

## CCF-Maßnahmen

Sicherheits-Teilfunktionen Pneumatik



### Unser Aufwand – Ihr Vorteil

Unser Aufwand für die Erstellung dieses Dokuments  
und Ihr eingesparter Zeitaufwand 24 h  
Für Sie kostenlos.

Titel .....Sicherheits-Teilfunktionen Pneumatik - CCF-Maßnahmen  
Version ..... 1.10  
Dokumentnummer ..... 100399  
Originalsprache ..... Deutsch  
Autor .....Festo  
Datum ..... 17.08.2026

## Rechtliche Hinweise

Im Folgenden ist mit „Festo“ die „Festo SE & Co. KG“ bezeichnet.

Dieses Dokument ist unverbindlich. Dieses Dokument stellt einen möglichen Lösungsansatz für einen beispielhaften Einsatzfall dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, insbesondere hinsichtlich Konfiguration und Ausstattung sowie jeglicher Eventualitäten für Ihren konkreten Einsatzfall. Dieses Dokument ist keine kundenspezifische Lösung, sondern soll lediglich Hilfestellung bei typischen Aufgabenstellungen bieten.

Die in diesem Dokument genannten Werte sind teilweise Annahmen und Abschätzungen, die eine detaillierte Betrachtung unter Zuhilfenahme der ISO 13849, IEC 61508, IEC 62061 und/oder IEC 61511 nicht ersetzen.

Die tatsächlich erreichbaren Kennwerte (insbesondere PL, PFH<sub>D</sub>, Kategorie, DC, MTTF<sub>D</sub>, CCF, SIL, HFT, PFH, PFD) hängen von den eingesetzten Komponenten sowie ihren Einsatzbedingungen in der konkreten Applikation ab.

Dieses Dokument enthebt Sie nicht von der Pflicht, eine Risikobeurteilung und eine Validierung Ihrer spezifischen Anwendung vorzunehmen und die Einhaltung sämtlicher Vorgaben, insbesondere der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (bis 20.1.2027 anzuwenden) bzw. Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 (ab 20.01.2027 anzuwenden), selbst sicherzustellen. Sie als Anwender tragen für Ihren konkreten Einsatzfall und für den sachgemäßen Betrieb der beschriebenen Produkte in diesem Zusammenhang selbst die Verantwortung. Festo lehnt jede Haftung für Schäden ab, die durch die Anwendung von gegebenenfalls falschen bzw.

unzureichenden Informationen oder aufgrund fehlender Informationen in diesen Unterlagen entstehen. Dies gilt ebenfalls für Defekte, die durch unsachgemäße Behandlung von Geräten und Baugruppen entstehen. Für Schäden, die durch die Nichteinhaltung der Vorgaben der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (bis 20.1.2027 anzuwenden) bzw. Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 (ab 20.01.2027 anzuwenden) entstehen, wird ebenfalls jede Haftung, mit Ausnahme von Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens Festo, abgelehnt.

Die Informationen dieses Dokuments gelten keinesfalls als Ersatz für die Bedienungsanleitung der jeweiligen Hersteller sowie der Konstruktion und Prüfung der jeweils eigenen Anwendung durch den Benutzer. Die jeweiligen Bedienungsanleitungen der Produkte von Festo sind unter [www.festo.com](http://www.festo.com) zu finden. Der Benutzer dieses Dokuments muss selbst sicherstellen, dass jede Funktion, die hier beschrieben ist, auch in seiner Anwendung ordnungsgemäß funktioniert. Der Benutzer bleibt auch durch das Studium dieses Dokuments sowie durch die Nutzung der darin genannten Angaben allein verantwortlich für die eigene Anwendung.

Im Übrigen gelten die Regelungen bzgl. Haftung aus den Liefer-, Zahlungs- und Softwarenutzungsbedingungen von Festo, welche Sie unter [www.festo.com](http://www.festo.com) finden. Diese lassen wir Ihnen auf Anforderung gerne zukommen. Dieses Dokument ist nur geeignet für Personen mit ausreichender Fachkompetenz für Maschinensicherheit und funktionaler Sicherheit auf Basis der ISO 12100, ISO 13849, IEC 61508, IEC 62061 und IEC 61511. Zusätzlich sind die folgenden Qualifikationen im Projektteam erforderlich:

- Fachkraft in der Pneumatik
- Fachkraft in der Elektrotechnik
- Fachkraft für die Programmierung von Steuerungen und Sicherheitsschaltgeräten

## Urheberrechtshinweis

Diese Unterlagen sind geistiges Eigentum von Festo, der auch das ausschließliche Urheberrecht daran zusteht. Eine inhaltliche Änderung, die Vervielfältigung oder der Nachdruck dieser Unterlagen sowie deren Weitergabe an Dritte ist nur mit der ausdrücklichen schriftlichen Erlaubnis von Festo gestattet.

Festo behält sich das Recht vor, dieses Dokument vollständig oder teilweise zu ändern. Alle Marken- und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber.

© Festo SE & Co. KG, D - 73734 Esslingen, 2026

Internet: <https://www.festo.com>

# Inhaltsverzeichnis

|           |                                                                                                   |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Allgemeines.....</b>                                                                           | <b>5</b>  |
| 1.1       | Ziele dieses Dokuments.....                                                                       | 5         |
| 1.2       | Allgemeine Hinweise .....                                                                         | 5         |
| 1.3       | Definitionen .....                                                                                | 5         |
| 1.4       | Hinweise .....                                                                                    | 5         |
| <b>2</b>  | <b>Fehler mit gemeinsamer Ursache .....</b>                                                       | <b>6</b>  |
| 2.1       | Grundlagen.....                                                                                   | 6         |
| <b>3</b>  | <b>Trennung / Abtrennung .....</b>                                                                | <b>8</b>  |
| 3.1       | Punkt 1: Trennung der Verdrahtung .....                                                           | 8         |
| 3.2       | Punkt 2: Trennung der Verrohrung .....                                                            | 9         |
| 3.3       | Punkt 3: Erkennung von Kurzschlüssen und Unterbrechungen in Kabeln durch dynamische Prüfung ..... | 9         |
| 3.3.1     | Dynamische Prüfung durch Prüfpulse .....                                                          | 9         |
| 3.3.2     | Dynamischer Test durch Schaltzyklus der Ventile .....                                             | 11        |
| <b>4</b>  | <b>Diversität .....</b>                                                                           | <b>12</b> |
| <b>5</b>  | <b>Schutz gegen Überspannung, Überdruck, Überstrom, Übertemperatur, usw. ....</b>                 | <b>14</b> |
| 5.1       | Schutz vor transienter Überspannung .....                                                         | 14        |
| 5.2       | Schutz vor dauerhafter Überspannung .....                                                         | 14        |
| 5.3       | Überstromschutz Stromversorgung Logik .....                                                       | 15        |
| 5.4       | Schutz vor transienter Überspannung bei Eingängen und Ausgängen .....                             | 15        |
| 5.5       | Überstromschutz Eingänge.....                                                                     | 15        |
| 5.6       | Überstromschutz Ausgänge.....                                                                     | 15        |
| 5.7       | Überdruck.....                                                                                    | 16        |
| <b>6</b>  | <b>Verwendung bewährter Bauteile .....</b>                                                        | <b>17</b> |
| <b>7</b>  | <b>Beurteilung / Analyse.....</b>                                                                 | <b>18</b> |
| 7.1       | Ziel der Maßnahmen .....                                                                          | 18        |
| 7.2       | Erforderliche Methoden .....                                                                      | 18        |
| 7.3       | Vorgehensweise .....                                                                              | 18        |
| <b>8</b>  | <b>Ausbildung .....</b>                                                                           | <b>20</b> |
| <b>9</b>  | <b>Umgebung für elektrische / elektronische Systeme.....</b>                                      | <b>21</b> |
| <b>10</b> | <b>Umgebung für fluidische Systeme.....</b>                                                       | <b>22</b> |
| <b>11</b> | <b>Umgebung, andere Einflüsse.....</b>                                                            | <b>23</b> |
| <b>12</b> | <b>Weitere Maßnahmen gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache .....</b>                                 | <b>24</b> |
| 12.1      | Systematische Fähigkeiten .....                                                                   | 24        |
| 12.2      | Einschränkungen durch begrenzte systematische Fähigkeiten.....                                    | 24        |
| 12.2.1    | Nicht zugängliche Embedded Software (Firmware) .....                                              | 24        |
| 12.3      | Weitere Angaben zur Umsetzung von Diversität.....                                                 | 25        |
| 12.3.1    | Verriegelungseinrichtungen .....                                                                  | 25        |
| <b>13</b> | <b>Verwendete Literatur .....</b>                                                                 | <b>26</b> |
| 13.1      | Zitierte Unterlagen von Festo.....                                                                | 26        |
| 13.2      | Normen.....                                                                                       | 26        |

|           |                                              |           |
|-----------|----------------------------------------------|-----------|
| 13.3      | Rechtsvorschriften.....                      | 27        |
| <b>14</b> | <b>Informationen über das Dokument .....</b> | <b>28</b> |
| 14.1      | Allgemeine Angaben .....                     | 28        |
| 14.2      | Revisionshistorie .....                      | 28        |
| 14.3      | Genehmigung/Freigabe des Dokuments .....     | 28        |
| 14.4      | Gültigkeitsdauer .....                       | 28        |

# **1 Allgemeines**

## **1.1 Ziele dieses Dokuments**

- Dieses Dokument gibt Empfehlungen, wie die Maßnahmen gegen Ausfälle auf Grund gemeinsamer Ursache (CCF) nach ISO 13849-1, Anhang F, für die Pneumatik und deren elektrischen Ansteuerung umgesetzt werden können.

## **1.2 Allgemeine Hinweise**

- Die angegebenen Schaltungen sind Prinzipschaltungen, die auf Grund der Übersichtlichkeit und Umfang nicht vollständig sein können. Sie sind Empfehlungen, die andere Möglichkeiten nicht ausschließen.
- Ob die hier enthaltenen Empfehlungen für eine bestimmte Anwendung geeignet sind, muss durch den Anwender geprüft und in seiner technischen Dokumentation bestätigt werden.

## **1.3 Definitionen**

- Ausfall infolge gemeinsamer Ursache (engl. Common Cause Failure, CCF)  
Ausfall, der das Ergebnis eines oder mehrerer Ereignisse ist, die gleichzeitige Ausfälle von zwei oder mehreren getrennten Kanälen in einem mehrkanaligen System verursachen und zu einem Fehler einer Sicherheitsfunktion führen. [nach IEC 61508-4, 3.6.10]

### **Hinweise**

- Ausfällen aufgrund gemeinsamer Ursache sollten nicht mit gleichartigen Ausfällen verwechselt werden, da die gleichartigen Ausfälle unterschiedliche Ursachen haben können. [nach ISO 12100, 3.36, Anmerkung]
- gleichartige Ausfälle  
Ausfälle von Einheiten, die durch den gleichen Ablauf gekennzeichnet sind. [nach ISO 12100, 3.36]

## **1.4 Hinweise**

- Einige Maßnahmen gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache entsprechen einigen grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien aus der ISO 13849-2. In diesen Fällen wird auf diese Sicherheitsprinzipien verwiesen.

## 2 Fehler mit gemeinsamer Ursache

### 2.1 Grundlagen

Bei Sicherheitsschaltungen ab Kategorie 2 sind immer Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache zu bewerten. Dies ist notwendig, da bestimmte Fehlerursachen zum Ausfall beider Kanäle einer Sicherheitsschaltung führen können und somit eine Sicherheitsfunktion außer Kraft setzen. Damit ist die erforderliche Ein-Fehler-Sicherheit nicht mehr gegeben.

Der von der ISO 13849-1 gewählte Ansatz verwendet das  $\beta$ -Faktor-Modell der IEC 61508-6 und hat es für die Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau praxisorientiert vereinfacht. Dieses  $\beta$ -Faktor-Modell erlaubt eine Abschätzung des Anteils gefährlicher Ausfälle in den Kanälen 1 und 2 in Folge der jeweiligen Fehlerursache, die auch im anderen Kanal auftreten können.

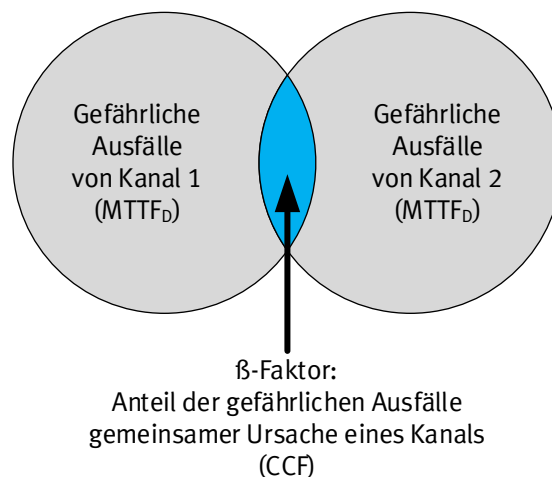


Abbildung 1 Beziehung zwischen den Ausfällen der Kanäle und dem  $\beta$ -Faktor für Ausfälle gemeinsamer Ursache

Auf Basis dieser Abbildung gibt es drei Möglichkeiten, die Wahrscheinlichkeit der Fehler gemeinsamer Ursache zu reduzieren:

1. Verringerung der Anzahl der zufälligen Hardware- und systematischer Ausfälle. Damit werden die Flächen der Kreise reduziert und somit auch die Größe des Überlappungsbereichs.
2. Vergrößerung der Unabhängigkeit, d.h. Trennung und Diversität, der Kanäle. Dies reduziert die Überlappung der Kreise bei gleicher Größe.
3. Aufdeckung nicht gleichzeitiger Ausfälle infolge eines Fehlers gemeinsamer Ursache, solange nur ein Kanal betroffen ist, d.h. Anwendung von Diagnosetests.

Um den  $\beta$ -Faktor für eine bestimmte Sicherheitsschaltung genauer zu ermitteln, sind detaillierte FMEAs für die Komponenten und deren Schaltung in jedem Kanal für die vorgesehene Anwendung erforderlich. Dies ist sehr aufwändig, so dass die ISO 13849-1 eine Checkliste mit acht wichtigen Maßnahmen definiert hat, um den  $\beta$ -Faktor abschätzen zu können.

In der ISO 13849-1, Anhang F, wird ein qualitativer Prozess vorgeschlagen, mit dem die Auswirkungen der Ausfälle aufgrund gemeinsamer Ursache (CCF) für jedes Teilsystem abgeschätzt werden kann. Dafür sind Maßnahmen enthalten und deren Beitrag zur Reduzierung der Ausfälle aufgrund gemeinsamer Ursache. Die angegebenen Maßnahmen müssen vollständig erfüllt sein, um die Punktzahl beanspruchen zu können. Bei teilweiser Umsetzung ist die Punktzahl null.

Für jede Maßnahme gibt es in den folgenden Abschnitten Empfehlungen zu deren Umsetzung.

Tabelle 1 Quantifizierung von Maßnahmen gegen CCF (nach ISO 13849-1, Anhang F)

| Nr.           | Maßnahme gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache (CCF)                                     | Punktzahl |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1             | Trennung / Abtrennung                                                                 | 15        |
| 2             | Diversität                                                                            | 20        |
| 3             | Gestaltung / Anwendung / Erfahrung                                                    | –         |
|               | 3.1 Schutz gegen Überspannung, Überdruck, Überstrom, Übertemperatur                   | 15        |
|               | 3.2 Verwendung bewährter Bauteile                                                     | 5         |
| 4             | Beurteilung / Analyse                                                                 | 5         |
| 5             | Ausbildung                                                                            | 5         |
| 6             | Umgebung                                                                              | –         |
|               | 6.1 Verhindern von elektromagnetischen Störungen oder von Verunreinigungen des Fluids | 25        |
|               | 6.2 Andere Einflüsse                                                                  | 10        |
| <b>Gesamt</b> |                                                                                       |           |

#### Auswertung des Ergebnisses

| Gesamtpunktzahl | Maßnahmen, um Ausfälle gemeinsamer Ursache zu vermeiden  |
|-----------------|----------------------------------------------------------|
| 65 oder besser  | Anforderungen erfüllt                                    |
| Kleiner als 65  | Verfahren gescheitert → Anwendung zusätzlicher Maßnahmen |

### 3 Trennung / Abtrennung

In der ISO 13849-1, Anhang F, sind folgende Empfehlungen enthalten, die für elektropneumatische Sicherheits-Teilfunktionen zutreffen können:

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Trennung / Abtrennung | <p>Physikalische Trennung zwischen den Signalpfaden von redundanten Kanälen, z.B.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trennung der Verdrahtung (z.B. Mehraderleitungen mit geeigneter Isolierung zwischen den Leitern) → 3.1;</li> <li>2. Trennung der Verrohrung (z.B. Vermeidung von Beschädigung einer Hydraulikleitung durch zu hohen Druck, der von einer anderen benachbarten Leitung freigesetzt wurde) → 3.2;</li> <li>3. Erkennung von Kurzschlüssen und Unterbrechungen in Kabeln durch dynamische Prüfung; → 3.3.1 und 3.3.2</li> <li>4. Getrennte Schirmung des Signalpfads jedes Kanals; → Tabelle 2, Zeile 4</li> <li>5. ... (betrifft gedruckte Schaltungen)</li> <li>6. ... (betrifft gedruckte Schaltungen)</li> </ol> |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Ziel dieser Maßnahmen ist, dass ein Ausfall beider Kanäle einer Sicherheitsfunktion durch Kurz- und Querschlüsse oder Beschädigungen durch externe Einwirkungen unwahrscheinlich wird. Grundlage für die Umsetzung der Maßnahmen Trennung / Abtrennung ist die Beachtung der Installationsrichtlinien der Normen

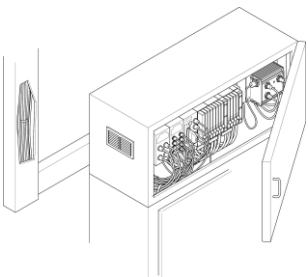
- IEC 60204-1 für die elektrische Installation der Maschine,
- ISO 4414 für die Pneumatik in einer Maschine.

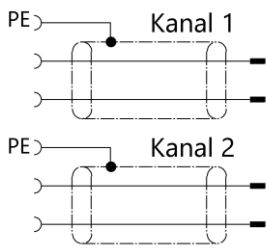
Wurden diese Installationsrichtlinien beachtet, kann diese Maßnahme bereits erfüllt sein. Sie muss jedoch getrennt geprüft und dokumentiert werden.

#### 3.1 Punkt 1: Trennung der Verdrahtung

Die Trennung der Verdrahtung kann durch verschiedene Möglichkeiten umgesetzt werden:

Tabelle 2 Maßnahmen zur Trennung der Verdrahtung

|    |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. |  | <p>Die Leiter der redundanten Kanäle sind in einem elektrischen Einbauraum nach IEC 60204-1 verlegt, z.B. einem Schaltschrank.</p> <p>Dann können einzelne Adern für beide Signale verwendet werden, die auch parallel verlaufen können. Empfohlen ist jedoch die getrennte Führung dieser Adern durch den Schaltschrank.</p> <p>Ist die IEC 60204-1 für den Schaltschrank vollständig eingehalten, kann ein Fehlerausschluss für Kurz- und Querschlüsse im Schaltschrank möglich sein.</p> |
| 2. |  | <p>Leiter der redundanten Kanäle sind fest verlegt und gegen äußere Beschädigungen geschützt. Der Schutz gegen äußere Beschädigungen muss den Umgebungsbedingungen angemessen sein und kann durch einen Kabelkanal oder ein Panzerrohr erfolgen.</p> <p>Ist die IEC 60204-1 für den Schaltschrank und die elektrische Installation vollständig eingehalten, kann ein Fehlerausschluss für Kurz- und Querschlüsse der Installation möglich sein.</p>                                         |

|    |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. |  | <p>Die Leiter der redundanten Kanäle sind in unterschiedlichen Mantelleitungen verlegt.</p> <p>Eine Mantelleitung verwendet eine Isolierung für die einzelnen Adern und eine zweite Isolierung durch den Mantel.</p>                                                               |
| 4. |  | <p>Die Leiter der redundanten Kanäle sind einzeln durch eine geerdete Schirmung geschützt.</p> <p>Entsteht z.B. durch eine mechanische Einwirkung eine Beschädigung, werden die evtl. entstehenden elektrischen Verbindungen über den Schirm und Schutzleiter kurzgeschlossen.</p> |

### 3.2 Punkt 2: Trennung der Verrohrung

- Die Trennung der Verrohrung bzw. Verschlauchung kann in der Pneumatik durchgeführt werden, ist allerdings in den meisten Fällen nicht relevant.
- Kommt es an zwei Pneumatikschläuchen zu einer Beschädigung an der gleichen Stelle, wird die Druckluft eher in die Umgebung abgeleitet, da hier der wesentlich geringere Strömungswiderstand auftritt. Einen nennenswerten Druckaustausch zwischen zwei Pneumatikschläuchen durch eine Beschädigung halten wir für technisch unwahrscheinlich.

### 3.3 Punkt 3: Erkennung von Kurzschlüssen und Unterbrechungen in Kabeln durch dynamische Prüfung

Eine dynamische Prüfung ist ein überwachter und systematischer Einsatz von Software und Hardware, um das geforderte Verhalten zu prüfen und Fehler erkennen zu können (nach IEC 61508-4, 3.8.15).

Kurz- und Querschlüsse können durch Prüfpulse von sicheren Halbleiterausgängen erkannt werden, Unterbrechungen sind durch einen vollständigen Schaltzyklus (Anfordern und quittieren einer Sicherheitsfunktion bzw. einer Sicherheits-Teilfunktion) erkennbar.

Für die Umsetzung gibt folgende Möglichkeiten zur Diagnose:

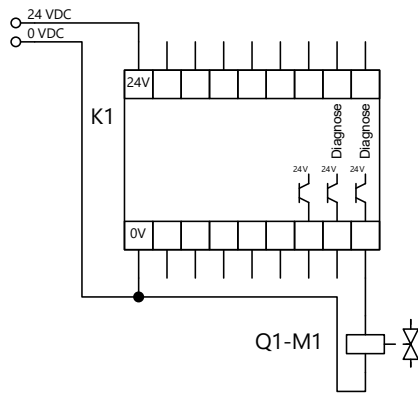
- Diagnose durch Prüfpulse
- Diagnose durch vollständigen Schaltzyklus der Ein- und Ausgänge

#### 3.3.1 Dynamische Prüfung durch Prüfpulse

In Abhängigkeit von der verwendeten Technologie erfolgt die Umsetzung der dynamischen Prüfung zur Erkennung von Kurzschlüssen und Unterbrechung unterschiedlich.

1. Verwendung von sicheren Halbleiterausgängen mit Kurz- und Querschlusserkennung  
Sichere ein- und zweipolige Halbleiterausgänge verwenden in der Regel Prüfpulse, um die korrekte Funktion der Ausgänge zu prüfen. Diese können auch für die Kurz- und Querschlusserkennung der angeschlossenen Leitungen verwendet werden. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten:

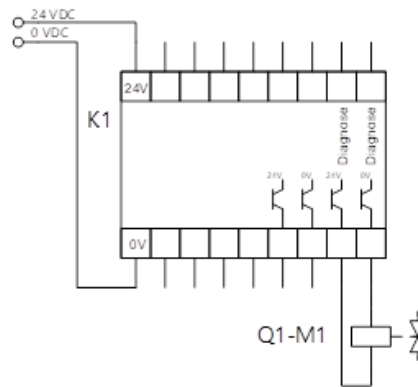
- Sichere einpolige Halbleiterausgänge mit Abschaltung 24 VDC



Sichere Halbleiterausgänge mit Abschaltung 24 VDC verwenden in der Regel Prüfpulse, die auch für die Kurz- und Querschlusserkennung verwendet werden. Für die Aufdeckung von Kurz- und Querschlässen von 0 VDC können zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein. In der Regel werden auf Basis der IEC 60204-1 Fehlerausschlüsse für Kurz- und Querschlässe im Schaltschrank und für die Verdrahtung außerhalb des Schaltschranks bewertet.

Abbildung 2: Sicherer einpoliger Halbleiterausgang

- Sichere 2-polige Halbleiterausgänge mit Abschaltung 24 VDC und 0 VDC



Sichere Halbleiterausgänge mit Abschaltung 24 VDC und 0 VDC verwenden in der Regel Prüfpulse, die für Kurz- und Querschlusserkennung verwendet werden können. Kurz- und Querschlässe der Verdrahtung werden erkannt und das Sicherheitsschaltgerät schaltet üblicherweise alle Ausgänge ab.

Abbildung 3: Sicherer zweipoliger Halbleiterausgang

Üblich ist die Verwendung von negativen und positiven Prüfpulsen.

- Negative Prüfpulse

Sichere Halbleiterausgänge verwenden negative Prüfpulse (Low-Testimpulse, Abschalttest, Dunkeltest), um einen sicheren elektronischen Ausgang auf seine Abschaltfunktion zu prüfen. Diese Prüfpulse dienen auch für die Erkennung von Kurz- und Querschlässen.

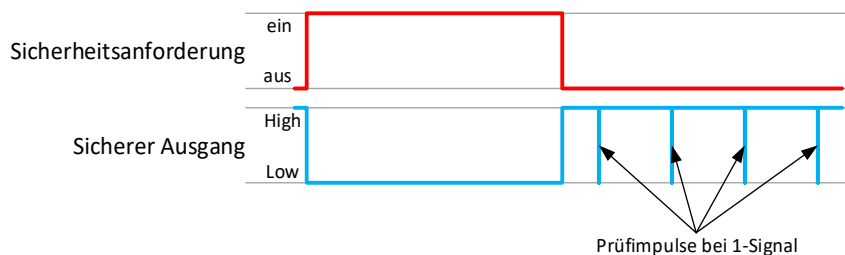


Abbildung 4: Prüfpulse bei 1-Signal

Die Dauer der Prüfpulse muss immer kürzer sein, wie die Zeit bei dem Merkmal „*max. negativer Prüfpuls bei 1 Signal*“ des Ventils im Datenblatt Produktzuverlässigkeit.

- Positive Prüfpulse

Positive Prüfpulse (High-Testimpulse, Helltest) verwenden Sicherheitsschaltgeräte, um einen sicheren Halbleiterausgang auf seine Einschaltfunktion zu prüfen. Diese Prüfpulse dienen auch zur Erkennung von Kurz- und Querschlüssen.

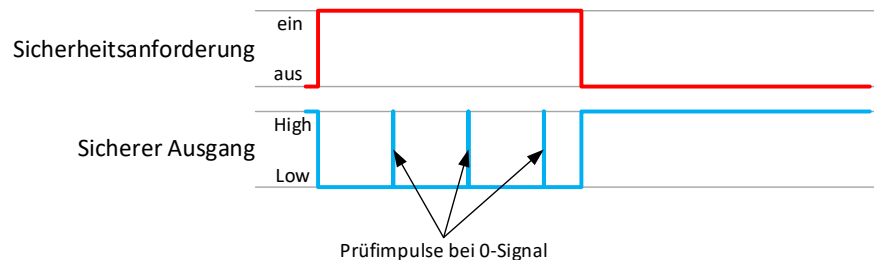


Abbildung 5: Prüfpulse bei 0-Signal

Die Dauer der Prüfpulse muss immer kürzer sein, wie die Zeit bei dem Merkmal „*max. positiver Prüfpuls bei 0 Signal*“ des Ventils im Datenblatt Produktzuverlässigkeit.

#### Wichtige Hinweise zu Prüfpulsen

- Die Prüfpulse dürfen zu keinem Schalten eines Ventils bzw. Vorsteuerventils führen, siehe auch Dokument [100396 Hinweise zu Merkmalen von Wegeventilen](#), Abschnitt „15 Prüfpulse“ beschrieben.
- In der Regel sind in den Ventilinseln Verpolungsschutzdioden und EMV-Filter eingebaut. Diese können dazu führen, dass die Prüfpulse herausgefiltert werden. Damit ist eine Kurz- und Querschlusserkennung in der Ventilinsel nicht gewährleistet. Die Kurz- und Querschlusserkennung erfolgt in der Regel über die Diagnosemaßnahmen der pneumatischen Schaltung oder, sofern vorhanden und aktiviert, über integrierte Diagnosemaßnahmen der Ventilinsel.
- Es gibt Ventilinseln, wo die Prüfpulse der sicheren Ausgänge auch Kurz- und Querschlüsse in der Ventilinsel erkennen können. Diese Angabe erfolgt dann im „Zertifikat F-SY Maschinensicherheit – Erklärung“, siehe Online-Seite der Ventilinsel unter dem Abschnitt Zertifikate.

#### 3.3.2 Dynamischer Test durch Schaltzyklus der Ventile

##### Wichtiger Hinweis

- Sollen Unterbrechungen und Kurzschlüsse mit einem Schaltzyklus der Ventile erkannt werden, ist ein vollständiger Schaltvorgang des Ventils bzw. eine vollständige Bewegung des pneumatischen Antriebs erforderlich. Dies darf zu keiner Gefährdung führen.

Können Prüfpulse nicht verwendet werden, z.B. bei Schnellschaltventilen, oder stehen diese nicht zur Verfügung, z.B. bei elektromechanischen Schaltkontakten des Sicherheitsschaltgeräts, kann ein vollständiger Schaltzyklus (Ein- und wieder Ausschalten jedes Ventilmagnets) ebenfalls Unterbrechungen, Kurzschlüsse und Querschlüsse in den elektrischen Leitungen erkennen. Voraussetzung ist, dass in der pneumatischen Schaltung eine geeignete Diagnosemaßnahme vorgesehen ist, die jedes beabsichtigte und unbeabsichtigte Schalten des Ventils erkennen kann. Die möglichen Diagnosemaßnahmen bei Ventilen sind in der Application Note [100396 Hinweise zu Merkmalen von Wegeventilen](#), Abschnitt „5 Diagnosemaßnahmen“, beschrieben.

## 4 Diversität

In der ISO 13849-1, Anhang F, sind folgende Empfehlungen enthalten:

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 Diversität | <p>Bei den Betrachtungen zur Diversität gehören z.B.:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Unterschiedliche Technologien / Gestaltung oder physikalische Prinzipien werden verwendet, z.B.<ul style="list-style-type: none"><li>• der erste Kanal elektronisch oder programmierbar elektronisch und der zweite Kanal elektromechanisch fest verdrahtet;</li><li>• unterschiedliche Initiierung der Sicherheitsfunktion für jeden Kanal (z. B. Position, Druck, Temperatur);</li><li>• das Ventil im ersten Kanal mit Gummidichtung und im zweiten Kanal mit Metalledichtung;</li><li>• zwei Positionsschalter werden verwendet, um das Öffnen einer beweglichen Schutzeinrichtung (Schutztür) zu detektieren, der erste wird betätigt, wenn die Schutztür geöffnet ist und verwendet ein Öffnerkontakt mit Zwangsöffnung nach IEC 60947-5-1, Anhang K; der zweite wird betätigt, wenn die Schutztür geschlossen wird und enthält einen Schließer-Kontakt;</li></ul></li><li>2. Sensorelemente verwenden unterschiedliche Messprinzipien (z. B. digital und analog) oder physikalische Prinzipien (z.B. Abstand, Druck oder Temperatur);</li><li>3. Unterschiedliche Komponenten, z.B. von verschiedenen Herstellern (nicht nur mit einem anderen Markenzeichen versehen);</li><li>4. Unterschiedliche Belastungen, z.B. erster Kontakt/Ventil schaltet ohne Last, der zweite Kontakt/Ventil schaltet unter Last</li></ol> |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

In der Norm sind verschiedene Lösungsansätze für Eingänge, Logik und Ausgänge vermischt. Hier werden die Diversitätsanforderungen für Eingänge und Ausgänge getrennt aufgeführt.

### 1. Diversität bei Sensoren (Eingänge)

Elektronisch – elektromechanische Druckschalter

Ein Kanal wird mit einem elektronischen (programmierbaren) Drucksensor und der andere Kanal mit einem elektromechanischen Druckschalter ausgeführt.



Drucksensor SDE5-D10-C-Q4E-P-M8 (542889)



Druckschalter PEV-1/4-B (10773)

Bei elektronischen Sensoren muss auch die Diversität bei der verwendeten Embedded-Software bewertet werden. Die Embedded-Software ist für den Anwender nicht zugänglich, so dass die Anforderungen nach ISO 13849-1, 7.3.1 nicht erfüllt werden können. Deswegen muss auf das

alternative Verfahren für nicht zugängliche Embedded-Software zurückgegriffen werden (siehe auch Abschnitt → 12.2.1). Dies bedeutet:

- Bei einem Teilsystem mit Kategorie 2 ist der PL auf PL c begrenzt.
- Bei einem Teilsystem mit Kategorie 3 ist der PL auf PL d begrenzt.
- Beide Kanäle müssen voneinander verschiedene Technologien oder physikalische Prinzipien nutzen.
- Der Hersteller bestätigt für zwei verschiedene elektronischen Sensoren, dass deren Embedded Software diversitär sind (auch keine Teilprogramme werden gemeinsam verwendet).

Bei folgenden elektronischen Sensoren ist die Embedded-Software diversitär. Dies ist im FAQ-Dokument FAQ-200138 (auf Anfrage erhältlich) bestätigt.



SPAU-P10R-W-G18FD-L-PNLK-PNVBA-M8U  
(8001231)



SPBA-P2R-G18-2P-M12-0,25X (8000210)

## 2. Diversität bei Ventilen (Ausgängen)

Bei Ventilen lässt sich die Diversität durch unterschiedliche Maßnahmen umsetzen:

- Erster Kanal verwendet ein Kolbenschieberventil, der zweite Kanal ein Sitzventil.
- Erster Kanal verwendet ein Ventil auf einer Ventilinsel, der zweite Kanal ist mit einem Ventil in der Wartungseinheit umgesetzt.
- Erster Kanal ist ein Arbeitsventil mit häufiger Betätigung, der zweite Kanal ist ein Schaltventil für Arbeitsdruck, das selten betätigt wird.

### Hinweise

- Bei Ventilen wird oft auf eine diversitäre Redundanz (verschiedene Ventile) verzichtet und nur mit einer Redundanz (gleiche Ventile) gearbeitet. Die Gründe sind
  - Kategorie 3 und 4 bieten bereits eine hohe Fehlertoleranz durch die 2-Kanaligkeit und eine hohe Fehleraufdeckung durch die Diagnosen.
  - Die ISO 13849-1 verlangt Maßnahmen gegen CCF, jedoch nicht zwingend die Diversität. Es können auch andere Maßnahmen, wie z.B. räumliche Trennung, unterschiedliche Stromversorgungen und organisatorische Maßnahmen, möglich sein.
- Die Entscheidung, ob Diversität eingesetzt wird, hängt von der Risikobeurteilung, dem PL und der technischen Machbarkeit ab. In vielen Fällen ist Diversität nicht wirtschaftlich oder technisch sinnvoll, insbesondere, wenn andere Maßnahmen gegen CCF ausreichend wirksam sind.

## 5 Schutz gegen Überspannung, Überdruck, Überstrom, Übertemperatur, usw.

In der ISO 13849-1, Anhang F, sind folgende Empfehlungen enthalten:

|                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.1 Schutz vor oder Kontrolle von z. B. Überspannung, Überdruck, Überstrom, Übertemperatur | <p>Schutz vor oder Kontrolle von z. B. Überspannung, Überdruck, Überstrom, Übertemperatur, usw.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Die Ein- und Ausgänge des SRP/CS und die Stromversorgung der Logik sind gegen potenzielle Überspannungen und/oder Überströme geschützt (siehe auch IEC 60204-1);<br/>HINWEIS Teile des SRP/CS sind in der Lage, potenziellen Überspannungs- und/oder Überstrompegeln standzuhalten, oder sie sind dagegen geschützt. Der mögliche maximale Überspannungspegel eines SW-Netzteils (Schaltnetzteil) hängt von der angewandten Norm ab (z. B. maximale Spannungsgrenze unter einer Fehlerbedingung).<br/>Es ist wichtig, den möglichen maximalen Überspannungspegel durch die angewandte Norm des SW-Netzteils sowie andere Betriebsbedingungen (z. B. Überspannungskategorie, Betriebstemperatur) zu berücksichtigen.</li><li>2. Die Maßnahme gegen Überdruck kann ein einkanaliges System sein, wenn der Primärdruck im Fehlerfall niemals über den Betriebsdruck multipliziert mit 1,5 ansteigen kann. ISO 4414 definiert eine Anforderung für den Schutz vor unbeabsichtigtem Druck (z. B. ein Druckbegrenzungsventil).</li></ol> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

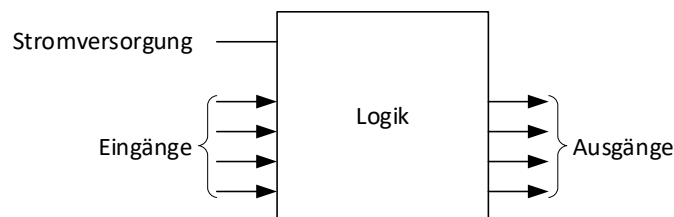


Abbildung 6 Überspannungs-/Überstrom-Schutz für Stromversorgung, Eingänge und Ausgänge erforderlich

### 5.1 Schutz vor transienter Überspannung

Im Punkt 1 wird die Norm IEC 60204-1 genannt. Im Abschnitt 7.9 von IEC 60204-1 wird der Schutz gegen transiente Überspannung beschrieben.

Für den Schutz gegen transiente Überspannungen durch Blitze oder Schalthandlungen wird auf die Verwendung von SPDs und auf verschiedene Normen verwiesen. In der Application Note [100565 Elektromagnetische Störfestigkeit \(EMI\) für sicherheitsbezogene Schaltung nach ISO 13849](#), Abschnitt „3.1 Überspannungsschutz“ ist beschrieben, welche Überspannungsschutzgeräte (SPD) an welcher Stelle zu verwenden sind.

### 5.2 Schutz vor dauerhafter Überspannung

Zusätzliche ist ein Schutz gegen dauerhaft anliegende Überspannung erforderlich. Dies kann durch ein PELV-Netzteil erfolgen. Für dieses PELV-Netzteil müssen Informationen vorliegen, welche maximale Ausgangsspannung im Fehlerfall möglich ist, z.B. 30 VDC bei 24 VDC Nennspannung.

Der Schutz bei Spannungen von 230 VAC bzw. 400 VAC erfolgt üblicherweise mit einem Hauptschalter mit Überspannungsauslösung.

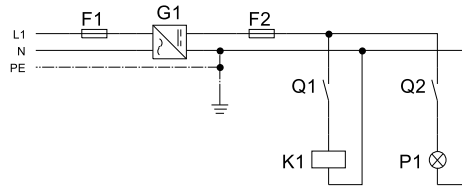
#### Hinweise

- Für den transienten Überspannungsschutz kann auch ein PELV-Netzteil geeignet sein, wenn es für die Überspannungskategorie II vorgesehen ist.

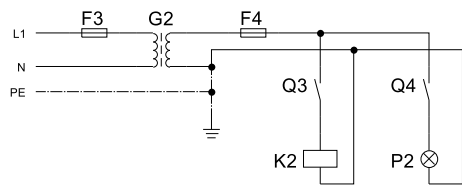
### 5.3 Überstromschutz Stromversorgung Logik

Der Überstromschutz für die Stromversorgung der Logik ist im Sicherheitsprinzip „Schutz des Steuerstromkreises“ (Application Note [100619](#)) beschrieben. Es sind in Abhängigkeit des verwendeten Netzteils geeignete Sicherungen im Primär- und Sekundärkreis zu verwenden:

Mit PELV-Netzteil



Mit Steuertransformator



Mit SELV-Netzteil

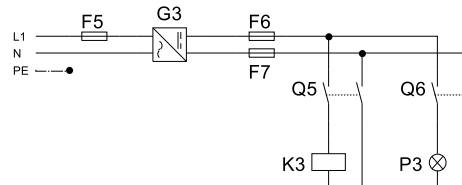


Abbildung 7 Schutz der Logik durch Sicherungen

### 5.4 Schutz vor transienter Überspannung bei Eingängen und Ausgängen

- Bei Eingängen ist normalerweise nicht mit transienten Überspannungen zu rechnen, da keine Induktivitäten geschaltet werden. Sind transiente Überspannungen vorhanden, ist in der Regel die EMV-gerechte Installation zu verbessern, siehe Application Note [100565](#).
- Bei Ausgängen, die Ventilmagnete schalten, kommt es zu transienten Überspannungen. In der Application Note [100568](#) ist eine ausführliche Beschreibung mit den erforderlichen Maßnahmen beschrieben.

### 5.5 Überstromschutz Eingänge

Für die logischen Zustände der Eingänge von Steuerungen nennt die Norm IEC 61131-2 die minimal und maximal zulässigen Spannungen und Ströme. Kurzschlüsse zu 24 VDC oder 0 VDC dürfen deswegen nicht zu einer Beschädigung des Eingangs führen. Sicherheitsschaltgeräte haben in der Regel zwei Ausgänge mit Prüfpulsen zur Spannungsversorgung von Sicherheitsbefehlsgeräten, z.B. Schutztürschalter, Not-Halt, oder anderen Sensoren, z.B. Endschalter, Druckschalter. Diese Ausgänge stellen die Prüfpulse für die Kurz- und Querschlusserkennung bereit und sind kurzschlussfest, d.h. es ist zumindest eine Strombegrenzung vorhanden.

#### Hinweise

- Es ist die Leitungslänge zu berücksichtigen, da der Spannungsabfall über die Leitung dazu führen kann, dass ein angeschlossener Sensor oder elektronisches Gerät keine ausreichende Spannung für einen ordnungsgemäßen Betrieb zur Verfügung gestellt bekommt.

### 5.6 Überstromschutz Ausgänge

Auch für die logischen Zustände von Ausgängen von Steuerungen nennt die Norm IEC 61131-2 die minimal und maximal zulässigen Spannungen und Ströme. Ausgänge können kurzschlussfest sein, dies muss jedoch in der

Dokumentation des Ausgangs angegeben sein. Ansonsten ist ein Überstromschutz vorzusehen. Dazu können folgende Sicherheitsprinzipien herangezogen werden:

- Sicherheitsprinzip „Schutz des Steuerstromkreises“ (siehe Abschnitt ➔ 5.3, ↗ Application Note [100619](#)).

## **5.7 Überdruck**

Die vorzusehenden Maßnahmen gegen Überdruck, sind in der Application Note [100512 Wartungseinheiten](#) beschrieben. Die mindestens zu berücksichtigenden Abschnitte sind

- 4.1 Druckbegrenzungsventil F1
- 4.4 Druckregler K1
- 4.6 Druckschalter B1 (zusammen mit Einschaltventil Q1)

## 6 Verwendung bewährter Bauteile

In der ISO 13849-1, Anhang F, ist folgende Empfehlungen enthalten:

|                                            |                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.2<br>Verwendung<br>bewährter<br>Bauteile | <b>F.3.3 Gestaltung / Anwendung / Erfahrung</b><br>...<br>Nur bewährte Bauteile werden verwendet. Siehe ISO 13849-1, 6.1.11 und ISO 13849-2. |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Für die Erfüllung dieser CCF-Maßnahme sind Komponenten einzusetzen, die nachweislich eine hohe Zuverlässigkeit und Eignung für sicherheitsrelevante Anwendungen haben. Dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

1. Bewährte Technologie
  - Komponenten müssen vom Hersteller als „bewährte Bauteile nach ISO 13849-1“ klassifiziert sein.
  - Komponenten sollten sich in vergleichbaren Anwendungen über einen längeren Zeitraum bewährt haben.
  - Keine neuartigen Komponenten ohne ausreichende Felddaten.
2. Dokumentierte Zuverlässigkeit
  - Herstellerangaben zu B<sub>10</sub>- bzw. MTTF-Kennwerten.
  - Nachweis durch Daten aus der Praxis oder Sicherheitsbewertungen
3. Normenkonformität
  - Komponenten sollten nach den relevanten Normen geprüft sein.
  - Sicherheitsfunktionen müssen den Anforderungen der ISO 13849-1 entsprechen.
4. Umgebungsbedingungen
  - Einsatzbereich muss, den vom Hersteller der Komponente spezifizierten Bedingungen entsprechen (Temperatur, EMV, Feuchtigkeit, Schwingungen, Schock)
  - Die vom Hersteller vorgegebenen technischen Merkmale müssen immer eingehalten werden, sonst verliert die Komponente die Klassifizierung „bewährt nach ISO 13849-1“.
5. Lieferantenbewertung
  - Hersteller muss eine nachweisbare Qualitätskontrolle haben.
  - Langfristige Verfügbarkeit und Support sind wichtig.
6. Dokumentation
  - Liste der eingesetzten bewährten Bauteile.
  - Referenzen auf frühere Anwendungen oder Herstellerfreigaben.
  - Prüfberichte oder Zertifikate archivieren.

Bewährte Bauteile reduzieren im Allgemeinen das Auftreten von Fehlern, jedoch auch das Risiko von gleichzeitigen Ausfällen durch gemeinsame Ursachen. Die Gründe dafür sind:

- ihre Schwachstellen sind bekannt und können im Design berücksichtigt werden,
- unter definierten Bedingungen arbeiten bewährte Bauteile zuverlässig,
- sind weniger anfällig für unbekannte Fehlermechanismen.

## 7 Beurteilung / Analyse

In der ISO 13849-1, Anhang F, ist folgende Empfehlungen enthalten:

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 Beurteilung / Analyse | <b>F.3.4 Beurteilung / Analyse</b><br>Für jedes Teil von SRP/CS wurde eine Ausfalleffektanalyse oder eine FTA durchgeführt, um die möglichen Ursachen für CCF zu ermitteln, und es wurden deren Ergebnisse berücksichtigt, um CCFs im Entwurf zu vermeiden. |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 7.1 Ziel der Maßnahmen

Für jeden Teil der Sicherheitsschaltung muss eine Analyse durchgeführt werden, um die möglichen Ursachen für Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache (CCF) zu identifizieren. Die Ergebnisse der Analyse sind zu bewerten und Maßnahmen abzuleiten, die die Auswirkungen dieser Ausfälle hinreichend reduziert.

### 7.2 Erforderliche Methoden

Für die Durchführung dieser Analysen gibt es zwei Normen, die für die Analyse und Beurteilung verwendet können:

- IEC 60812 - Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA)  
Mit der FMEA wird untersucht, wie einzelne Komponentenfehler das Gesamtsystem beeinflussen.
- IEC 61025 – Fehlzustandsbaumanalyse (FTA)  
Die FTA ist eine Top-Down-Analyse, die die Ursachen für kritische Ausfälle identifizieren soll.

### 7.3 Vorgehensweise

Für die Analyse hat sich folgende Vorgehensweise bewährt:

1. Systemstruktur erfassen
  - Architekturübersicht und sicherheitsbezogene Blockdiagramme der Sicherheitsschaltung erstellen.
  - Alle Schnittstellen identifizieren, z.B. Ein- und Ausgänge.
  - Gemeinsame Ressourcen identifizieren. Dies sind z.B. Energieversorgung, Softwaremodule.
2. Analyse durchführen
  - FMEA: Für jede Komponente mögliche Fehlerarten, Ursachen und Auswirkungen dokumentieren. In der ISO 13849-2 sind Fehlerlisten für Komponenten enthalten.
  - FTA: Kritische Ereignisse, z.B. Versagen der Sicherheitsfunktion, wird als Top-Event definiert und die Ursachen abgeleitet.
3. CCF-Risiken bewerten

Die Ergebnisse der Analysen werden auf gemeinsame Ursachen geprüft, z.B.

  - Gleiche Umgebungseinflüsse, wie z.B. Temperatur, EMI, Feuchtigkeit
  - Gemeinsame Energieversorgung
  - Identische Software oder Firmware
  - Menschliche Fehler, z.B. gleiche Montagefehler
4. Maßnahmen ableiten

Aus der Bewertung der CCF-Risiken müssen dann Maßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden, die die Auswirkungen hinreichend reduzieren. Beispiele für mögliche Maßnahmen sind:

  - Physische Trennung von Kanälen
  - Unterschiedliche Technologien oder Hersteller
  - Separate Energieversorgung
  - Software-Diversität oder unabhängige Entwicklung
5. Dokumentation

Für eine ordnungsgemäße Dokumentation sollten die erstellten Dokumente archiviert werden. Dazu gehören

- Analyseberichte (FMEA und FTA)
- Nachweise, dass die Ergebnisse der Analysen und Beurteilungen in den Entwurf eingeflossen sind, z.B. durch Designänderungen, zusätzliche Schutzmaßnahmen.

## 8 Ausbildung

In der ISO 13849-1, Anhang F, ist folgende Empfehlungen enthalten:

|              |                                                                                                                                                                                            |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 Ausbildung | Die Konstrukteure wurden ausgebildet (einschließlich eines Ausbildungsnachweises, z. B. ein Ausbildungs-zertifikat), damit sie die Gründe und Auswirkungen von CCFs nachvollziehen können. |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Die Maßnahme F.3.5 „Ausbildung“ nach ISO 13849-1 verlangt, dass Konstrukteure und Entwickler geschult werden, um die **Gründe und Auswirkungen von Ausfällen infolge gemeinsamer Ursache (CCF)** zu verstehen. Die Norm gibt keine detaillierte Schulungsagenda vor, aber aus den Anforderungen und Praxisempfehlungen ergeben sich typische Inhalte:

### **Schulungsagenda: „CCF-Vermeidung nach ISO 13849-1“**

**Zielgruppe:** Konstrukteure, Entwickler

**Ziel:** Verständnis der Ursachen und Auswirkungen von Common Cause Failures (CCF) sowie Umsetzung der normativen Maßnahmen.

- **Modul 1: Einführung in die funktionale Sicherheit**
  - Überblick über EN ISO 13849-1 und -2
  - Zusammenhang mit Maschinenverordnung und Risikobeurteilung
  - Performance Level (PL), MTTF<sub>D</sub>, DC, CCF – Begriffe und Bedeutung
- **Modul 2: Common Cause Failures (CCF)**
  - Definition und typische Ursachen
  - Beispiele aus der Praxis
  - Auswirkungen auf redundante Systeme und PL-Berechnung
- **Modul 3: Normative Anforderungen und Maßnahmen**
  - ISO 13849-1 Anhang F: Maßnahmen F.3.1 bis F.3.7
  - Schwerpunkt F.3.5 Ausbildung
  - Weitere Maßnahmen: physische Trennung, Diversität, unterschiedliche Technologien
- **Modul 4: Umsetzung in der Praxis**
  - Bewertung von CCF in SISTEMA
  - Dokumentation und Nachweisführung
  - Beispiele für korrekte und fehlerhafte Implementierungen
- **Modul 5: Workshop & Diskussion**
  - Gruppenarbeit: Analyse eines Beispielprojekts
  - Identifikation von CCF-Risiken und Maßnahmen
  - Fragen & Antworten

## 9 Umgebung für elektrische / elektronische Systeme

In der ISO 13849-1, Anhang F, ist folgende Empfehlungen enthalten:

|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.1 Verhindern von elektromagnetischen Störungen | <p>Für elektrische/elektronische Systeme werden Verunreinigungen und elektromagnetische Störungen verhindert, um vor CCFs entsprechend den zutreffenden Normen (z. B. IEC 61326-3-1, IEC 61000-6-7:2014, IEC 61000-1-2:2016, IEC 61800-5-2) zu schützen.</p> <p>ANMERKUNG 1 Diese EMI-Normen enthalten üblicherweise strengere Anforderungen im Vergleich zu den Anforderungen, nach denen Standard-Bauteile (z. B. SPS für allgemeine Anwendung) konstruiert sind. Siehe IEC 61800-3 für weitere Informationen.</p> <p>ANMERKUNG 2 Anhang L enthält weitere Leitlinien in Bezug auf die elektromagnetische Störfestigkeit. (nach ISO 13849-1, F.3.6.1)</p> <p>...</p> <p>Bei kombinierten Fluid- und Elektrosystemen sollten beide Aspekte berücksichtigt werden. (nach ISO 13849-1, F.3.6.1)</p> |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Elektromagnetische Störungen können schnell zu Fehlern in beiden Kanälen einer Sicherheitsschaltungen führen. Deswegen haben auch EMV-Normen für Sicherheitsbauteile und Sicherheitsschaltungen höhere Anforderungen wie für rein funktionale Bauteile und Schaltungen. Diese erhöhten Anforderungen machen es für viele Anwender schwierig, eine geeignete Interpretation der Anforderungen zu finden. Die ISO 13849-1:2023 hat einen eigenen Anhang L für die „elektromagnetische Störfestigkeit (EMI)“, der die verschiedenen Möglichkeiten aufzeigt. In folgenden Application Notes gibt es Erläuterungen zu den Grundlagen und Empfehlungen auch Fehler auf Grund von elektromagnetischen Störungen hinreichend reduziert werden können:

- Elektromagnetische Störfestigkeit (EMI) für sicherheitsbezogene Schaltungen nach ISO 13849 ➤ [100565](#).
- Elektromagnetische Störfestigkeit (EMI) – Interpretation ISO 13849-1, Anhang L ➤ [100513](#).

## 10 Umgebung für fluidische Systeme

In der ISO 13849-1, Anhang F, ist folgende Empfehlungen enthalten:

|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.1 Verhindern ...<br>von<br>Verunreinigungen<br>des Fluids | ...<br>Für Fluidsysteme erfolgt das Filtrieren des Druckmediums, das Verhindern von Schmutzeintrag, das Entwässern von Druckluft in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Bauteilherstellers an die Reinheit des Druckmediums (siehe ISO 8573-1 für Hinweise).<br>Bei kombinierten Fluid- und Elektrosystemen sollten beide Aspekte berücksichtigt werden. (nach ISO 13849-1, F.3.6.1) |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Bei pneumatischen Anlagen sollte die Druckluft hinreichend gefiltert werden. Eine Beschreibung der erforderlichen Maßnahmen ist in der Application Note [↗ 100512 Wartungseinheiten](#) enthalten.

Zu beachten ist hier die Anforderung „Verhindern von Schmutzeintrag“. Dies erfordert Maßnahmen in verschiedenen Lebensphasen einer Maschine.

- Herstellung
  - Der Montagebereich sollte frei von Staub und Partikel gehalten werden, die in Öffnungen der pneumatischen Komponenten oder Anlage eindringen können.
  - Pneumatische Komponenten sollten erst kurz vor der Montage aus der Originalverpackung des Herstellers entnommen werden.
  - Öffnungen der pneumatischen Anlage sind durch Blindstopfen oder geschlossene Schalldämpfer zu verschließen.
- Lagerung und Transport
  - Gibt es unverschlossene Öffnungen der pneumatischen Anlage, sind diese mit Blindstopfen oder geschlossene Schalldämpfer zu verschließen. Ist dies nicht möglich, sollte die Maschine oder das Maschinenteil in einer Folie staubdicht eingepackt werden, z.B. Wickelfolie, verschweißte Folie.
- Betrieb
  - Bei pneumatischen Anlagen ist zu beachten, dass auch von Entlüftungsöffnungen Luft aus der Umgebung angesaugt und in die pneumatische Anlage eindringen kann, z.B. wenn ein pneumatischer Antrieb von Hand bewegt wird. Deswegen sind alle Entlüftungsöffnungen mit einem Schalldämpfer oder einem Filterelement zu verschließen.
  - Schalldämpfer sollten in einen Bereich entlüften, wo sich kein Staub, Schmutz und sonstige Partikel ablagern können.
- Instandhaltung
  - Wird während Instandhaltungsarbeiten eine pneumatische Anlage geöffnet, sollte zuerst die Maschine oder Maschinenteil gereinigt werden, damit kein Schmutz eindringen kann.
  - Der Montagebereich sollte frei von Staub und Partikel gehalten werden, die in Öffnungen der pneumatischen Komponenten oder Anlage eindringen können.
  - Pneumatische Komponenten sollten erst kurz vor der Montage aus der Originalverpackung des Herstellers entnommen werden.
  - Öffnungen der pneumatischen Anlage sind durch Blindstopfen oder geschlossene Schalldämpfer zu verschließen.
- Demontage
  - Vor der Demontage einer Maschine, z.B. für den Transport, sollte zuerst die Maschine gereinigt werden, damit kein Schmutz eindringen kann.
  - Öffnungen der pneumatischen Anlage sind durch Blindstopfen oder geschlossene Schalldämpfer zu verschließen.

## 11 Umgebung, andere Einflüsse

In der ISO 13849-1, Anhang F, ist folgende Empfehlungen enthalten:

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6.2 Andere Einflüsse | Die Sicherheitsschaltung besitzt eine Störfestigkeit gegenüber allen maßgebenden Umgebungseinflüssen wie Temperatur, Stoß, mechanische Beanspruchungen, Vibration, Luftfeuchte, wie in den zutreffenden Normen angegeben, z. B. in der Normenreihe IEC 60068, in der die strengerer Anforderungen an sicherheitsbezogene Anwendungen berücksichtigt werden. (nach ISO 13849-1, F.3.6.2) |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Mit dieser CCF-Maßnahme sollen alle weiteren Einflüsse der Umgebung bestimmt und bewertet werden, die zu einem Ausfall beider Kanäle einer Sicherheitsschaltung führen können.

Ausdrücklich angegeben ist, dass die Sicherheitsschaltung strengerer Anforderungen standhalten muss, wie die funktionale Schaltung der Maschine. Dies kann entweder durch eine geeignete Auswahl der verwendeten Komponenten oder durch Maßnahmen auf Systemebene erfolgen.

Aufgeführt sind die externen Einflüsse durch

- Temperatur
- Stoß
- Mechanische Beanspruchungen
- Vibrationen
- Luftfeuchte

Bei jedem dieser externen Einflüsse sollten folgende Schritte abgearbeitet werden:

1. Möglichen Wertebereiche des externen Einflusses am Einsatzort jeder Komponente einer Sicherheitsschaltung ermitteln, z.B. möglicher Temperaturbereich im Schaltschrank: 15...40°C. Hier kann auch die Normenreihen IEC 60721 Umweltbedingungen und IEC 60068 Prüfverfahren herangezogen werden, die mögliche Wertebereiche für externe Einflüsse definiert.
2. Festlegung, welche zusätzliche Einsatzbedingungen die Komponenten der Sicherheitsschaltung haben sollten, z.B. Einsatzbereich einer Komponenten 5...50°C.
3. Auswahl der Komponenten entsprechend dieser Vorgabe bzw. Überprüfung, ob die bereits ausgewählten Komponenten diese Vorgaben erfüllen. Werden diese Vorgaben nicht erfüllt, können auch andere Maßnahmen ausgewählt, werden, dass die Komponenten der Sicherheitsschaltung eine höhere Beständigkeit gegen diese externen Einflüsse aufweisen, z.B. Verwendung einer Zwangskühlung im Schaltschrank.
4. Überprüfung, ob im Betrieb diese Kennwerte eingehalten werden. Bei Bedarf kann auch eine Prüfung entsprechend der Normenreihe IEC 60068 erfolgen.

### Hinweise

- Es ist unbedingt zu beachten, dass die Liste mit externen Einflüssen eventuell anwendungsbezogen ergänzt werden muss.
- Anwendungsbezogen kann bewertet werden, dass diese CCF-Maßnahme durch das bewährte Sicherheitsprinzip „reduzierter Bereich der Umgebungsparameter“ umgesetzt werden kann.

## 12 Weitere Maßnahmen gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache

Es können noch weitere Maßnahmen gegen Fehler gemeinsamer Ursache erforderlich sein. Ein Grund ist, dass die systematischen Fähigkeiten eines Teilsystems die mögliche Risikominderung begrenzt.

### 12.1 Systematische Fähigkeiten

Die systematischen Fähigkeiten bezieht sich auf die Fähigkeit eines sicherheitsbezogenen Systems oder Teilsystems systematische Fehler zu vermeiden oder zu beherrschen. Diese Fehler entstehen nicht zufällig, sondern sind das Ergebnis von Fehlern im Entwicklungsprozess, z.B.

- Fehler in der Spezifikation, z.B. unzureichendes Auflösungsvermögen von Lichtvorhängen oder Sensoren,
- Designfehler, z.B. unzureichende Diagnosemaßnahmen
- Softwarefehler, z.B. Verwendung von nicht sicherheitsbezogen entwickelter Embedded Software
- Fehler im Änderungsmanagement, z.B. unzureichende Kontrolle bei Updates.

Deswegen sind für Sicherheitsschaltungen für die Umsetzung von Maßnahmen gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache auch immer Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler erforderlich:

- Strukturierter Entwicklungsprozess, z.B. nach V-Modell
- Dokumentation und Rückverfolgbarkeit
- Verifikation und Validierung
- Unabhängigkeit von Prüfaktivitäten
- Qualifizierte Werkzeuge und Methoden, z.B. statische Codeanalyse, FMEA

Diese Maßnahmen sind die allgemein üblichen organisatorischen Maßnahmen, die für jede Entwicklung von sicherheitsbezogenen Systemen eine Grundvoraussetzung sind.

### 12.2 Einschränkungen durch begrenzte systematische Fähigkeiten

In Normen gibt es verschiedene Angaben zu Einschränkungen durch die begrenzten systematischen Fähigkeiten. Dazu zählen

- ISO 13849-1, Abschnitt „7.3.2 Alternative Verfahren für nicht zugängliche Embedded-Software“

#### 12.2.1 Nicht zugängliche Embedded Software (Firmware)

Werden Standard-Komponenten mit integrierter Embedded Software (Firmware) verwendet, enthalten diese Software, die nicht nach einer Norm für funktionale Sicherheit entwickelt wurde und dadurch die systematischen Fähigkeiten für den Einsatz in Sicherheitsschaltungen eigentlich nicht erfüllt. Die Norm lässt den Einsatz von Standard-Komponenten mit integrierter Embedded Software (Firmware) mit folgenden Einschränkungen bezüglich der Kategorie und Performance Level zu (ISO 13849-1, 7.32):

- Ohne weitere Maßnahmen ist ein Teilsystem mit Kategorie B, 2 oder 3 und einer Standard-Komponente mit integrierter Embedded Software in einem der Kanäle auf PL a oder PL b begrenzt.
- Werden die Diversitätsanforderungen durch unterschiedliche Technologien / Entwürfe oder physikalische Prinzipien berücksichtigt, ist eine Sicherheitsschaltung mit Kategorie 2 auf PL c und eine Kategorie 3 auf PL d begrenzt. Dies kann z.B. umgesetzt werden mit einem Kanal mit einem Drucksensor mit Embedded Software und in einem anderen Kanal mit einem elektromechanischen Druckschalter ohne Software.

### **12.3 Weitere Angaben zur Umsetzung von Diversität**

In Normen finden sich auch Angaben für die Umsetzung der Diversität als Maßnahme gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache.

- ISO 14119 – Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen

#### **12.3.1 Verriegelungseinrichtungen**

In der Norm ISO 14119 sind mehrere Beispiele aufgeführt, wie die Diversität bei Positionsschaltern umgesetzt werden kann.

- Wird ein Positionsschalter mit direkter mechanischer Betätigung und Zwangsöffnung mit einem Positionsschalter mit indirekter mechanischer Betätigung kombiniert, vermeidet dies Ausfälle gemeinsamer Ursache (nach ISO 14119, 6.4) und für dieses Teilsystem kann Diversität beansprucht werden (nach ISO 14119, 9.2.3, letzter Absatz).
- Wird eine Schutztür mit einem mechanisch betätigten Ventil und mit ein Positionsschalter, der die Ansteuerung eines zweiten Ventils unterbricht, überwacht. Durch die Verwendung unterschiedlicher Technologien (Diversität der Energiequellen) ist ein gefährlicher Ausfall beider Kanäle technisch unwahrscheinlich (nach ISO 14119, 9.2.4)

## 13 Verwendete Literatur

### 13.1 Zitierte Unterlagen von Festo

- [1] [100396 Hinweise zu Merkmalen von Wegeventilen](#)
- [2] [100512 Wartungseinheiten](#)
- [3] [100513 Elektromagnetische Störfestigkeit \(EMI\) - Interpretation ISO 13849-1, Anhang L](#)
- [4] [100565 Elektromagnetische Störfestigkeit \(EMI\) für sicherheitsbezogene Schaltung nach ISO 13849](#)
- [5] [100568 Unterdrückung von Spannungsspitzen](#)
- [6] [100619 Schutz des Steuerstromkreises](#)
- [7] FAQ-200138 Diversitäre Software bei Drucksensoren (auf Anfrage erhältlich)

### 13.2 Normen

- [8] DIN EN ISO 4414:2011-04 - Fluidtechnik - Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Pneumatikanlagen und deren Bauteile (ISO 4414:2010); Deutsche Fassung EN ISO 4414:2010
- [9] ISO 5598:2020-01 - Fluidtechnik - Vokabular
- [10] DIN EN ISO 12100:2011-03 - Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010
- [11] DIN EN ISO 13849-1:2023-12 – Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2023); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2023
- [12] DIN EN ISO 13849-2:2013-02 - Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung (ISO 13849-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13849-2:2012
- [13] DIN EN ISO 14119:2025-09 - Sicherheit von Maschinen - Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen - Leitsätze für Gestaltung und Auswahl (ISO 14119:2024); Deutsche Fassung EN ISO 14119:2025
- [14] ISO 19973-1:2015-08 - Pneumatik - Bewertung der Zuverlässigkeit von Bauteilen durch Prüfung - Teil 1: Allgemeine Verfahren
- [15] VDMA 24584:2022-06 - Sicherheitsfunktionen geregelter und nicht geregelter (fluid-) mechanischer Systeme.
- [16] DIN EN 60068-1:2015-09 - Umgebungseinflüsse - Teil 1: Allgemeines und Leitfaden (IEC 60068-1:2013); Deutsche Fassung EN 60068-1:2014
- [17] DIN EN 60204-1:2026-06 - Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60204-1:2016, modifiziert + AMD1:2021); Deutsche Fassung EN 60204-1:2018 + A1:2025
- [18] DIN EN 60721-1:1997-02 - Klassifizierung von Umweltbedingungen - Teil 1: Vorzugswerte für Einflussgrößen (IEC 60721-1:1990 + A1:1992 + A2:1995); Deutsche Fassung EN 60721-1:1995 + A2:1995
- [19] DIN EN 60812:2006-11 - Analysetechniken für die Funktionsfähigkeit von Systemen - Verfahren für die Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) (IEC 60812:2006); Deutsche Fassung EN 60812:2006
- [20] DIN EN 60947-5-1:2018-03 - Niederspannungsschaltgeräte - Teil 5-1: Steuergeräte und Schaltelemente - Elektromechanische Steuergeräte (IEC 60947-5-1:2016 + COR1:2016); Deutsche Fassung EN 60947-5-1:2017
- [21] DIN EN 61025:2007-08 - Fehlzustandsbaumanalyse (IEC 61025:2006); Deutsche Fassung EN 61025:2007
- [22] DIN EN 61131-2:2008-04 - Speicherprogrammierbare Steuerungen - Teil 2: Betriebsmittelanforderungen und Prüfungen (IEC 61131-2:2007); Deutsche Fassung EN 61131-2:2007
- [23] DIN EN 61508:2011-02 - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme (IEC 61508:2010); Deutsche Fassung EN 61508:2010
- [24] DIN EN 61508-4:2011-02 - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 4: Begriffe und Abkürzungen (IEC 61508-4:2010); Deutsche Fassung EN 61508-4:2010
- [25] DIN EN 61508-6:2011-02 - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 6: Anwendungsrichtlinie für IEC 61508-2 und IEC 61508-3 (IEC 61508-6:2010); Deutsche Fassung EN 61508-6:2010
- [26] DIN EN 61511-1:2019-02 - Funktionale Sicherheit - PLT-Sicherheitseinrichtungen für die Prozessindustrie (IEC 61511:2016); Deutsche Fassung EN 61511-1:2017
- [27] DIN EN IEC 62061:2023-02 - Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener Steuerungssysteme (IEC 62061:2021); Deutsche Fassung EN IEC 62061:2021

### **13.3 Rechtsvorschriften**

- [28] Maschinenrichtlinie: 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)
- [29] Maschinenverordnung: Verordnung (EU) 2023/1230 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2023 über Maschinen und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und der Richtlinie 73/361/EWG des Rates

## 14 Informationen über das Dokument

### 14.1 Allgemeine Angaben

|                  |                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------|
| Dokumentennummer | 100399                                               |
| Titel            | CCF-Maßnahmen – Sicherheits-Teilfunktionen Pneumatik |

### 14.2 Revisionshistorie

| Vers. | Datum      | Bearb. | Kapitel | Beschreibung der Änderung/Auswirkung |
|-------|------------|--------|---------|--------------------------------------|
| 1.10  | 17.08.2026 | JKHL   | Alle    | Erstellung des Dokuments             |

### 14.3 Genehmigung/Freigabe des Dokuments

| Rolle    | Unterschrift |
|----------|--------------|
| Freigabe |              |

### 14.4 Gültigkeitsdauer

Das Dokument ist bis 11.08.2031 gültig oder bis eines der verwendeten Dokumente oder die erforderliche relevante Grundlage geändert wird.



### **Haben Sie Fragen zu dieser Application Note?**

Sie können uns gerne Ihre Fragen über das Kontaktformular zukommen lassen.



### **Suchen Sie Safety Application Notes mit Lösungsbeispielen für die wichtigsten Sicherheits-Teilfunktionen in der Pneumatik?**

Im Support Portal erweitern wir regelmäßig unsere Sammlung mit Dokumenten.



### **Wollen Sie sich einen Gesamtüberblick zur Maschinen- und Anlagesicherheit verschaffen?**

In unserem Leitfaden haben wir Informationen zur Maschinensicherheit und funktionalen Sicherheit zusammengestellt.

Leitfaden herunterladen.



### **Benötigen Sie weitere Unterstützung?**

Wir bieten auch Dienstleistungen für Maschinensicherheit an

- Risikobeurteilung
- Sicherheitskonzept
- Schaltungsentwicklung
- Verifizierung / Validierung



Angebot können Sie gerne über das Kontaktformular einholen.

### **Benötigen Sie Schulungen oder eine Weiterbildung?**

Bei Festo Didactic finden Sie Schulungen zur Maschinensicherheit, zur Funktionalen Sicherheit und zum Thema CE-Kennzeichnung.



Angebot für Schulung oder Workshop anfragen.

