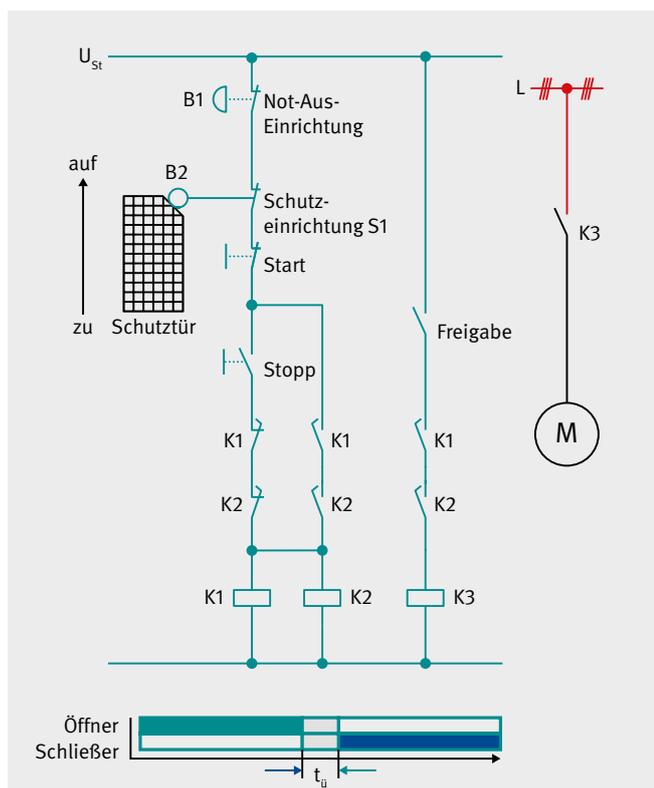


Abbildung 82: Hakenschaltung

Eine Verbesserung bringt die Schaltung in Abbildung 82, welche eine Fehlerdiagnose ermöglicht, d. h. sie ist fehlersicher. Sie wird auch als „Hakenschaltung“ bezeichnet. Diese Schaltung enthält eine Kombination aus zwei gleichen Hilfsschützen (K1 und K2) mit überschneidenden Schaltgliedern, d. h. während der Überlappungszeit t_u haben die Öffnerkontakte und die Schließkontakte den gleichen Schaltzustand. Die in dem Diagramm eingezeichneten grauen Zonen weisen darauf hin, dass der jeweilige Kontakt geschlossen ist. Sowohl der Schließ- als auch der Öffnerkontakt sind während der Überlappungszeit geschlossen, d. h. die Relais haben keine zwangsgeführten Kontakte. Bei Relais mit zwangsgeführten Kontakten ist es durch bautechnische Maßnahmen nicht möglich, dass ein Schließkontakt und ein Öffnerkontakt gleichzeitig denselben Schaltzustand haben.

Wird die Befehls-gabe beendet, d. h. die Not-Halt Einrichtung B1 bzw. die Schutzeinrichtung B2 wird betätigt, und es

käme zum Versagen eines Hilfsschütz, so wird der sichere Zustand (Stillsetzbewegung) aufrecht gehalten, da das andere Hilfsschütz normal abgefallen ist. Bei einem Klebenbleiben des Schließkontaktes z. B. von K1 ist eine nachfolgende Ansteuerung der Kombination nicht mehr möglich, da der verlängerte Öffner von K2 und der Schließer von K1 zwar geschlossen, aber der verlängerte Öffner von K1 und der verlängerte Schließer von K2 geöffnet sind. Durch diese Schaltung werden zwei Sicherheitsfunktionen aufgebaut:

- Sicherheitsfunktion 1 (SF1): sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung und
- Sicherheitsfunktion 2 (SF2): sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils.

Da sich beide sicherheitsbezogenen Blockstrukturen für diese Sicherheitsfunktionen nur im Subsystem der Eingabe-einheit (Sensor), d. h. in den zu berücksichtigenden Schalt-tern, unterscheiden, wird nur die Blockstruktur der Sicherheitsfunktion 1 (SF1) dargestellt (Abbildung 83). Durch diese Schaltung kann jedoch nur ein Performance Level von maximal „c“ erreicht werden, da die Ausgabeeinheit, d. h. der Aktor „Leistungsschütz K3“, nur einkanalig aufgebaut wurde. Wegen der fehlenden Zwangsführung wird unter Umständen das Versagen einzelner Kontakte nicht erkannt. Der Diagnosedeckungsgrad von K1 und K2 wird dadurch weniger als 99% betragen. Das zweikanalige Subsystem der Logik, bestehend aus den Relais K1 und K2, würde einen Performance Level von maximal „d“ ermöglichen. Die Annahme eines Fehlerausschlusses für den Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen B2 wäre bis zu einem Performance Level von „d“ zulässig. Der Performance Level der gesamten Schaltung kann maximal so hoch sein wie der Performance Level des schlechtesten Subsystems und ist somit auf PL_c begrenzt.

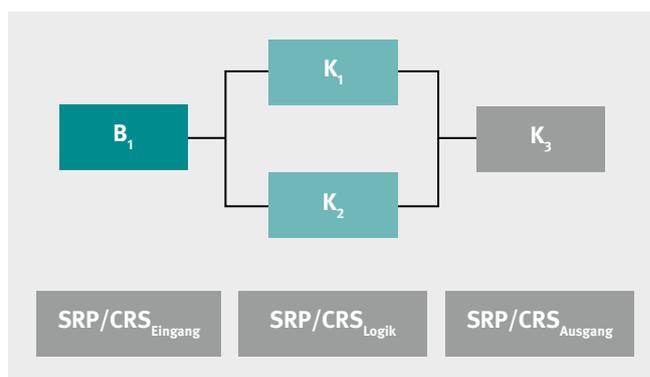


Abbildung 83: SF1: sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung „Hakenschaltung“

5.6.2.2 Kombinationsschaltung aus elektromechanischem Kanal und SPS-Kanal

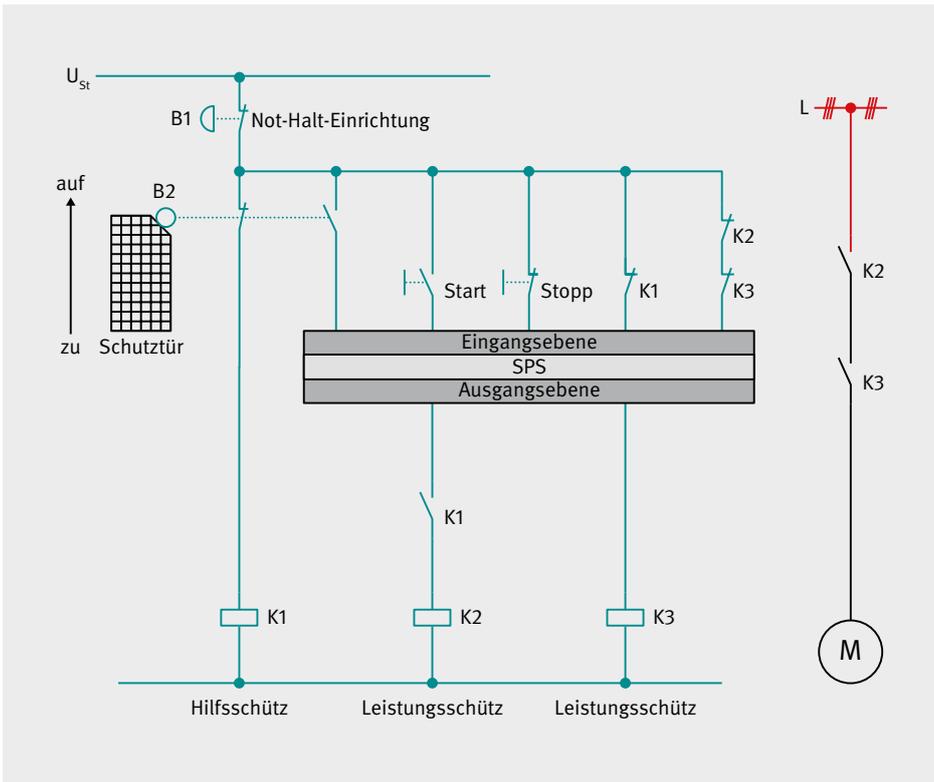


Abbildung 84: Schaltung, bestehend aus einem elektromechanischen Kanal und SPS-Kanal.

Eine zweikanalige Signalverarbeitung des Positionsschalters $B2$ durch die Steuerung zur Realisierung der Sicherheitsfunktionen ermöglicht, dass Fehler in der speicherprogrammierbaren Steuerung nicht zu einem Fehlverhalten des sicherheitsrelevanten Teils des Steuerungssystems führen. Der Positionsschalter $B2$ hat die Funktionen,

- die Information über Stellung des Schutzgitters über den Schließkontakt $B2_s$ an die SPS zu leiten sowie
- den Entzug des Spannungspotentials für das Hilfsschütz $K1$ über den Öffnerkontakt $B2_0$ und die Stillsetzbewegung durch Spannungsentzug von $K2$ einzuleiten.

Selbst ein beliebiger Fehler innerhalb der SPS, bei dem der Ausgang durchgeschaltet wird, kann nicht zum Fehlverhalten führen, da bei Öffnen der Schutzeinrichtung über den Öffnerkontakt des Positionsschalters $B2$ das Leistungsschütz $K2$ zusätzlich durch das Hilfsschütz $K1$ weggeschaltet wird. Somit wird über das Leistungsschütz $K2$ die Gefahr brin-

gende Bewegung bei geöffnetem Schutzgitter stillgesetzt. Durch das Rücklesen von Kontakten des Hilfsschützes $K1$ sowie der Leistungsschütze $K2$ und $K3$ in die SPS mit anschließender Plausibilitätsprüfung können Fehlerdiagnosen für diese Bauteile erfolgen. Es kann zum einen erkannt werden, ob eine Kontaktverschweißung vorliegt und zum anderen, ob ein Drahtbruch vorhanden ist. Wird einer der Fehler erkannt, wird die Gefahr bringende Bewegung über die SPS stillgesetzt. Das Sicherheitsniveau wird in dieser Schaltung durch eine diversitäre redundante Schaltungstechnik unter Verwendung einer Standard-SPS mit Sicherheitsverantwortung im ersten Kanal und elektromechanischen Bauteilen im zweiten Kanal erreicht.

Durch diese Schaltung werden zwei Sicherheitsfunktionen aufgebaut:

- Sicherheitsfunktion 1 (SF1): sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung und
- Sicherheitsfunktion 2 (SF2): sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils.

In den Abbildungen 85 und 86 sind die sicherheitsbezogenen Blockstrukturen dieser beiden Sicherheitsfunktionen veranschaulicht. An dieser Stelle sei angemerkt, dass auch andere Darstellungen der sicherheitsbezogenen Blockstrukturen für diese Sicherheitsfunktionen normativ zulässig sind.

Durch diese Schaltung kann ein maximaler Performance Level von „d“ für beide Sicherheitsfunktionen erreicht werden.

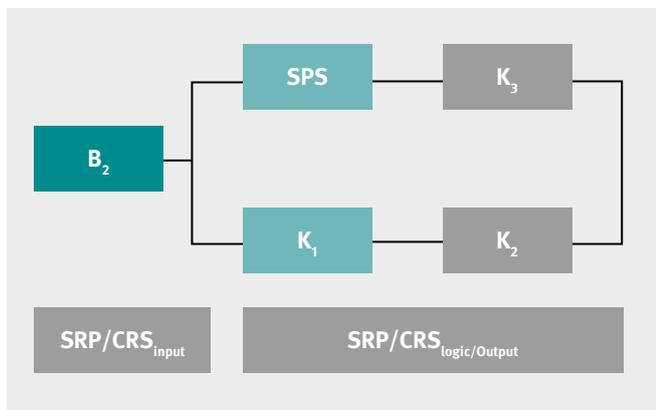


Abbildung 85: SF1: sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung

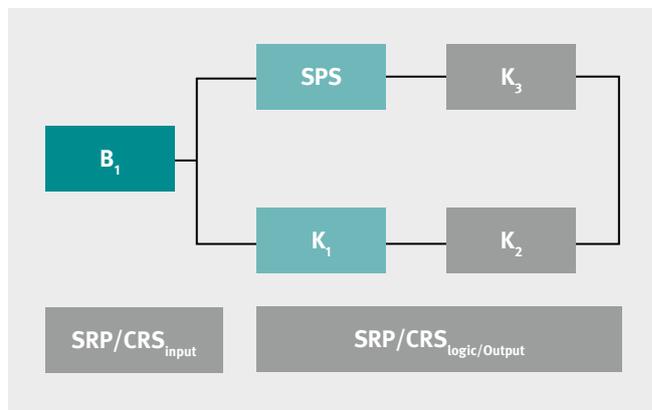


Abbildung 86: SF2: sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt-Stellteils

5.6.2.3 Zweihandschaltung

Bei dieser Schaltung wird die Gefahr bringende Bewegung durch die Leistungsschütze K4 und K5 eingeleitet. Die Gefahrstelle ist durch eine Zweihandschaltung und zusätzlich durch eine elektrisch verriegelte Schutzhaube gesichert.

Die Positionsabfrage der Schutzhaube erfolgt durch einen Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen B3. Ist die Schutzhaube geschlossen, besteht keine Zugriffsmög-

lichkeit zur Gefahrstelle und die Maschine kann anlaufen. Wird die elektrisch verriegelte Schutzhaube geöffnet, wird dem Hilfsschütz K1 das Potential entzogen und somit die Gefahr bringende Bewegung durch Entregeln der Leistungsschütze K4 zum Stillstand gebracht. Redundant wird über die Entkopplungsdiode in die SPS die Information eingelesen, dass die elektrisch verriegelte Schutzhaube geöffnet ist. Als Ergebnis wird zusätzlich durch die SPS die Ausgangsebene spannungsfrei geschaltet. Dies bedeutet, dass durch einen unabhängigen zweiten Kanal die Signalverarbeitung (SPS und K5) für diese Sicherheitsfunktion erfolgt. Die Entkopplungsdiode soll verhindern, dass ein Fehler in der Eingangsebene dazu führt, dass eine Abschaltung über das Hilfsrelais nicht durchgeführt wird. Funktionstechnisch ist es ggf. zu Einricht- und Wartungszwecken erforderlich, dass die Maschine bei geöffneter Schutzhaube bewegt werden muss. In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Gefährdung kann es erforderlich sein, dass die Bewegung nur mit einer Zweihandschaltung eingeleitet werden darf. An die Zweihandschaltungen sind spezielle Anforderungsmerkmale gestellt, die zum einen von der Häufigkeit

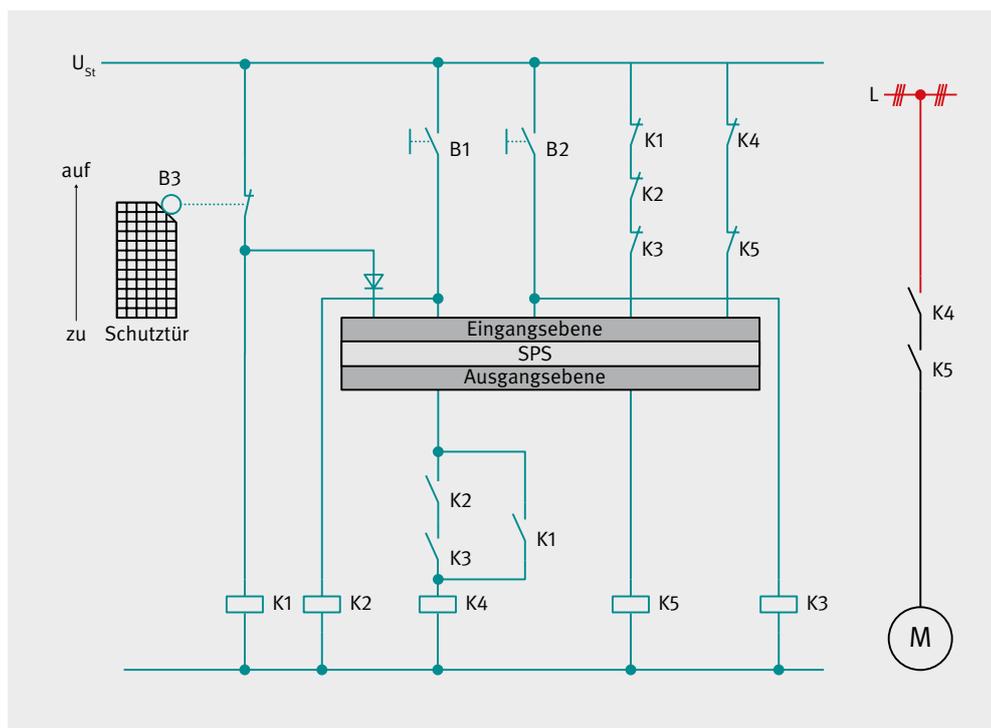


Abbildung 87: Zweihandschaltung

Die Entkopplungsdiode soll verhindern, dass ein Fehler in der Eingangsebene dazu führt, dass eine Abschaltung über das Hilfsrelais nicht durchgeführt wird. Funktionstechnisch ist es ggf. zu Einricht- und Wartungszwecken erforderlich, dass die Maschine bei geöffneter Schutzhaube bewegt werden muss. In Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Gefährdung kann es erforderlich sein, dass die Bewegung nur mit einer Zweihandschaltung eingeleitet werden darf. An die Zweihandschaltungen sind spezielle Anforderungsmerkmale gestellt, die zum einen von der Häufigkeit

des Zugriffs zur Gefahrenstelle und zum anderen von der verwendeten Technologie abhängig sind.

Bei Zweihandschaltungen entsprechend dem Typ III B der EN ISO 13851 darf das Erzeugen des Ausgangssignals (Einleitung der Gefahr bringenden Bewegung) nur durch synchrone Betätigung der Stellteile B1 und B2 möglich sein, d. h. die Stellteile müssen innerhalb einer Zeit von $< 0,5$ s betätigt werden. Wenn die beiden Stellteile nicht synchron betätigt werden, darf das Ausgangssignal nicht erzeugt werden. Weiterhin ist es erforderlich, dass beide Stellteile losgelassen werden müssen, bevor ein erneuter Start-Befehl gegeben werden kann. Ferner muss die Signalverarbeitung mindestens gemäß Performance Level d erfolgen.

Der Typ III B fordert weiterhin, dass für die Signalverarbeitung zwei Kontakte je Stellteil zur Auswertung verwendet werden müssen. Dieser Typ der Zweihandschaltung wird gefordert gemäß EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.8.3 für Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen ohne betriebsmäßig regelmäßigen Zugriff zur Gefahrenstelle. Aufgrund der Risikobeurteilung für diese Maschinen und der Tatsache, dass ein ständig geschlossener bzw. ständig offener Kontakt im Stellteil B1 oder im Stellteil B2 über die SPS erkannt wird und zur Abschaltung der Gefahr bringenden Bewegung vor dem nächsten Start-Befehl der Maschine führt, können bei diesen Maschinen, abweichend von den Forderungen des Typ III B der EN ISO 13851, Stellteile mit jeweils nur einem Kontakt eingesetzt werden.

Die Forderung nach synchroner Betätigung wird bei der dargestellten Schaltung durch die SPS erfüllt. Der Performance Level d kann durch eine Kombination von SPS und Relais (K2 und K4) erreicht werden.

Bei einem angenommenen Totalausfall der SPS (der Ausgang ist durchgeschaltet) wird die Gefahr bringende Bewegung einkanalig durch K1 über das Relais K2 gestoppt. Durch das Betätigen der Stellteile B1 und B2 würde dann über die Relais K2 und K4 die Gefahr bringende Bewegung eingeleitet, wobei in diesem Fehlerfall – als vertretbares Restrisiko – die Notwendigkeit der synchronen Betätigung verlorenght.

Durch diese Schaltung werden zwei Sicherheitsfunktionen aufgebaut:

- Sicherheitsfunktion 1 (SF1): Sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung und

- Sicherheitsfunktion 2 (SF2): Einrichtung mit selbstständiger Rückstellung (Zweihandschaltung).

In den Abbildungen 88 und 89 sind die sicherheitsbezogenen Blockstrukturen der beiden Sicherheitsfunktionen dargestellt.

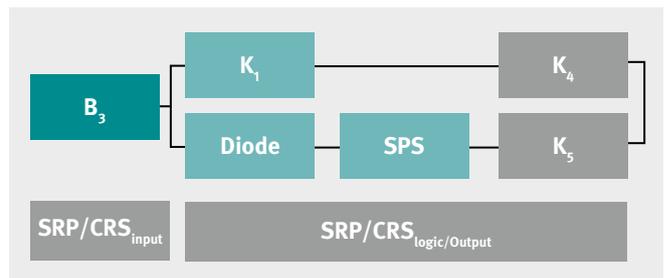


Abbildung 88: SF1: sicherer Stillstand durch das Öffnen einer verriegelten Schutzeinrichtung

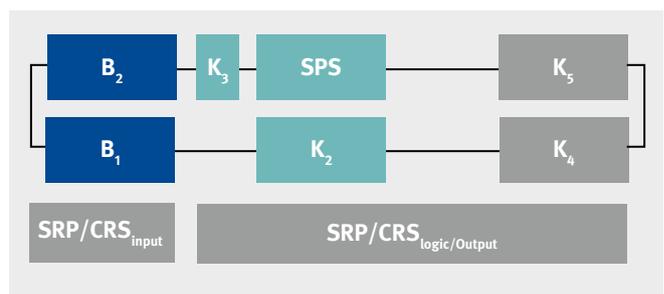


Abbildung 89: SF2: Einrichtung mit selbstständiger Rückstellung (Zweihandschaltung)

Durch diese Schaltung kann ein maximaler Performance Level von d für beide Sicherheitsfunktionen erreicht werden.

5.6.2.4 Muting

Bei Transportsystemen ist die Geometrie der zu transportierenden Gegenstände oft fest vorgegeben. Bei einer Palettenrollenbahn oder einem Kunststoffkettenförderer, aus dem Paletten mit Pappenstapeln transportiert werden, ist das nicht der Fall. In diesem Fall wird der seitliche Zugang in den Gefahrenbereich durch eine Umzäunung verhindert. Die Öffnung für den Ein- und Austransport der Paletten in bzw. aus dem Gefahrenbereich wird durch berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen mit Mutingfunktion gesichert. Häufig wird dieses Schutzsystem durch seitlich an den Öffnungen angeordnete, elektrisch verriegelte Pendelklappen ergänzt. Nachfolgend wird beispielhaft die schematische Einbindung eines Überbrückungssystems dargestellt, das den Ein- und Austransport durch die gleiche Öffnung im Schutzzaun gestattet.

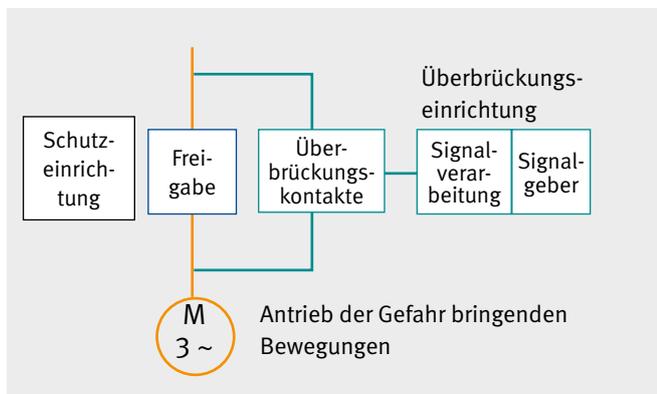


Abbildung 90: schematischer Aufbau eines Überbrückungssystems

Der Zugang zum Gefahrenbereich einer Maschine, z. B. Palettiermaschine, ist durch zwei Strahlen einer Sicherheitslichtschranke abgesichert (Anordnungshöhe der Lichtstrahlen 400 mm und 900 mm oberhalb der Zugangsebene), die beim Ansprechen die Maschine in den sicheren Zustand überführt. Während des Hineinfahrens bzw. Herausfahrens des Transportsystems in bzw. aus dem Gefahrenbereich wird die absichernd berührungslos wirkende Schutzeinrichtung zeitbegrenzt aufgehoben.

Die interne Steuerung der Sicherheitslichtschranke besitzt einen PFH_D -Wert viel kleiner als 10^{-6} Gefahr bringende Ausfälle pro Stunde. Die Überbrückung der Lichtschranke

während des Hineinfahrens des Transportsystems in den Detektionsbereich des Überwachungssystems erfolgt durch die Positionsschalter B1, B2 und B3, B4. Für das Überbrücken der Lichtschranke müssen jeweils zwei Positionsschalter verwendet werden, da die elektromechanischen Positionsschalter bei Verwendung zur Überbrückung der Lichtschranke nicht als Öffner, sondern als Schließer angeordnet werden. Ferner müssen die elektromechanischen Positionsschalter in Verbindung mit der Schutzeinrichtung geometrisch so angeordnet werden, dass während der Überbrückung keine zeitlichen bzw. geometrischen Lücken in der Sicherheitsfunktion auftreten.

Durch das Betätigen der Not-Halt-Einrichtung B5 wird die Gefahr bringende Bewegung sowohl durch die SPS als auch durch das Relais K1 durch Potentialzug der Leistungsschütze K4 und K5 weggeschaltet. Das Rücklesen der Öffnerkontakte der Hilfsrelais K1, K2 und K3 sowie der Leistungsschütze K4 und K5 dient zur Fehlerdiagnose. Während des Hineinfahrens bzw. Herausfahrens des Transportsystems in und aus dem überwachten Gefahrenbereich wird die Sicherheitslichtschranke durch das Anfahren der Positionsschalter B1, B2 und B3, B4 überbrückt. Die Auswertung der Positionsschalter erfolgt durch die parallel geschalteten Relais K2 und K3, deren Schließerkontakte den Ausgangskanal der Sicherheitslichtschranke überbrücken; sie verhindern damit, dass beim Durchfahren des Detektionsstrahls der Sicherheitslichtschranke durch

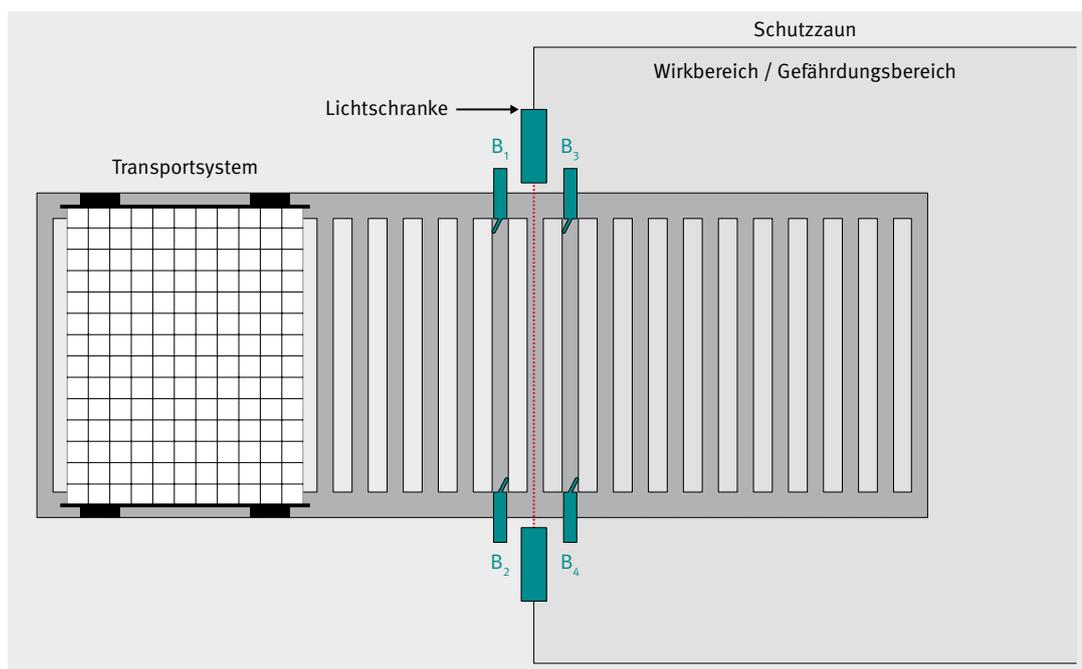


Abbildung 91: Muting der Lichtschranken

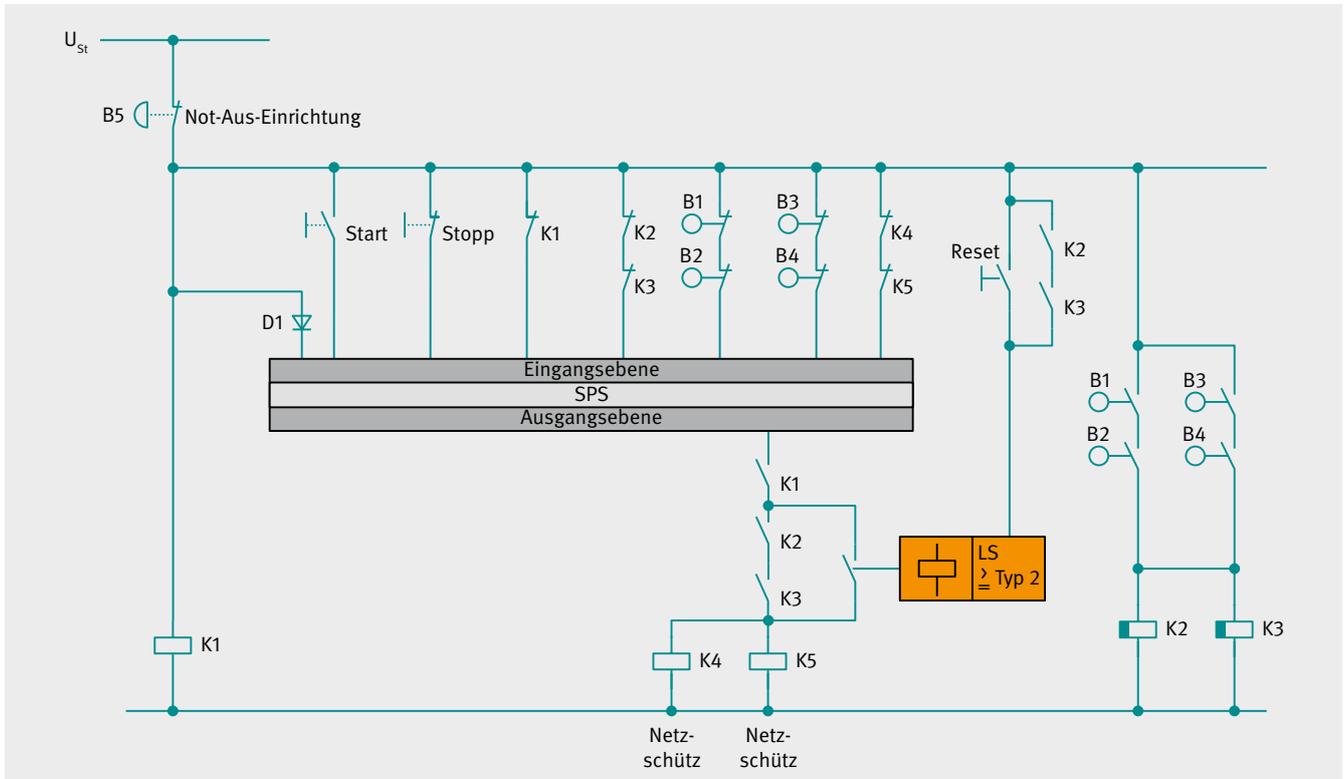


Abbildung 92: Muting-Prozess in zwei Bewegungsrichtungen

das Transportsystem die Bewegungen im überwachten Gefahrenbereich stillgesetzt werden.

Die Sicherheitslichtschranke ist mit einer Quittiereinrichtung „Reset“ ausgestattet, die nach jedem Ansprechen manuell betätigt werden muss. Während der Überbrückung durch den Muting-Prozess erfolgt das Quittieren prozessbedingt durch die Schließkontakte der Hilfsrelais K2 und K3, die parallel zum Quittiertaster „Reset“ geschaltet sind.

Durch diese Schaltung werden vier Sicherheitsfunktionen realisiert:

- Sicherheitsfunktion 1 (SF1): sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt-Stellteils,
- Sicherheitsfunktion 2 (SF2): sicherheitsbezogene Stoppfunktion, eingeleitet durch eine Sicherheitslichtschranke,
- Sicherheitsfunktion 3 (SF3): Mutingfunktion und
- Sicherheitsfunktion 4 (SF4): manuelle Rückstellfunktion der Sicherheitslichtschranke.

In den Abbildungen 93 bis 96 sind die sicherheitsbezogenen Blockstrukturen der vier Sicherheitsfunktionen dargestellt. Es sei nochmals angemerkt, dass auch

andere Darstellungen der sicherheitsbezogenen Blockstrukturen für diese Sicherheitsfunktionen normativ zulässig sind.

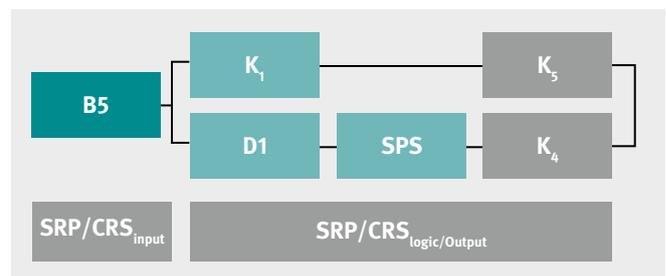


Abbildung 93: SF1: sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt Stellteils

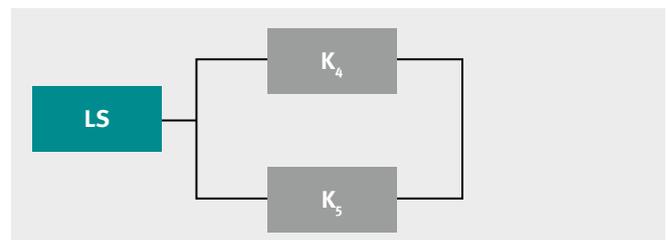


Abbildung 94: SF2: sicherheitsbezogene Stoppfunktion, eingeleitet durch eine Sicherheitslichtschranke

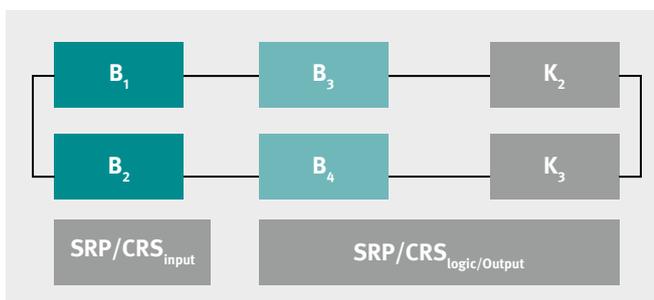


Abbildung 95: SF3: Mutingfunktion

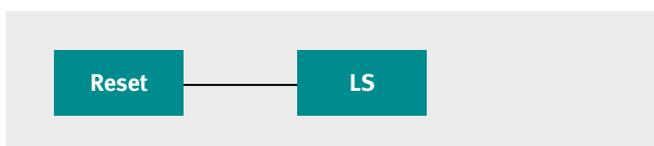


Abbildung 96: SF4: manuelle Rückstellfunktion der Sicherheitslichtschranke

Im nächsten Schaltungsbeispiel wird ein Mutingsystem vorgestellt, das nur den Eintransport von Paletten in den umzäunten Gefahrenbereich erlaubt. Der Austransport erfolgt in der Praxis durch eine zweite überwachte Öffnung in der Umzäunung. Der Öffnungsbereich ist wieder durch eine Sicherheitslichtschranke gesichert. Das Überbrücken der Sicherheitslichtschranke erfolgt ebenfalls, wie bereits oben beschrieben, durch zwei Positionsschalter.

Die Überbrückung erfolgt, wenn beide Positionsschalter S1 und S2 durch die Palette betätigt worden sind. Der Abstand der Positionsschalter sollte ca. einer Palettenlänge entsprechen, um eine Manipulation zu verhindern. Die Überbrückung der Sicherheitslichtschranke muss unmittelbar nach Passieren der Sicherheitslichtschranke wieder aufgehoben werden. Dies kann z. B. durch eine Zeitsteuerung erfolgen, die so abgestimmt ist, dass die Palette gerade in der vorgegebenen Zeit die Sicherheitslichtschranke passieren kann.

Die Überbrückung der Sicherheitslichtschranke durch zwei abfallverzögerte Relais, die dafür sorgen, dass der Auswertekanal der Lichtschranke erst nach Passieren der Palette wieder frei wird. Durch die SPS kann zur Fehlerdiagnose eine Plausibilitätsüberprüfung durchgeführt

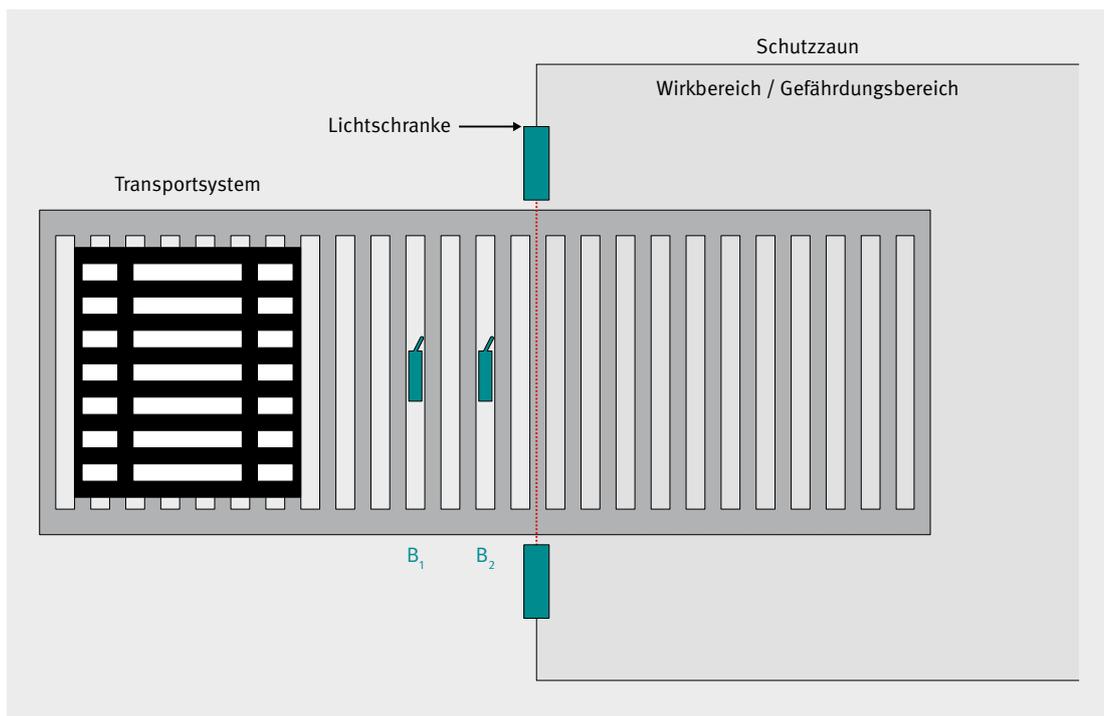


Abbildung 97: Muting einer Lichtschranke in einer Bewegungsrichtung

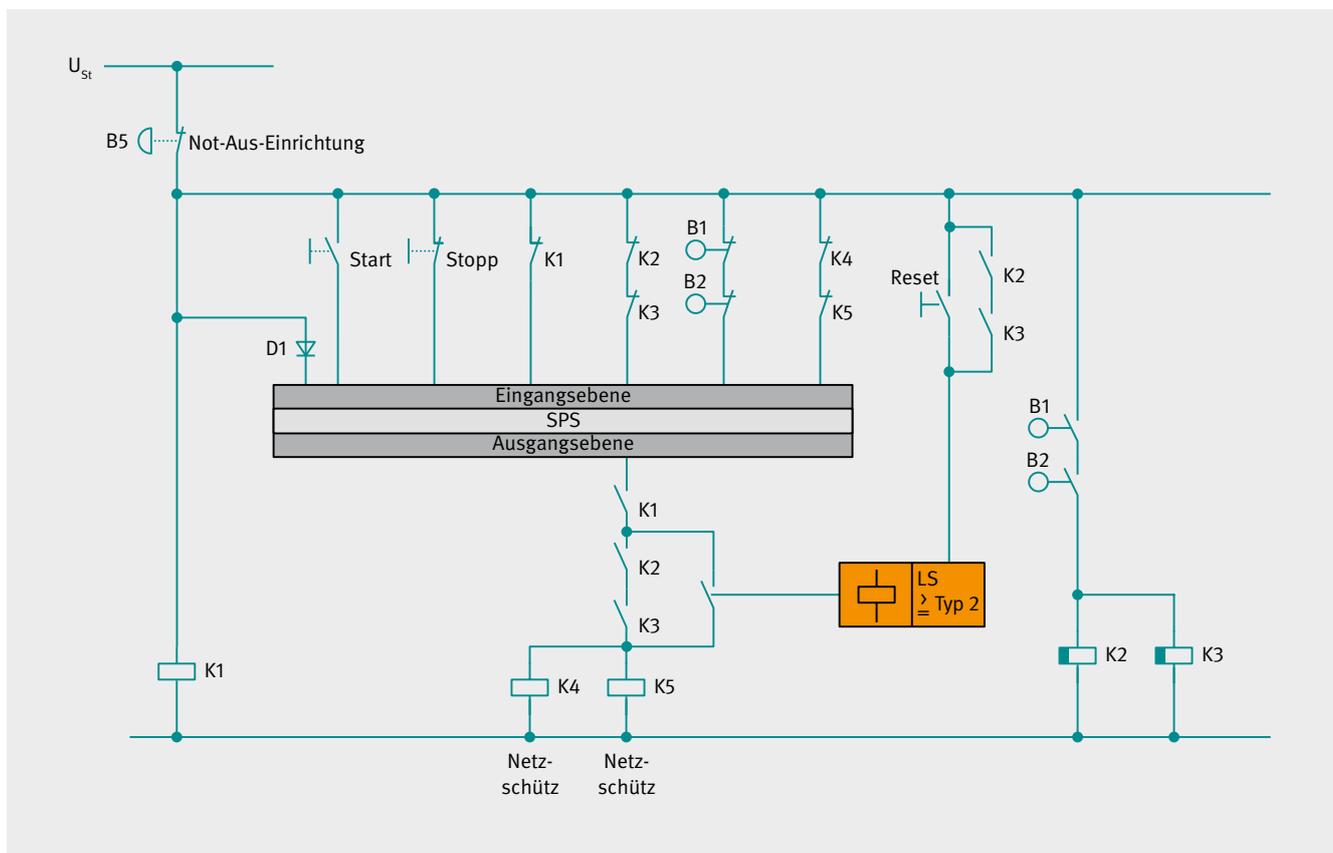


Abbildung 98: Muting-Prozess in einer Bewegungsrichtung

werden, ob die Überbrückung der Sicherheitslichtschranke während des Überbrückungsvorgangs innerhalb eines definierten Zeitrahmens liegt. Die Plausibilitätsüberprüfung stellt eine Maßnahme gegen das Manipulieren und das Versagen der Positionsschalter dar. Zur Fehlererkennung werden ebenfalls Kontakte der beiden Leistungsschütze K4 und K5 in die SPS zurückgelesen.

Durch diese Schaltung werden auch vier Sicherheitsfunktionen realisiert:

- Sicherheitsfunktion 1 (SF1): sicherer Stillstand durch das Betätigen eines Not-Halt-Stellteils,
- Sicherheitsfunktion 2 (SF2): sicherheitsbezogene Stoppfunktion, eingeleitet durch eine Sicherheitslichtschranke,
- Sicherheitsfunktion 3 (SF3): Mutingfunktion und
- Sicherheitsfunktion 4 (SF4): manuelle Rückstellfunktion der Sicherheitslichtschranke.

Auf eine Darstellung der sicherheitsbezogenen Blockstrukturen für die Sicherheitsfunktionen 1, 2 und 4 wird an dieser Stelle verzichtet, da diese mit denen im vorherigen Beispiel identisch sind. Die sicherheitsbezogene Blockstruktur für die Sicherheitsfunktion SF 3 ist in Abbildung 99 veranschaulicht.

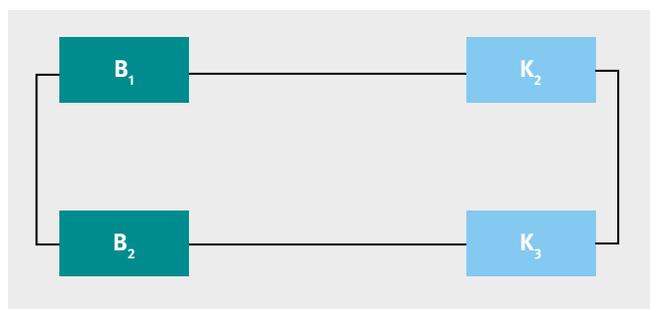
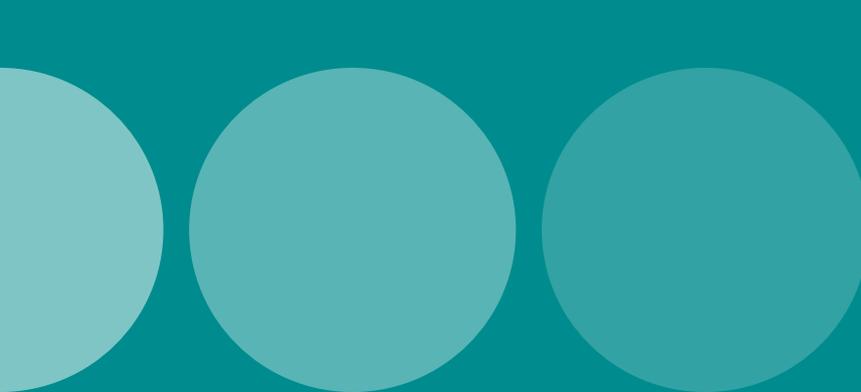
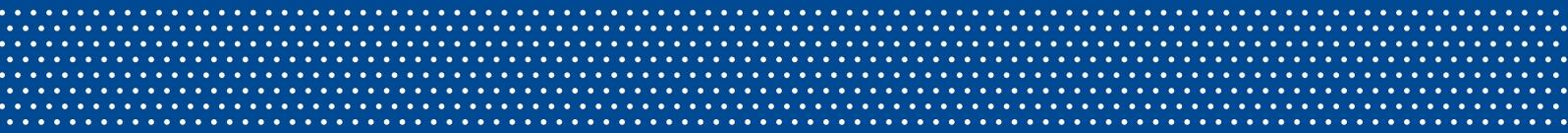


Abbildung 99: SF3: Mutingfunktion



6

Verifikation und Validierung

- 6.1 Allgemeine Anforderungen
 - 6.2 Validieren durch Prüfen/Testen
 - 6.3 Sicherheitsgerichtetes Stillsetzen
(Beispiel im Anhang E der EN ISO 13849-2)
- 

6.1 Allgemeine Anforderungen

Fakten

Der allgemeine Teil der EN ISO 13849-1 beschäftigt sich, wie dargestellt im Kapitel „Besondere Anforderungen an sicherheitsgerichtete Teile von Steuerungen – Teil 1: Gestaltung“, mit quantifizierbaren Maßnahmen, z. B. mit der Berechnung des Performance Levels unter Berücksichtigung der Architektur der Steuerung,

der Zuverlässigkeit der Bauteile und der Diagnosefähigkeit eines redundanten Steuerungssystems sowie mit nicht quantifizierbaren Maßnahmen, wie z. B. den Möglichkeiten, systematische Fehler beim Design sicherheitsrelevanter Software zu vermeiden.

Die Norm EN ISO 13 849-2 enthält für mechanische, pneumatische, hydraulische und elektronische Steuerungen Auflistungen von grundlegenden Sicherheitsprinzipien, bewährten Sicherheitsprinzipien, bewährten Bauteilen, Fehlererkennungsmöglichkeiten und Fehlerausschlüssen. Anhand der aufgezeigten Methodik sind die jeweiligen Sicherheitsfunktionen und deren Konformität mit den Sicherheitsanforderungen unter Beachtung der in EN ISO 13 849-1 genannten Auflistungen zu bewerten.

Als abschließenden Prozess der Risikominderung fordert die EN ISO 13 849-1 einen Validierungsnachweis darüber, dass die sicherheitsrelevanten Teile der Steuerung (SRP/CS) bei Anforderung der Sicherheitsfunktion(en) entsprechend ihrer definierten Spezifikation die gewünschten sicherheitsgerichteten Reaktionen ausführen. Durch Verifikation und Validierung soll der Nachweis erbracht werden, dass die Gestaltung der sicherheitsrelevanten Teile der Steuerung (SRP/CS) konform geht mit den Anforderungen der Maschinensicherheit.

Die Verifikation und die Validierung der sicherheitsrelevanten Teile von Steuerungen gewinnen zunehmend an Bedeutung, da der Komplexitätsgrad bei modernen Steuerungen stark zugenommen hat. So kommen heute hochkomplexe Steuerungen zum Einsatz, bei denen die Kommunikation von Prozessstelle zu Prozessstelle ausschließlich durch Bus- und Rechnersysteme erfolgt. Diese Systeme übernehmen bei Anforderung der Sicherheitsfunktion einen wesentlichen Teil der Risikoreduzierung.

Antriebs- und Steuerungssysteme werden komplexer

In der Vergangenheit war es relativ einfach, den Betriebszustand einer Maschine mit einer „mechanischen Welle“ – auch Königswelle genannt – zu beschreiben. So wurde die Antriebsleistung für den Prozess durch einen Antriebsmotor an die Maschine über Antriebswellen zugeführt und an die einzelnen Prozessstellen weitergegeben. Hingegen werden bei Maschinen mit einer „elektronischen Welle“ die einzelnen Komponenten jeweils durch Einzelmotoren direkt ange-



Bild 12

trieben, die auch Hilfsfunktionen übernehmen. Die Synchronisation von Prozessstelle zu Prozessstelle erfolgt ausschließlich durch die Übertragung der dazu notwendigen Steuersignale über elektronische Bussysteme. Damit besteht die Möglichkeit, die Antriebseinheiten beliebig miteinander zu koppeln. Somit können auch bei laufendem Prozess einzelne Antriebs Elemente abgebremst und beschleunigt bzw. ein- oder ausgeschaltet werden, um bei laufender Produktion Wartungs- und Einrichtarbeiten durchführen zu können. Mit der „elektronischen Welle“ haben die Einsatzmöglichkeiten von Maschinen und damit auch deren Flexibilität erheblich zugenommen. Aufgrund der hohen Komplexität des Produktionsprozesses kann eine kostengünstige Realisierung der notwendigen umfangreichen Funktionen nur auf Basis von modernen, rechnergestützten bzw. speicherprogrammierbaren Steuerungen erfolgen. Als Folge der Komplexität der modernen Antriebssysteme und Maschinensteuerungen hat sich die Wahrscheinlichkeit vergrößert, dass ein Fehler in der Steuerung zu unvorhergesehenen Betriebszuständen bzw. Gefahr bringenden Bewegungen führt. Dies gilt besonders dann, wenn bei geöffneter, verriegelter Schutzeinrichtung Einricht- bzw. Instandhaltungsarbeiten an Maschinen durchgeführt werden müssen. In diesen Fällen setzt sich der Bediener einer unmittelbaren Gefahr aus. Hier kann nur eine zusätzliche Sicherheit in der Steuerung das Risiko mindern.

Wichtige qualitätssichernde Maßnahmen

Umso wichtiger ist es, durch qualitätssichernde Maßnahmen Fehler im Entwicklungsprozess der Steuerungen zu verhindern. Teil 2 der Norm EN ISO 13849 beschäftigt sich intensiv mit der Verifikation und Validierung von Steuerungen, also mit Nachweisverfahren, die aufdecken, ob die spezifizierten Sicherheitsanforderungen an den sicherheitsrelevanten Teil der Maschinensteuerung erreicht wurden.

In Abbildung 100 ist der logische Ablauf von Verifikation und Validierung dargestellt, der durch den Designer der Steuerung zu berücksichtigen ist. In der Norm EN ISO 13849-2 wird bei redundanten Steuerungssystemen eine Testung unter Fehlerbedingungen gefordert, um nachzuweisen, dass bei Ausfall eines Kanals der redundante Kanal noch die gewünschte Funktion ausführen kann.

Der Nachweis, dass die sicherheitsbezogenen Teile der Steuerung und ihrer ausgeführten Sicherheitsfunktionen die Anforderungen der EN ISO 13849-1 erfüllen, sollte so früh wie möglich während der Entwicklung begonnen werden, sodass Fehler rechtzeitig erkannt und behoben werden können.

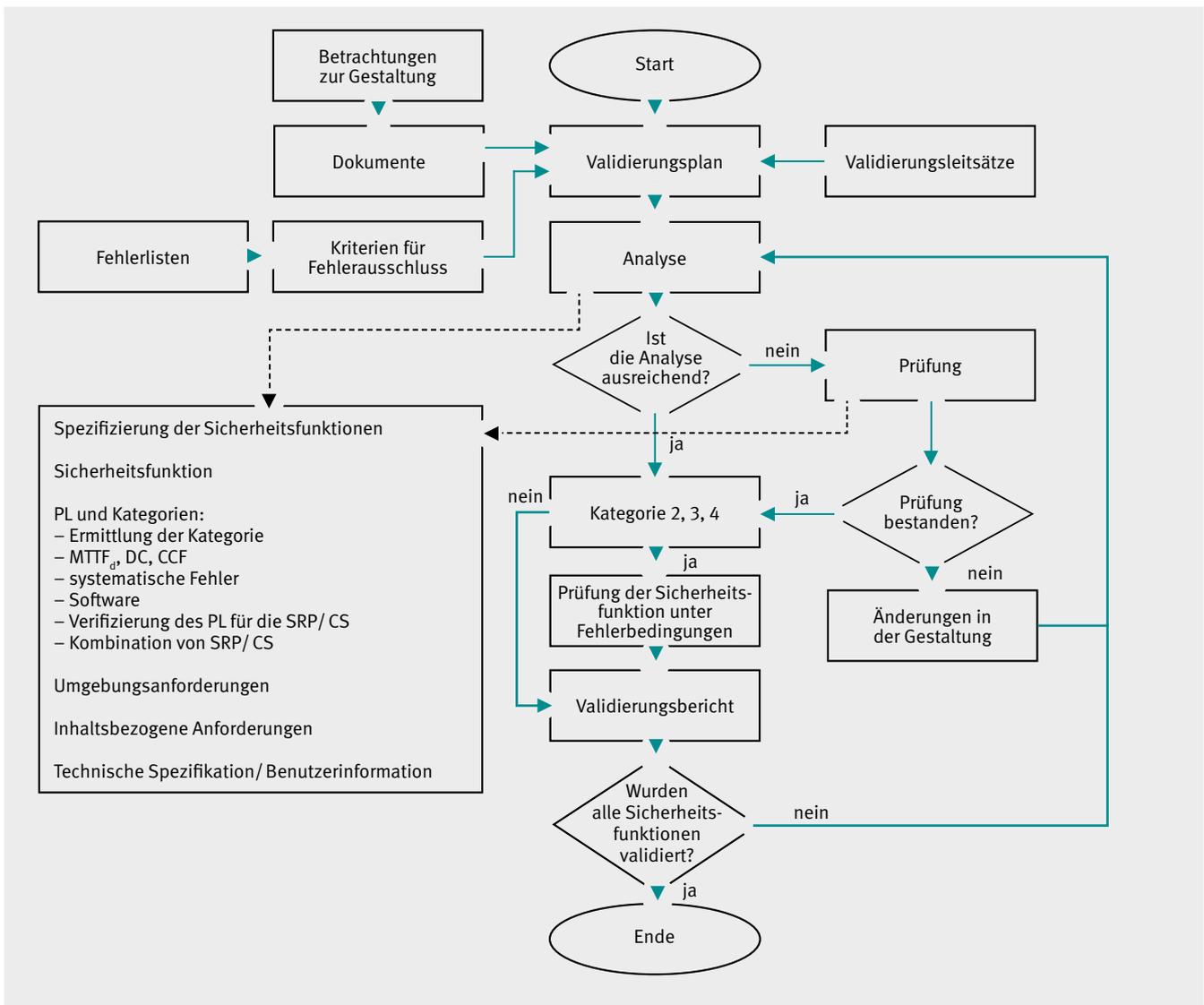


Abbildung 100: Ablauf der Validierung nach ISO 13849-2

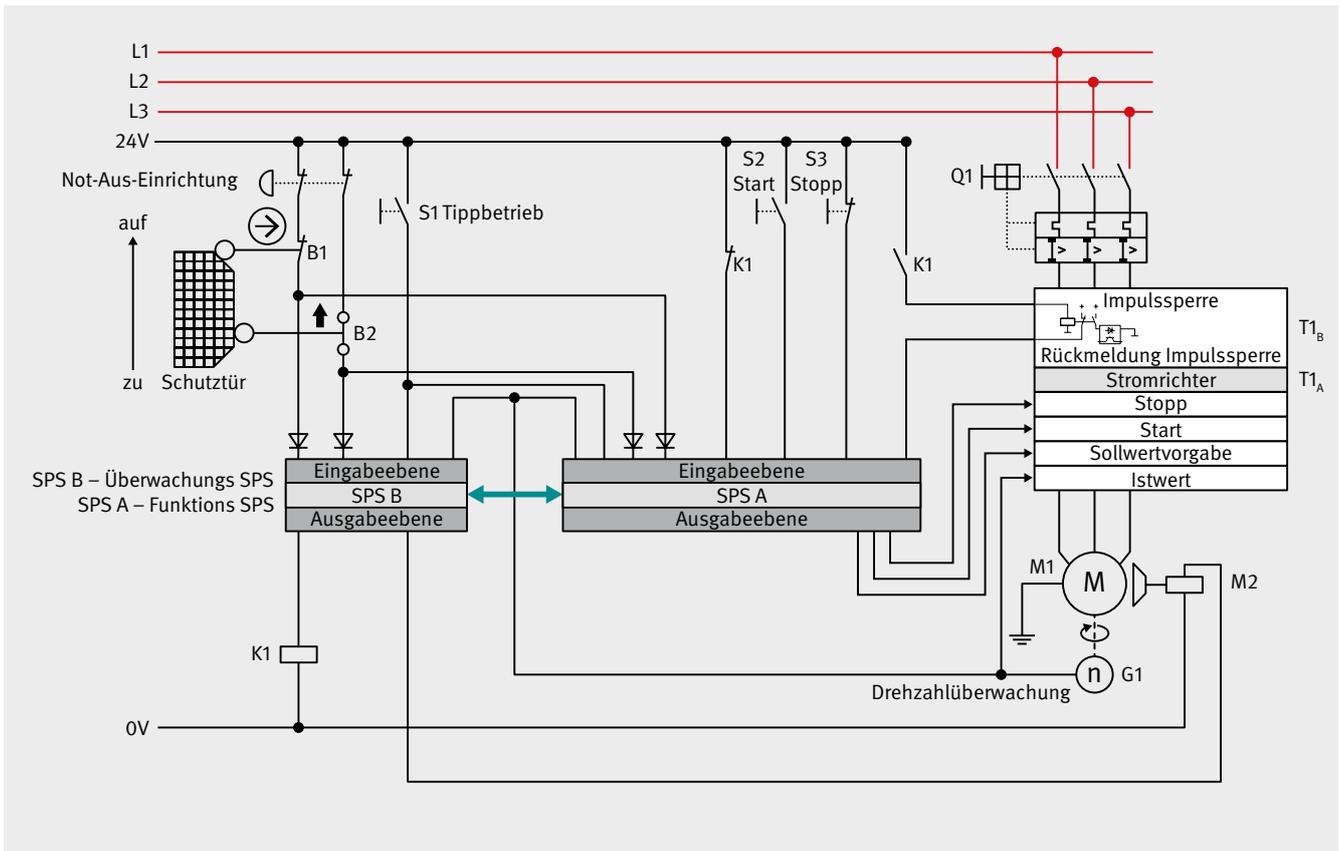


Abbildung 101: Elektrisches Funktionsschaltbild einer automatischen Montagemaschine (Beispiel aus EN ISO 13849-2)

6.2 Validieren durch Prüfen/Testen

Wenn die Validierung durch Analyse nicht ausreichend das Erreichen der festgelegten Sicherheitsfunktionen zeigt, müssen gezielt Prüfungen durchgeführt werden, um die Validierung zu vervollständigen. In der überarbeiteten Norm wird gefordert, dass bei redundanten Steuerungssystemen eine Validierung der Sicherheitsfunktion durch Prüfung/Testung durchzuführen ist. Die Prüfung/Testung von redundanten Architekturen nimmt im Validierungsablauf eine zentrale Stellung ein.

Vor Beginn der Prüfung muss ein Prüfplan erstellt werden, der Folgendes beinhaltet:

- die Prüfspezifikation,
- die zu erwartenden Ergebnisse der Prüfungen,
- die Testreihenfolge,
- die Erstellung der Prüfaufzeichnungen mit folgendem Inhalt:
 - Name des Prüfers
 - Umgebungsbedingungen

- Vorgehensweise bei der Prüfung und die benutzten Ausrüstungen
- Ergebnisse der Prüfungen.

Die Prüfaufzeichnungen müssen mit dem Prüfplan verglichen werden, um sicherzustellen, dass die festgelegten Funktions- und Leistungsziele erreicht werden.

Beispiel für die Validierung von Diagnosemaßnahmen

Die Norm EN ISO 13849-2 enthält ein Beispiel für die Validierung einer üblicherweise zum Einsatz kommenden redundanten Maschinensteuerung durch Prüfung/Testung. Das Beispiel wurde aufgenommen, um zu verdeutlichen, dass bei geforderter hoher Risikoreduzierung durch Sicherheitsfunktionen redundante Steuerungsstrukturen erforderlich sind. Das Beispiel soll darstellen, wie durch Testmaßnahmen der Validierungsnachweis erbracht werden kann, dass die Sicherheitsfunktion so realisiert ist, wie sie vom Designer der Steuerung vorgesehen war.

In Anhang E der EN ISO 13849-2 sind verschiedene Sicherheitsfunktionen berücksichtigt worden, wie z. B.:

- Sicherheitsgerichtetes Stillsetzen verschiedener Antriebe bei Öffnen der verriegelten Schutzeinrichtung

- Vermeidung des unerwarteten Anlauf bei geöffneter verriegelter Schutzeinrichtung
- Sicher reduzierte Geschwindigkeit
- Tippbetrieb mit sicher reduzierter Geschwindigkeit.

6.3 Sicherheitsgerichtetes Stillsetzen (Beispiel im Anhang E von EN ISO 13849-2)

Im Folgenden wird das normative Beispiel im Anhang E der EN ISO 13849-2 (siehe Abb. 101), bezogen auf die Sicherheitsfunktion „sicherheitsgerichtetes Stillsetzen“, erläutert. Das Beispiel beruht auf einer automatischen Montagemaschine mit manueller Bestückung und Entnahme von Werkstücken. Das Beispiel beruht auf einer Steuerung, die der Maschinenhersteller selbst konzipiert hat und entsprechend validieren muss.

Wenn – was sicherlich häufiger vorkommt – der Maschinenbauer eine funktionell gleiche oder ähnliche sicherheitsgerichtete Steuerung zukaufte, ist deren Hersteller für den großen Teil der notwendigen Validierungs- und Verifizierungsmaßnahmen verantwortlich. Die Erfüllung der Anforderungen würde dann bescheinigt durch die CE-Konformitätserklärung, die im Regelfall auf einer EG-Baumusterprüfung beruht. Der dann noch notwendige Validierungsaufwand würde sich für den Maschinenbauer wesentlich reduzieren. Verriegelte trennende Schutzeinrichtungen verhindern den Zugriff in den Gefahrenbereich. Beim Öffnen der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung erfolgt ein sicherheitsgerichtetes Stillsetzen des Antriebes. Ferner muss sichergestellt werden, dass ein unerwarteter Anlauf sicher verhindert ist.

Sobald die verriegelte trennende Schutzeinrichtung geöffnet wird, veranlasst Funktions-SPS (SPS A) ein Stillsetzen des Motors, indem ein Abschaltsignal an den Inverter ($T1_A$) übermittelt wird. Die Überwachungs-SPS (SPS B) überwacht das Absteuern des Motors. Wenn dieser den Stillstand erreicht, wird das Schütz K_1 abgeschaltet, um die Impulssperre am Inverter ($T1_B$) auszulösen. Sollte der Motor aufgrund eines Fehlers nicht anhalten, wird dies durch das Zurücklesen des Istwertgebers G_2 in die Überwachungs-SPS (SPS B) erkannt, welche ein zusätzliches Stillsetzen über den Inverter ($T1_B$) einleitet. Die Sicherheitsfunktion wird somit durch ein unabhängiges zweikanaliges System erreicht.

Die Vermeidung des unerwarteten Anlaufs wird durch die sichere Impulssperre erreicht. Solange sich die verriegelte, trennende Schutzeinrichtung in offener Stellung befindet, muss sichergestellt sein, dass ein Versagen des Freigabepfads der Funktions-SPS (SPS A) nicht zu einem ungesteuerten Anlaufen führt. Das lässt sich erreichen, indem die Überwachungs-SPS (SPS B) das Schütz K_1 abschaltet, sobald der Antrieb zum Stillstand gekommen ist und die Impulssperre während der gesamten Öffnungsphase der verriegelten Schutzeinrichtung aktiv geschaltet bleibt.

Das logische Blockschaltbild der Sicherheitsfunktion „sicherheitsgerichtetes Stillsetzen des Antriebsmotors“ kann durch Abbildung 102 beschrieben werden. Dabei werden alle Bauteile, die bei der Ausführung der Sicherheitsfunktion benötigt werden, als Blöcke dargestellt. Die Steuerungsstruktur kann durch die Kategorie 3 nach EN ISO 13849-1 sowohl für die Sensorik (Subsystem 1) als auch für den Logikteil/Aktorikteil (Subsystem 2) beschrieben werden.

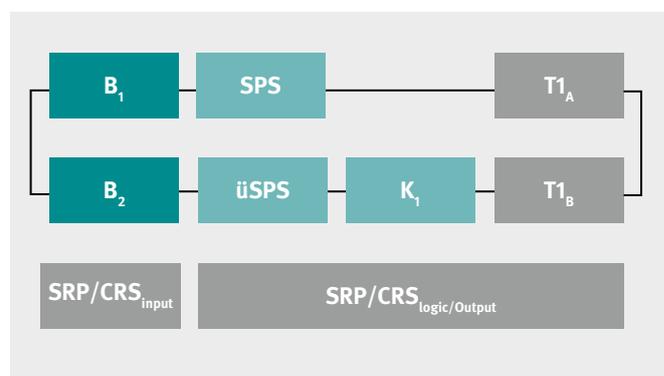


Abbildung 102: Blockschaltbild „sicherheitsgerichtetes Stillsetzen des Antriebsmotors“

Diagnosemaßnahmen

Der DC_{avg} ergibt sich für beide Kanäle der SRP/CS aus dem DC der internen Prüfung (Watchdog) und den Überwachungsmaßnahmen, die an den verschiedenen sicherheitsrelevanten Funktionen der Steuerung durchgeführt werden. Zum Zweck der Diagnose (Kreuzvergleich) und Synchronisierung kommunizieren die beiden Rechnersysteme über einen Standardbus. Eine Überprüfung der Plausibilität durch kreuzweisen Datenvergleich der Eingangssignale für die Schutzeinrichtungssensoren B1 und B2 nach EN ISO 13849-1, Anhang E ergibt einen hohen DC_{avg} (99 %) für die SRP/CS-Inputs.

Es werden folgende Diagnosemaßnahmen durchgeführt:

- direkte Überwachung der Lage der K1-Kontakte durch die Überwachung SPS (SPS B)
- kreuzweiser Vergleich zwischen SPS A und SPS B
- indirekte Überwachung von $T1_A$ und SPS A durch SPS B über Geber G1
- Überwachung des Programmablaufs durch einen internen Watchdog in SPS (SPS A und SPS B)
- Überwachung von $T1_B$ über die SPS (SPS A) durch die Stellungsüberwachung des Impulssperrrelais K1
- indirekte Überwachung der SPS (SPS B) durch die SPS (SPS A) über Stellungsüberwachung des Impulssperrrelais K1.

Durch die beschriebenen Diagnosemaßnahmen kann nach ISO 13849-1 ein DC von mindestens 90 % für das Subsystem SRP/CS Logik/Output bestimmt werden.

Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Mit einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) werden die DC-Werte, die jedem Bauteil SRP/CS durch die ausgeführten Überwachungsmaßnahmen zugewiesen wurden, sowie das Fehlverhalten des Systems überprüft. Bei der FMEA wird die Fehlerbetrachtung sowohl vor der Anforderung der Sicherheitsfunktion als auch während der Ausführung der Sicherheitsfunktion durchgeführt (in Tabelle 1 und Tabelle 2 [Quelle: E.2 der ISO 13849-2]).

In den nachfolgenden Tabellen wird beispielhaft dargestellt, durch welche Fehler ein sicherheitsrelevantes Bauteil ausfallen kann (möglicher Ausfall) und durch welche sicherheitstechnischen Maßnahmen der Fehler erkannt werden kann (Fehlererkennung). Wird ein Fehler erkannt, muss eine sicherheitsgerichtete Maßnahme eingeleitet werden. Dies ist in der Spalte „Wirkung/Reaktion“ beschrieben. In der Spalte „Prüfungen zur Bestätigung“ sind die durchzuführenden Tätigkeiten zum erfolgreichen Nachweis der Validierung durch Testung beschrieben.



Bild 13

FMEA UND ABSCHÄTZUNG DES DC-WERTES FÜR BAUTEILE DER SENSORIK, FÜR SF 1.0

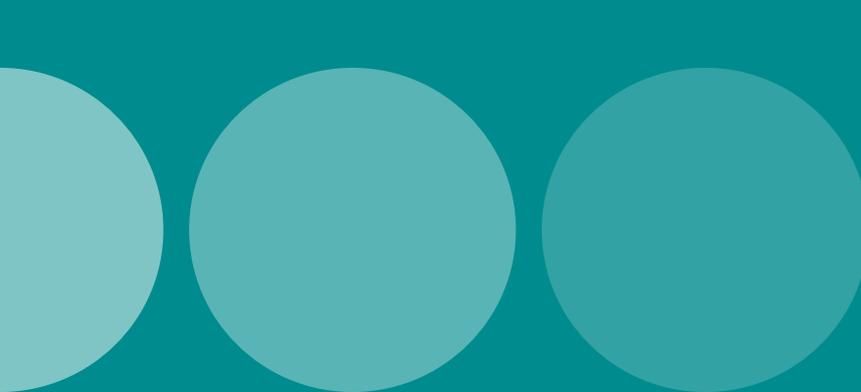
Bauteil/Einheit	Möglicher Ausfall	Fehlererkennung	Wirkung/Reaktion	Prüfungen zur Bestätigung
F1 Verriegelungs- schalter B1	Der Kontakt öffnet sich nicht, wenn die Schutzeinrichtung geöffnet wird (mechanische Fehler). ^a	Ein Fehler wird unabhängig von PLC A und PLC B erkannt durch eine Signaländerung in B2, wenn die Sicherheitsfunktion angefordert wird (Öffnen der Schutzeinrichtung, Plausibilitätsprüfung).	Der Elektromotor M1 wird über T1a durch die PLC A und über K1 und T1b durch PLC B abgeschaltet und ein Wiederanlauf wird verhindert.	Am entsprechenden Eingang beider PLCs muss vor Öffnen der Schutzeinrichtung ein statischer High-Pegel angelegt werden.
F2	Kein gefährlicher Fehler, während die Schutzeinrichtung offen ist (Fehlerausschluss).	–	–	–
Eine Plausibilitätsprüfung von B1 und B2 durch PLC A und PLC B ergibt einen DC-Wert von 99 % für B1 (siehe ISO 13849-1, Tabelle E.1)				
F3 Verriegelungs- schalter B2	Der Kontakt öffnet sich nicht, wenn die Schutzeinrichtung geöffnet wird (elektrische oder mechanische Fehler).	Ein Fehler wird unabhängig von PLC A und PLC B erkannt durch eine Signaländerung in B1, wenn die Sicherheitsfunktion angefordert wird (Öffnen der Schutzeinrichtung, Plausibilitätsprüfung).	Der Elektromotor M1 wird über T1a durch die PLC A und über K1 und T1b durch die PLC B abgeschaltet und ein Wiederanlauf wird verhindert.	Am entsprechenden Eingang beider PLCs muss vor Öffnen der Schutzeinrichtung ein statischer High-Pegel angelegt werden.
F4	Spontanes Schließen des Kontaktes, während die Schutzeinrichtung offen ist (mechanische Fehler).	Ein Fehler wird unabhängig und sofort von PLC A und PLC B erkannt, da es keine entsprechende Signaländerung in B1 gibt.	Der Elektromotor M1 wird über T1a durch die PLC A und über K1 und T1b durch die PLC B abgeschaltet und ein Wiederanlauf wird verhindert.	Am entsprechenden Eingang beider PLCs muss ein statischer High-Pegel angeschlossen werden, während die Schutzeinrichtung geöffnet ist.
Eine Plausibilitätsprüfung von B1 und B2 durch PLC A und PLC B ergibt einen DC-Wert von 99 % für B2 (siehe ISO 13849-1:2006; Tabelle E.1).				
Anmerkung	Leiter werden nicht in die Fehleranalyse einbezogen, da davon ausgegangen wird, dass sie nur aufgrund systematischer Ursachen ausfallen.			
a: Elektrische Fehler können ausgeschlossen werden, da B1 über einen direkten Ansteuerungsmodus verfügt (siehe IEC: 60947-5-1:2003, Anhang K).				

Tabelle 25

Als Ergebnis der Analyse kann festgestellt werden, dass alle Einzelfehler in den SRP/CS Input entweder sofort oder bei der nächsten Anforderung der Sicherheitsfunktion erkannt werden. Wenn ein Einzelfehler auftritt, wird die Sicherheitsfunktion immer ausgeführt und ein Wiederanlauf verhindert.

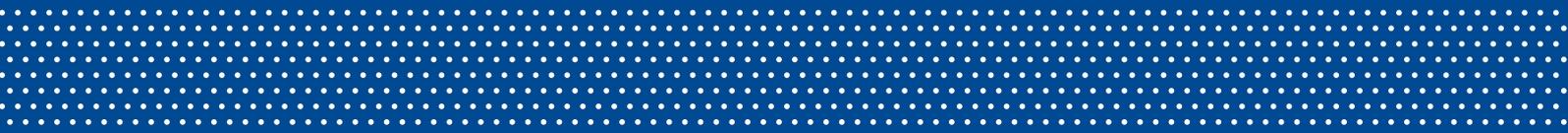
Diese Eigenschaften sind typisch für Kategorie 3, die bei der Gestaltung ausgewählt wurde, um die in der Spezifikation angegebene Festlegung der Anforderungen an die Sicherheitsfunktionen zu erfüllen.

Um die ordnungsgemäße Durchführung der Diagnosemaßnahmen zu überprüfen, können die in der Spalte „Prüfungen zur Bestätigung“ beschriebenen Prüfmaßnahmen durchgeführt werden.



7

Verriegelungseinrichtungen

- 7.1 Verriegelungseinrichtungen ohne Zuhaltung
 - 7.2 Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung
 - 7.3 Bauarten von Verriegelungseinrichtungen
 - 7.4 Positionsschalter mit Sicherheitsfunktion (Sicherheitsschalter)
 - 7.5 Anwendungsbeispiele
 - 7.6 Verriegelungstechnik
- 

Verriegelungseinrichtungen

Fakten

Festlegungen zur Auswahl und Gestaltung von Verriegelungseinrichtungen werden in der Europäischen Norm EN ISO 14119 getroffen. Hilfreich für den Konstrukteur

sind auch die Informationen der Broschüre „Auswahl und Anbringung von Verriegelungseinrichtungen“ (DGUV Information 203-079).

Verriegelungseinrichtungen werden häufig eingesetzt, um Personen im Wirkungsbereich von technischen Arbeitsmitteln vor Gefahr bringenden Bewegungen zu schützen. Unter Verriegelungseinrichtungen werden Einrichtungen verstanden, deren Zweck es ist, den Betrieb eines Maschinenelementes zu unterbinden. Diese Einrichtungen können z. B. elektrisch oder mechanisch betätigt werden. Die Unterbrechung des Maschinenbetriebes ist dabei an Bedingungen geknüpft, z. B. solange eine trennende Schutzeinrichtung nicht geschlossen ist. Es werden grundsätzlich zwei Arten von Verriegelungseinrichtungen unterschieden:

- Verriegelungseinrichtungen ohne Zuhaltung und
- Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung.

Die Signalverarbeitungskette einer Verriegelung besteht aus:

- Schutzeinrichtung mit Betätiger oder Betätigungsteil (z. B. Kurvenscheibe), wie z. B. Verkleidung, Verdeckung, Umzäunung,
- Positionsschalter oder Näherungsschalter für Sicherheitsfunktionen,
- sicherheitsrelevante Teile der Steuerung (z. B. Überwachungsgerät) und
- Antriebsaggregat (z. B. Antriebsregler, Elektromotor, elektrische Ventile).

In Abhängigkeit von ihrer Funktion können Verriegelungseinrichtungen in drei Arten eingeteilt werden.



DGUV Information 203-079 „Auswahl und Anbringung von Verriegelungseinrichtungen“

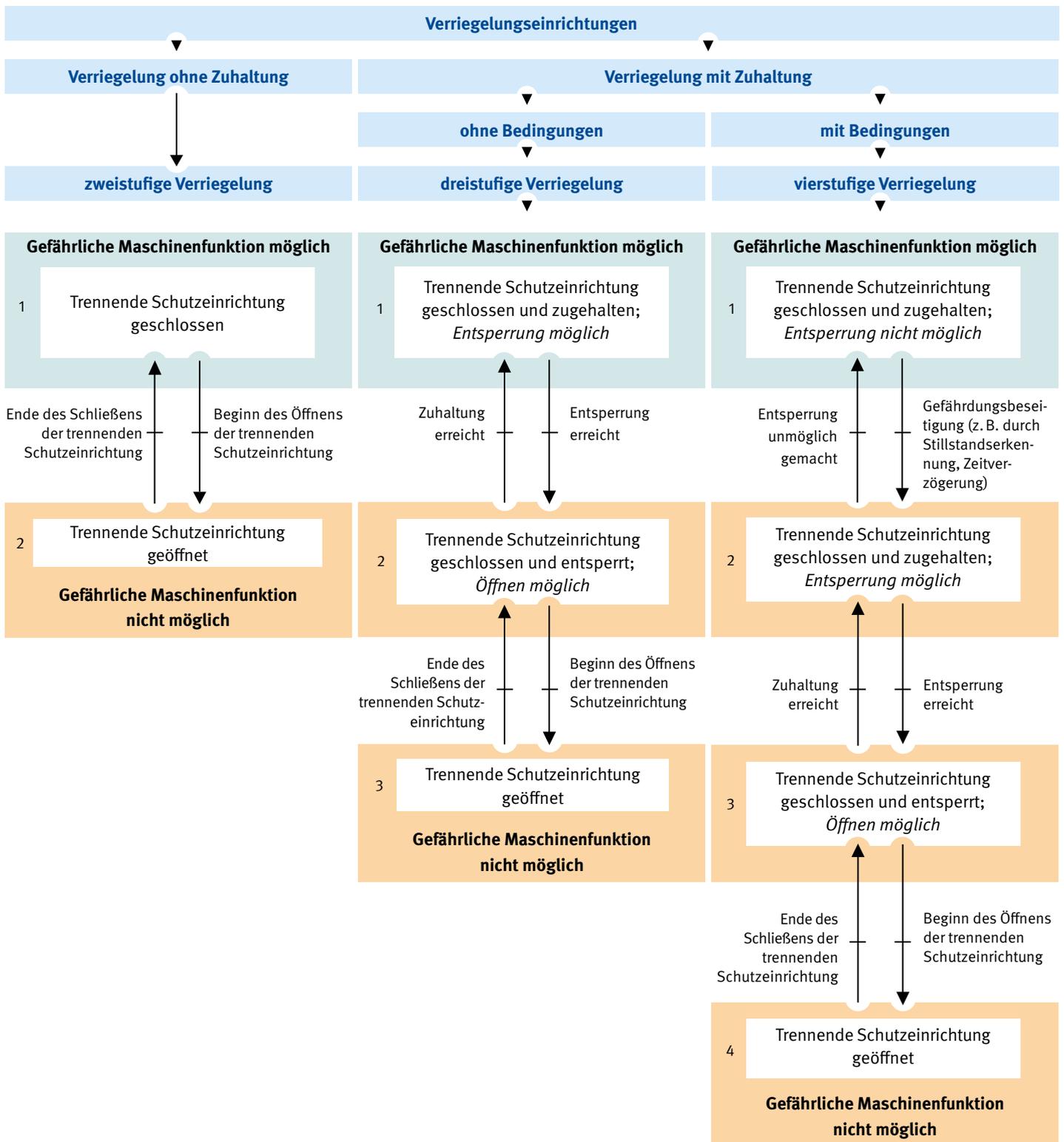


Abbildung 103: Arten von Verriegelungseinrichtungen

7.1 Verriegelungseinrichtungen ohne Zuhaltung

Bei Verriegelungseinrichtungen ohne Zuhaltung kann die trennende Schutzeinrichtung zu jedem Zeitpunkt geöffnet werden, unabhängig von der Funktion der Maschine. Wird die Schutzeinrichtung geöffnet, so bewirkt die Verriegelungseinrichtung einen sicherheitsgerichteten Stoppbefehl.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Zeit bis zum Erreichen der Gefahrstelle größer sein muss als der Nachlauf des gesamten Systems. Hierzu wurden bereits Hinweise im Abschnitt „Steuerungen“ dieser Broschüre gegeben.



Bild 14: Verriegelungseinrichtung ohne Zuhaltung

7.2 Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung

Bei einer Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung verhindert die Zuhaltung das Öffnen der Schutzeinrichtung, wenn nicht alle Gefahr bringenden Bewegungen im Gefahrenbereich gestoppt sind.

Die Zuhaltung kann auf folgende Weisen realisiert werden:

- **Entsperrung ohne Bedingung:**
Ein Entsperrern der trennenden Schutzeinrichtung ist jederzeit durch den Bediener möglich; der Start der Entsperrung, z. B. realisiert durch das Drehen eines Sperrbolzens mit Feingewinde, bewirkt einen Stoppbefehl für die Antriebe.

Die Zeit, die benötigt wird, um die trennende Schutzeinrichtung manuell zu entriegeln, muss größer sein als die Zeit, die für den Stillstand der Gefahr bringenden Bewegungen notwendig ist.

Das „Entsperrern ohne Bedingungen“ kommt bei der Konstruktion von Maschinen des Drucks und der Papierverarbeitung nur sehr selten zur Anwendung.

- **Entsperrung mit Bedingung:**
Ein Entsperrern der trennenden Schutzeinrichtung ist erst möglich, wenn die gefährlichen Maschinenfunktionen beendet sind.

Diese Stillstandsbedingung wird häufig realisiert durch

- ein festgelegtes Zeitintervall zwischen dem Stoppbefehl für die Antriebe und der Entsperrung oder
- eine Geschwindigkeitsüberwachung, die eine Entsperrung beim Stillstand der Antriebe zur Folge hat.



Bild 15: Verriegelungseinrichtung mit Zuhaltung (Entsperrung mit Bedingung)

Zuhaltungselemente (z. B. Riegel), die zum Arretieren der trennenden Schutzeinrichtung benutzt werden, sollen vorzugsweise

- durch Federkraft die Arretierung bewirken und durch „Energie EIN“ die Arretierung lösen oder
- durch „Energie EIN“ die Arretierung bewirken und durch erneutes „Energie EIN“ die Arretierung lösen.

Wird eines dieser empfohlenen Zuhalteprinzipien verwendet, so ist eine Notentriegelung an dieser Schutzeinrichtung vorzusehen.

Die Auswahl des verwendeten Zuhalteprinzips hängt letztlich aber von der Risikobeurteilung ab. Das Zuhalteprinzip, „Energie EIN“ führt zur Arretierung und „Energie AUS“ ermöglicht das federbetätigte Öffnen des Zuhalteelements, ist also nicht verboten. Bei diesem Zuhalteprinzip führt ein Energieausfall zum Öffnen der Zuhaltung.

Neben den genannten drei mechanischen Zuhalteprinzipien kann auch eine elektromagnetische Zuhaltung verwendet werden. Während bei den mechanischen Zuhalteprinzipien eine formschlüssige Arretierung der Schutzeinrichtung bewirkt wird, erfolgt die Arretierung bei der elektromagnetischen Zuhaltung kraftschlüssig.

Ein Energieausfall führt auch hier zum Öffnen der Zuhaltung.

Es stellt sich die Frage, wie groß die erforderliche magnetische Zuhaltkraft sein muss, um einen ausreichenden Schutz durch die elektromagnetische Zuhaltung zu erreichen. Antworten liefert der Anhang I der EN 14119. Die minimale Zuhaltkraft für eine Schutztür, die einhändig horizontal geöffnet wird (z. B. eine Schiebetür), beträgt 700N. Wird die Schutzeinrichtung einhändig vertikal geöffnet (z. B. eine Schutzhaube), so wird als minimale Zuhaltkraft 1200N angegeben. Ein gewaltsames Öffnen der elektromagnetischen Zuhaltung muss dazu führen, dass ein Neustart der Gefahr bringenden Bewegung erst nach einer minimalen Verzögerungszeit von 10 Minuten möglich ist.

Manuelles Entsperrn der Zuhaltung

Im Anschluss werden kurz die manuellen Entsperrungen gegenübergestellt. Sie sind auf der Grundlage der Risikobeurteilung je nach Anwendungsfall auszuwählen und zu realisieren.

MANUELLE ENTPERRUNGEN

Anforderung	Fluchtent- sperrung der Zuhaltung	Notentsperrung der Zuhaltung	Hilfsent- sperrung der Zuhaltung
Entsperrung muss einen Stoppbefehl erzeugen	x	x	x
Entsperrung der Zuhaltung ohne Hilfe	x	x	
Entsperrmittel muss von Hand zu betätigen sein und direkt auf das Wirkprinzip des Zuhaltungsmechanismus wirken	x	x	
Entsperrung der Zuhaltung mit Werkzeug oder Schlüssel			x
Entsperrung muss vor unbeabsichtigter Betätigung geschützt sein (z. B. geschützt durch Plomben, Schutzanstriche)			x
In der Betriebsanleitung muss ein Hinweis enthalten sein, dass vor der Wiederaufnahme des Normalbetriebs der Schutz wiederhergestellt werden muss!			x
Entsperrung erfolgt aus dem geschützten Bereich heraus (von innen)	x		
Entsperrung <i>darf nur</i> aus dem Inneren des geschützten Bereiches zugänglich sein	x		
Entsperrung erfolgt außerhalb des geschützten Bereiches		x	x
Zurücksetzen der Entsperrung darf nur durch ein Werkzeug möglich sein (aber auch durch die Steuerung realisierbar)		x	x
Entsperrung muss unabhängig vom Betriebszustand auf einfache Weise möglich sein	x	x	x
Entsperren führt zu einer Sperrung des Zuhalttemittels im entsperrten Zustand		x	

Tabelle 26

7.3 Bauarten von Verriegelungseinrichtungen

Normativ werden vier Bauarten von Verriegelungseinrichtungen unterschieden:

Betätigungsprinzip		Betätigungselement (Beispiele)		Abkürzung	
mechanisch	Kontakt (Form), Kraft	unkodiert	Kurvenscheibe	Bauart 1	
			lineare Nocken		
		kodiert	Scharnier	Bauart 2	
			Zunge (geformtes Betätigungselement)		
berührungslos	induktiv	unkodiert	geeignete Eisenmetalle	Bauart 3	
			magnetisch		Magnet, Elektromagnet
			kapazitiv		jedes geeignete Objekt
			ultraschall		jedes geeignete Objekt
	optisch	kodiert	jedes geeignete Objekt	Bauart 4	
			optisch		jedes geeignete Objekt
			magnetisch		kodierter Magnet
			RFID		kodierter RFID-Transponder (Identifizierung durch elektromagnetische Wellen: Langwelle ab 125 kHz bis SHF 5,8 GHz)
	optisch		optisch kodierter Transponder		

Nach EN ISO 14119 zulässig, aber nicht zu empfehlen!

Tabelle 27

Die Bauart-1- und Bauart-2-Verriegelungseinrichtungen verwenden elektromechanische Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen.



Bild 16: Bauart-1-Verriegelungseinrichtung

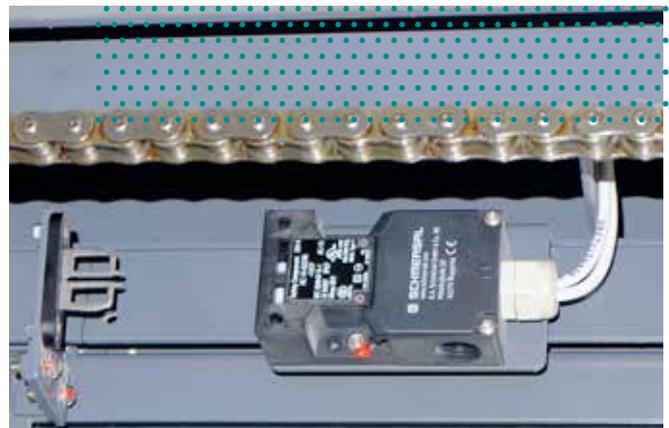


Bild 17: Bauart-2-Verriegelungseinrichtung

**MAßNAHMEN GEGEN DAS UMGEHEN EINER VERRIEGELUNGSEINRICHTUNG
„AUF EINE VERNÜFTIGERWEISE VORHERSEHBARE ART“ GEMÄß EN 14119**

Grundsätze und Maßnahmen	Bauart 1-Verriegelungseinrichtung (außer scharnierbetätigte) und Bauart 3-Verriegelungseinrichtungen	Bauart 1-Verriegelungseinrichtung (nur scharnierbetätigte)	Bauart 2- und Bauart 4-Verriegelungseinrichtung mit niedriger (1 bis 9 Kodierungen) oder mittlerer Kodierungsstufe (10 bis 999 Kodierungen nach 7.2 b) 1 oder 2)) mit oder ohne elektromagnetische(r) Zuhaltung	Bauart 2- und Bauart 4-Verriegelungseinrichtung mit hoher Kodierungsstufe (> 1000 Kodierungen nach 7.2 b) 3)) sowie mit oder ohne elektromagnetische(r) Zuhaltung
Anbringen außer Reichweite (7.2 a) 1))	Die Anwendung mindestens einer der Maßnahmen ist vorgeschrieben		Die Anwendung mindestens einer der Maßnahmen ist vorgeschrieben	
Absperrung/Ab-schirmung (7.2 a) 2))				
Anbringung in versteckter Position (7.2 a) 3))				
Zustandsüberwachung oder periodische Prüfung (7.2 d) 1) i) und ii))				
Nicht-lösbbare Befestigung von Positionsschalter und Nocken (7.2 c))				
Nicht-lösbbare Befestigung des Positionsschalters (7.2 c))		Maßnahme anwenden		
Nicht-lösbbare Befestigung des Betätigungselements oder des Nockens (7.2 c) (z. B. Schweißen, Kleben, Einwegschrauben, Nieten)		Maßnahme anwenden		
Zusätzliche Positionsab-tastung und Plausibilitätsprüfung (7.2 d) 2))	Empfohlene Zusatzmaßnahme		Empfohlene Zusatzmaßnahme	

Abhängig von der Risikobewertung können eine oder mehrere der angegebenen Maßnahmen erforderlich sein (Mindestanforderungen).

Tabelle 28

7.4 Positionsschalter mit Sicherheitsfunktion (Sicherheitsschalter)

Auswahl und Bauanforderungen an Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen

Die Anforderungen sind in folgenden Normen und Prüfgrundsätzen festgelegt:

- EN 60947-5-1
- EN 60947-5-3
- GS-ET-15 (Grundsätze für die Prüfung von zwangsöffnenden Positionsschaltern für Sicherheitsfunktionen)
- GS-ET-19 (Grundsätze für die Prüfung von Verriegelungen mit elektromagnetischen Zuhaltungen für Sicherheitsfunktionen)

Die Einsetzbarkeit eines Positionsschalters für Sicherheitsfunktionen wird durch ein spezielles Bildzeichen auf seinem Aufschriftfeld verdeutlicht. Die Aufschrift auf Positionsschaltern muss dauerhaft angebracht und gut lesbar sein. Der Schutzgrad sollte vorzugsweise mindestens IP 55 betragen.

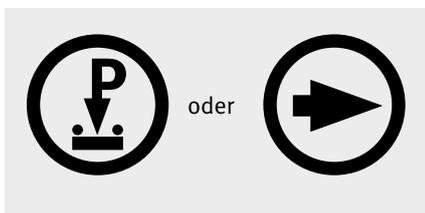


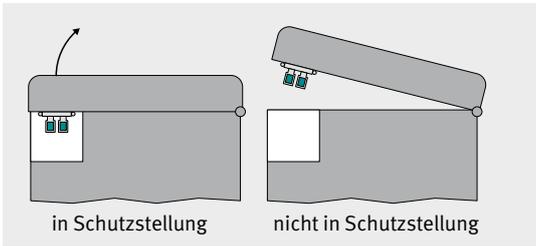
Abbildung 104

Anordnung von Positionsschaltern

Positionsschalter müssen gegen Lageänderung gesichert sein. Dies kann beim Einbau durch eine formschlüssige Befestigung erreicht werden. Eine Befestigung in Langlöchern ist allein nicht zulässig. Werden Langlöcher zur Befestigung benutzt, so sind zusätzliche Passstifte oder Anschläge erforderlich. Positionsschalter sind so zu montieren, dass sie für Reparatur- und Wartungsarbeiten zugänglich sind. Durch den Einbau dürfen keine neuen Gefahrstellen entstehen!

Die Anordnung in Verbindung mit der Schutzeinrichtung muss so vorgenommen werden, dass die Positionsschalter gegen An- oder Überfahren geschützt sind. Sie dürfen nicht als mechanischer Anschlag benutzt werden. Die Zuleitung für den Positionsschalter sollte vorzugsweise von unten an den Positionsschalter herangeführt werden. Dadurch kann das Eindringen von Flüssigkeiten (z. B. Maschinenöl) über die Leitungseinführung in den Positionsschalter ausgeschlossen werden – der Schutzgrad bleibt somit auch langfristig erhalten. Der Biegeradius (r) der Zuleitung für das Einführen in den Positionsschalter muss mindestens fünfmal größer als der Leitungsdurchmesser (d) sein ($r > 5d$).

7.5 Anwendungsbeispiele



Bauart 1-Verriegelungen



Bild 19: Positionsschalter der Bauart 1 – Betätiger und Betätigungssystem getrennt, jedoch konstruktiv zueinander passend gestaltet

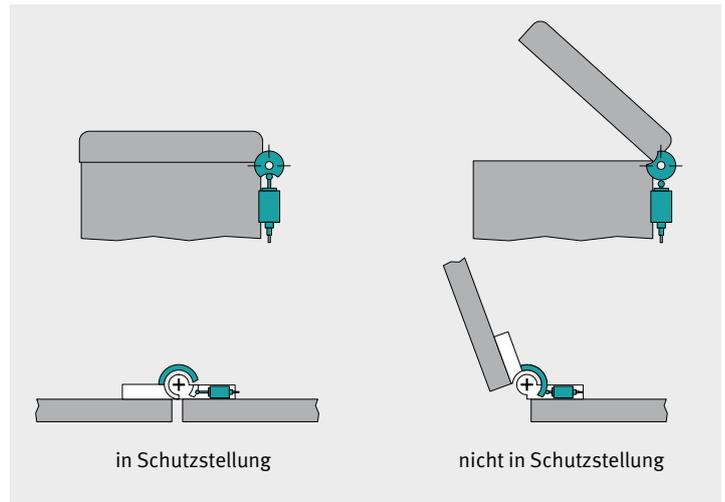


Abbildung 105: Funktionstüchtige Anbringung am Drehpunkt

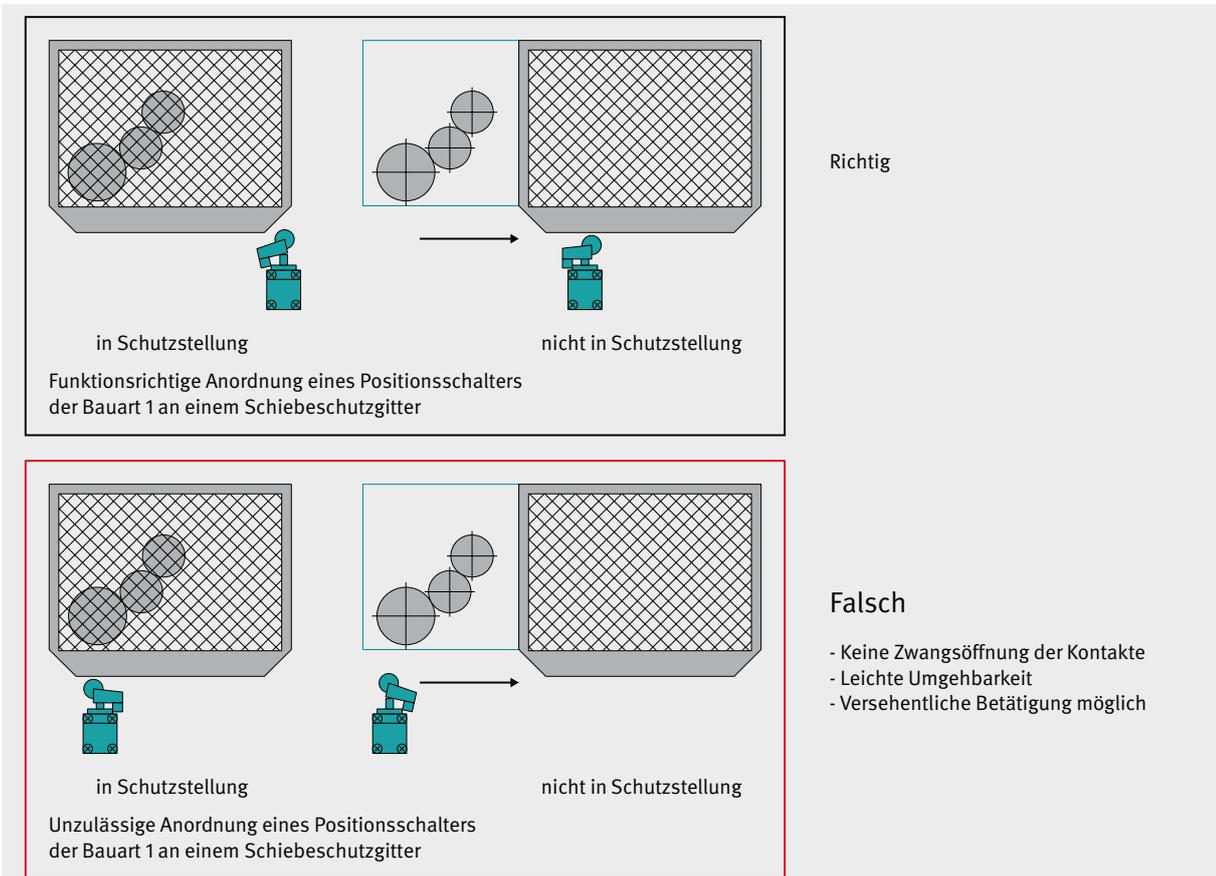


Abbildung 106: Elektromechanische Verriegelungseinrichtung mit Positionsschalter

Bauart 1-Verriegelungen

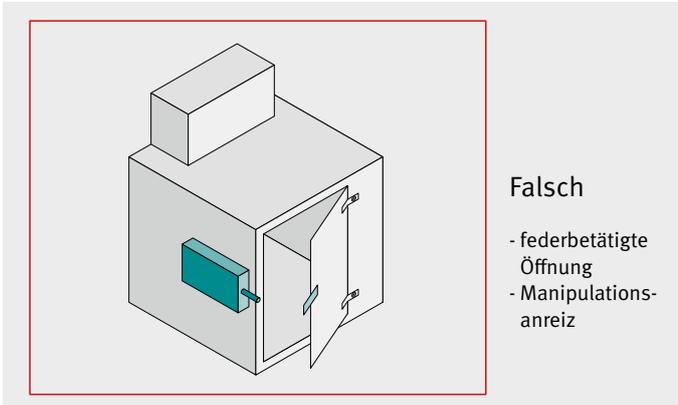


Abbildung 107: Unzulässige Anbringung eines Positionsschalters der Bauart 1

Bauart 2-Verriegelungen



Bild 20: Funktionsrichtige Anbringung eines Positionsschalters der Bauart 2 mit getrenntem Betätiger

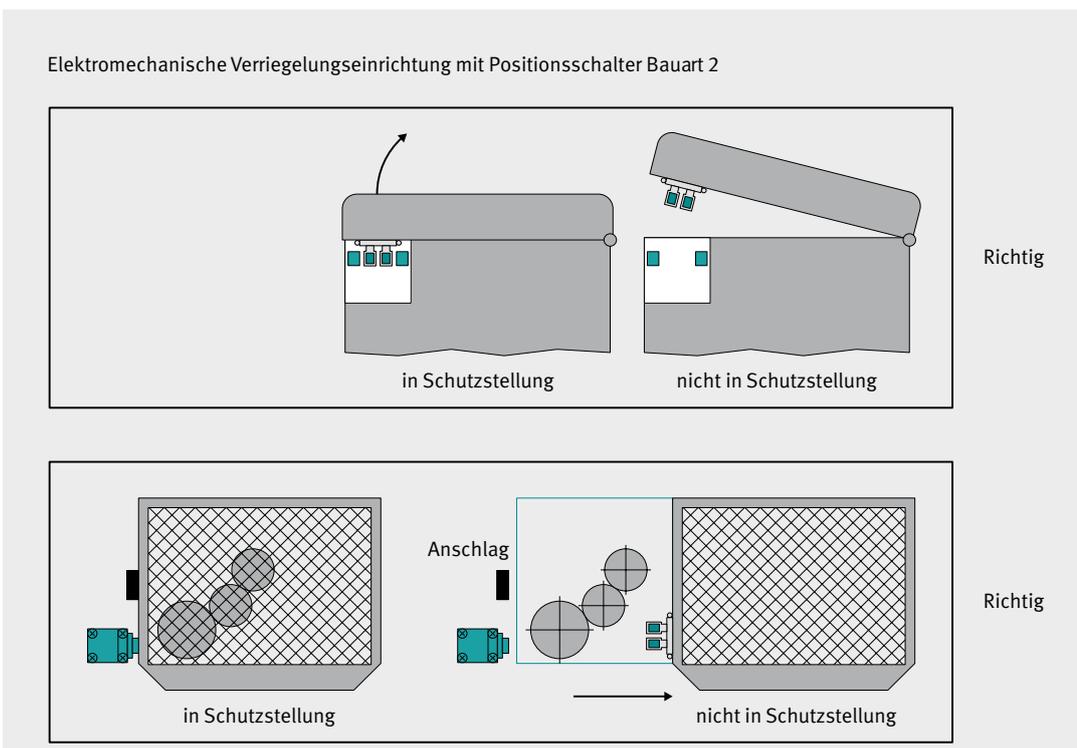


Abbildung 108: Funktionsrichtige Anbringung von Positionsschaltern der Bauart 2 (mit getrenntem Betätiger)

Bauart 3-Verriegelungen

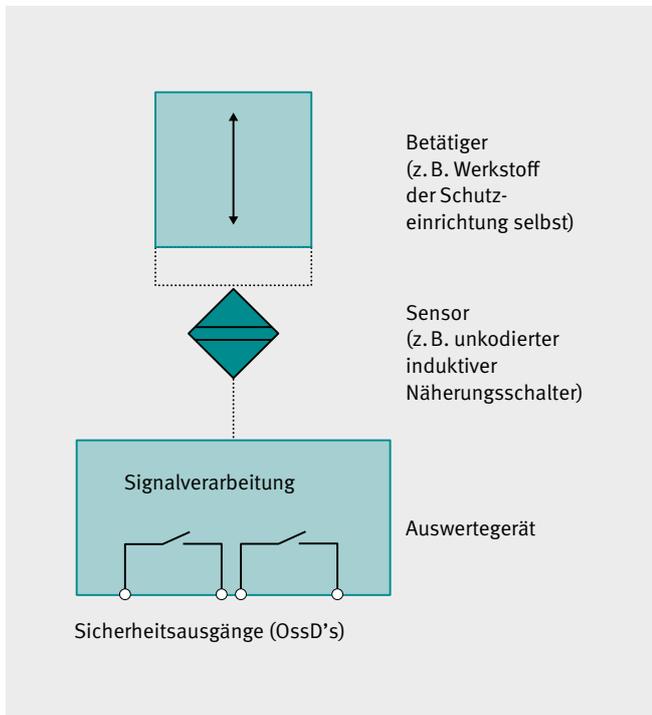


Abbildung 109: Verriegelungseinrichtung mit Positionsschalter Bauart 3 – unkodierte Näherungsschalter

Bauart 4-Verriegelungen

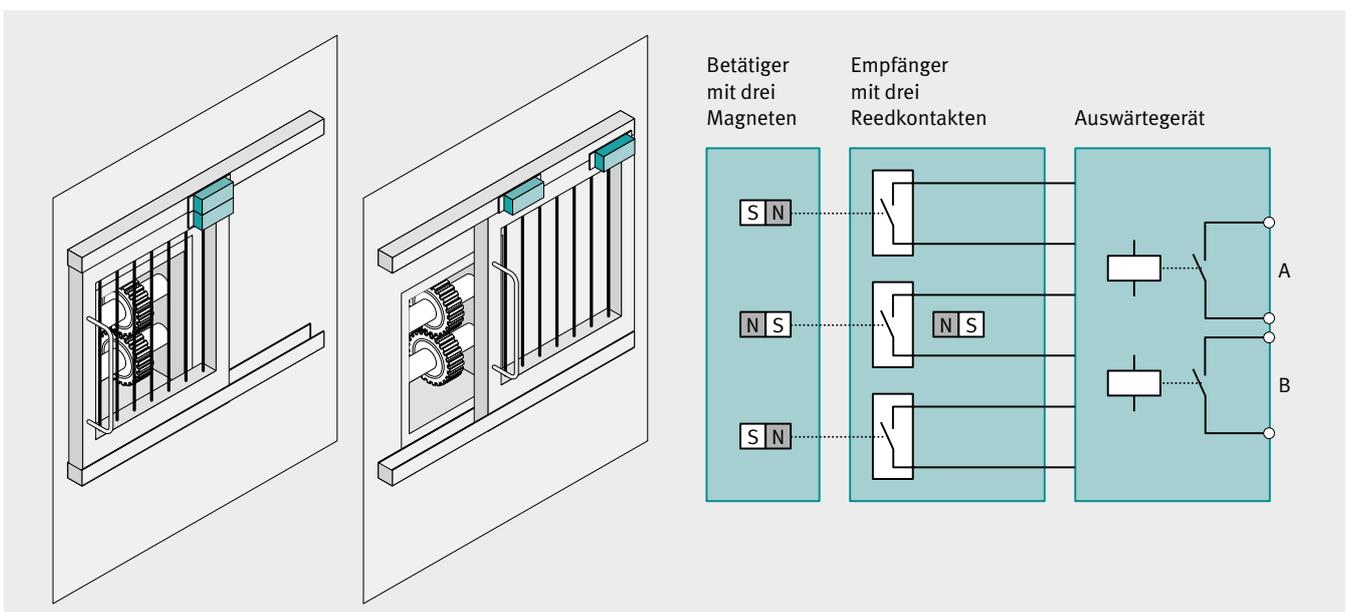


Abbildung 110: Verriegelungseinrichtung mit Positionsschalter Bauart 4 – kodierte Näherungsschalter

7.6 Verriegelungstechnik

In Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen werden Schutzhauben und Schutztüren häufig zur Risikominimierung verwendet. Werden diese Schutzeinrichtungen geöffnet, so werden die Gefahr bringenden Maschinenbewegungen durch die Öffnungsbewegung gestoppt.

Auch bei diesen Schutzeinrichtungen muss der Stillstand der Maschinenbewegungen erreicht sein, bevor eine Person in den Gefährdungsbereich eingedrungen ist.

Der Mindestabstand S errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$S = 1600 \times (T - t_3) + C$$

S Mindestabstand in mm, gemessen von der am nächsten zum Gefährdungsbereich liegenden Kante der Öffnung der Schutzhaube/-tür bis zum Gefährdungsbereich

T Nachlauf des gesamten Systems in s

t_3 Zeit in s, die für das Öffnen der Schutzhaube/-tür benötigt wird

C Sicherheitszuschlag aus Tabelle 4 von ISO 13857

Der Wert des Sicherheitszuschlags C ergibt sich aus der konstruktiven Gestaltung der Verriegelungseinrichtung.

Der Stoppbefehl wird, wie oben schon erwähnt, durch das Öffnen der Schutzeinrichtung gegeben. Nun kann es möglich sein, dass der Stoppbefehl erst erfolgt, wenn die Schutzhaube/-tür schon spaltbreit geöffnet wurde. Eine Ursache dafür können z. B. Fertigungstoleranzen bei der Montage der Positionsschalter für Sicherheitsfunktionen sein. Die Breite des bei diesem Öffnungsvorgang entstandenen Schlitzes ist entscheidend für den Wert des Sicherheitszuschlages C . Ist der Schlitz z. B. kleiner als 4 mm, dann ist $C = 2$ mm.

Der Begriff „Öffnen“ wird in der EN ISO 13855 nicht näher erläutert. Es stellt sich aber die Frage: Bei welcher Öffnungsweite ist eine Schutzhaube/-tür ohne Zuhaltung geöffnet? Die Antwort ist für die Bestimmung der Verzögerungszeit t_3 von Bedeutung. Folgende Überlegung soll den Begriff „Öffnen“ transparenter machen. Wenn die Schutzhaube/-tür während des Betriebs geöffnet wird, will der Bediener eine bestimmte Stelle der Maschine erreichen und Tätigkeiten ausführen. Also muss er die Schutzhaube/-tür so weit öffnen, dass man bequem den Gefährdungsbereich einsehen und erreichen kann. Die Zeit t_3 ist dann die Zeit, die benötigt wird, um die Schutzhaube/-tür bis zu dieser beschriebenen Öffnungsweite zu bewegen. Es muss also nicht die vollständige Öffnungsweite der Schutzhaube/-tür sein.

Breite des Öffnungsschlitzes	Sicherheitszuschlag C nach EN ISO 13857
≤ 4 mm	2 mm
4 mm bis ≤ 6 mm	5 mm
6 mm bis ≤ 8 mm	20 mm
8 mm bis ≤ 10 mm	80 mm
10 bis ≤ 12 mm	100 mm
12 bis ≤ 20 mm	120 mm
> 20 mm	850 mm

Tabelle 29: Sicherheitszuschlag C nach EN ISO 13857

Ein Vergleich zwischen den notwendigen Mindestabständen S für Schutzhauben/-türen ohne Zuhaltung mit der Schutzwirkung einer Maschinenverkleidung von 1000 mm Höhe ohne weitere Schutzmaßnahmen (vergleichbar mit einem Schutzzaun von 1000 mm Höhe; Sicherheitsabstände nach EN ISO 13857) zeigt Folgendes: Wenn die Nachlaufzeit ca. 0,9 s länger als die Zeit ist, die benötigt wird, um die Schutzhaube/-tür zu öffnen, so bietet die Schutzhaube/-tür ohne Zuhaltung den gleichen Schutz wie die Maschinenverkleidung ohne Schutzhaube/-tür. Erläuterungen und weitere Informationen über diesen Zusammenhang sind in der EN ISO 13855 „Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen“ zu finden. Führt die Berechnung des Mindestabstandes S zu Ergebnissen, die keine praktikable Konstruktion ermöglichen, müssen somit z. B. Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung verwendet werden. In der Produktnorm EN 1010-2+A1, Abschnitt 5.4.2 werden Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung für Rotationsdruck- und -lackiermaschinen gefordert, wenn die Nachlaufzeit mehr als 10 s beträgt.

Verriegelungseinrichtungen mit Näherungsschaltern

Bei Näherungsschaltern (berührungslos wirkenden Positionsschaltern) ist der Einbau so möglich, dass keine Vertiefungen auftreten, so dass sich beim Betrieb kein wegfliegendes Material sammeln kann und eine leichtere Reinigung möglich ist. Die Bauform ist oft vergossen.

Eine Montage erfolgt im Maschinengehäuse, damit ist ein Abspritzen mit Hochdruckreinigern möglich. Auch bei diesen Schaltern muss das Sicherheitsniveau der Risikobewertung der EN ISO 12100 bzw. EN 1010-1+A1 entsprechen. Bestandteile von Näherungsschaltern für Sicherheitsfunktionen sind:

- Sensor (erfasst die An- bzw. Abwesenheit des Gegenstückes),
- Auswertgerät (formt das Sensorsignal in ein Ausgangssignal um),
- Gegenstück (löst Schaltvorgang durch Feldveränderung, z. B. magnetisch, aus).

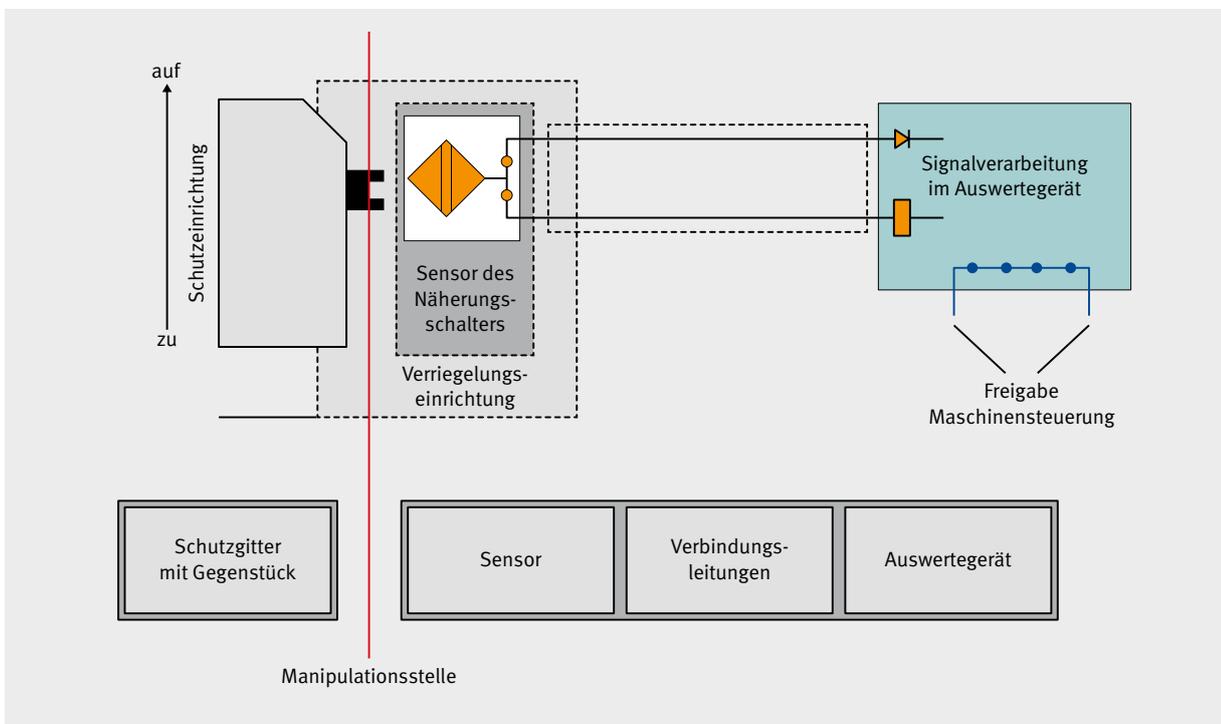


Abbildung 111: Signalverarbeitung bei Verwendung eines Näherungsschalters für die Sicherheitsfunktion (NFS)

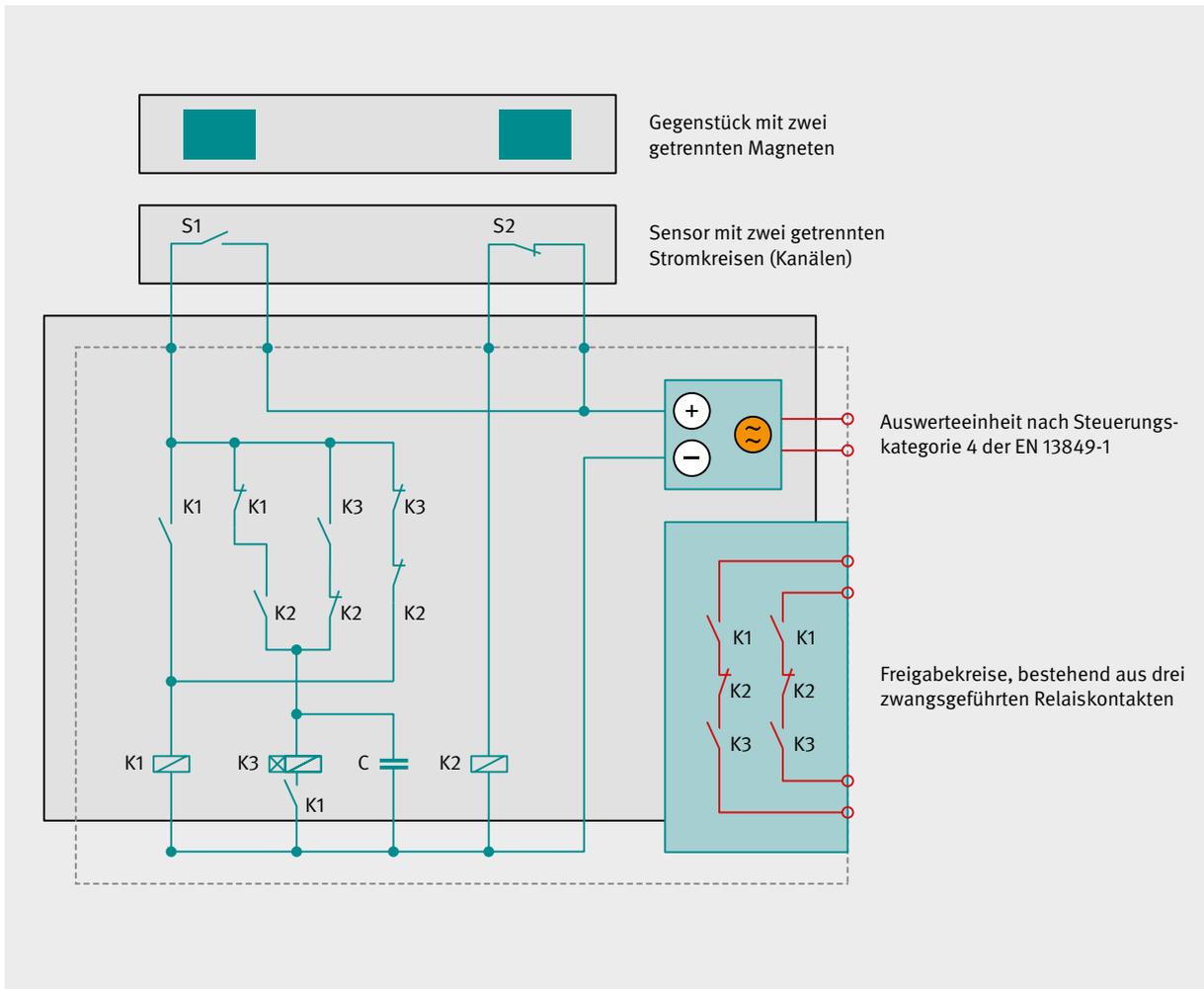


Abbildung 112: Verriegelungseinrichtung mit einem Gesamtsystemverhalten der Steuerungskategorie 4

Näherungsschalter gibt es in folgenden Ausführungen:

- ohne kodiertes Gegenstück
- mit kodiertem Gegenstück

Mit Hilfe dieser Schalter können ebenfalls Verriegelungseinrichtungen ohne und mit Zuhaltung konstruiert werden. Diese Schalter verfügen nicht über zwangsöffnende Kontakte. Das Steuerungsniveau muss aber ebenfalls Performance Level d oder c bzw. Performance Level e der EN ISO 13849-1 entsprechen.

Die Grenzabstände müssen beachtet werden. Es darf nicht möglich sein, bei Öffnungsweiten von $S \leq S_{ab}$ während des Öffnungsvorganges von Schutzeinrichtungen Gefahrstellen durch den Öffnungsspalt zu erreichen.

Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung

Diese Verriegelungen verwirklichen sowohl eine Stellungsüberwachung der beweglichen Schutzeinrichtungen mit Hilfe eines Positionsschalters als auch das Zuhalten der Schutzeinrichtung durch formschlüssige Sperrmittel. Als Zuhalteelemente kommen Klinken, Bolzen oder Stifte zur Anwendung. Die Zuhaltung kann aber auch elektromag-

netisch realisiert werden. Der Zustand der Zuhaltung muss ebenfalls steuerungstechnisch überwacht werden.

Fehlerbetrachtung

Bei der konstruktiven Gestaltung von Verriegelungseinrichtungen muss dem Auftreten folgender Fehler entgegen gewirkt werden:

- Kurzschluss oder Unterbrechung von Stromkreisen,
- Kurzschluss oder Unterbrechung in Bauteilen, wobei für elektromechanische Positionsschalter mit Sicherheitsfunktion bei fachgerechter Installation, Beachtung von Umwelteinflüssen und Montage ein Fehlerausschluss vorgenommen werden kann (EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.11.2 und EN ISO 13849-2, Anhang D Tabelle D.8),
- Nichtabfall von elektromagnetischen Bauelementen,
- mechanisches Blockieren von bewegten Teilen,
- Driften von analogen Bauelementen über die Toleranzwerte,
- Federbruch und das Lösen von mechanischen Verbindungen.

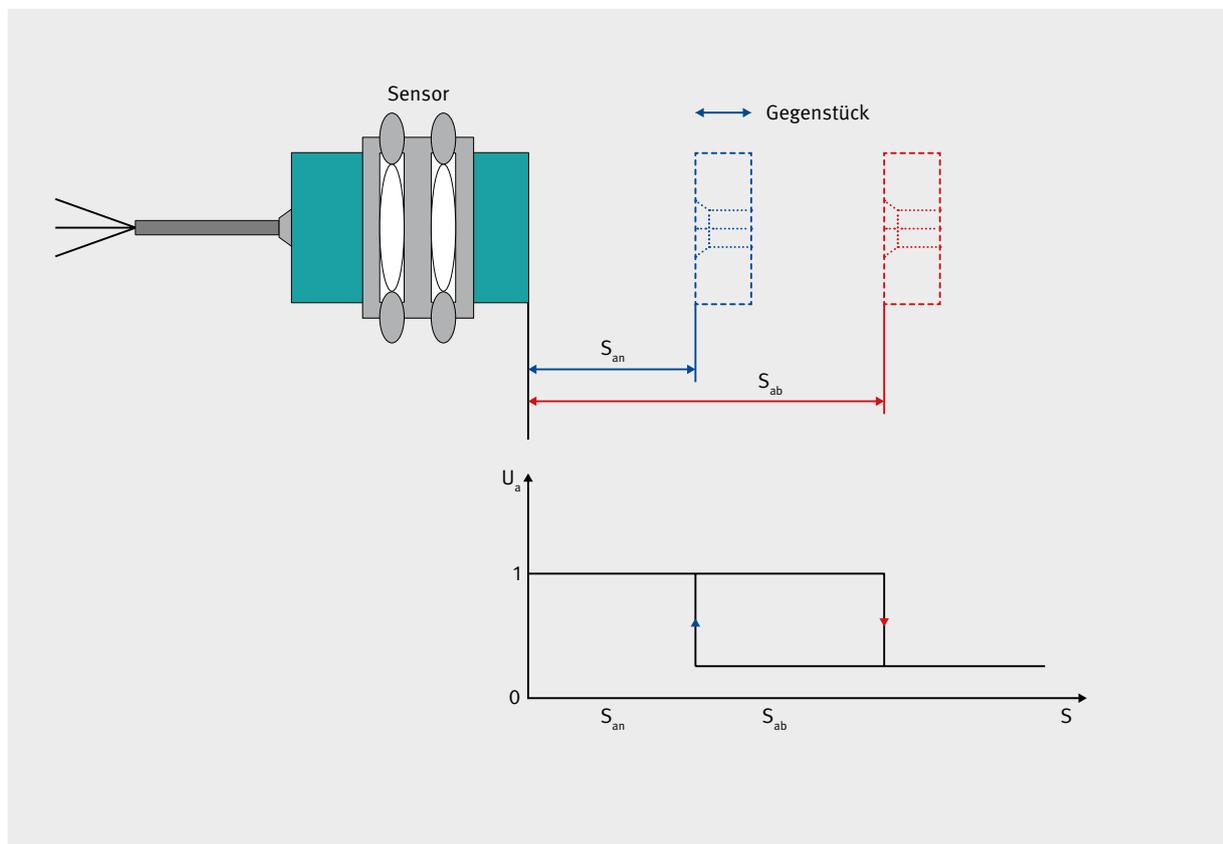


Abbildung 113: Grenzabstände: S_{an} und S_{ab}

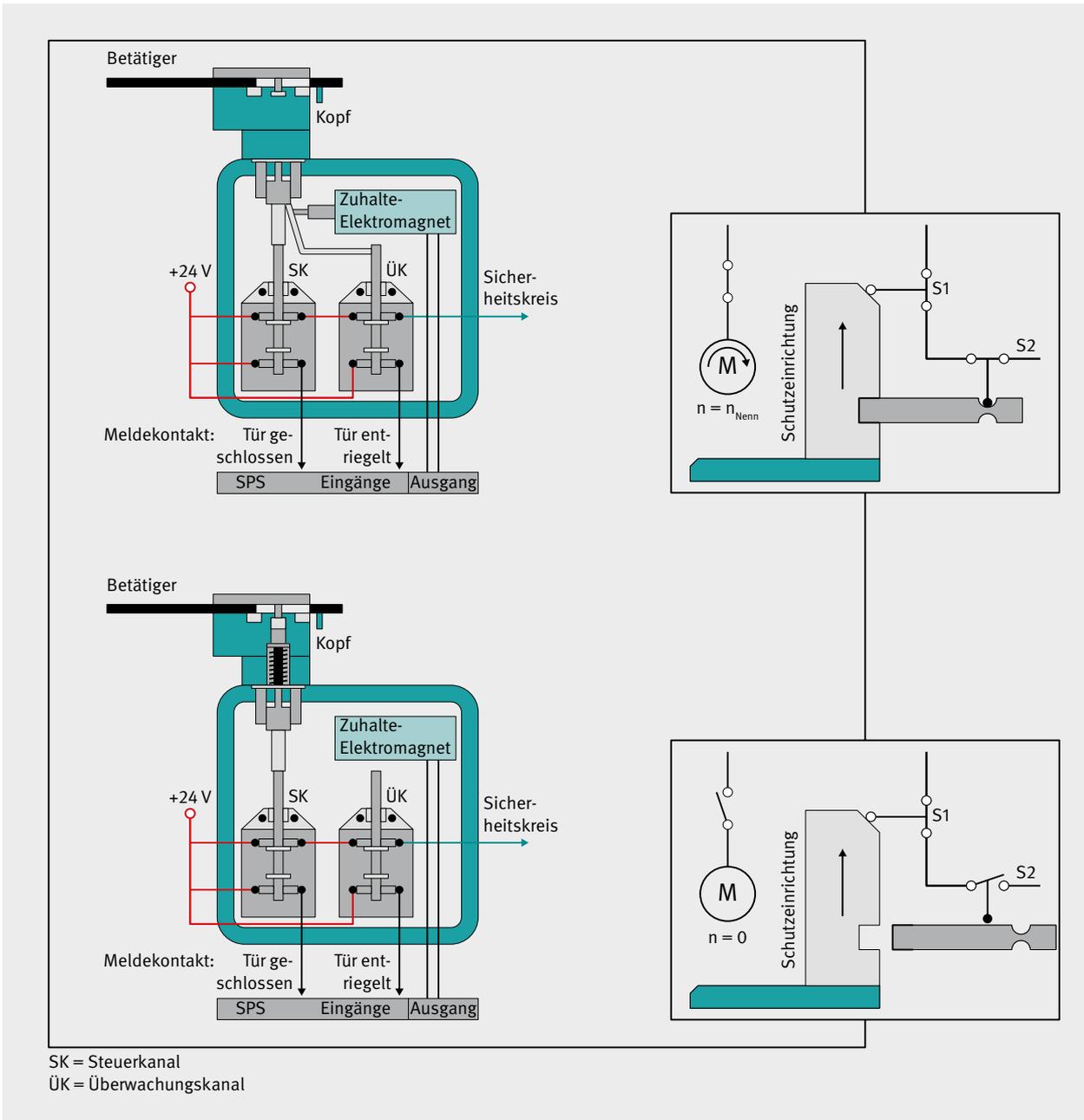
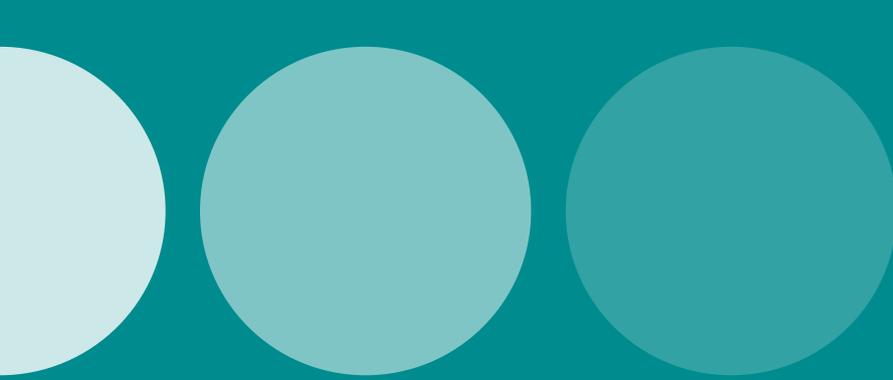
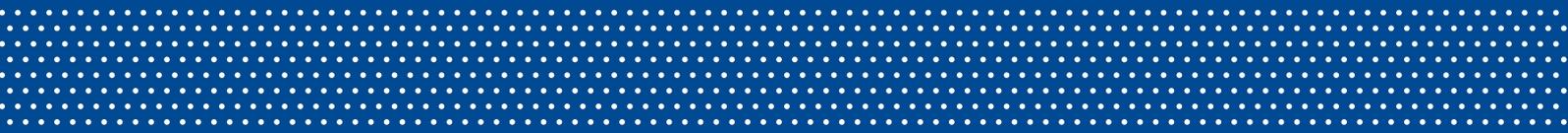


Abbildung 114: Stellungsüberwachung einer beweglichen Schutzeinrichtung durch eine Verriegelungseinrichtung mit Zuhaltung



8

Prüfungen

- 8.1 Prüfung des Schutzes durch automatische Abschaltung der Einspeisung
 - 8.2 Prüfung des Isolationswiderstandes
 - 8.3 Spannungsprüfungen
 - 8.4 Schutz gegen Restspannungen
 - 8.5 EMV-Prüfungen
 - 8.6 Funktionsprüfungen
 - 8.7 Ableitströme
- 

Prüfungen

Fakten

Der Umfang der Prüfungen für eine bestimmte Maschine kann in den entsprechenden Produktnormen angegeben werden.

Für Druckmaschinen und Maschinen der Papierverarbeitung sind diese Forderungen in der EN 1010-1+A1, Abschnitt 5.2.5.8 aufgeführt.

In EN 60204-1 werden folgende Prüfungen vorgeschlagen:

- Überprüfung, dass die elektrische Ausrüstung mit ihrer technischen Dokumentation übereinstimmt,
- Durchgangsprüfung des Schutzleitersystems (Prüfung/Test),
- Falls zum Schutz bei indirektem Berühren der Schutz durch automatische Abschaltung angewendet wird, müssen die Bedingungen für den Schutz durch automatische Abschaltung überprüft werden,
- Isolationswiderstandsprüfung (Messgeräte nach EN 61557),
- Spannungsprüfung (Messgeräte nach EN 61557),
- Schutz gegen Restspannung,
- Überprüfung, ob alle relevanten Anforderungen bezüglich der vorhandenen Ableitströme erfüllt sind,
- Prüfung von Fehlerstromschutzeinrichtungen, wenn vorhanden, auf der Grundlage der Herstellerangaben,
- Funktionsprüfungen.

Diese Prüfungen müssen schriftlich dokumentiert werden. Die EN 1010-1+A1 nennt folgende Prüfungen als notwendig für die branchenspezifischen Maschinen:

- Durchgangsprüfung des Schutzleitersystems und Prüfung des Schutzes durch automatische Abschaltung,
- Isolationswiderstandsprüfung,
- Spannungsprüfung (nicht erforderlich für Steuerstromkreise, die durch Rechnersysteme bzw. elektronische Steuerkomponenten realisiert sind),
- Schutz gegen Restspannung,
- Funktionsprüfungen.

Es ist zu empfehlen, auch zu prüfen, ob alle relevanten Anforderungen bezüglich der vorhandenen Ableitströme erfüllt sind.

Es kann jedoch auch notwendig sein, weitere Prüfungen durchzuführen, wenn es die Risikobeurteilung erfordert.

8.1 Prüfung des Schutzes durch automatische Abschaltung der Einspeisung

Die Maßnahme „Schutz durch automatische Abschaltung“ erfordert eine Abstimmung zwischen:

- der Art der Versorgung und dem Erdungssystem;
- den Impedanzwerten der verschiedenen Teile des Schutzleitersystems und
- den Charakteristiken der Schutzeinrichtungen, welche den Isolationsfehler erkennen.

Die notwendigen Maßnahmen für TT-Systeme werden im Anhang A.2 der EN 60204-1 beschrieben. Für IT-Systeme wird auf die IEC 60364-6-6 verwiesen. Sie werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert.

Für das TN-System sind folgende Prüfungen erforderlich:

- Prüfung 1: Überprüfung der Durchgängigkeit des Schutzleitersystems,

- Prüfung 2: Überprüfung der Bedingungen für die automatische Abschaltung der Stromversorgung in TN-Systemen.

Die Prüfung 1 beinhaltet Widerstandsmessungen zwischen der PE-Klemme (Anschlussstelle des externen Schutzleiters) und relevanten Punkten des Schutzleitersystems. Der Messstrom muss hierbei zwischen 200mA und 10A liegen. Als Spannungsquelle dient eine SELV-Spannungsquelle mit einer maximalen Leerlaufspannung von 24Vdc oder 24Vac. Der gemessene Widerstandswert muss in dem Bereich liegen, der entsprechend der Länge, dem Querschnitt und dem Material des Schutzleiters zu erwarten ist. Hierfür sind Daten der Kabelhersteller nötig. Für den Praktiker kann aber auch die Tabelle 29 hilfreich sein:

ÜBERPRÜFUNG DER DURCHGÄNGIGKEIT DES SCHUTZLEITERSYSTEMS

Kleinster wirksamer Querschnitt des Schutzleiters für den zu prüfenden Zweig in mm ²	Maximal gemessener Spannungsabfall (die Werte beziehen sich auf einen Prüfstrom von 10A (200mA))
1,0	3,3V (0,066V)
1,5	2,6V (0,052V)
2,5	1,9V (0,038V)
4,0	1,4V (0,028V)
> 6,0	1,0V (0,02V)

Tabelle 29

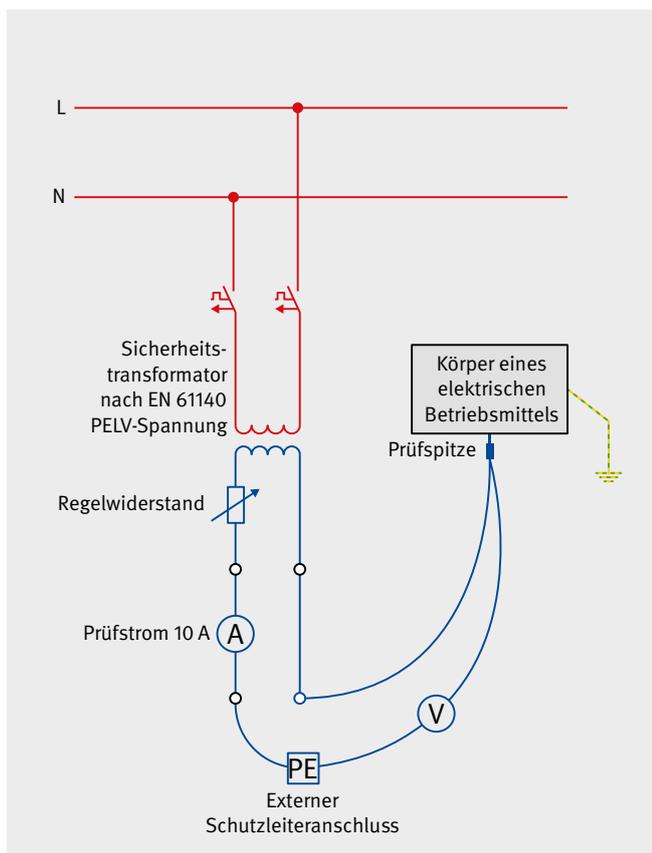


Abbildung 115: Messprinzip zur Ermittlung des Schutzleiterwiderstands

Die Prüfung 2 beinhaltet

- eine Sichtprüfung der Netzanschlüsse und der PE-Klemme und
- die Überprüfung der Impedanz der Fehlerschleife durch:
 - Rechnung oder
 - Messung nach Anhang A.1.4 der EN 60204-1 und
- die Bestätigung, dass
 - die Überstrom-Schutzeinrichtung (Einstellung und Kennwerte) in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Anhang A ausgewählt wurde bzw.
 - bei Verwendung eines Leistungsantriebssystems die Einstellwerte der Schutzeinrichtung(en) und deren Charakteristik für das Leistungsantriebssystem übereinstimmen mit den Herstellerangaben des Umrichters und den Herstellerangaben der Schutzeinrichtung.

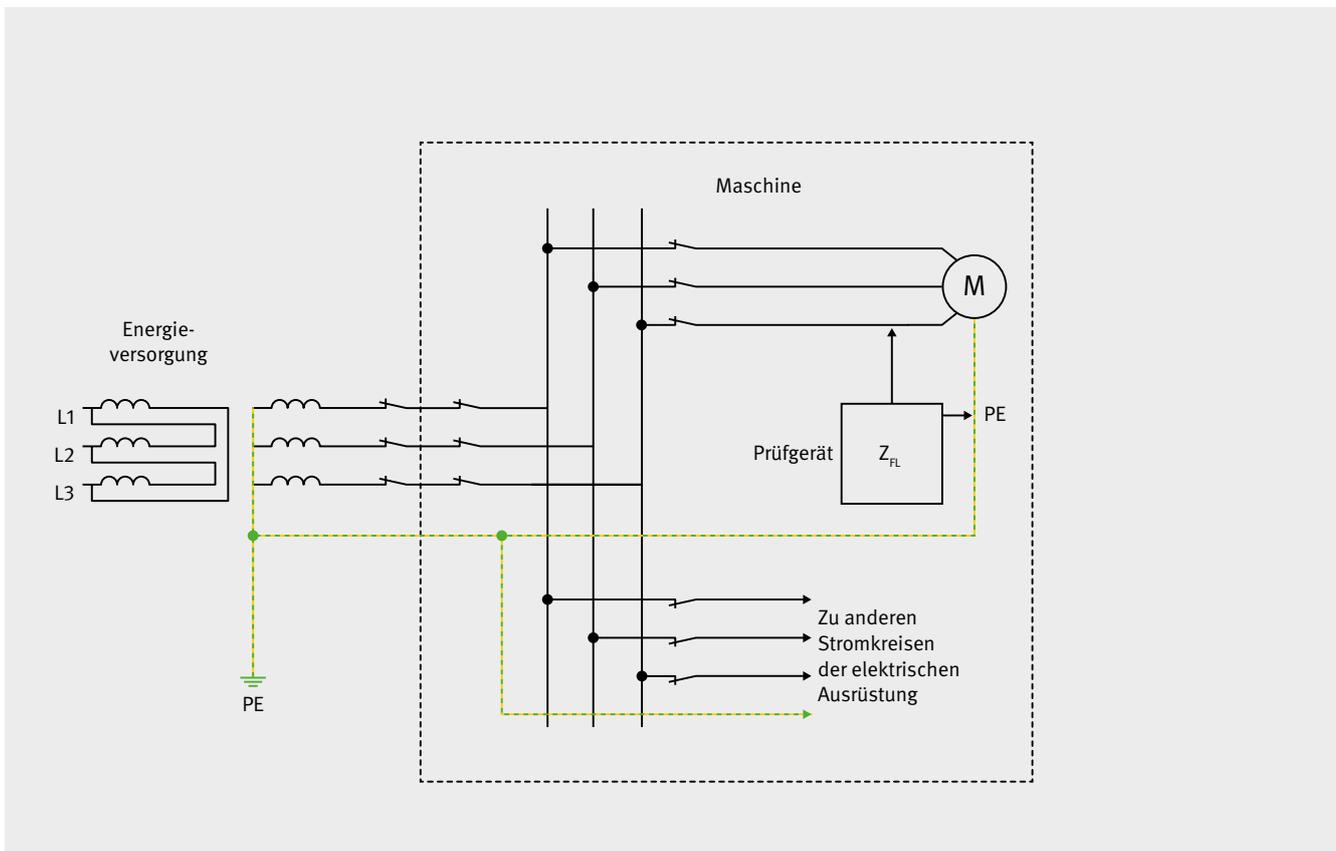


Abbildung 116: Überprüfung der Schleifenimpedanz durch Messung

Sowohl die Messung als auch die Berechnung setzen voraus, dass die Impedanz der Netzeinspeisung beim Kunden bekannt ist.

Zur Erleichterung bietet die EN 60204-1 drei unterschiedliche Verfahren für die Überprüfung der Impedanz der Fehlerschleife und der Eignung der zugeordneten Überstrom-Schutzeinrichtung an. Die Auswahl des Verfahrens erfolgt in Abhängigkeit vom Ausführungsstand der elektrischen Ausrüstung der Maschine bei Lieferung. Diese drei Verfahren A bis C (EN 60204-1) unterscheiden sich hinsichtlich des Prüfaufwandes beim Kunden vor Ort.

Verfahren C

Die Anwendung des Verfahrens C stellt den geringsten Prüfaufwand dar. Am Aufstellungsort, also beim Kunden, ist dann keine Prüfung erforderlich.

Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens C ist, dass

- beim Hersteller an der Maschine die Prüfung 1 (Überprüfung der Durchgängigkeit des Schutzleitersystems) stattgefunden hat und

- die Maschine einen bestimmten Ausführungsstand bei Lieferung hat, d. h.:
 - die Maschine muss vollständig beim Hersteller zusammengebaut worden sein und darf für den Transport zum Kunden nicht zerlegt worden sein oder
 - die Maschine wurde für den Transport zum Kunden zerlegt. Hierbei muss aber sichergestellt sein, dass die Durchgängigkeit der Schutzleiter nach dem Zerlegen, dem Transport und dem Zusammenbau durch konstruktive Maßnahmen gewährleistet wird (z. B. durch die Verwendung steckbarer Verbindungen).

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, dann muss überprüft werden, ob die Kabellängen des Schutzleitersystems der Maschine – in Abhängigkeit vom Leitungsquerschnitt, der Impedanz der Einspeisung vor jedem Schutzgerät und der Art des ausgewählten Schutzgeräts – die Werte der Tabelle 10 der EN 60204-1 nicht überschreiten.

EN 60204-1:2006, TABELLE 10: BEISPIELE FÜR DIE MAXIMALE KABEL-/LEITUNGSLÄNGE VON JEDEM SCHUTZGERÄT BIS ZU SEINER LAST

1 Impedanz der Einspeisung vor jedem Schutzgerät	2 Querschnitt der Leiter	3 Bemes- sungswert oder Ein- stellung des Schutz- gerätes	4 Sicherung Abschaltzeit 5s $I_a = I_N$	6 Leitungsschutz- schalter Charakteristik B Abschaltzeit 0,1s $I_a = 5x I_N$	7 Leitungsschutz- schalter Charakteristik C Abschaltzeit 0,1s $I_a = 10x I_N$	8 Einstellbarer Leistungsschalter Abschaltzeit 0,1s $I_a = 8x I_N$
m Ω	mm ²	A	Maximale Leitungslänge in m von jedem Schutzgerät bis zu seiner Last			
500	1,5	16	97	76	30	28
500	2,5	20	115	94	34	36
500	4,0	25	135	114	35	38
400	6,0	32	145	133	40	42
300	10	50	125	132	33	37
200	16	63	175	179	55	61
200	25 (Außenleiter) 16 (PE)	80	133			38
100	35 (Außenleiter) 16 (PE)	100	136			73
100	50 (Außenleiter) 25 (PE)	125	141			66
100	70 (Außenleiter) 35 (PE)	160	138			46
50	95 (Außenleiter) 50 (PE)	200	152			98
50	120 (Außenleiter) 70 (PE)	250	157			79

Tabelle 30

Wird auch diese Bedingung erfüllt, so müssen

- die Schutzleiterverbindungen, die beim Kunden installiert werden, durch Sichtprüfungen kontrolliert und dokumentiert werden und
- in der technischen Dokumentation für den Kunden zur Maschine folgende Angaben mitgeteilt werden:
 - die maximal zulässige Impedanz der Einspeisung vor jedem Schutzgerät beim Kunden,
 - der Auslösestrom I_a bzw. der Bemessungsstrom I_N der Schutzeinrichtung für die Netzanschlussleitung (siehe auch EN 60204-1, Abschnitt 7.2.2) und
 - die maximale Kabellänge zwischen der Netzeinspeisungsklemme beim Kunden und der Netzanschlussklemme in der Maschine.

Falls die o. g. Bedingungen für die Anwendung des Verfahrens C nicht erfüllt werden können, muss Verfahren B oder A verwendet werden. Die Anwendung der Verfahren A oder B ist mit höherem Aufwand beim Kunden verbunden. Aber auch bei diesen Verfahren kann in Ausnahmefällen auf messtechnische Prüfungen am Aufstellungsort verzichtet werden.

Nachfolgend ist der schematische Ablauf zur Prüfung 2 „Überprüfung der Impedanz der Fehlerschleife und der Eignung der zugeordneten Überstrom-Schutzeinrichtung“ veranschaulicht.

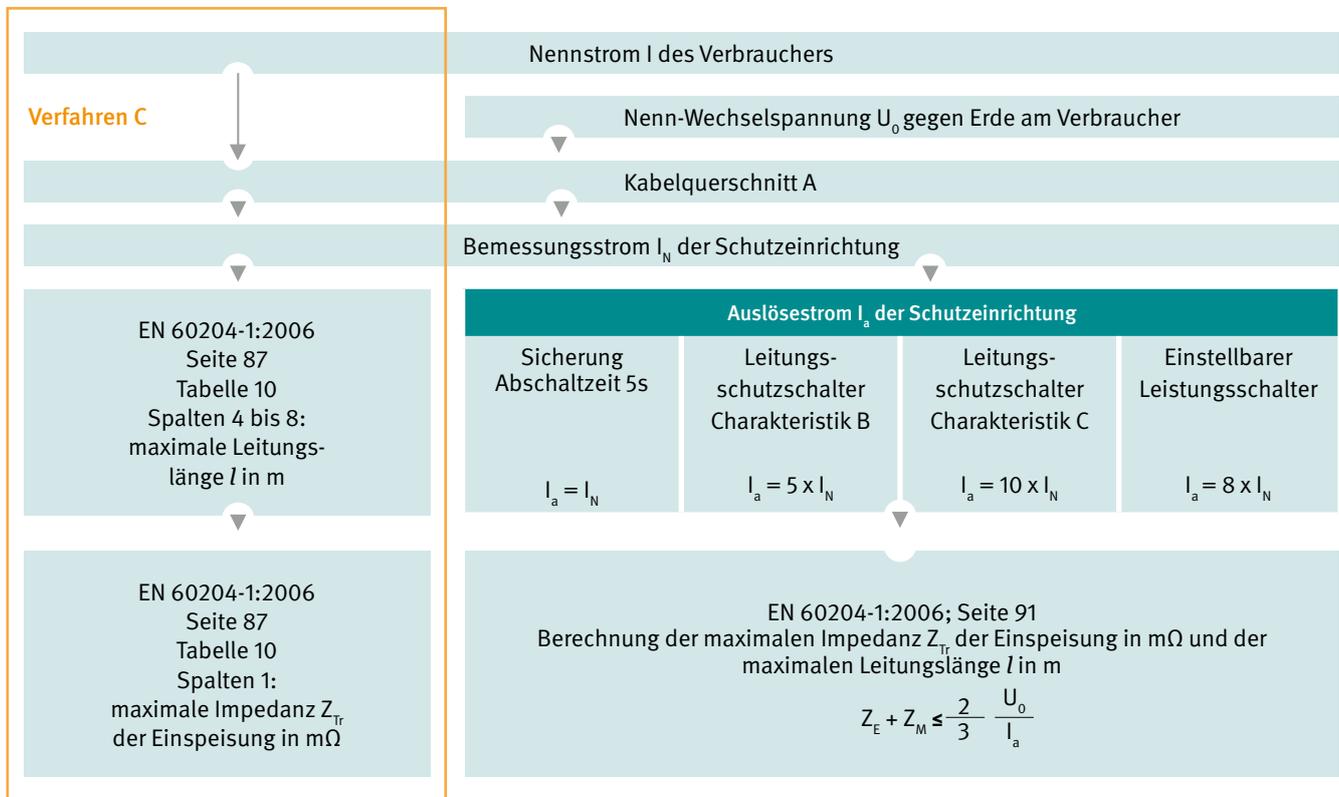


Abbildung 117

8.2 Prüfung des Isolationswiderstandes

Durch die Messung des Isolationswiderstandes sollen hauptsächlich Kriechwege, die infolge von Verschmutzung während der Montage entstanden sind, aufgespürt werden. Die Messung erfolgt nur zwischen den Leitern der Hauptstromkreise und dem SL-System sowie den netzseitigen Anschlüssen von Steuertransformatoren, die direkt mit den Leitern der Hauptstromkreise verbunden sind. Als Hauptstromkreis bezeichnet man einen Stromkreis, der die Betriebsmittel, die dem Produktionsablauf dienen, und die Steuertransformatoren mit Energie aus dem Netz versorgt.

Schalter und Schütze im Stromkreis müssen geschlossen werden. Es ist also darauf zu achten, dass alle Hauptstromkreise durchgehend bis zu den Endverbrauchern in die Prüfung einbezogen werden.

Bei der Isolationsprüfung von großen Maschinen bzw. Anlagen oder wenn Schütze nicht geschlossen werden können, ist es zulässig, die Prüfungen in getrennten Abschnitten der Anlage durchzuführen.

Für die Isolationsmessungen wird die Maschine völlig vom Netz getrennt. Die gemessenen Isolationswiderstände müssen größer als 1 MΩ sein. Die Prüfung erfolgt mit einer Gleichspannung von 500 V. Es ist zulässig, dass Betriebsmittel für den Überspannungsschutz (z. B. Varistoren), die bei der Prüfspannung auslösen würden,

- für den Zeitraum der Prüfung abgeklemmt werden oder
- die Prüfspannung wird auf einen Wert unter der Ansprechschwelle dieser Betriebsmittel herabgesetzt.

Die Absenkung der Prüfspannung darf maximal bis zum Spitzenwert der Versorgungsspannung an der oberen Toleranzgrenze erfolgen. Die Isolationsmessung beinhaltet also die Ermittlung der Isolationswiderstände

- aller aktiven Leiter gegeneinander (L1, L2, L3, N) und
- aller aktiven Leiter gegen den Schutzleiter (PE).

Die Messungen können dadurch vereinfacht werden, dass mittels einer Hilfseinrichtung alle aktiven Leiter für die Isolationswiderstandsmessung gegen den Schutzleiter kurzgeschlossen werden.

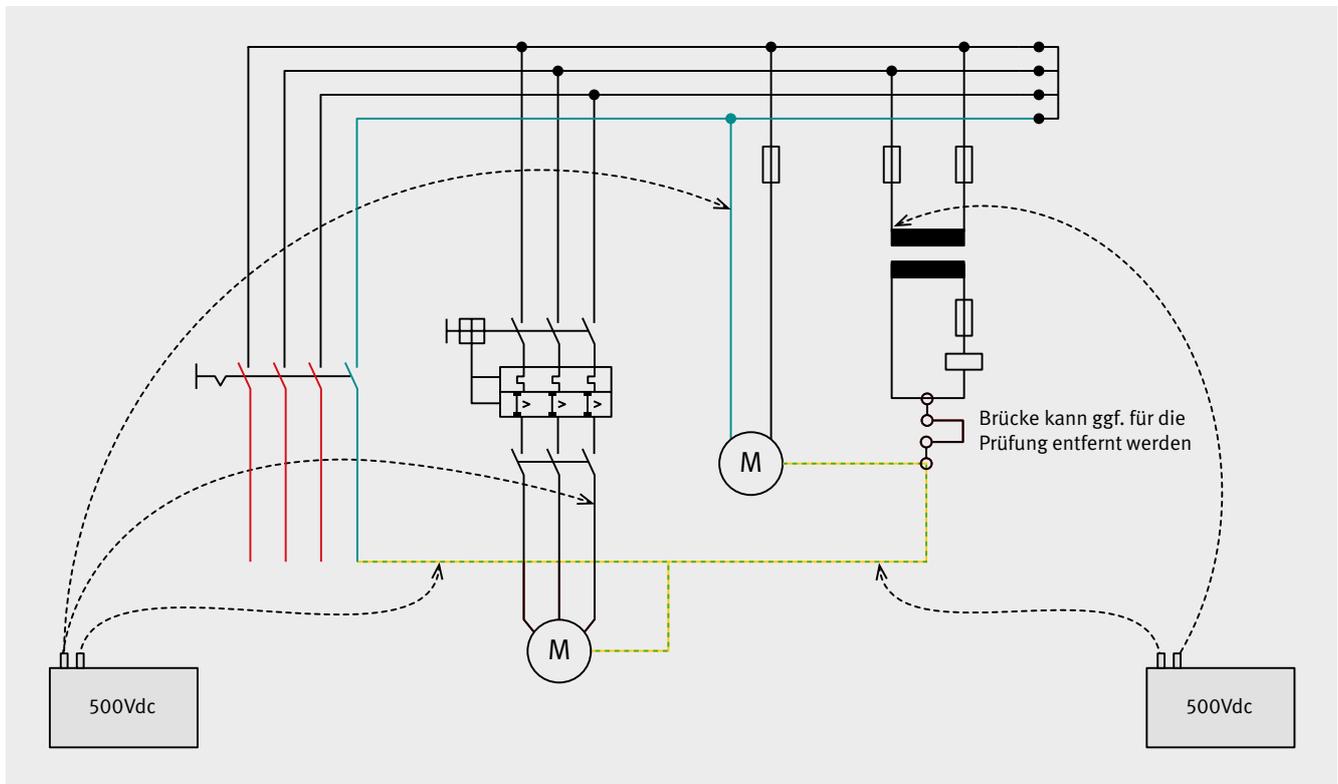


Abbildung 118

8.3 Spannungsprüfungen

Die Spannungsprüfung dient dem Auffinden unzureichender Luftstrecken, die während der Montage durch abg gespeiste Litzendrähte, Metallspäne oder Isolationsbeschädigungen entstanden sind. Bei dieser Überlegung wird davon ausgegangen, dass alle Betriebsmittel im Rahmen ihrer Herstellung bereits einer Hochspannungsprüfung unterzogen wurden. Die elektrische Ausrüstung muss für die Dauer von mindestens 1 s einer Prüfspannung von 1000 V Wechselspannung oder dem Zweifachen der Bemessungsspannung für die Energieversorgung standhalten, je nachdem, welcher Wert der größere ist. Die Prüfspannung muss eine Frequenz von 50 Hz oder 60 Hz haben. Die Messspannungsquelle muss mindestens eine Leistung von 500 VA besitzen, um sicherzustellen, dass bei einem Durchschlag der Transformator nicht sofort abgeschaltet werden muss.

Das Ziel dieser Forderung besteht darin, den Lichtbogen im Fehlerfall eine bestimmte Zeit wirken zu lassen, um die Fehlerstelle besser ausfindig machen zu können.

Die Prüfung muss zwischen den Leitern der Hauptstromkreise und dem Schutzleitersystem durchgeführt werden:

- L1-PE, L2-PE, L3-PE, N-PE
- und, wo es sinnvoll erscheint, auch zwischen den Leitern
- L1-L2, L1-L3, L2-L3, L1-N, L2-N, L3-N.

Die Messung kann dadurch vereinfacht werden, dass mittels einer Hilfseinrichtung die drei Außenleiter und der Neutralleiter kurzgeschlossen werden. Sind auch Prüfungen zwischen diesen Leitern erforderlich, ist die Kurzschlussverbindung aufzuheben.

Ausgenommen sind solche Stromkreise, die mit einer PELV-Spannung bzw. Spannungsbereich I nach IEC 60449 ($U \leq 50 \text{ Vac}$ oder $U \leq 120 \text{ Vdc}$) betrieben werden. Die PELV-Spannung (Protective Extra Low Voltage) ist eine Schutzmaßnahme, die Personen vor direktem und indirektem Berühren schützt. Eine an die PELV-Spannung gestellte Anforderung ist die Begrenzung der Nennwechselspannung auf max. 25 VAC oder 60 VDC. Die Spannung muss durch einen

Sicherheitstransformator nach EN 60742 (VDE 0551) erzeugt werden (Hinweis: EN 60742 wurde durch EN 61558-1 und EN 61558-2 ersetzt). Bauteile, die nicht für diese Prüfspannung ausgelegt sind, müssen während der Prüfung

abgeklemmt werden. Bei umfangreichen elektrischen Ausrüstungen können auch Teilprüfungen an den einzelnen Modulen durchgeführt werden.

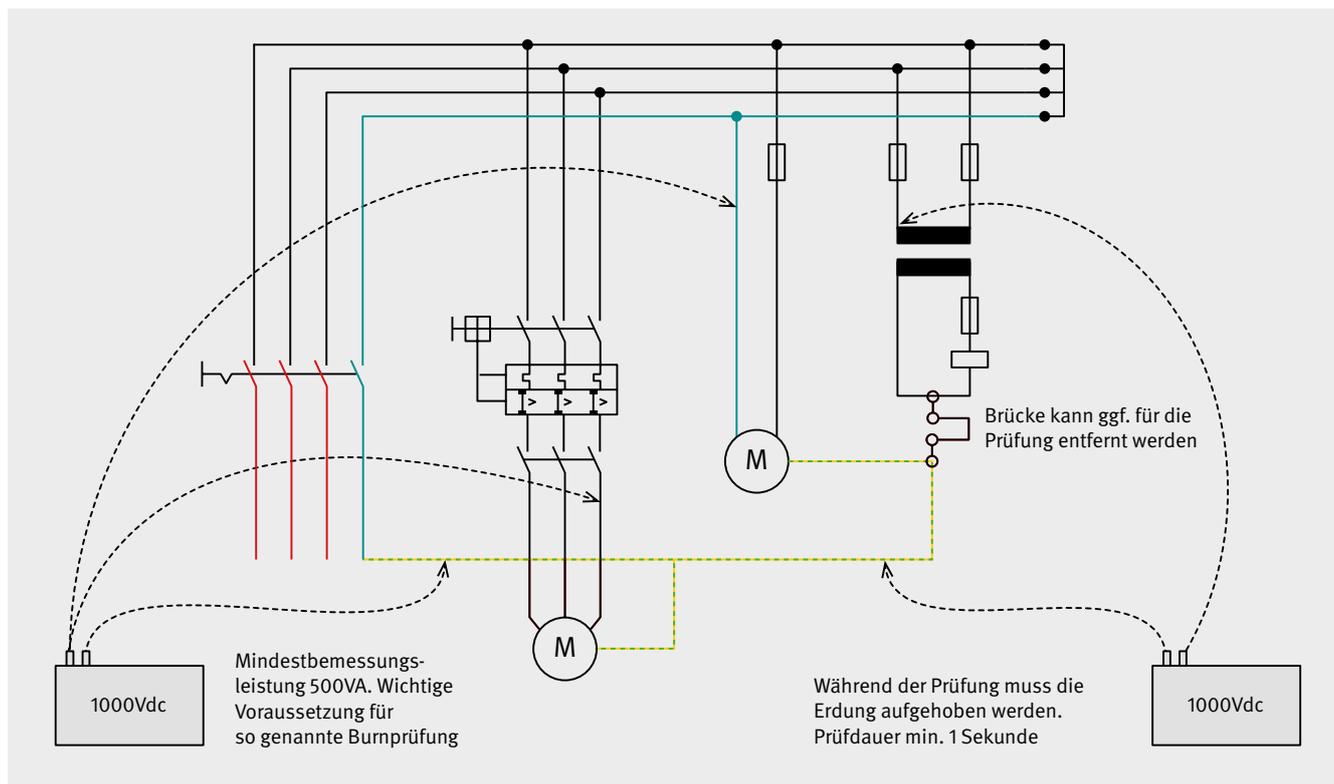
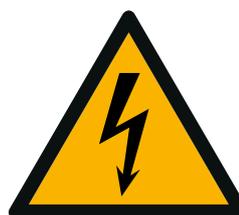


Abbildung 119

8.4 Schutz gegen Restspannungen

Bei jedem berührbaren leitfähigen Teil, das während des Ausschaltens der Versorgungsspannung eine Restspannung von mehr als 60 V aufweist, muss innerhalb von 5 s nach dem Ausschalten der Wert auf kleiner 60 V gesunken sein. Bauelemente, die eine gespeicherte Ladung von weniger oder gleich 60 μC haben, sind von der Forderung ausgenommen, da man davon ausgeht, dass Gefährdungen ab einer Ladung von 60 μC auftreten. Eine besondere Gefährdung geht z. B. von den ungeschützten Gleichstromzwischenkreisen der Wechselrichter aus, die in Abhängigkeit vom Zündwinkel eine Gleichspannung von 540 V annehmen können. Wenn das Trennen von Steckverbindungen zum Freilegen von Leitern (z. B. Steckerstifte) führt, darf die Entladezeit 1 s nicht überschreiten.

Können diese Entladebedingungen aus technischen Gründen nicht eingehalten werden, so ist es erforderlich, dass ein Hinweisschild in der Nähe des Bauteils, gemäß DIN 4844-2 und ISO 7010 (Warnzeichen: ISO 7010-W012), angebracht wird, z. B.:



Berühren verboten
Entladezeit länger als 30 s

Abbildung 120

8.5 EMV-Prüfungen

Die elektromagnetische Verträglichkeit beschreibt

„die Fähigkeit eines Gerätes bzw. einer Anlage, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in der Umwelt vorhandenen Geräte bzw. Anlagen unannehmbar wären.“

Die EMV kennzeichnet also den Zustand, dass Maschinen einander nicht durch ungewollte elektrische oder elektromagnetische Effekte störend beeinflussen.

In der Richtlinie 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung) wird von den Mitgliedstaaten gefordert, alle notwendigen Maßnahmen zu treffen, damit Betriebsmittel, d. h. Geräte und ortsfeste Anlagen, nur in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen werden können, wenn sie bei ordnungsgemäßer Installation und Wartung sowie bei bestimmungsgemäßer Verwendung den grundlegenden Anforderungen dieser Richtlinie entsprechen. Diese Richtlinie wird als EMV-Richtlinie bezeichnet. Die Sicherheit von Betriebsmitteln in Bezug auf Menschen, Haustiere oder Vermögenswerte ist nicht Gegenstand der EMV-Richtlinie. Gegenstand der EMV-Richtlinie ist nur die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln untereinander. Sie ist deshalb keine Richtlinie, die die Sicherheit von Maschinen betrifft. Der zentrale technische Begriff der EMV-Richtlinie ist das

„Betriebsmittel“. Eine Maschine ist im Sinne dieser Richtlinie ein „Betriebsmittel“. In der EMV-Richtlinie werden die „Betriebsmittel“ in zwei Kategorie, „Geräte“ und „ortsfeste Anlagen“, eingeteilt. Da für „Geräte“ und „ortsfeste Anlagen“ unterschiedliche Bestimmungen gelten, ist es wichtig, die richtige Kategorie für das eigene Produkt zu bestimmen.

Die Umsetzung der Richtlinie erfolgte in Deutschland durch das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG).

Bei den erhobenen Forderungen wird immer die bestimmungsgemäße Verwendung der Maschinen vorausgesetzt. Als „ortsfeste Anlage“ sollte man in diesem Zusammenhang eine Einrichtung verstehen, die den Zweck hat, auf Dauer an einem vorbestimmten Ort betrieben zu werden. Es wird auch von Produktionsanlagen oder Großmaschinen gesprochen.

„Betriebsmittel“ müssen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik so konstruiert, gefertigt und ggf. installiert sein, dass

- die von ihnen verursachten elektromagnetischen Störungen kein Niveau erreichen, bei dem ein Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten oder anderen Betriebsmitteln nicht möglich ist und
- sie gegen die bei ihrem Betrieb zu erwartenden elektromagnetischen Störungen hinreichend unempfindlich sind, um ohne unzumutbare Beeinträchtigung arbeiten zu können.

Ein Nachweis auf der Grundlage von Konformitätsbewertungsverfahren wird für „ortsfeste Anlagen“ nicht gefordert. Für sie müssen die angewendeten, allgemein anerkannten Regeln der Technik dokumentiert werden. Hierbei sind die Angaben zur vorgesehenen Verwendung der eingebauten Komponenten zu berücksichtigen.

Sie dürfen nur in Verkehr gebracht, weitergegeben oder in Betrieb genommen werden, wenn sie bei ordnungsgemäßer Installation und Wartung die genannten Forderungen erfüllen. Für die Wartung und Instandsetzung ist der Betreiber verantwortlich. Die Dokumentation muss dem aktuellen technischen Zustand der „ortsfesten Anlage“ entsprechen. Die EMV-Richtlinie verlangt für „ortsfeste Anlagen“ keine EG-Konformitätserklärung. Aber auch für Produktionsanlagen und Großmaschinen wird eine Dokumentation benötigt, die es den zuständigen Behörden ermöglicht, Beschwerden über Störungen, die von diesen „ortsfesten Anlagen“ verursacht werden, nachzugehen.

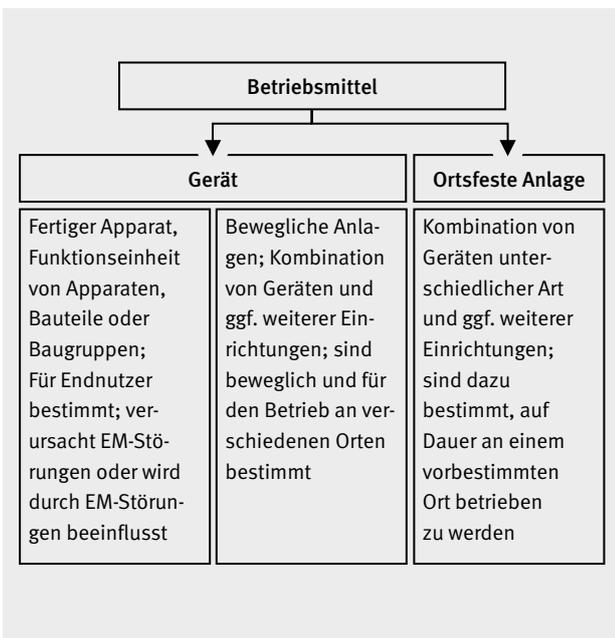


Abbildung 121

„ortsfeste Anlagen“, z. B. Produktionsanlagen

Zur Erfüllung der Schutzanforderungen und der Dokumentationspflicht wird daher empfohlen, die EMV-Eigenschaften der Komponenten, die Störungen verursachen könnten, in der Dokumentation anzugeben.

Die Geräte, d.h. Einzelkomponenten, wie z. B. Frequenzumrichter, die Teil einer „ortsfesten Anlage“ sind, müssen über eigene EG-Konformitätserklärungen und Montagehinweise verfügen.

Die „ortsfeste Anlage“ selbst wird nach anerkannten Regeln der Technik sowie unter Beachtung der Angaben des jeweiligen Komponentenherstellers installiert. Damit soll die Einhaltung der Schutzanforderungen für die „ortsfeste Anlage“ in gleicher Weise wie für Komponenten sichergestellt sein.

Die Dokumentation sollte alle EMV-Anweisungen der Komponentenhersteller enthalten.

Die Anweisungen können zum Beispiel folgende Angaben enthalten:

- genaue Hinweise zur Umgebung (besonders zur EMV-Umgebung);
- notwendige Zusatzeinrichtungen (Schutzvorrichtungen, Filter usw.);
- Art und Länge der für externe Anschlüsse benötigten Kabel;
- die Nutzungsbedingungen;
- eventuell besondere Vorkehrungen für die EMV (Potentialausgleichserdung usw.).

Die Anwendung der „anerkannten Regeln der Technik“ beinhaltet sachgerechtes technisches Verhalten unter Berücksichtigung der für die Produktionsanlage geltenden Normen und Verfahrensregeln.

Der Anwendungsnachweis beruht auf der Dokumentation der Grundregeln bei der Montage:

- Emissionen: erfordern geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Störquellen durch konstruktive EMV-Vorkehrungen, z. B. den Einbau von Filtern oder Absorptionseinrichtungen usw.
- Kopplung und Strahlung: erfordern geeignete Maßnahmen in Bezug auf Entfernungen, Potentialausgleichserdung, Auswahl der Kabel, Abschirmung usw.
- Störfestigkeit: erfordert geeignete Maßnahmen, um den Schutz empfindlicher Betriebsmittel gegen die verschiedenen Arten der möglichen Störungen zu gewährleisten;

Der Anwendungsnachweis beruht auch auf der Beschreibung der Grenzlinien/geografischen Grenzen der Produktionsanlage (zur Abgrenzung von der äußeren Umgebung):

- Benennung der Anschlüsse/Schnittstellen, an denen leitungsgeführte (Hoch- oder Niederfrequenz-) Störungen die Grenze zwischen ortsfester Maschine und äußerer Umgebung überschreiten können (Anschluss an die Stromversorgung, Steuerungs- und Telekommunikationsanschlüsse usw.),
- Benennung der Kopplungsmechanismen mit der äußeren Umgebung,
- Benennung der Strahlung in die äußere Umgebung oder von der äußeren Umgebung.

Im „Leitfaden zur Anwendung der Richtlinie 2004/108/EG des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit“ heißt es bezüglich der Unterlagen für „ortsfeste Anlagen“:

„Bei den Unterlagen kann es sich sowohl um sehr einfache Angaben als auch um sehr detaillierte Unterlagen für komplexe Anlagen handeln, in denen wichtige EMV-Aspekte angesprochen werden. Wenn eine Anlage ausschließlich Geräte umfasst, die gemäß der EMV-Richtlinie in Verkehr gebracht wurden und mit der CE-Kennzeichnung versehen sind, erfüllt der Verantwortliche seine Dokumentationspflichten bereits, wenn er in der Lage ist, die Montage-, Gebrauchs- und Wartungsanleitungen der einzelnen Geräteeinzelteile auf Verlangen vorzulegen.“ Ein aktualisierter Leitfaden unter Berücksichtigung der Richtlinie 2014/30/EU ist noch nicht vorhanden. Dennoch kann dieser Satz dazu dienen, den Dokumentationsumfang zu verdeutlichen.

„Geräte“, z. B. Maschinen, die nicht auf Dauer an einem vorbestimmten Ort betrieben werden sollen

Für Geräte wird eine EG-Konformitätserklärung gefordert. Die EMV-Bewertung muss nach einer der zwei Methoden erfolgen:

- interne Fertigungskontrolle,
- EU-Baumusterprüfung, gefolgt von der Konformität mit der Bauart auf der Grundlage einer internen Fertigungskontrolle.

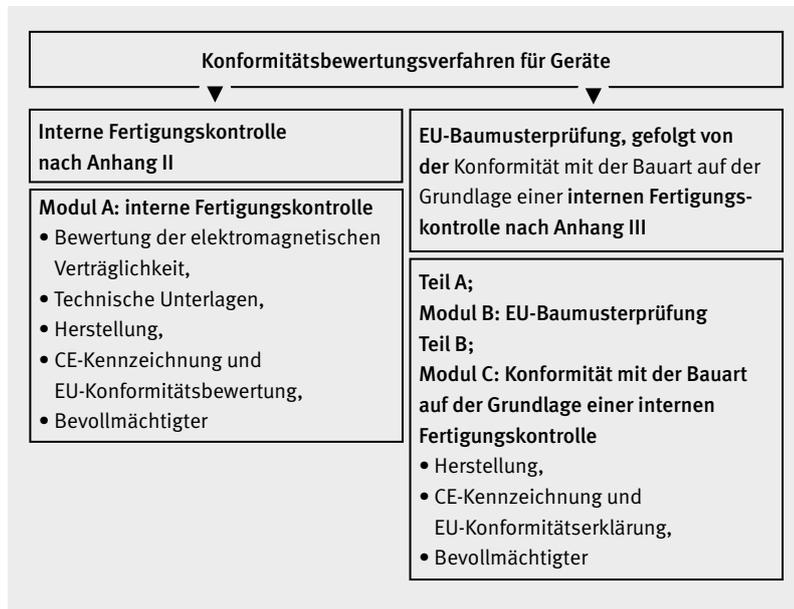


Abbildung 122

Der Hersteller kann einen Dritten damit beauftragen, die EMV-Bewertung für ihn durchzuführen. Für die EMV-Bewertung ist jedoch allein der Hersteller verantwortlich.

Für Maschinenhersteller tritt häufig der Fall ein, dass sie fertige Komponenten anderer Hersteller in ein Endprodukt einbauen. Dann muss der Maschinenhersteller die Gesamtkontrolle behalten. Der Hersteller ist dafür verantwortlich, dass die fertige Maschine den Bestimmungen entspricht.

8.6 Funktionsprüfungen

Während der Funktionsprüfung werden alle Einrichtungen auf ordnungsgemäße Funktion überprüft. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den Schutzeinrichtungen.

Die Funktionsprüfung beinhaltet z. B.:

- Prüfung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag im Fehlerfall, z. B. automatische Abschaltung,
- Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCD),
- Erdschluss- oder Isolationsüberwachungseinrichtungen,
- Prüfung der ordnungsgemäßen Funktion aller sicherheitsrelevanten Einrichtungen, z. B.:
 - Not-Halt-Einrichtungen einschließlich der Betätigungselemente,
 - Verriegelungseinrichtungen einschließlich der Positionsschalter,
 - Hauptschalter,

- sicherheitsrelevanter Tippbetrieb,
- Zweihandschaltungen,
- berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (z. B. Lichtschranken),
- Schalmatten,
- Unter- und Überspannungsschutzeinrichtungen.

Hier wird empfohlen, anhand einer Checkliste die Funktionen nach Beendigung der Installationsarbeiten zu überprüfen.

8.7 Ableitströme

Zusätzliche Maßnahmen an den Schutzpotentialausgleich werden für elektrische Ausrüstungen gefordert, wenn Erdableitströme größer als 10mA Gleich- oder Wechselstrom auftreten. Durch diese Maßnahmen soll die Wahrscheinlichkeit einer gefährlichen Berührungsspannung verringert werden. Erdableitströme sind Ströme, die von aktiven Teilen der Installation zur Erde fließen, ohne dass ein Isolationsfehler vorhanden ist.

Sie werden z. B. verursacht durch:

- parasitäre Ableitkapazitäten der Kabel und Leitungen (z. B. geschirmte Motorkabel für Frequenzrichter),
- parasitäre Ableitkapazitäten in den angeschlossenen elektrischen Betriebsmitteln (z. B. Frequenzrichter, Stromrichter und unterbrechungsfreie Stromversorgungseinrichtungen (USV-Anlagen)) und
- kapazitive Filter an Ein- und Ausgängen der angeschlossenen elektrischen Betriebsmittel (z. B. EMV-Filter).

Die Größe der vorhandenen Ableitströme kann rechnerisch oder messtechnisch ermittelt werden.

Wenn ein Ableitstrom über den Schutzleiter größer als 10 mA auftritt, müssen folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- der Schutzleiter muss bei Verwendung von Kupferleitungen einen Mindestquerschnitt von 10 mm² über seine gesamte Länge haben oder
- wenn der Schutzleiter einen Querschnitt von weniger als 10 mm² hat, muss ein zweiter Schutzleiter mit mindestens demselben Querschnitt bis zu dem Punkt vorhanden sein, wo der Schutzleiter einen Querschnitt von mindestens 10 mm² hat oder
- es erfolgt die automatische Abschaltung der Versorgung bei Verlust der Durchgängigkeit des Schutzleiters.

Auf diese Maßnahmen bezüglich des Schutzleiters kann, gemäß EN 60204-1, verzichtet werden, wenn:

- die elektrische Ausrüstung vollständig innerhalb geschlossener Gehäuse untergebracht ist oder
- auf andere Weise über die gesamte Länge gegen mechanische Beschädigung geschützt ist oder
- Stecker-Steckdosen-Kombinationen für industrielle Anwendungen nach IEC 60309 verwendet werden, der Schutzleitermindestquerschnitt 2,5 mm² beträgt und Bestandteil einer flexiblen Mehraderleitung ist und zudem eine angemessene Zugentlastung vorliegt.

Wenn Ableitströme größer als 10mA vorhanden sind, ist außerdem

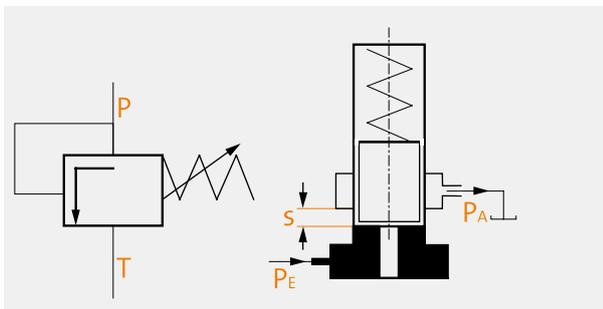
- ein Warnschild in der Nähe des PE-Anschlusses gut sichtbar anzubringen und
- in der Montageanleitung für die Aufstellung der Maschine der Wert des Schutzleiterstroms anzugeben und die erforderlichen Maßnahmen zu benennen, wenn nicht der Schutz durch automatische Abschaltung realisiert wird. Anstelle der Angabe des Wertes kann es auch ausreichend sein, nur die Aussage zu machen, dass der Schutzleiterstrom 10 mA überschreitet. Eine Wertangabe ist jedoch aufgrund praktischer Erfahrungen sehr zu empfehlen.

Bildzeichen von Ventilen, Stell- und Steuergliedern

Druckregelventile

- **Einstellbares Druckbegrenzungsventil (Überdruckventil; DBV):**

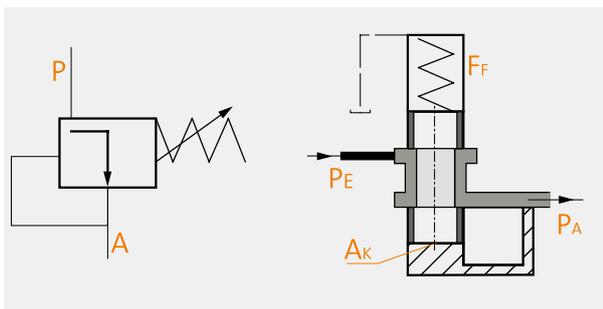
Das DBV hat die Aufgabe, den Systemdruck auf einen bestimmten vorgegebenen Wert zu begrenzen. In ihm wird der Eingangsdruck des Ventils geregelt. Bei Erreichen oder Überschreiten des über die Feder vorgegebenen Druckwertes wird der Durchgang geöffnet und das Druckmedium fließt entweder in den Tank zurück (Hydraulik) oder wird ins Freie abgelassen (Pneumatik).



Symbol/Druckbegrenzungsventil als Schieberventil (Hydraulik)

- **Einstellbares Druckregelventil (Druckminderventil; DRV):**

Das DRV mindert den Ausgangsdruck (Verbraucherdruck) unter den Druck des Fluidsystems und hält ihn konstant.



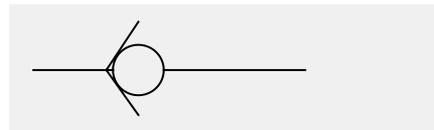
Symbol/(2-Wege-)Druckregelventil (Hydraulik)

Entsprechend der Aufgabe des Druckregelventils, den Ausgangsdruck zu regeln, wird dieser auf die Stirnseite A_K des Steuerkolbens geleitet und dort mit der Kraft F_F der Regelfeder verglichen. Die Kräfte am Ventilschieber sind stets ausgeglichen.

- **Rückschlagventile**

- Einfaches Rückschlagventil

Das einfache Rückschlagventil gibt den Durchfluss in einer Richtung frei und sperrt ihn in der Gegenrichtung vollständig. Der Dichtkörper (Kugel, Platte oder Kegel) wird allein durch die Druckkraft der Druckflüssigkeit auf den Sitz gedrückt.



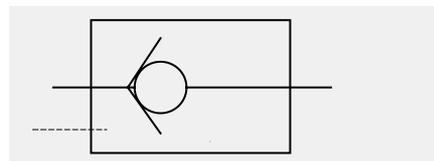
- **Rückschlagventil mit Rückstellfeder**

Beim Rückschlagventil mit Rückstellfeder wird der Dichtkörper mittels einer Rückstellfeder auf den Sitz zurückgedrückt. Erst bei definiertem Druck (Federkraft) erfolgt die Öffnung.



- **Entsperrbares Rückschlagventil**

Bei einem entsperrbaren Rückschlagventil besteht die Möglichkeit, die Sperrung durch ein Steuersignal aufzuheben. Damit wird das Ventil wahlweise in beide Richtungen durchströmbar. Dadurch können z. B. Zylinder in Zwischenstellungen angehalten werden. Die Absperrung kann durch Druckausfall oder durch ein gezieltes Steuersignal eingeleitet werden.



- **Drosselrückschlagventil**

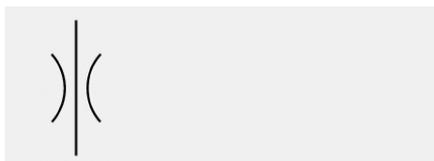
Das Drosselrückschlagventil vereint Rückschlagventil und Drossel. Beide Elemente sind parallel zueinander angeordnet. Diese Ventile dienen in der Fluidtechnik der Geschwindigkeitsreduzierung in einer Bewegungsrichtung.



• **Drosselventile**

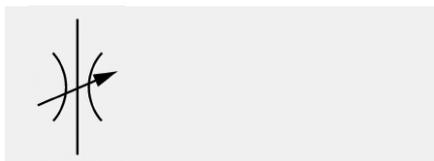
– **Nicht verstellbares Drosselventil**

Beim nicht verstellbaren Drosselventil erfolgt die Beeinflussung des Volumenstroms über eine konstante Verengung des Querschnitts.



– **Einstellbares Drosselventil**

Beim einstellbaren Drosselventil lässt sich die Verengung des Querschnitts und somit die Beeinflussung des Volumenstroms verändern. Die Einstellung des Drosselventils erfolgt entweder von Hand, mechanisch, pneumatisch oder elektrisch.



Wegeventile (WV)

Symboldarstellung und Bezeichnung der Wegeventile

• **Schaltstellungen**

Jede einzelne Schaltstellung eines Wegeventils wird durch ein Quadrat dargestellt. Die einzelnen Schaltstellungen können mit den Zahlen 0, 1 und 2 bezeichnet. Die Stellung 0 bleibt der Ruhestellung (Sperrstellung) vorbehalten, während mit den Zahlen 1 und 2 die Durchflussstellungen bezeichnet werden.



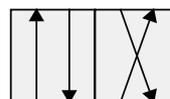
z. B. Zwei-Wegeventil mit Feder

Verbindungen und Durchflussrichtungen von Wegeventilen

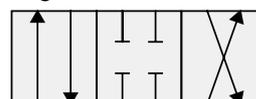
ANGABE DER VERBINDUNGEN IN DER SYMBOLDARSTELLUNG

1 Innerhalb der **Quadrate (Schaltstellungen)** werden die jeweiligen **Verbindungen** durch **Linien** dargestellt.

2 Die **Durchflussrichtung** wird mit einem **Pfeil** angegeben
Beispiel



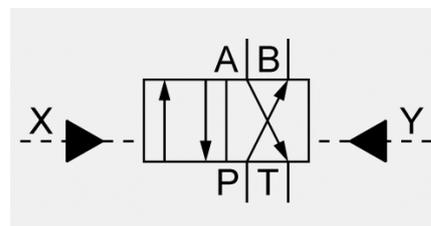
3 **Sperrungen** werden durch **Querstriche** innerhalb der Quadrate dargestellt
Beispiel



Die Anschlüsse des Ventils können durch festgelegte Bezeichnungen angegeben werden.

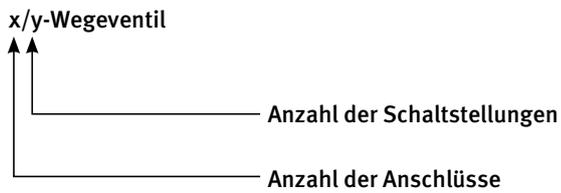
Anschluss	Hydraulik	Pneumatik
Arbeitsleitung	A, B, C, ...	2, 4 (gerade Zahl)
Druckleitung	P	1
Abfluss (zum Tank)	T, R, S, ...	3, 5 (ungerade Zahl)
Steuerleitung	X, Y, Z, ...	12, 14
Leckölleitung	L	

Beispiel:
Ventil mit Anschluss und Steuerung

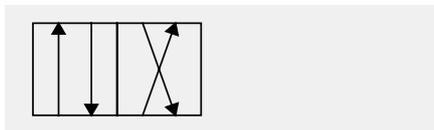


- **Bezeichnung der Wegeventile**

Die Wegeventile werden einerseits durch die Anzahl der Anschlüsse, andererseits durch die Anzahl der möglichen Schaltstellungen bezeichnet:



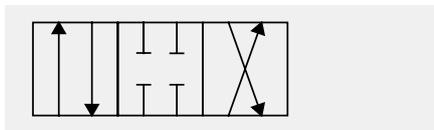
Beispiele



Anzahl der Anschlüsse: 4

Anzahl der Schaltstellungen: 2

Bezeichnung des Wegeventils: 4/2-Wegeventil



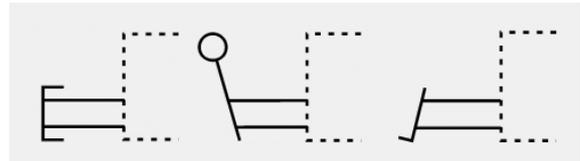
Anzahl der Anschlüsse: 4

Anzahl der Schaltstellungen: 3

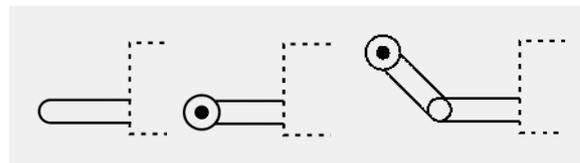
Bezeichnung des Wegeventils: 4/3-Wegeventil

- **Betätigung der Wegeventile**

- **Betätigung mit Hand oder Fuß**



- **Mechanische Betätigung**



- **Elektromagnetische Betätigung**



Literatur

Europäische Richtlinien, Normen, Vorschriften, Regeln (Stand 2/2014):

▶ **Maschinenrichtlinie 2006/42/EG**

Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)“ und

▶ **Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG**; Europäischen Kommission Unternehmen und Industrie, 2. Auflage Juni 2010

▶ **EMV-Richtlinie 2014/30/EU**

Richtlinie 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung) und

▶ **Leitfaden zur Anwendung der Richtlinie 2004/108/EG** des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-Leitfaden – Stand 08.02.2010)

▶ **Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG)**

Ausfertigungsdatum: 26.02.2008 (BGBl. I S. 220)

▶ **EN ISO 7731**

DIN EN ISO 7731:2008-12 „Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale (ISO 7731:2003); Deutsche Fassung EN ISO 7731:2008“

▶ **EN ISO 9241-110**

DIN EN ISO 9241-110:2008-09 „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006); Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2006“

▶ **EN ISO 9241-303**

DIN EN ISO 9241-303:2012-03 „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen (ISO 9241-303:2011); Deutsche Fassung EN ISO 9241-303:2011“

▶ **EN ISO 12100** (ersetzt EN 1050)

DIN EN ISO 12100 „Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010“

▶ **EN ISO 13849-1**

DIN EN ISO 13849-1:2008-12 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2008“

▶ **EN ISO 13849-2**

DIN EN ISO 13849-2:2013-2 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung“

▶ **EN ISO 13850**

DIN EN ISO 13850:2015-05 „Sicherheit von Maschinen – Not-Halt – Gestaltungsleitsätze (ISO 13850:2015); Deutsche Fassung EN ISO 13850:2015“

▶ **EN ISO 13855**

DIN EN ISO 13855:2010-10 „Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen (ISO 13855:2010); Deutsche Fassung EN ISO 13855:2010“

▶ **EN ISO 13856-1** (ersetzt EN ISO 1760-1)

DIN EN ISO 13856-1:2013-08 „Sicherheit von Maschinen – Druckempfindliche Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Leitsätze für die Gestaltung und Prüfung von Schaltmatten und Schaltplatten (ISO 13856-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 13856-1:2013“

▶ **EN ISO 13857**

DIN EN ISO 13857:2008-06 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen (ISO 13857:2008); Deutsche Fassung EN ISO 13857:2008“

▶ **EN ISO 14119**

DIN EN ISO 14119:2014-03 „Sicherheit von Maschinen – Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen – Leitsätze für Gestaltung und Auswahl (ISO 14119:2013); Deutsche Fassung EN ISO 14119:2013“

▶ **EN ISO 14122-2** (wird ersetzt durch prEN ISO 14122-2)

DIN EN ISO 14122-2/A1:2010-12 „Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 2: Arbeitsbühnen und Laufstege – Änderung 1 (ISO 14122-2:2001/Amd 1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 14122-2:2001/A1:2010“ prEN ISO 14122-2

- ▶ **DIN EN ISO 14122-2:2014-01** „Sicherheit von Maschinen – Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen – Teil 2: Arbeitsbühnen und Laufstege (ISO/DIS 14122-2:2013); Deutsche Fassung prEN ISO 14122-2:2013“
- ▶ **EN 574**
DIN EN 574:2008-12 „Sicherheit von Maschinen – Zweihandschaltungen – Funktionelle Aspekte – Gestaltungsleitsätze; Deutsche Fassung EN 574:1996+A1:2008“
- ▶ **EN 1010-1+A1**
DIN EN 1010-1:2011-06 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsanforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Teil 1: Gemeinsame Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1010-1:2004+A1:2010“
- ▶ **EN 1010-2+A1**
DIN EN 1010-2:2011-05 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsanforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Teil 2: Druck- und Lackiermaschinen einschließlich Maschinen der Druckvorstufe; Deutsche Fassung EN 1010-2:2006+A1:2010“
- ▶ **EN 1010-3+A1**
DIN EN 1010-3:2010-06 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsanforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Teil 3: Schneidemaschinen; Deutsche Fassung EN 1010-3:2002+A1:2009“
- ▶ **EN1010-4+A1**
DIN EN 1010-4:2010-12 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsanforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Teil 4: Buchbinderei-, Papierverarbeitungs- und Papierveredelungsmaschinen; Deutsche Fassung EN 1010-4:2004+A1:2009“
- ▶ **EN 1010-5+A1**
DIN EN 1010-5:2005-10 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsanforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Teil 5: Wellpappenerzeugungs-, Flach- und Wellpappenverarbeitungs-
maschinen; Deutsche Fassung EN 1010-5:2005“
und
DIN EN 1010-5/A1:2010-11 „Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsanforderungen an Konstruktion und Bau von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Teil 5: Wellpappenerzeugungs-, Flach- und Wellpappenverarbeitungs-
maschinen; Deutsche Fassung EN 1010-5:2005/
FprA1:2010“
- ▶ **EN 1037** (zukünftig EN ISO 14118)
DIN EN 1037:2008-11 „Sicherheit von Maschinen – Vermeidung von unerwartetem Anlauf; Deutsche Fassung EN 1037:1995+A1:2008“
- ▶ **EN 14119**
DIN EN ISO 14119:204:03 „Sicherheit von Maschinen – Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen – Leitsätze für Gestaltung und Auswahl; Deutsche Fassung EN ISO14119:2013“
- ▶ **EN 60073**
DIN EN 60073:2003-05 (VDE 0199:2003-05) „Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung – Codierungsgrundsätze für Anzeigengeräte und Bedienteile (IEC 60073:2002); Deutsche Fassung EN 60073:2002“
- ▶ **EN 60204-1**
Normentwurf DIN EN 60204-1:2014-10 (VDE 0113-1:2014-10) „Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 44/709/CDV:2014)“
- ▶ **EN 60309-1**
DIN EN 60309-1:2013-02; VDE 0623-1:2013-02 „Stecker, Steckdosen und Kupplungen für industrielle Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60309-1:1999 + A1:2005, modifiziert + A2:2012); Deutsche Fassung EN 60309-1:1999 + A1:2007 + A2:2012“
- ▶ **EN 60417-1** (zurückgezogen)
DIN EN 60417-1:2000-05 „Graphische Symbole für Betriebsmittel – Teil 1: Übersicht und Anwendung (IEC 60417-1:1998); Dreisprachige Fassung EN 60417-1:1998“
- ▶ **EN 60417-2** (zurückgezogen)
DIN EN 60417-2:2000-05 „Graphische Symbole für Betriebsmittel – Teil 2: Originale der Symbole (IEC 60417-2:1998); Dreisprachige Fassung EN 60417-2:1999“
- ▶ **EN 60445**
DIN EN 60445:2011-10 (VDE 0197:2011-10) „Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle – Kennzeichnung von Anschlüssen elektrischer Betriebsmittel, angeschlossenen Leiterenden und Leitern (IEC 60445:2010); Deutsche Fassung EN 60445:2010“

▶ **EN 60447**

DIN EN 60447:2004-12 (VDE 0196:2004-12) „Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung – Bedienungsgrundsätze (IEC 60447:2004); Deutsche Fassung EN 60447:2004“

▶ **EN 60529+A1**

DIN EN 60529:2000-09 (VDE 0470-1:2000-09) „Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000“

▶ **EN 60617-2**

DIN EN 60617-2:1997-08 „Graphische Symbole für Schaltpläne – Teil 2: Symbolelemente, Kennzeichen und andere Schaltzeichen für allgemeine Anwendungen (IEC 60617-2:1996); Deutsche Fassung EN 60617-2:1996“

▶ **EN 60947-1**

DIN EN 60947-1:2011-10 (VDE 0660-100:2011-10) „Nieder Spannungsschaltgeräte – Teil 1: Allgemeine Festlegungen (IEC 60947-1:2007 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 60947-1:2007 + A1:2011“

▶ **EN 60947-2**

DIN EN 60947-2:2014-01; VDE 0660-101:2014-01 „Nieder Spannungsschaltgeräte – Teil 2: Leistungsschalter (IEC 60947-2:2006 + A1:2009 + A2:2013); Deutsche Fassung EN 60947-2:2006 + A1:2009 + A2:2013“

▶ **EN 60947-3**

DIN EN 60947-3:2012-12; VDE 0660-107:2012-12 „Nieder Spannungsschaltgeräte – Teil 3: Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter und Schalter-Sicherungs-Einheiten (IEC 60947-3:2008 + A1:2012); Deutsche Fassung EN 60947-3:2009 + A1:2012“

▶ **EN 60947-5-1**

DIN EN 60947-5-1:2010-04 (VDE 0660-200:2010-04) „Nieder Spannungsschaltgeräte – Teil 5-1: Steuergeräte und Schaltelemente – Elektromechanische Steuergeräte (IEC 60947-5-1:2003 + A1:2009); Deutsche Fassung EN 60947-5-1:2004 + Cor.:2005 + A1:2009“

▶ **EN 60947-5-3**

DIN EN 60947-5-3:2005-11 (VDE 0660-214:2005-11) „Nieder Spannungsschaltgeräte – Teil 5-3: Steuergeräte und Schaltelemente – Anforderungen für Näherungsschalter mit definiertem Verhalten unter Fehlerbedingungen (PDF) (IEC 60947-5-3:1999 + A1:2005); Deutsche Fassung EN 60947-5-3:1999 + A1:2005“

▶ **EN 61000 (Normenreihe)**

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

▶ **EN 61310-3**

DIN EN 61310-3:2008-09 (VDE 0113-103:2008-09) „Sicherheit von Maschinen – Anzeigen, Kennzeichen und Bedienen – Teil 3: Anforderungen an die Anordnung und den Betrieb von Bedienteilen (Stellteilen) (IEC 61310-3:2007); Deutsche Fassung EN 61310-3:2008“

▶ **EN 61496-1**

DIN EN 61496-1:2014-05; VDE 0113-201:2014-05 „Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61496-1:2012); Deutsche Fassung EN 61496-1:2013“

▶ **EN 61496-2**

DIN EN 61496-2:2014-06 (VDE 0113-202:2014-06) „Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, welche nach dem aktiven opto-elektronischen Prinzip arbeiten (IEC 61496-2:2013); Deutsche Fassung EN 61496-2:2013“

▶ **EN 61508-1**

DIN EN 61508-1:2011-02; VDE 0803-1:2011-02 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61508-1:2010); Deutsche Fassung EN 61508-1:2010“

▶ **EN 61508-2** (ersetzt DIN V VDE 0801 (IEC 1508))

DIN EN 61508-2:2011-02; VDE 0803-2:2011-02 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme – Teil 2: Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische/elektronische/programmierbare elektronische Systeme (IEC 61508-2:2010); Deutsche Fassung EN 61508-2:2010“

▶ **EN 61558-1** (ersetzt EN 60742 (VDE 0551))

DIN EN 61558-1:2006-07 (VDE 0570-1:2006-07) „Sicherheit von Transformatoren, Netzgeräten, Drosseln und dergleichen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61558-1:2005); Deutsche Fassung EN 61558-1:2005“

▶ **EN 61558-2** (ersetzt EN 60742 (VDE 0551))

DIN EN 61558-2-6:2010-04 (VDE 0570-2-6:2010-04) „Sicherheit von Transformatoren, Drosseln, Netzgeräten

und dergleichen für Versorgungsspannungen bis 1100 V – Teil 2-6: Besondere Anforderungen und Prüfungen an Sicherheitstransformatoren und Netzgeräte, die Sicherheitstransformatoren enthalten (IEC 61558-2-6:2009); Deutsche Fassung EN 61558-2-6:2009“

▶ **EN 61800-5-1**

DIN EN 61800-5-1:2008-04; VDE 0160-105-1:2008-04 “Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl – Teil 5-1: Anforderungen an die Sicherheit – Elektrische, thermische und energetische Anforderungen (IEC 61800-5-1:2007); Deutsche Fassung EN 61800-5-1:2007“

▶ **IEC 60364-6-61**

IEC 60364-6-61:2006-2 “Electrical installations of buildings – Verification and testing – Initial verification”

▶ **IEC 60449**

Voltage bands for electrical installations of buildings; First edition; 1973

▶ **IEC 60757**

DIN IEC 60757:1986-07 „Elektrotechnik; Code zur Farbkennzeichnung; Identisch mit IEC 60757, Ausgabe 1983“

▶ **ISO 7000**

DIN ISO 7000:2008-12 „Graphische Symbole auf Einrichtungen – Index und Übersicht (ISO 7000:2004 + ISO 7000 Datenbank:2008 bis ISO 7000-2750)“

▶ **ISO 7010**

DIN EN ISO 7010:2012-10 „Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Registrierte Sicherheitszeichen (ISO 7010:2011); Deutsche Fassung EN ISO 7010:2012“

▶ **ISO 11429**

ISO 11429:1996-12 „Ergonomie – System akustischer und optischer Gefahrensignale und Informationssignale“

▶ **ISO 13851**

ISO 13851:2002-03 „Sicherheit von Maschinen – Zweihandschaltungen – Funktionelle Aspekte und Gestaltungsleitsätze“

▶ **ISO/TR 15847**

ISO/TR 15847:2008-10 “Graphic technology – Graphical symbols for printing press systems and finishing systems, including related auxiliary equipment”

▶ **DIN 4844-2**

DIN 4844-2:2012-12 „Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Teil 2: Registrierte Sicherheitszeichen“

▶ **DIN VDE 0100 (Normenreihe)**

DIN VDE 0100-xxx; VDE 0100-xxx „Errichten von Niederspannungsanlagen – ...“

▶ **DGUV Information 203-079**

Auswahl und Anbringung von Verriegelungseinrichtungen, August 2014, Sachgebiet „Elektrotechnik und Feinmechanik“, Fachbereich „Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse“ der DGUV.

**Berufsgenossenschaft
Energie Textil Elektro
Medienerzeugnisse**

Gustav-Heinemann-Ufer 130
50968 Köln
Telefon 0221 3778-0
Telefax 0221 3778-1199

Bestell-Nr. 220.2 DP

 www.bgetem.de

 youtube.com/diebgetem

 xing.to/bgetem

 twitter.com/bg_etem

 facebook.com/bgetem