1- Einleitung

Dieser Abschnitt dient dazu, dem Maschinenhersteller einen schnellen Überblick über einige Normen im Bereich der Maschinensicherheit zu geben, Grundbegriffe zu klären und Anwendungsbeispiele anzuführen. Diese kurze Anleitung befasst sich mit funktionaler Sicherheit der Maschine, beziehungsweise mit der Gesamtheit der Maßnahmen, die getroffen werden, um Bedienpersonal vor Gefahren zu schützen, die vom Betrieb der Maschine ausgehen, sowie mit Projektierung und Wahl der für die jeweilige Schutzvorrichtung geeigneten Verriegelungseinrichtung.
Der Maschinenkonstrukteur muss Risiken, die durch andere Gefahrenquellen drohen, selbst einschätzen, wie zum Beispiel spannungsführende Teile, Behälter unter Druck, explosionsfähige Atmosphären, usw.
Pizzato Elettrica hat dieses Dokument nach bestem Wissen und Gewissen unter Berücksichtigung der Normen, Interpretationen und bestehender Technologien erstellt. Hier gegebene Beispiele müssen immer vom Endkunden in Bezug auf den neusten Stand von Technik und Normung bewertet werden und entbinden ihn nicht von seiner Verantwortung. Pizzato Elettrica übernimmt keine Verantwortung für hier angeführte Beispiele und schließt nicht aus, dass Fehler oder Ungenauigkeiten enthalten sind.

2- Sicher projektieren. Aufbau der europäischen Normung

Um innerhalb der Europäischen Gemeinschaft jede Art von Vorrichtung oder Maschine unbehindert zu vermarkten, müssen diese den Vorschriften der EU-Richtlinien entsprechen. Diese legen allgemeine Grundsätze fest, um sicherzustellen, dass Hersteller Produkte auf den Markt bringen, deren Betrieb für das Bedienpersonal ungefährlich ist. Unterschiedlichste Produkte bergen mannigfache Gefahren und daher wurden im Laufe der Zeit verschiedene Richtlinien erlassen. Dazu gehören beispielsweise die Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU, die Richtlinie für explosionsgefährdete Bereiche 2014/34/EU, die Richtlinie zur elektromagnetischen Verträglichkeit 2014/30/EU, usw. Die von Maschinen beim Betrieb ausgehenden Gefahren sind in der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG beschrieben. Die Konformität der Richtlinien wird durch die Konformitätserklärung des Herstellers und durch die Anbringung der CE-Kennzeichnung an der Maschine bescheinigt.

Zur Auswertung der Gefahren einer Maschine und zur Realisierung der Sicherheits-Systeme zum Schutz des Bedienpersonals vor diesen Gefahren haben die europäischen Normungsorganisationen CEN und CENELEC eine Reihe von Normen herausgegeben, die den Inhalt der Richtlinien in technische Hinweise umsetzen. Die im EU-Amtsblatt veröffentlichten Normen sind harmonisiert. Die Konformität zu den angewandten und aufgeführten Normen ist durch den Hersteller zu bestätigen.

Die Normen zur Sicherheit von Maschinen sind in drei Typen unterteilt: A, B und C.
Normen Typ A: Normen, die allgemeine Grundbegriffe und Entwurfsrichtlinien zur Herstellung aller Maschinen behandeln.
Normen Typ B: Normen, die einen oder mehrere Sicherheits-Aspekte spezifisch behandeln und sich in folgende Normen unterteilen:
- B1: Normen in Bezug auf einige Sicherheits-Aspekte (z.B.: Sicherheits-Abstände, Temperatur, Lärm,...)
- B2: Normen in Bezug auf Sicherheits-Vorrichtungen (z.B.: Zweihandschaltungen, Verriegelungseinrichtungen, Schutzvorrichtungen, ...)

Normen Typ C: Normen, die die Sicherheits-Vorschriften gewisser Maschinengruppen detailliert behandeln (z.B.: hydraulische Pressen, Spritzgießmaschinen,...)

Der Anlagen- oder Maschinenhersteller muss sich also zuerst erkundigen, ob das Produkt unter eine Typ C Norm einzustufen ist. Ist dies der Fall, gibt diese Norm die Sicherheits-Vorschriften vor, ansonsten werden die Typ B Normen für jeden spezifischen Aspekt oder Vorrichtung des Produktes angewandt. Bei fehlender Spezifikation folgt der Hersteller den allgemeinen Grundsätzen der Normen Typ A.

TYP A NORMEN
zum Beispiel:

EN ISO 12100. Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung.

TYP B1 NORMEN
zum Beispiel:

EN IEC 62061. Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme
EN ISO 13849-1 e -2. Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen

TYP B2 NORMEN
zum Beispiel:

EN ISO 13851. Zweihandschaltungen
EN ISO 13850. Not-Halt
EN ISO 14119. Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen
EN 60204-1. Elektrische Ausrüstung von Maschinen
EN 60947-5-1. Elektromechanische Steuergeräte.

Typ C Normen
zum Beispiel:

EN ISO 20430. Kunststoff- und Gummimaschinen - Spritzgießmaschinen
EN 415-1. Sicherheit von Verpackungsmaschinen
EN ISO 16092-1 und EN ISO 16092-2. Mechanische Pressen
EN ISO 16092-1 und EN ISO 16092-3. Hydraulische Pressen
EN ISO 19085-6. Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen - Fräsmaschinen für einseitige Bearbeitung mit drehendem Werkzeug - Teil 1: Einspindelige senkrechte Tischfräsmaschinen

3 – Sichere Maschinen entwerfen. Die Risikobeurteilung

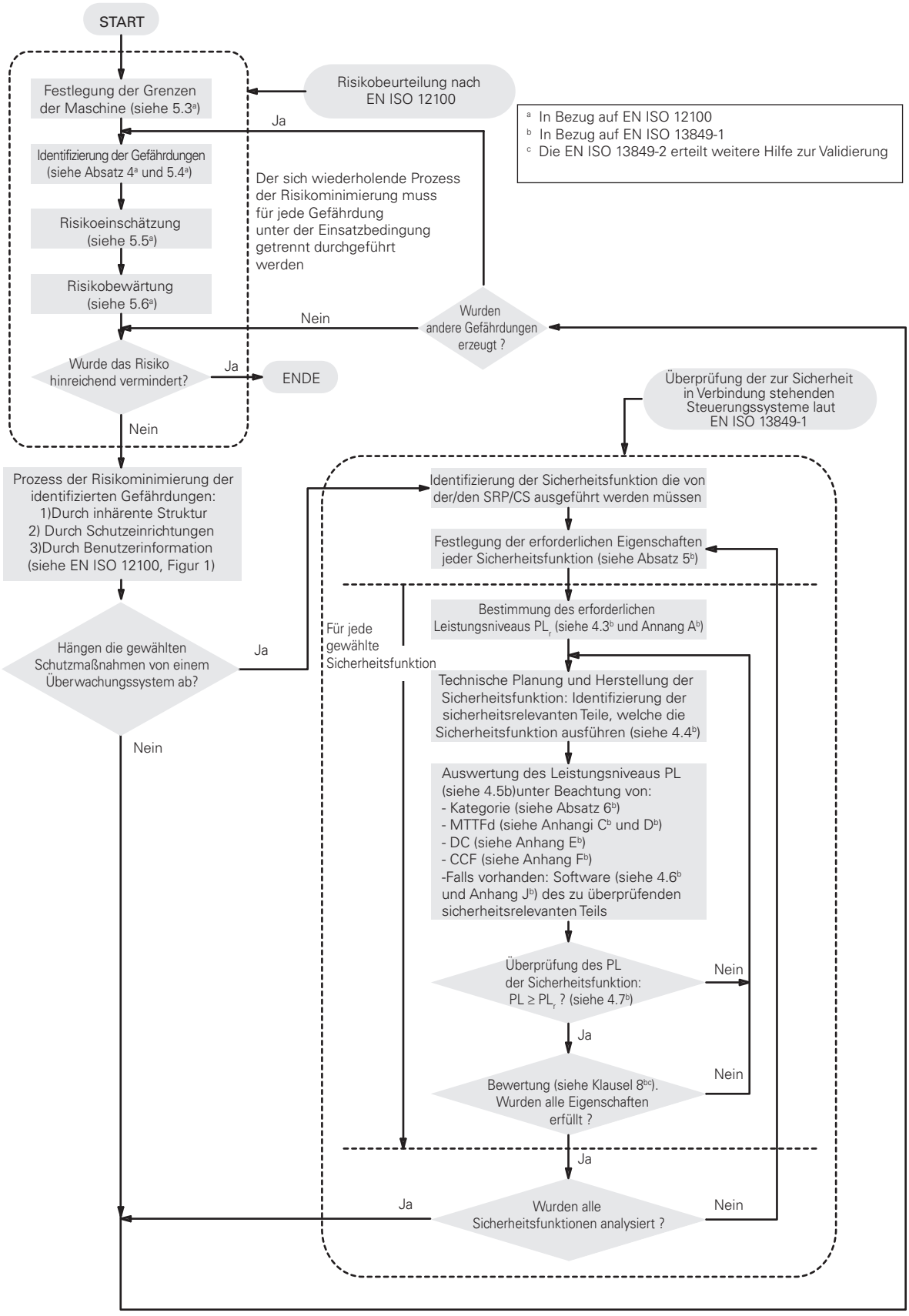
Der erste Schritt zur Herstellung einer sicheren Maschine besteht in der Ermittlung möglicher Gefahren, denen Bedienpersonal einer Maschine ausgesetzt ist. Die Ermittlung und Klassifizierung der Gefährdungen erlaubt es, das Risiko für Bediener oder die Kombination aus Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung und möglichem Schaden zu bestimmen.

Die Methodik der Risikobeurteilung, die Bewertung und die Vorgehensweise zur Beseitigung bzw. Verminderung wird in der Norm EN ISO 12100 behandelt. Diese Norm führt ein zyklisches Analysemodell ein, ausgehend von den anfänglichen Zielsetzungen, der Risikobeurteilung und der verschiedenen Möglichkeiten diese Risiken einzuschränken, werden diese wiederholt ausgewertet, bis diese der Ausgangszielsetzung gerecht werden.

Das von dieser Norm eingeführte Modell sieht vor, dass man nach einer Risikobeurteilung wie folgt vorgeht, um Risiken zu vermindern oder auszuschließen:
1) Durch Anwendung eigensicherer Entwurfsrichtlinien und strukturellen Aufbau der Systeme Risiken an deren Quelle eliminieren;
2) Risikominderung durch Schutz- und Überwachungssysteme;
3) Kennzeichnung der Restrisiken durch Signalisierung und Information des Bedienpersonals.

Da jede Maschine Gefahren aufweist und es nicht möglich ist, alle damit verbundenen möglichen Risiken auszuschließen, ist es das Ziel, Restrisiken auf ein akzeptables Maß zu reduzieren.

Falls ein Risiko durch ein Überwachungssystem vermindert wird, kommt die Norm EN ISO 13849-1 ins Spiel, die ein Auswertungsmodell für die Güte dieses Systems liefert. Gibt man ein Risiko eines gewissen Niveaus an, ist es möglich, eine Sicherheits-Funktion eines gleichen oder höheren Niveaus anzuwenden.

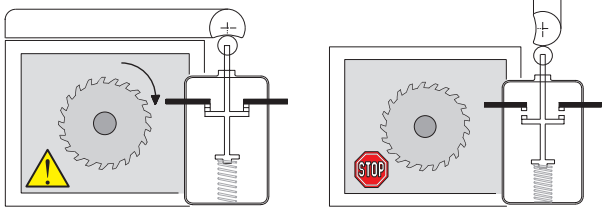


Hinweis: Dieses Diagramm wurde durch Kombination der Abbildungen 1 und 3 der Norm EN ISO 13849-1 erstellt. Die angeführten Texte sind eine nicht offizielle Übersetzung der Texte aus der Norm.

4 – Zwangsöffnung, Redundanz, Diversifikation und Eigenüberwachung

Sicherheitsgerichtete Zwangsöffnung und nicht sicherheitsgerichtete Öffnung.
Nach der Norm EN ISO 12100 sind Komponenten **zwangsläufig verbunden**, wenn eine in Bewegung stehende mechanische Komponente durch direkten Kontakt oder durch fest verbundene Elemente eine andere Komponente mitnimmt. Wenn die Bewegung einer mechanischen Komponente einer zweiten Komponente erlaubt, sich frei zu bewegen (z.B.: durch Schwerkraft, federbetätigt, ...) dann sind diese **nicht zwangsläufig verbunden**.

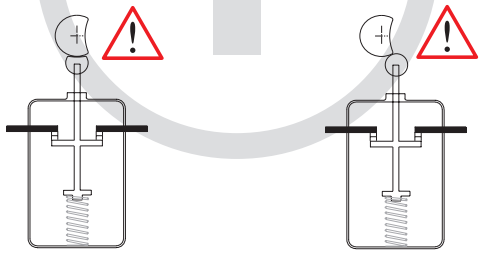
Sicherheitsgerichtete Zwangsöffnung



Maschine in Betrieb
Geschlossene Tür

Maschinenstillstand
Offene Tür

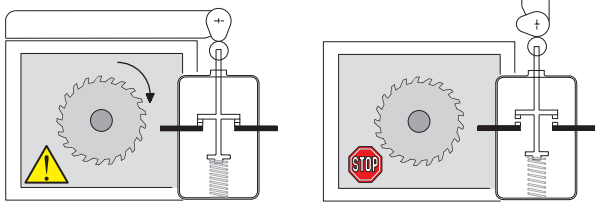
Gefährliche Ausfälle: die Maschine bleibt in Betrieb.



Abgenutzte Rolle

Versetzte Rolle

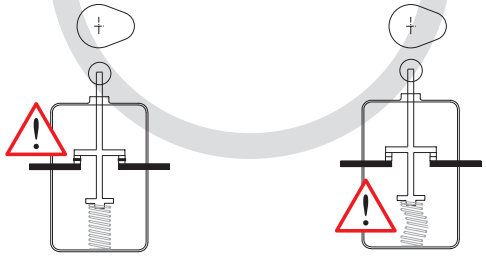
Nicht sicherheitsgerichtete Öffnung



Maschine in Betrieb
Geschlossene Tür

Maschinenstillstand
Offene Tür

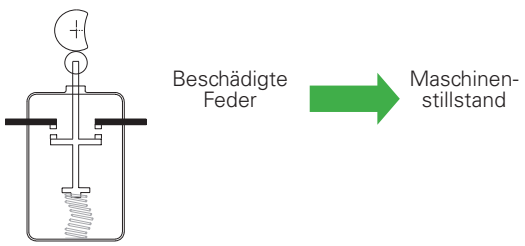
Gefährliche Ausfälle: die Maschine bleibt in Betrieb.



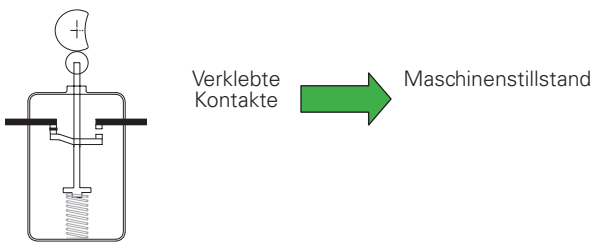
Verklebte Kontakte

Beschädigte Feder

Bei der sicherheitsgerichteten Zwangsöffnung können mit vorbeugender Wartung die oben dargestellten gefahrbringenden Ausfälle vermieden werden. Mit der nicht sicherheitsgerichteten Öffnung können Schäden im Inneren des Schalters auftreten, die schwer zu erkennen sind.
Bei internen Schäden (verklebte Kontakte oder beschädigte Feder) werden bei der sicherheitsgerichtete Zwangsöffnung die Kontakte trotz Schaden geöffnet und der Stillstand der Maschine eingeleitet.

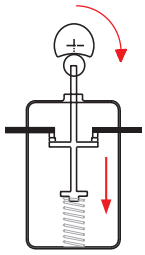


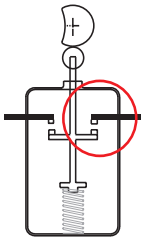
Beschädigte Feder → Maschinen-stillstand



Verklebte Kontakte → Maschinenstillstand

Einsatz der Schalter in Sicherheits-Anwendungen
Wenn nur ein Schalter in einer Sicherheits-Anwendung verwendet wird, muss er zwangsläufig betätigt werden. Für Sicherheits-Anwendungen wird der Öffnerkontakt (NC) verwendet, der vom Typ „**Zwangsöffnung**" sein muss; alle Schalter mit dem Symbol ⊖ verfügen über NC-Kontakte mit Zwangsöffnung.





Keine elastische Verbindung zwischen den beweglichen Kontakten und dem Betätiger, auf den die Betätigungskraft ausgeübt wird.

Wenn zwei oder mehrere Schalter vorhanden sind, sollten diese entgegengesetzt arbeiten:
- Der erste mit einem NC-Kontakt (Öffnerkontakt) und von der Schutztür zwangsläufig betätigt.
- Der andere mit einem NO-Kontakt (Schließerkontakt) und von der Schutztür nicht zwangsläufig betätigt.
Dies ist ein übliches Verfahren, das aber den Gebrauch von zwei zwangsläufig betätigten Schaltern nicht ausschließt (siehe Diversifikation).

Diversifikation
Die Sicherheit in redundanten Systemen wird durch die **Diversifikation** erhöht. Diese erhält man durch den Einsatz von zwei Schaltern unterschiedlicher Konstruktion und/oder Technologie zur Verhinderung von Schäden gleicher Ursachen. Beispiele für Diversifikation sind: Verwendung eines Schalters mit zwangsläufiger Betätigung und eines Schalter ohne zwangsläufige Betätigung; Verwendung eines Schalters mit mechanischer und eines ohne mechanische Betätigung (z.B. elektronischer Sensor) oder die Verwendung von zwei Schaltern mit mechanischer zwangsläufiger Betätigung, aber unterschiedlicher Betätigungsart (z.B. ein Schlüsselschalter FR 693-M2 und ein Schalter mit Scharnierstift FR 1896-M2).

Redundanz
Die **Redundanz** ist die Anwendung von mehr als einem Gerät oder einem System; damit wird sichergestellt, dass im Fall eines Ausfalls von Teilen eines Systems, das andere System die Sicherheits-Funktion ausführen kann. Falls ein erster Ausfall nicht erkannt wird, kann ein zweiter zum Verlust der Sicherheits-Funktion führen.

Eigenüberwachung
Die **Eigenüberwachung** besteht darin, die Funktion aller Geräte, die im Maschinenzyklus eingreifen, automatisch zu prüfen. So kann der folgende Zyklus entweder verboten oder autorisiert werden.

Redundanz und Eigenüberwachung
Die Kombination von **Redundanz** und **Eigenüberwachung** stellt sicher, dass ein erster Schaden bei Sicherheits-Schaltungen nicht zum Verlust der Sicherheits-Funktionen führt. Dieser erste Schaden wird beim Wiederanlauf festgestellt, oder auf jeden Fall vor einem zweiten Schaden, der zum Verlust der Sicherheits-Funktion führen könnte.

5 – Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen (Norm EN ISO 14119)

Im September 2024 wurde die dritte Ausgabe der ISO 14119 „Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen - Leitsätze für Gestaltung und Auswahl“ veröffentlicht. Die Veröffentlichung dieser neuen Ausgabe bringt einige interessante Neuerungen mit sich, insbesondere in Bezug auf die Klassifizierung von Verriegelungseinrichtungen und nicht lösbare Arten der Befestigung.

NEW ISO 14119:2024

Die Norm wendet sich an Hersteller von Verriegelungseinrichtungen und Maschinenbauer (sowie Systemintegratoren) und beschreibt die Anforderungen an die Geräte und ihre fachgerechte Installation.
Die Norm klärt einige nicht immer eindeutige Fragen und berücksichtigt jüngste Techniken für Verriegelungseinrichtungen, definiert einige Parameter (Art des Betätigers und Kodierungsstufe), beschreibt die Vorgehensweise für eine ordnungsgemäße Installation mit dem Ziel, die Umgehung von Schutzvorrichtungen zu reduzieren.
Die Norm beschäftigt sich auch mit weiteren Aspekten der Verriegelungseinrichtungen (z.B: Zuhaltung, elektromagnetische Zuhaltung, Hilfsentsperrung, Fluchtentsperrung und Notentsperrung usw.), die hier nicht beschrieben sind.

Kodierungsstufe der Betätiger

In der Norm findet sich eine Definition für kodierte Betätiger und die Klassifizierung der Kodierungsstufen:

- **Kodierter Betätiger** – Betätiger, der speziell zur Verwendung mit einer spezifischen Verriegelungsvorrichtung entwickelt wurde;
- **Betätiger mit niedriger Kodierungsstufe** – Betätiger mit 1 - 9 verschiedenen möglichen Kodierungen (zum Beispiel die Magnetschalterserie SR oder die Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger und mechanischer Erkennung FS, FG, FR, FD…);
- **Betätiger mit mittlerer Kodierungsstufe** – Betätiger mit 10 - 1000 verschiedenen möglichen Kodierungen;
- **Betätiger mit hoher Kodierungsstufe** – Betätiger mit mehr als 1000 verschiedenen möglichen Kodierungen. (zum Beispiel die Sensorserie ST mit RFID-Technologie oder die Verriegelungsvorrichtungen der Serien NG, NS und NX mit RFID-Technologie und Zuhaltung der Schutzvorrichtung).

Bauarten von Verriegelungseinrichtungen

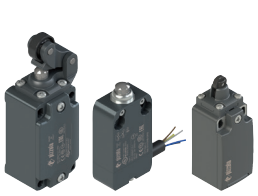
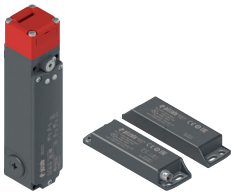
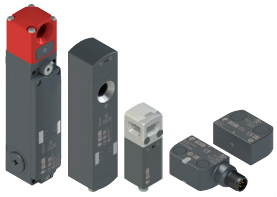
Die dritte Ausgabe der ISO 14119 führt zusätzlich zu den bereits in der zweiten Ausgabe definierten Verriegelungseinrichtungen eine neue Art von Verriegelungseinrichtungen ein, den Typ 5 mit gegen Herausziehen geschütztem Schlüssel:

- **Verriegelungseinrichtung Bauart 1** - Verriegelungseinrichtung, die mechanisch von einem nicht kodierten Betätiger betätigt wird (zum Beispiel Scharnier-Verriegelungseinrichtungen der Serie HP).
- **Verriegelungseinrichtung Bauart 2** - Verriegelungseinrichtung, - die mechanisch von einem kodierten Betätiger betätigt wird (zum Beispiel Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger der Serien FR, FS, FG, …).
- **Verriegelungseinrichtung Bauart 3** - Verriegelungseinrichtung, die kontaktlos von einem nicht kodierten Betätiger betätigt wird.
- **Verriegelungseinrichtung Bauart 4** - Verriegelungseinrichtung, die kontaktlos von einem kodierten Betätiger betätigt wird (zum Beispiel Sicherheits-Sensoren mit RFID-Technologie Serie ST und Sicherheits-Schalter mit RFID-Technologie Serie NG, NS und NX).
- **Verriegelungseinrichtung Bauart 5** - Verriegelungseinrichtung mit gegen Herausziehen geschütztem Schlüssel, die ihre Funktion durch Sperren oder Freigeben eines oder mehrerer Schlüssel in einem Verriegelungssystem erfüllen.

Typ	Betätigungsprinzip	Betätiger	Überwachung der Schutzvorrichtungen	Beispiele für Betätiger		
				Betätigungsprinzip	Betätiger	Anhang
Typ 1	Mechanisch	Nicht kodiert	Direkt	Physischer Kontakt / Kraft	Rotierende Nocke	A.1
					Lineare Nocke	A.2, A.4
					Scharnier	A.3
Typ 2	Mechanisch	Kodiert	Direkt	Physischer Kontakt / Kraft	Betätiger mit geformtem Schlüssel	B.1
Typ 3	Ohne Kontakt	Nicht kodiert	Direkt	Magnetisch	Magnet, Elektromagnet	C.1
				Induktiv	Eisenhaltiges Metall	
				Kapazitiv	Beliebiges geeignetes Objekt	
				Ultraschall	Beliebiges geeignetes Objekt	
				Optisch	Beliebiges geeignetes Objekt	
Typ 4	Ohne Kontakt	Kodiert	Direkt	Magnetisch	Magnetkodiert	D.1
				RFID	RFID kodiert	D.2
				Optisch	Optisch kodiert	-
Typ 5	Mechanisch (Schlüssel, gegen Herausziehen geschützt)	Kodiert	Indirekt oder direkt		Geformt	K

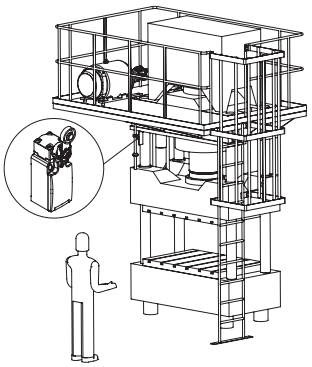
Auszug aus der ISO 14119:2024 - Tabelle 2

Anforderungen für die Gestaltung und Installation von Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen nach ISO 14119:2024 zur Reduzierung der Umgehung von Verriegelungseinrichtung.

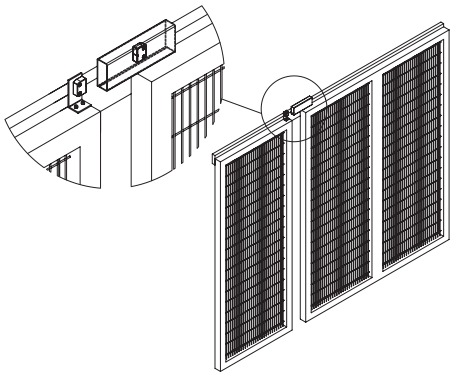
Prinzipien und Maßnahmen zur Vermeidung der Umgehung	Bezug	Geräte der Bauart 1		Geräte der Bauart 2 und 4	
		Sicherheits-Nockenschalter rotierende oder lineare Nocke	Sicherheits-Scharnierschalter	Betätiger mit niedriger und mittlerer Kodierungsstufe	Betätiger mit hoher Kodierungsstufe
					
Zusätzliche Verriegelungseinrichtung und Plausibilitätsprüfung	8.3 d) 2)	R		R	
Anbringen außer Reichweite (1)	8.3 a) 1)	X		X	
Absperrungen oder Abschirmung (2)	8.3 a) 2)				
Anbringung an versteckter Position (3)	8.3 a) 3)				
Prüfung durch Steuerkreis (4)	8.3 d) 1)				
Nicht-lösbare Befestigung des Betätigers	8.3 c)			M	M
Nicht-lösbare Befestigung des Geräts	8.3 c)			R	R
Nicht-lösbare Befestigung von Gerät und Betätiger	8.3 c)	X	M		

Auszug aus der ISO 14119:2024 - Tabelle 5
Legende: X = Die Anwendung von mindestens einer der Maßnahmen aus Spalte „Prinzipien und Maßnahmen“ ist vorgeschrieben; M = vorgeschriebene Maßnahme; R = empfohlene Maßnahme.

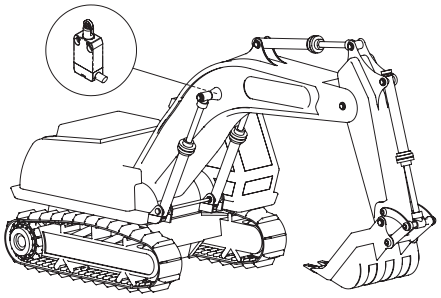
Es zeigt sich, dass der Einsatz von Geräten mit RFID-Technologie, hoher Kodierungsstufe und Scharnierschaltern der einfachste Weg ist, die Anforderungen der ISO 14119 zu erfüllen, da nur wenige Auflagen zur Unterbindung der Umgehung erfüllt werden müssen.
Für Vorrichtungen mit niedriger oder mittlerer Kodierungsstufe gibt es zusätzliche Anforderungen, um eine manipulationssichere Anwendung zu gewährleisten.



(1) - Anbringen außer Reichweite



(2) - Absperrungen oder Abschirmung



(3) - Anbringung an versteckter Position

(4) - Eine Zustandsüberwachung oder periodische Prüfung kann beispielsweise bei einer Maschine mit einem einfachen Arbeitszyklus so durchgeführt werden, dass geprüft wird, dass die Schutzvorrichtungen am Ende oder während bestimmter Arbeitsphasen effektiv geöffnet werden (z.B. zum Entfernen des bearbeiteten Werkstoffes oder zur Qualitätskontrolle). Sollte die Zustandsüberwachung keine Öffnung der Schutzvorrichtung erfassen, wird ein Alarm ausgelöst und die Maschine gestoppt.

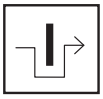
Nicht-lösbare Befestigung

Die Norm nennt als eine der Lösungen, die verhindern sollen, dass die Elemente, aus denen die Verriegelungseinrichtung besteht, demontiert oder umpositioniert werden können, die nicht-lösbare Befestigung. In der Norm werden Beispiele für nicht-lösbare Befestigungen aufgeführt. Insbesondere wird in der dritten Ausgabe die Möglichkeit der **Verwendung von Verschlusskappen eingeführt, mit denen die Öffnungen von Bolzen und Schrauben verschlossen werden können und die nur durch Zerstörung entfernt werden können.** Beispiele in der Norm sind:

- Verschweißen;
- Verwendung von Schraubensicherungsmitteln (die so stark sind, dass sie nur durch Hitze oder Chemikalien entfernt werden können);
- OneWay-Schrauben;
- Vernieten;
- Zerstörung der Schlitze in den Köpfen der Schrauben, um deren Entfernung zu verhindern;
- Ausfüllen der Bohrungen für Bolzen und Schrauben (mit Kunststoff, Harz, **Abdeckungen oder Kappen, die nur durch Zerstörung entfernt werden können**, oder mit einer Metallkugel).

Zuhaltungen und Zuhaltekraft

Der Hersteller der Verriegelungseinrichtung mit Zuhaltung muss gewährleisten, dass das Gerät während der Verriegelung mindestens der mit F_{ZH} gemessenen Zuhaltekraft widersteht. Diese Zuhaltekraft darf höchstens gleich der maximalen Zuhaltekraft geteilt durch einen Sicherheits-Koeffizienten von 1,3 sein.
Beispiel: Ein Gerät mit einer maximalen Zuhaltekraft F_{ZH} = 2000 N muss den Test mit einer maximalen Zuhaltekraft von F_{TEST} =2600 N bestehen.
Eine Verriegelungseinrichtung mit Zuhaltung kann sowohl die Position der Schutzvorrichtung überwachen (offen/geschlossen), als auch die Schutzvorrichtung zuhalten (Schutzvorrichtung verriegelt/entriegelt). Jede der beiden Funktionen kann ein unterschiedliches PL Sicherheits-Niveau (nach EN ISO 13849-1) erfordern. Die Zuhaltung erfordert im Allgemeinen ein niedrigeres PL als die Positionsüberwachung. (Siehe Punkt 9.3, Hinweis 2 der ISO 14119:2024).
Zur Erkennung, ob eine Verriegelungseinrichtung auch eine Zustandsüberwachung durchführt, sieht die Norm die nebenstehende Produktkennzeichnung vor.



6 – Aktuelle Stand der Normung. Gründe für Veränderungen, neuen Normen und einige Überschneidungen

Die „traditionellen" Normen für die funktionale Sicherheit, wie die EN 954-1, hatten den großen Verdienst, Basisprinzipien für die Analyse von Sicherheits-Kreisen anhand deterministischer Prinzipien zu definieren. Das Thema programmierbarer elektronischer Steuerungen wird andererseits z.B. überhaupt nicht erwähnt und im Allgemeinen sind diese Normen nicht auf dem aktuellen technischen Stand. Um programmierbare elektronische Steuerungen bei der Analyse von Sicherheits-Kreisen zu berücksichtigen, ist der Ansatz aktueller Normen grundsätzlich probabilistisch und führt neue statistische Variablen ein.

Die „Urnorm" dieses neuen Ansatzes ist die IEC 61508, die sich mit der Sicherheit komplexer programmierbarer elektronischer Systeme befasst und eine sehr umfassende Norm ist (aufgeteilt in 8 Abschnitte mit insgesamt fast 500 Seiten). Sie findet auch Anwendung in komplett unterschiedlichen Bereichen (chemische Industrie, Maschinenbau, Nuklearanlagen). Diese Norm führt den Begriff SIL (Safety Integrity Level) ein, eine wahrscheinlichkeitstheoretische Angabe des Restrisikos eines Systems.

Aus der IEC 61508 geht die EN IEC 62061 hervor, speziell für die funktionale Sicherheit komplexer elektronischer oder programmierbarer Steuerungssysteme industrieller Anwendungen. Die hier eingeführten Konzepte erlauben eine allgemeine Anwendung für beliebige sicherheitsbezogene elektrische, elektronische und programmierbare elektronische Steuerungssysteme (Systeme mit nicht-elektrischen Technologien werden nicht behandelt).

Auch die EN ISO 13849-1, von CEN unter Leitung der ISO verfasst, basiert auf diesem wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatz. Sie versucht aber, dem Hersteller, der an die Konzepte der EN 954-1 gewöhnt ist, den Übergang zu den neuen Konzepten weniger problematisch zu gestalten. Die Norm deckt elektromechanische, hydraulische, „nicht komplexe" elektronische und einige programmierbare elektronische Systeme mit festgelegten Strukturen ab. Die EN ISO 13849-1 ist eine Typ B1 Norm und führt das Konzept PL (Performance Level) ein; wie bei SIL ergibt dieses Konzept eine wahrscheinlichkeitstheoretische Angabe des Restrisikos einer Maschine. In dieser Norm wird auf eine Korrelation zwischen SIL und PL hingewiesen; es werden die der IEC 61508 entlehnten Konzepte wie DC und CCF verwendet und ein Bezug zu den Sicherheits-Kategorien der EN 954-1 hergestellt.

Im Bereich der funktionalen Sicherheit für die Sicherheit von Steuerkreisen sind daher aktuell zwei Normen anzuwenden:
EN ISO 13849-1. Typ B1 Norm, die das Konzept PL anwendet
EN IEC 62061. Typ B1 Norm, die das Konzept SIL anwendet.

Wichtiger Hinweis
Die EN ISO 13849-1 ist eine Typ B1 Norm; wenn es für eine Maschine schon eine Typ C Norm gibt, dann ist diese anzuwenden. Manche noch nicht aktualisierte Typ C Normen basieren noch auf den Konzepten der EN 954-1. Für Hersteller von Maschinen, die nach einer Typ C Norm gebaut sind, hängt die Einführungszeit der neuen Normen davon ab, wie schnell die verschiedenen technischen Ausschüsse die C Normen aktualisieren.

Der Anwendungsbereich der beiden Normen EN IEC 62061 und EN ISO 13849-1 hat deutliche Überschneidungen und viele Aspekte sind ähnlich; es gibt auch eine Verbindung der beiden Symbolnamen (SIL und PL), die das Ergebnis der Analysen gemäß der beiden Normen anzeigen.

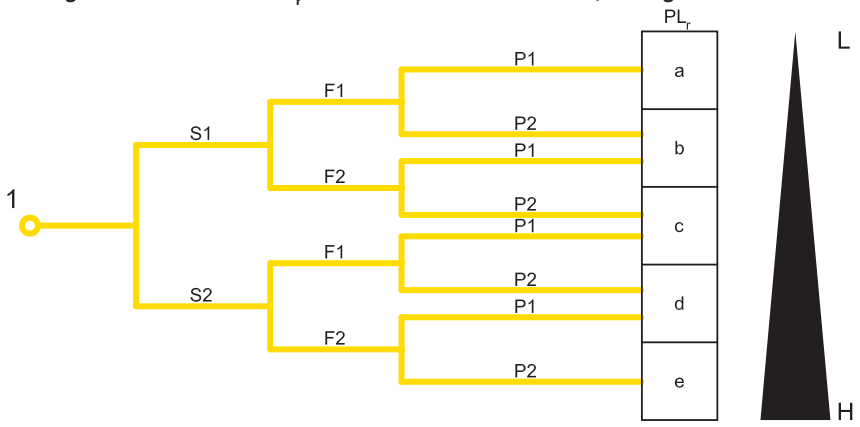
PL EN ISO 13849-1	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**
SIL EN IEC 62061 - IEC 61508	**-**	**1**	**1**	**2**	**3**
PFH_D	von 10^{-5} bis 10^{-4}	von $3x10^{-6}$ bis 10^{-5}	von 10^{-6} bis $3x10^{-6}$	von 10^{-7} bis 10^{-6}	von 10^{-8} bis 10^{-7}
Ein gefahrbringender Ausfall auf n Jahre	von ~1 bis ~10	von ~10 bis ~40	von ~40 bis ~100	von ~100 bis ~1000	von ~1000 bis ~10000

Die Wahl der anzuwendenden Norm bleibt dem Hersteller, ja nach angewandter Technologie, überlassen. Wir glauben, dass die Norm EN ISO 13849-1 durch den vermittelnden Ansatz und die Wiederverwendung am Markt eingeführter Konzepte einfacher anzuwenden ist.

7 – Die Norm EN ISO 13849-1 und die neuen Parameter: PL, $MTTF_d$, DC, CCF

Die Norm EN ISO 13849-1 bietet dem Hersteller eine iterative Methode um abzuschätzen, ob die von einer Maschine ausgehenden Gefahren, durch die Anwendung angemessener Sicherheits-Funktionen auf ein annehmbares Restniveau gesenkt werden können. Die angewandte Methode sieht für jedes Risiko einen Hypothese-Analyse-Prüfung-Zyklus vor, nach dessen Abschluss man zeigen können muss, dass jede gewählte Sicherheits-Funktion für das jeweilige Risiko angemessen ist.
Der erste Schritt besteht in der Wahl des geforderten Leistungsniveaus, das von jeder Sicherheits-Funktion verlangt wird. Wie die EN 954-1 verwendet auch die EN ISO 13849-1 einen Risikographen zur Risikobeurteilung einer Maschinenfunktion (Abbildung A.1). Diese bestimmt in Funktion des Risikos anstatt einer Sicherheits-Kategorie ein gefordertes Leistungsniveau oder PL_r (Required Performance Level) für die Sicherheits-Funktion, die den betroffenen Teil der Maschine schützt.
Der Maschinenhersteller beantwortet ausgehend von Punkt 1 der Zeichnung die Fragen S, F und P und kann damit den PL_r für die untersuchte Sicherheits-Funktion ermitteln. Er muss daraufhin zum Schutz des Bedienpersonals der Maschine ein System mit einem Leistungsniveau PL entwickeln, das gleich oder höher als das geforderte ist.

Risikograph zur Bestimmung des erforderlichen PL_r für die Sicherheits-Funktion (Auszug aus EN ISO 13849-1, Abbildung A.1)



Auswertung

1 Ausgangspunkt zur Bewertung des von den Sicherheits-Funktionen geforderten Beitrags zur Risikominderung
L Niedriger Beitrag zur Risikominderung
H Hoher Beitrag zur Risikominderung
PL_r Gefordertes Leistungsniveau

* F1 sollte gewählt werden, wenn die Gesamtdauer der Gefahrenexposition 1/20 der Gesamtarbeitszeit nicht überschreitet und die Häufigkeit der Gefahrenexposition nicht höher ist als ein mal alle 15 Minuten
****** Wenn es keine sonstigen Gründe gibt, sollte F2 gewählt werden, wenn die Häufigkeit der Gefahrenexposition höher ist als ein mal alle 15 Minuten.

Risikoparameter

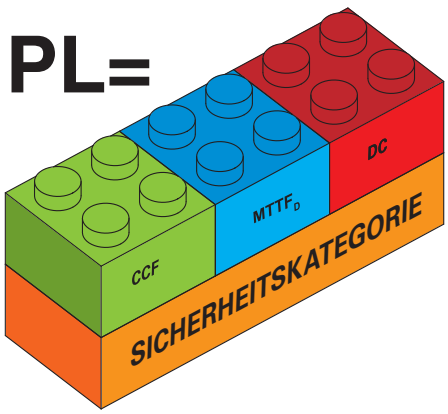
S Schwere des Schadens
S1 leicht (üblicherweise reversible Verletzung)
S2 ernst (üblicherweise irreversible Verletzung oder Tod)
F Frequenz und/oder Gefährdungsexposition
***F1** selten bis weniger häufig und/oder die Dauer der Gefährdungsexposition ist kurz
****F2** häufig bis dauernd und/oder Dauer der Gefährdungsexposition ist lang
P Mögliche Risikovermeidung oder Schadensbegrenzung
P1 unter bestimmten Bedingungen möglich
P2 kaum möglich

Hinweis: Für einen Maschinenhersteller könnte es von Interesse sein, die Risikobeurteilung der Maschine nicht wiederholen zu müssen, sondern zu versuchen, die schon erprobte Risikobeurteilung der Norm EN 954-1 wiederzuverwenden.
Dies ist im allgemeinen nicht möglich, da sich mit der neuen Norm der Risikograph geändert hat (siehe vorige Abbildung) und sich daher bei gleichbleibendem Risiko die geforderten Leistungsniveaus der Sicherheits-Funktion geändert haben können. Das Deutsche Institut BGIA empfiehlt im Report 2008/2 bezüglich der EN ISO 13849-1 folgendes: bei Annahme des „ungünstigsten Falls", kann die Umsetzung gemäß nebenstehender Tabelle erfolgen. Weitere Informationen finden Sie im erwähnten Report.

Von der EN 954-1 geforderte Kategorie		Gefordertes Leistungsniveau (PLr) und Kategorie gemäß EN ISO 13849-1
B	→	b
1	→	c
2	→	d, Kategorie 2
3	→	d, Kategorie 3
4	→	d, Kategorie 4

Es gibt fünf PL-Niveaus, von PL a bis PL e mit jeweils ansteigendem Risiko; jedes davon repräsentiert einen numerischen Bereich für die mittlere Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde. Zum Beispiel weist PL d drauf hin, dass die Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle pro Stunde im Schnitt zwischen $1x10^{-6}$ und $1x10^{-7}$ liegt, d.h. ungefähr 1 gefährlicher Ausfall alle 100-1000 Jahre.

PL	Durchschnittliche gefährlicher Ausfälle (1/h)		Wahrscheinlichkeit pro Stunde PFHd
a	$\geq 10^{-5}$	und	$< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$	und	$<10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$	und	$< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$	und	$< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$	und	$<10^{-7}$

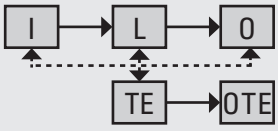
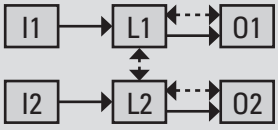
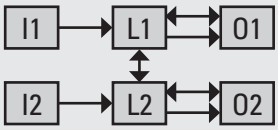


Zur Ermittlung des PL eines Steuerungssystems benötigt man mehrere Parameter:
1. Die Sicherheits-Kategorie des Systems abhängig von der Architektur (Struktur) des Steuerungssystems und des Verhaltens bei Schäden
2. $MTTF_d$ der Bauelemente
3. DC oder Diagnosedeckungsgrad des Systems
4. CCF oder Ausfall infolge gemeinsamer Ursachen

Sicherheits-Kategorie.
Die überwiegende Mehrheit der üblicherweise verwendeten Steuerkreise kann man mit folgenden Logikbausteinen darstellen:
- Input oder Signaleingang
- Logic oder Signalverarbeitungslogik
- Output oder Ausgang des Überwachungssignals

diese sind je nach Aufbau des Steuerkreises unterschiedlich miteinander verbunden.

Die EN ISO 13849-1 lässt fünf unterschiedliche Basisstrukturen der Steuerkreise zu, die als vorgesehene Architektur des Systems bezeichnet werden. Wie aus der folgenden Tabelle zu ersehen ist, ergeben die Architekturen in Kombination mit den Anforderungen an das Systemverhalten bei Fehlern und den Minimalwerten von $MTTF_d$, DC und CCF die Sicherheits-Kategorie des Steuerungssystems. Die Sicherheits-Kategorien der EN ISO 13849-1sind also nicht gleichwertig, sondern erweitern das Konzept der Sicherheits-Kategorie, das in der Vorgänger-Norm EN 954-1 eingeführt wurde.

Kategorie	Aufstellung der Anforderungen	Verhalten des Systems	Sicherheit-Prinzipien	$MTTF_d$ jedes Kanals	DC_{avg}	CCF
B	Die für die Sicherheit der Überwachungssysteme und/oder deren Schutzeinrichtungen relevanten Teile, wie auch deren Zubehör, müssen gemäß der anzuwendenden Normen geplant, gebaut, ausgewählt und kombiniert werden, um den vorhersehbaren Einflüssen zu widerstehen. Es müssen grundlegende Sicherheits-Prinzipien angewandt werden. Architektur: 	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheits-Funktion führen.	Hauptsächlich durch Auswahl der Komponenten bestimmt	Niedrig bis mittel	Kein	Irrelevant
1	Zusätzlich zu den Anforderungen der Kategorie B müssen bewährte Bauteile und Sicherheits-Prinzipien verwendet werden. Architektur: 	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheits-Funktion führen, allerdings ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Fehlers geringer als bei der Kategorie B.	Hauptsächlich durch Auswahl der Komponenten bestimmt	Hoch	Kein	Irrelevant
2	Anwendung von Anforderungen der Kategorie B und bewährten Sicherheits-Prinzipien. Die Sicherheits-Funktion muss in geeigneten Zeittakten vom Steuerungssystem getestet werden. Architektur: 	Das Auftreten eines Fehlers zwischen zwei Prüfpunkten kann zum Verlust der Sicherheits-Funktion führen. Der Verlust der Sicherheits-Funktion wird durch die Überwachung erkannt.	Hauptsächlich durch die Struktur bestimmt	Niedrig bis hoch	Niedrig bis mittel	Siehe Anhang F
3	Anwendung von Anforderungen der Kategorie B und bewährten Sicherheits-Prinzipien. Wichtige sicherheitsrelevante Teile müssen so geplant werden, dass ein einzelner Fehler in einem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheits-Funktion führt. Soweit sinnvoll realisierbar, wird der einzelne Fehler erkannt. Architektur: 	Wenn ein einzelner Fehler auftritt, wird die Sicherheits-Funktion immer ausgeführt. Einige, aber nicht alle Fehler werden festgestellt. Häufungen nicht erkannter Fehler können zum Verlust der Sicherheits-Funktion führen.	Hauptsächlich durch die Struktur bestimmt	Niedrig bis hoch	Niedrig bis mittel	Siehe Anhang F
4	Anwendung von Anforderungen der Kategorie B und bewährten Sicherheits-Prinzipien. Die sicherheitsrelevanten Teile müssen so geplant werden, dass: - ein einzelner Fehler in einem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheits-Funktion führt, und - ein einzelner Fehler während oder vor der erneuten Anforderung der Sicherheits-Funktion festgestellt wird. Falls dies nicht möglich ist, dürfen die Fehlerhäufungen nicht zum Verlust der Sicherheits-Funktion führen. Architektur: 	Wenn ein einzelner Fehler auftritt, wird die Sicherheits-Funktion immer ausgeführt. Die Erkennung angehäufter Fehler vermindert die Wahrscheinlichkeit des Verlusts der Sicherheits-Funktion (hoher DC). Die Fehler werden rechtzeitig erkannt, um dem Verlust der Sicherheits-Funktion vorzubeugen.	Hauptsächlich durch die Struktur bestimmt	Hoch	hoch (einschließlich Fehlerhäufung)	Siehe Anhang F

$MTTF_D$ („Mean Time To Dangerous Failure", Mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall).
Mit diesem Parameter bestimmt man die funktionale Systemqualität über die mittlere Lebensdauer in Jahren bevor es zu einem gefahrbringenden Ausfall kommt (sonstige Ausfälle werden nicht berücksichtigt). Die Berechnung der $MTTF_d$ basiert auf Zahlenwerten, die von den Herstellern der einzelnen Bauteile des Systems angegeben werden. Bei Fehlen dieser Daten kann man die Werte aus den Tabellen mit Richtwerten der Norm entnehmen (Anhang C der Norm EN ISO 13849-1). Die Auswertung führt zu einem numerischen Wert, aufgeteilt in drei Kategorien: Hoch, Mittel oder Niedrig.

Klassifizierung	Werte
Nicht akzeptabel	$MTTF_d$< 3 Jahre
Niedrig	3 Jahre ≤ $MTTF_d$< 10 Jahre
Mittel	10 Jahre ≤ $MTTF_d$< 30 Jahre
Hoch	30 Jahre ≤ $MTTF_d$ ≤ 100 Jahre

Bei stark verschleißbehafteten Bauteilen (typisch bei mechanischen oder hydraulischen Vorrichtungen) liefert der Hersteller anstatt der $MTTF_d$ des Bauteils den Wert B_{10D} des Bauteils, das heißt die Anzahl der Betätigungen des Bauteils innerhalb dessen 10% der Muster gefährlich beschädigt wurden.
Der Wert B_{10D} des Bauteils muss vom Maschinenhersteller durch die folgende Formel in $MTTF_d$ umgewandelt werden:

$$MTTF_D = \frac{B_{10_D}}{0{,}1 \cdot n_{op}}$$

Wobei N_{op}= Anzahl der Betätigungen des Bauteils pro Jahr ist.
Durch die Annahme der täglichen Anwendungshäufigkeit und der täglichen Arbeitsstunden der Maschine kann man n_{op} wie folgt berechnen:

$$n_{op} = \frac{d_{op} \cdot h_{op} \cdot 3600s/h}{t_{ciclo}}$$

wobei
d_{op} = Arbeitstage pro Jahr
h_{op} = Arbeitsstunden pro Tag
t_{ciclo} = Zyklusdauer (s)

Bei Bauteilen, die Verschleiß unterliegen, muss man also beachten, dass der Parameter $MTTF_d$ nicht nur vom Bauteil selbst abhängig ist, sondern auch von der Anwendung. Ein elektromechanisches Gerät mit niedriger Anwendungshäufigkeit, wie zum Beispiel ein Fernschalter, der nur für Not-Halt eingesetzt wird, wird eine hohe $MTTF_d$ haben; falls dasselbe Gerät auch für normale Vorgänge im Betriebszyklus verwendet wird, könnte die $MTTF_d$ desselben Fernschalters bei einer niedrigen Zyklusdauer sehr stark sinken.

Zur Berechnung der $MTTF_d$ des Steuerkreises tragen alle Elemente des Kreises entsprechend seiner Struktur bei. In Steuerungen mit einkanaliger Architektur (wie bei den Kategorien B, 1 und 2) ist der Beitrag jedes Teils linear und die $MTTF_d$ des Kanals berechnet sich wie folgt:

$$\frac{1}{MTTF_D} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{MTTF_{D\,i}}$$

Um zu optimistische Auslegungen zu vermeiden, ist der maximale Wert der $MTTF_d$ jedes Kanals auf 100 Jahre (für Kategorien B, 1, 2 und 3) bzw. 2500 Jahre (Kategorie 4) beschränkt. Kanäle mit einer $MTTF_d$ von weniger als 3 Jahren sind nicht erlaubt.

Bei zweikanaligen Systemen (Kategorie 3 und 4) berechnet man den $MTTF_d$ der Schaltung durch Mittelwertbildung der $MTTF_d$ der beiden Kanäle mit der Formel:

$$MTTF_D = \frac{2}{3}\left[MTTF_{DC1} + MTTF_{DC2} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{DC1}} + \frac{1}{MTTF_{DC2}}}\right]$$

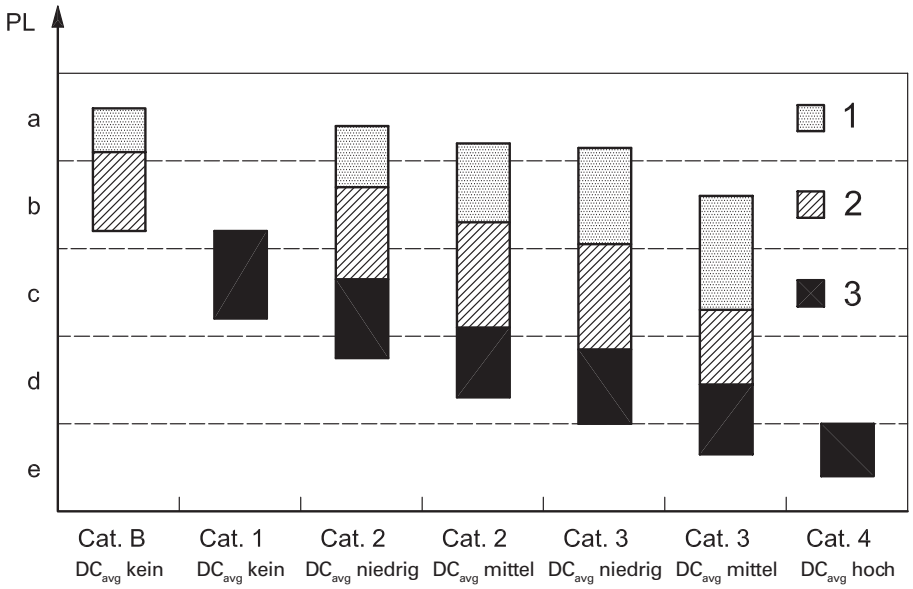
DC („Diagnostic Coverage", Diagnosedeckungsgrad).

Dieser Parameter gibt Auskunft darüber, inwieweit das System in der Lage ist, eine eventuelle eigene Fehlfunktion selbst zu erkennen. Anhand des Prozentsatzes der erkennbaren gefährlichen Ausfälle, erhält man einen mehr oder weniger guten Diagnosedeckungsgrad. Der numerische Parameter DC ist ein Prozentwert, den man anhand von Werten berechnet, die man einer Tabelle entnimmt (Anhang E der Norm EN ISO 13849-1). Dort sind je nach den vom Hersteller getroffenen Maßnahmen zur Fehlererkennung Beispielwerte angegeben. Da normalerweise in derselben Schaltung mehrere Maßnahmen getroffen werden, um verschiedene Unregelmäßigkeiten zu erheben, wird man am Ende einen Mittelwert oder eine DC_{avg} berechnen, die vier Bereichen zugeordnet werden kann:
Hoch $DC_{avg} \geq 99\%$
Mittel $90\% \leq DC_{avg} < 99\%$
Niedrig $60\% \leq DC_{avg} < 90\%$
Kein $DC_{avg} < 60\%$
Der Diagnosedeckungsgrad Kein ist nur für die Systeme der Kategorie B oder 1 gestattet.

CCF („Common Cause Failures", Ausfall infolge gemeinsamer Ursachen)
Bei Systemen in Kategorie 2, 3 oder 4 ist zur Berechnung des PL ist auch die Bewertung eventueller allgemeiner Schadensursachen oder CCF nötig, die die Redundanz der Systeme aufheben können. Die Bewertung wird durch eine Checkliste (Anhang F der Norm EN ISO 13849-1) durchgeführt; anhand der getroffenen Maßnahmen gegen Fehler gemeinsamer Ursache werden Punkte von 0 bis 100 vergeben. Der minimale zugelassene Wert für die Kategorien 2, 3 und 4 sind 65 Punkte.

PL („Performance Level“)
Nach Ermittlung dieser Daten liefert die EN ISO 13849-1 den PL des Systems anhand einer Zuordnungstabelle (Anhang K der EN ISO 13849-1) oder alternativ anhand einer vereinfachten, grafischen Darstellung (Punkt 4.5 der EN ISO 13849-1) gemäß folgender Abbildung:

Bezug zwischen den Kategorien, DC_{avg}, $MTTF_d$ jedes Kanals und PL (nach EN ISO 13849-1, Abbildung 5)



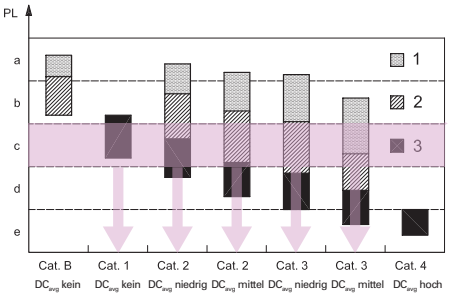
1 = $MTTF_d$ jedes Kanals niedrig (3 Jahre ≤ $MTTF_d$ < 10 Jahre)

2 = $MTTF_d$ jedes Kanals mittel (10 Jahre ≤ $MTTF_d$ < 30 Jahre)

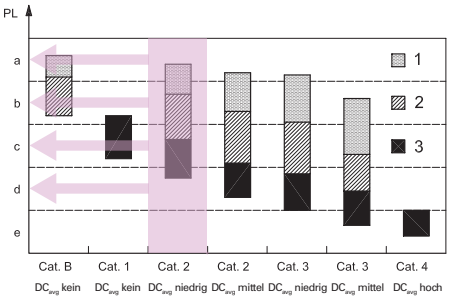
3 = $MTTF_d$ jedes Kanals hoch (30 Jahre ≤ $MTTF_d$ ≤ 100 Jahre)

Diese Abbildung ist sehr nützlich, da sie mehrere Lesemöglichkeiten bietet. Für einen gegebenen PL_r zeigt sie alle möglichen Lösungen, mit denen dieser PL erreicht werden kann, bzw. mögliche Schaltkreisstrukturen, die das gleiche PL-Niveau liefern.

Bei näherer Betrachtung der Abbildung kann man feststellen, dass es folgende Möglichkeiten für ein System mit PL gleich „c“ gibt:
1. System in Kategorie 3 mit wenig zuverlässigen Teilen ($MTTF_d$=niedrig) und DC mittel.
2. System in Kategorie 3 mit zuverlässigen Teilen ($MTTF_d$=mittel) und DC niedrig.
3. System in Kategorie 2 mit zuverlässigen Teilen ($MTTF_d$=mittel) und DC mittel.
4. System in Kategorie 2 mit zuverlässigen Teilen ($MTTF_d$=mittel) und DC niedrig.
5. System in Kategorie 1 mit sehr zuverlässigen Teilen ($MTTF_d$=hoch).



Bei Betrachtung einer bestimmten Schaltkreisstruktur kann man erkennen, welches maximale PL-Niveau in Abhängigkeit vom mittleren Diagnosedeckungsgrad und der $MTTF_d$ der Bauelemente erreicht werden kann.
Der Hersteller kann also vorab einige Schaltkreisstrukturen ausschließen, da diese nicht dem geforderten PL_r entsprechen.



Normalerweise verwendet man die Abbildung nicht, um den PL zu ermitteln, da sich in vielen Fällen die Grafikbereiche mit den Grenzlinien der verschiedenen PL-Niveaus überschneiden. Man verwendet stattdessen die Tabelle aus Anhang K der Norm EN ISO 13849-1 für eine genaue Festsetzung des PL des Stromkreises.

Hinweise

Tabelle Sicherheits-Parameter

Die Daten B_{10D} in der Tabelle beziehen sich auf die mechanische Lebensdauer der Gerätekontakte bei normalen Umweltbedingungen. Der Wert von B_{10D} für NC und NO-Kontakte bezieht sich auf eine maximale elektrische Last von 10% des in der Gebrauchskategorie angegebenen Stromwerts. Gebrauchsdauer (für alle nachstehenden Artikel): 20 Jahre.

Elektromechanische Geräte

Serie	Artikelbeschreibung	B_{10D} (NO)	B_{10D} (NC)	B_{10}/B_{10D}
F• ••••	Positionsschalter	1.000.000	40.000.000	50%
F• ••93 F• ••92	Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger	1.000.000	2.000.000	50%
F• ••99 F• ••R2	Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger mit Verriegelung	1.000.000	1.000.000	50%
FG, FY	Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger mit Verriegelung	1.000.000	5.000.000	20%
FS	Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger mit Verriegelung	1.000.000	4.000.000	20%
F• ••96 F• ••95	Sicherheits-Schalter mit Scharnierstift	1.000.000	5.000.000	20%
F• ••C•	Sicherheits-Schalter mit Schwenkhebel für Drehtüren	1.000.000	2.000.000	50%
F• ••••	Seilzugschalter für Not-Halt	100.000	200.000	50%
HP - HX B•22-•••	Sicherheits-Scharniere	1.000.000	5.000.000	20%
SR	Magnetische Sicherheits-Sensoren (mit kompatiblem Pizzato Elettrica Sicherheits-Modul)	20.000.000	20.000.000	50%
SR	Magnetische Sicherheits-Sensoren (mit max. Last: DC12 24V 250mA)	400.000	400.000	100%
PX, PA	Fußschalter	1.000.000	20.000.000	50%
MK	Mikro-Positionsschalter	1.000.000	20.000.000	50%
NA B•• - NA G•• - NA H•• - NA L•• NB B•• - NB G•• - NB H•• - NB L•• NF B•• - NF G•• - NF H•• - NF L••	Modulare vorverkabelte Positionsschalter	1.000.000	40.000.000	50%
NA C•• - NB C•• - NF C••	Modulare vorverkabelte Positionsschalter	1.000.000	10.000.000	50%
E2 C•••••••	Kontakteinheiten	1.000.000	40.000.000	50%

Serie	Artikelbeschreibung	B_{10D}	B_{10}/B_{10D}
E2 •PU1••••••, E2 •PL1••••••	Einfachtaster, rastend	2.000.000	50%
E2 •PU2••••••, E2 •PL2••••••	Einfachtaster, tastend	30.000.000	50%
E2 •PD••••••, E2 •PT••••••	Doppel- und Dreifachtaster	2.000.000	50%
E2 •PQ••••••	Vierfachtaster	2.000.000	50%
E2 •PE••••••	Not-Halt-Taster	600.000	50%
VN NG-AC2605•	Integrierte Not-Halt-Taster bei Geräten der Serie NG, NS, BN	100.000	50%
E2 •SE••••••, E2 •SL••••••	Wahlschalter mit und ohne Beleuchtung	2.000.000	50%
E2 •SC••••••	Schlüsselwahlschalter	600.000	50%
E2 •MA••••••	Joysticks	2.000.000	50%

Serie ATEX	Artikelbeschreibung	B_{10D} (NO)	B_{10D} (NC)	B_{10}/B_{10D}
F• ••••-EX•	Positionsschalter	500.000	20.000.000	50%
F• ••93-EX•	Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger	500.000	1.000.000	50%
F• ••99-EX• F• ••R2-EX•	Sicherheits-Schalter mit separatem Betätiger mit Verriegelung	500.000	500.000	50%
F• ••96-EX• F• ••95-EX•	Sicherheits-Schalter mit Scharnierstift	500.000	2.500.000	20%
F• ••C•-EX•	Sicherheits-Schalter mit Schwenkhebel für Drehtüren	500.000	1.000.000	50%
F• ••••-EX•	Seilzugschalter für Not-Halt	500.000	1.000.000	50%

Elektronische Geräte

Code/Serie	Artikelbeschreibung	$MTTF_d$	DC	PFH_D	SIL	PL	Kat.
HX BEE1-•••	Sicherheits-Scharniere mit Elektronikeinheit	2413	High	1,24E-09	3	e	4
ST D••••••	Sicherheits-Sensoren mit RFID-Technologie	4077	High	1,20E-11	3	e	4
ST G••••••, ST H••••••	Sicherheits-Sensoren mit RFID-Technologie	1551	High	1,19E-09	3	e	4
NG	RFID Sicherheits-Schalter mit Zuhaltung						
	Funktion zur Überwachung des verriegelten Betätigers - Modus 1	2968	High	1,15E-09	3	e	4
	Funktion zur Überwachung der Präsenz des Betätigers - Modus 2	3946	High	1,15E-09	3	e	4
	Funktion zur Überwachung des verriegelten Betätigers - Modus 3	2957	High	1,48E-09	2	d	2
	Funktion zur Überwachung der Präsenz des Betätigers - Modus 3	3927	High	1,48E-09	2	d	2
	Zweikanalige Steuerung der Funktion zur Verriegelung des Betätigers	4011	High	1,51E-10	3	e	4
	Einkanalige Steuerung der Funktion zur Verriegelung des Betätigers	4011	High	1,51E-10	2	d	2
NS	RFID Sicherheits-Schalter mit Zuhaltung						
	Funktion zur Überwachung des verriegelten Betätigers - Modus 1	2657	High	1,23E-09	3	e	4
	Funktion zur Überwachung der Präsenz des Betätigers - Modus 2	1840	High	1,22E-09	3	e	4
	Funktion zur Überwachung des verriegelten Betätigers - Modus 3	2627	High	1,50E-09	2	d	2
	Funktion zur Überwachung der Präsenz des Betätigers - Modus 3	3987	High	1,49E-09	2	d	2
	Zweikanalige Steuerung der Funktion zur Verriegelung des Betätigers	2254	High	2,04E-10	3	e	4
	Einkanalige Steuerung der Funktion zur Verriegelung des Betätigers	2254	High	2,04E-10	2	d	2
NX	RFID Sicherheits-Schalter mit Zuhaltung						
	Funktion zur Überwachung des verriegelten Betätigers - Modus 1	1688	High	3,07E-10	3	e	4
	Funktion zur Überwachung der Präsenz des Betätigers - Modus 2	1694	High	3,07E-10	3	e	4
	Zweikanalige Steuerung der Funktion zur Verriegelung des Betätigers	1639	High	2,82E-10	3	e	4
	Einkanalige Steuerung der Funktion zur Verriegelung des Betätigers	1639	High	2,82E-10	2	d	2

Elektronische Geräte

Code/Serie	Artikelbeschreibung	$MTTF_d$	DC	PFH_D	SIL	PL	Kat.
CS AM-01	Sicherheits-Modul zur Stillstandsüberwachung	218	Medium	8,70E-09	2	d	3
CS AM••							
SF1 (standstill)	Motor-Stillstandsüberwachung	70	High	1,00E-09	3	e	4
SF2 (speed)	Motordrehzahlerfassung	70	High	1,00E-09	3	e	4
SF3 (rotation)	Motor-Drehrichtungserkennung	67	High	2,06E-08	2	d	2
SF2 + SF3 (speed & rotation)	Motordrehzahl- und Drehrichtungserfassung	67	High	2,06E-08	2	d	2
SF2 + SF3 (dual speed)	Motor-Drehzahlerfassung (Dual Range)	67	High	2,06E-08	2	d	2
CS AR-01, CS AR-02	Sicherheits-Module zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	227	High	1,18E-10	3	e	4
CS AR-04	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	152	High	1,84E-10	3	e	4
CS AR-05, CS AR-06	Sicherheits-Module zur Überwachung von Schutzvorrichtungen, Not-Halt-Schaltungen und Lichtschranken	152	High	1,84E-10	3	e	4
CS AR-07	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	111	High	7,56E-10	3	e	4
CS AR-08	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Schutzvorrichtungen, Not-Halt-Schaltungen und Lichtschranken	1547	High	9,73E-11	3	e	4
CS AR-20, CS AR-21	Sicherheits-Module zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	225	High	4,18E-10	3	e	3
CS AR-22, CS AR-23	Sicherheits-Module zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	151	High	5,28E-10	3	e	3
CS AR-24, CS AR-25	Sicherheits-Module zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	113	High	6,62E-10	3	e	3
CS AR-40, CS AR-41	Sicherheits-Module zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	225	High	4,18E-10	2	d	2
CS AR-46	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	435	-	3,32E-08	1	c	1
CS AR-51	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Schaltmatten und Schaltleisten	212	High	3,65E-09	3	e	4
CS AR-90	Sicherheits-Modul zur Überwachung der Stockwerksnivellierung von Aufzügen	382	High	5,03E-10	3	e	4
CS AR-91	Sicherheits-Modul zur Überwachung der Stockwerksnivellierung von Aufzügen	227	High	1,18E-10	3	e	4
CS AR-93	Sicherheits-Modul zur Überwachung der Stockwerksnivellierung von Aufzügen	227	High	1,34E-10	3	e	4
CS AR-94	Sicherheits-Modul zur Überwachung der Stockwerksnivellierung von Aufzügen	227	High	1,13E-10	3	e	4
CS AR-95	Sicherheits-Modul zur Überwachung der Stockwerksnivellierung von Aufzügen	213	High	5,42E-09	3	e	4
CS AT-0•, CS AT-1•	Sicherheits-Zeitgebermodule zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	88	High	1,23E-08	3	e	4
CS AT-3•	Sicherheits-Zeitgebermodul zur Überwachung von Schutzvorrichtungen und Not-Halt-Schaltungen	135	High	1,95E-09	3	e	4
CS DM-01	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Zweihandschaltungen	142	High	2,99E-08	3	e	4
CS DM-02	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Zweihandschaltungen	206	High	2,98E-08	3	e	4
CS DM-20	Sicherheits-Modul zur Überwachung von Zweihandschaltungen	42	-	1,32E-06	1	c	1
CS FS-1•	Sicherheits-Zeitgebermodul	404	High	5,06E-10	3	e	4
CS FS-2•, CS FS-3•	Sicherheits-Zeitgebermodule	205	High	1,10E-08	2	d	3
CS FS-5•	Sicherheits-Zeitgebermodul	379	Medium	1,31E-09	2	d	3
CS ME-01	Kontakt-Erweiterungsmodul	91	High	5,26E-10	①	①	①
CS ME-02	Kontakt-Erweiterungsmodul	114	High	4,17E-10	①	①	①
CS ME-03	Kontakt-Erweiterungsmodul	152	High	3,09E-10	①	①	①
CS ME-20	Kontakt-Erweiterungsmodul	114	High	6,14E-10	①	①	①
CS ME-31	Kontakt-Erweiterungsmodul	110	High	4,07E-09	①	①	①
CS M•201	Multifunktions-Sicherheits-Module	135	High	1,44E-09	3	e	4
CS M•202	Multifunktions-Sicherheits-Module	614	High	1,32E-09	3	e	4
CS M•203	Multifunktions-Sicherheits-Module	103	High	1,61E-09	3	e	4
CS M•204	Multifunktions-Sicherheits-Module	134	High	1,52E-09	3	e	4
CS M•205	Multifunktions-Sicherheits-Module	373	High	2,19E-09	3	e	4
CS M•206	Multifunktions-Sicherheits-Module	3314	High	1,09E-09	3	e	4
CS M•207	Multifunktions-Sicherheits-Module	431	High	7,08E-09	3	e	4
CS M•208	Multifunktions-Sicherheits-Module	633	High	7,02E-09	3	e	4
CS M•301	Multifunktions-Sicherheits-Module	128	High	1,88E-09	3	e	4
CS M•302	Multifunktions-Sicherheits-Module	535	High	1,57E-09	3	e	4
CS M•303	Multifunktions-Sicherheits-Module	485	High	1,76E-09	3	e	4
CS M•304	Multifunktions-Sicherheits-Module	98	High	2,05E-09	3	e	4
CS M•305	Multifunktions-Sicherheits-Module	535	High	1,57E-09	3	e	4
CS M•306	Multifunktions-Sicherheits-Module	100	High	1,86E-09	3	e	4
CS M•307	Multifunktions-Sicherheits-Module	289	High	8,38E-09	3	e	4
CS M•308	Multifunktions-Sicherheits-Module	548	High	7,27E-09	3	e	4
CS M•309	Multifunktions-Sicherheits-Module	496	High	7,46E-09	3	e	4
CS M•310	Multifunktions-Sicherheits-Module	288	High	3,46E-09	3	e	4
CS M•311	Multifunktions-Sicherheits-Module	363	High	7,52E-09	3	e	4
CS M•312	Multifunktions-Sicherheits-Module	380	High	8,20E-09	3	e	4
CS M•401	Multifunktions-Sicherheits-Module	434	High	1,73E-09	3	e	4
CS M•402	Multifunktions-Sicherheits-Module	478	High	7,24E-09	3	e	4
CS M•403	Multifunktions-Sicherheits-Module	438	High	7,42E-09	3	e	4
CS M•406	Multifunktions-Sicherheits-Module	473	High	1,54E-09	3	e	4

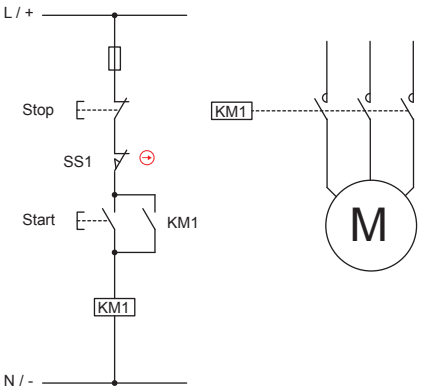
B_{10D}: Anzahl der Betätigungen, nach denen 10% der Bauteile gefahrbringend ausfallen
B_{10}: Anzahl der Betätigungen, nach denen 10% der Bauteile ausfallen
B_{10}/B_{10D}: Verhältnis von Ausfällen insgesamt zu gefährlichen Ausfällen.
$MTTF_d$: „Mean Time To Dangerous Failure" (mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall) in Jahren

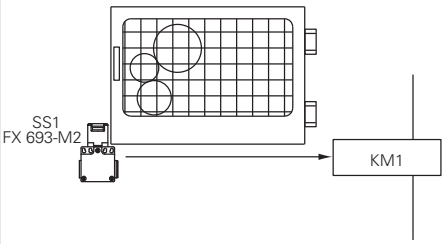
DC: „Diagnostic Coverage" (Diagnosedeckungsgrad)
PFH_d: „Probability of Dangerous Failure per Hour" (Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde)
SIL CL: Safety Integrity Level Claim Limit. Maximal erreichbarer SIL gemäß EN IEC 62061
PL: Performance Level. PL gemäß EN ISO 13849-1

① = Hängt vom Basismodul ab

BEISPIEL 1
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen

Referenznorm EN ISO 13849-1	
Sicherheits-Kategorie	**1**
Performance Level	**PL c**





Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Der Steuerkreis in der Abbildung dient zur Überwachung der Schutzvorrichtung. Bei geöffneter Schutzvorrichtung darf der Motor nicht anlaufen. Die Gefährdungsbeurteilung hat gezeigt, dass das System keinen Nachlauf hat, das heißt, dass der Motor nach Wegnahme der Betriebsspannung in geringerer Zeit stillsteht als sich die Schutzvorrichtung öffnet. Aus der Risikobeurteilung geht hervor, dass das geforderte Ziel PL_r dem PL c entspricht. Man sollte überprüfen, ob der vorgesehene einkanalige Steuerkreis einen PL höher oder gleich PL_r hat.
Die Position der Schutzvorrichtung wird vom Schalter mit separatem Betätiger SS1, der direkt auf den Schütz KM1 einwirkt, ermittelt. Der Schütz KM1, der die bewegten Elemente überwacht, wird normalerweise von den Tasten Start und Stop betätigt; die Analyse des Betriebszyklus hat aber gezeigt, dass auch die Schutztür bei jedem Betriebszyklus geöffnet wird. Daraus folgt, dass man die Anzahl der Arbeitsgänge des Fernschalters und des Sicherheits-Schalters als gleich betrachten kann.
Eine Schaltkreisstruktur bezeichnet man als einkanalig ohne Überwachung (Kategorie B oder 1), wenn nur die Elemente Input (Schalter) und Output (Schaltschütz) vorhanden sind.
Die Sicherheits-Funktion bleibt bei einem Schaden an einer der beiden Vorrichtungen nicht erhalten.
Es werden keine Maßnahmen zur Fehlerermittlung getroffen.

Gerätedaten:
- SS1 (FX 693-M2) ist ein Schalter mit Zwangsöffnung (gemäß EN 60947-5-1 Anhang K). Der Schalter ist ein bewährtes Bauteil gemäß EN ISO 13849-2 Tabelle D.4. Der Wert B_{10D} des Geräts wird vom Hersteller zur Verfügung gestellt und beträgt 2.000.000 Schaltspiele.
- KM1 ist ein mit Nennlast betriebener Schütz und ein bewährtes Bauteil gemäß EN ISO 13849-2 Tabelle D.4. Der Wert B_{10D} beträgt 1.300.000 Schaltspiele; dieser Wert wurde von Tabelle C.1 von EN ISO 13849-1 übernommen.

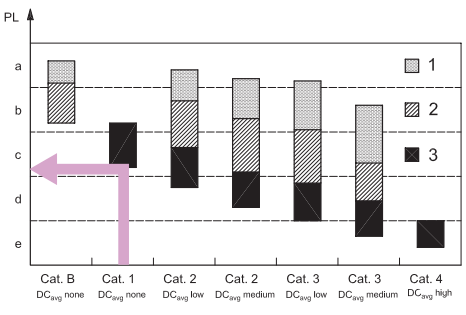
Annahme der Nutzungsfrequenz
- Man nimmt eine Nutzung der Maschine von maximal 365 Tage pro Jahr an, in drei Schichten von 8 Stunden und mit einer Zykluszeit von 600 Sekunden. Pro Jahr kann man für den Schalter damit N_{op} = (365x24x3.600)/600 = 52.560 Schaltspiele ansetzen.
- Die Betätigung der Starttaste kann man alle 300 Sekunden ansetzen. Die Anzahl der Schaltspiele pro Jahr ergibt sich damit für den Schalter zu n_{op} = 105.120
- Der Schütz KM1 wird sowohl bei normalem Start-Stop der Maschine als auch beim Wiederanlauf infolge einer Öffnung der Schutzvorrichtung betätigt.
  n_{op}/Jahr = 52.560+105.120 = 157.680

Berechnung $MTTF_d$
$MTTF_d$ des Schalters SS1 ist gleich: $MTTF_d = B_{10D} / (0{,}1 \times n_{op})$ = 2000000/(0,1 x 52560) = 381 Jahre
$MTTF_d$ des Schütz KM1 ist gleich: $MTTF_d = B_{10D} / (0{,}1 \times n_{op})$ = 1.300.000/(0,1 x 157.680) = 82 Jahre
Daraus ergibt sich eine $MTTF_d$ des einkanaligen Stromkreises von: 1/(1/381+1/82) = 67 Jahre

Diagnosedeckungsgrad DCavg
Es werden keine Maßnahmen zur Fehlerermittlung getroffen und daher ist der Diagnosedeckungsgrad Null, was für den untersuchten Schaltkreis in Kategorie 1 ein erlaubter Wert ist.

Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache CCF
Die Berechnung des CCF ist für einen Schaltkreis in Kategorie 1 nicht nötig.

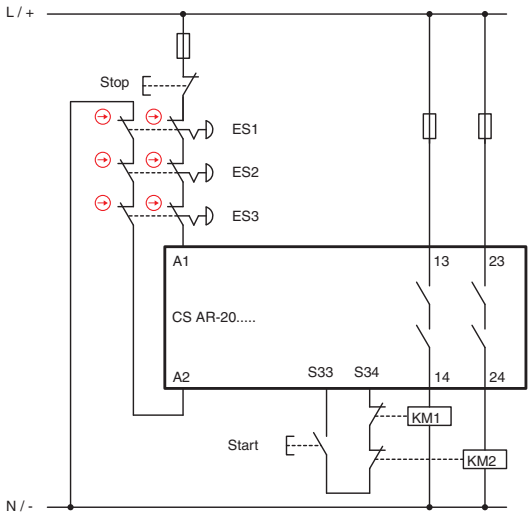
PL-Ermittlung
Anhand der Tabelle oder Abbildung 5 der Norm sieht man, dass für einen Schaltkreis in Kategorie 1 mit $MTTF_d$=95 Jahre der PL des Steuerkreises PL c ist. Der Ziel-PL_r ist damit erreicht.

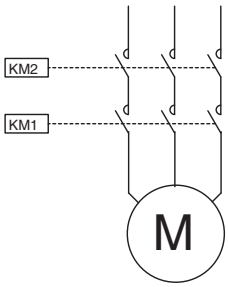


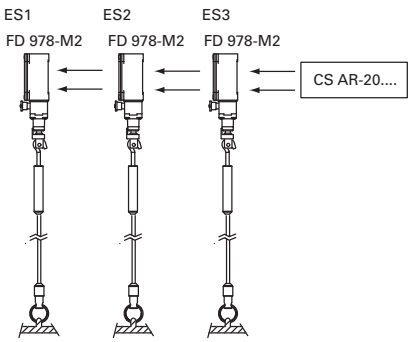
Alle Informationen, Anwendungsbeispiele und Anschlusspläne in dieser Dokumentation dienen ausschließlich zur Erläuterung.
Es obliegt der Verantwortung des Benutzers, sicherzustellen, dass die Produkte entsprechend den Vorschriften der Normen ausgewählt und angewendet werden, damit keine Sach- oder Personenschäden auftreten.

BEISPIEL 2
Anwendung: Not-Halt Überwachung

Referenznorm EN ISO 13849-1	
Sicherheits-Kategorie	**3**
Performance Level	**PL e**







Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Die Betätigung einer der Not-Halt-Vorrichtungen löst den Eingriff des Sicherheits-Moduls und der Schütze KM1 und KM2 aus.
Das Signal von ES1, ES2 und ES3 wird vom Sicherheits-Modul CS redundant gelesen. Auch die Schütze KM1 und KM2 (mit zwangsgeführten Kontakten) werden vom CS über den Rückführkreis überwacht.

Gerätedaten:
- ES1, ES2, ES3 (FD 978-M2) sind Seilzugschalter für Not-Halt-Schaltungen mit Zwangsöffnung. Der Wert von B_{10D} beträgt 2.000.000
- KM1, KM2 sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. Der Wert B_{10D} beträgt 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)
- CS ist ein Sicherheits-Modul (CS AR-20) mit $MTTF_d$ = 225 Jahre und DC = High
- Der Schaltkreis ist zweikanalig aufgebaut in Kategorie 3

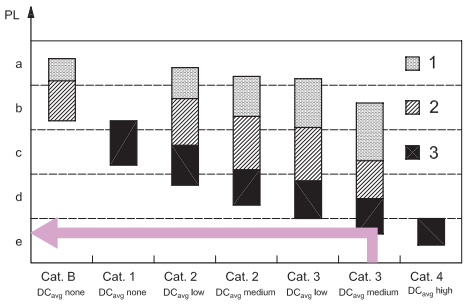
Annahme der Nutzungsfrequenz
- 2 Mal im Monat nop/Jahr = 24
- Betätigung der Starttaste: 4x pro Tag
- Bei Annahme von 365 Arbeitstagen, schalten die Kontakte 4 x 365 + 24 = 1484 Mal/Jahr
- Die Schalter werden mit derselben Frequenz betätigt.
- Es ist nicht vorgesehen, dass mehrere Taster gleichzeitig gedrückt werden.

Berechnung $MTTF_d$
- $MTTF_{d\ ES1,\ ES2,\ ES3}$ = 833.333 Jahre
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 8760 Jahre
- $MTTF_{d\ CS}$ = 225 Jahre
- $MTTF_{d\ ch1}$ = 219 Jahre. Der Wert ist auf 100 Jahre begrenzt. Die Kanäle sind parallel geschaltet, daher $MTTF_d$ = 100 Jahre (High)

Diagnosedeckungsgrad DC_{avg}
- Die Kontakte von KM1 und KM2 werden vom CS über den Rückführkreis überwacht. DC = 99% (High)
- Das Sicherheits-Modul CS AR-20 hat den Diagnosedeckungsgrad High.
- Bei den Sicherheits-Vorrichtungen können nicht alle Ausfälle festgestellt werden. Der Diagnosedeckungsgrad beträgt 90% (Medium)

Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache CCF
Wir nehmen einen Wert > 65 an (anhand Anhang F der EN ISO 13849-1).

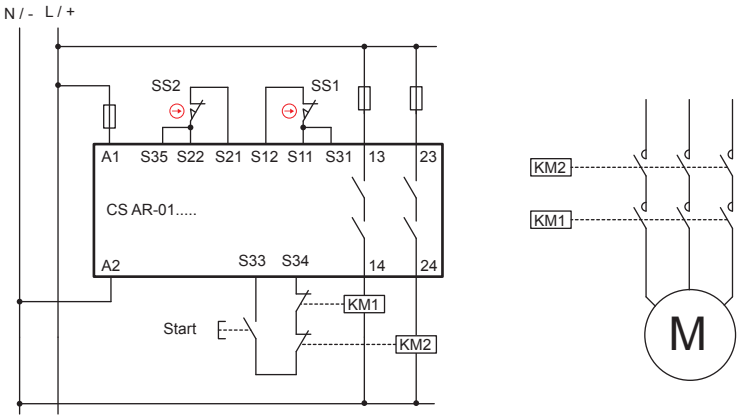
PL-Ermittlung
Ein Schaltkreis in Kategorie 3 mit $MTTF_d$ = High und DC_{avg} = High kann PL e erreichen.

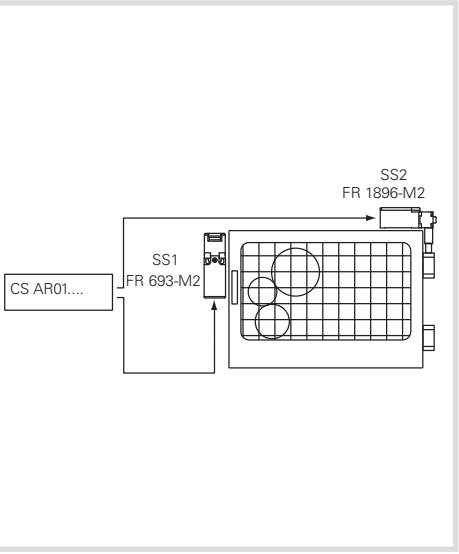


Alle Informationen, Anwendungsbeispiele und Anschlusspläne in dieser Dokumentation dienen ausschließlich zur Erläuterung.
Es obliegt der Verantwortung des Benutzers, sicherzustellen, dass die Produkte entsprechend den Vorschriften der Normen ausgewählt und angewendet werden, damit keine Sach- oder Personenschäden auftreten.

BEISPIEL 3
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen

Referenznorm EN ISO 13849-1	
Sicherheits-Kategorie	**4**
Performance Level	**PL e**





Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Das Öffnen der Schutzvorrichtung löst den Eingriff der Schalter SS1 und SS2 und damit des Sicherheits-Moduls sowie der beiden Schütze KM1 und KM2 aus.
Das Signal von SS1 und SS2 wird vom Sicherheits-Modul CS redundant überwacht.
Die Schalter haben unterschiedliche Funktionsweisen.
Auch die Schütze KM1 und KM2 (mit zwangsgeführten Kontakten) werden vom CS über den Rückführkreis überwacht.

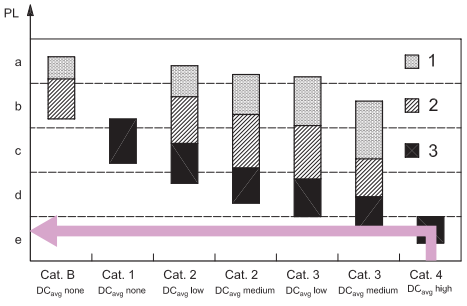
Gerätedaten:
- SS1 (FR 693-M2) ist ein Schalter mit Zwangsöffnung. Der Wert von B_{10D} beträgt 2.000.000
- SS2 (FR 1896-M2) ist ein Schalter für Scharniere mit Zwangsöffnung. B_{10D} = 5.000.000
- KM1, KM2 sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. B_{10D} = 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)
- CS sind Sicherheits-Module (CS AR-01) mit $MTTF_d$=227 Jahre und DC = High

Annahme der Nutzungsfrequenz
365 Tage/Jahr, 16 h/Tag, 1 Eingriff alle 4 Minuten (240 s). n_{op}/Jahr = 87.600.

Berechnung $MTTF_d$
- $MTTF_{d\ SS1}$ = 228 Jahre
- $MTTF_{d\ SS2}$ = 571 Jahre
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 148 Jahre
- $MTTF_{d\ CS}$= 227 Jahre
- $MTTF_{d\ CH1}$ = 64 Jahre (SS1,CS,KM1)
- $MTTF_{d\ CH2}$ = 77 Jahre (SS2,CS,KM2)
- $MTTF_d$: = bei Mittelwertbildung beider Kanäle erhält man $MTTF_d$ = 70.7 Jahre (High)

Diagnosedeckungsgrad DC_{avg}
- SS1 und SS2 haben DC=99%, da die Kontakte von SS1 und SS2 vom CS überwacht werden und unterschiedliche Funktionsweisen haben.
- Die Kontakte von KM1 und KM2 werden vom CS über den Rückführkreis überwacht. DC = 99% (High)
- CS AR-01 besitzt eine redundante Schaltung mit Eigenüberwachung. DC = High
- DC_{avg} = High

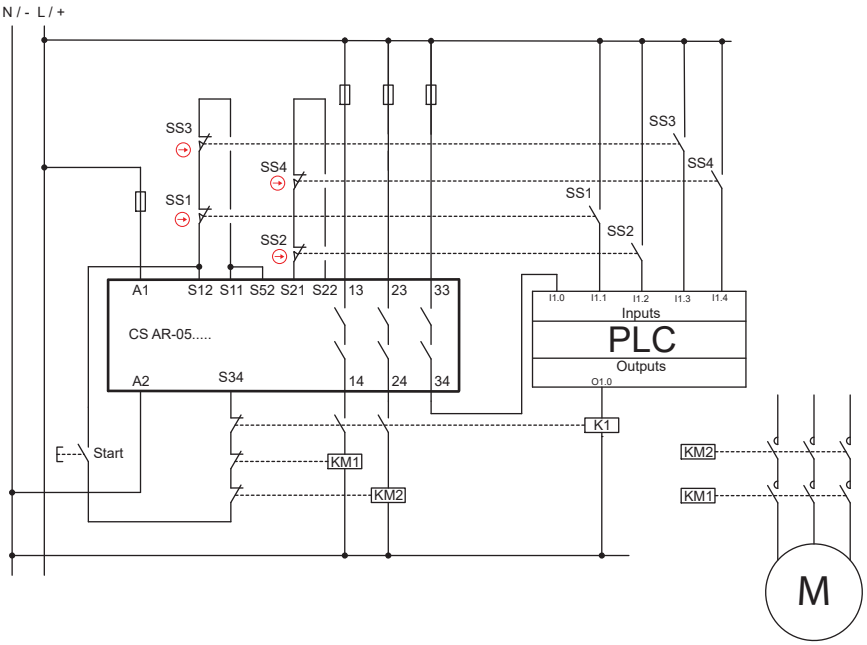
PL-Ermittlung
Ein Schaltkreis in Kategorie 4 mit $MTTF_d$=72,1 Jahre und DC_{avg} = High entspricht PL e.

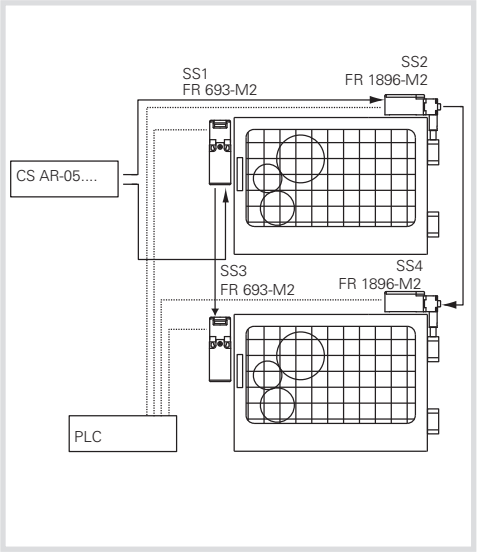


Alle Informationen, Anwendungsbeispiele und Anschlusspläne in dieser Dokumentation dienen ausschließlich zur Erläuterung.
Es obliegt der Verantwortung des Benutzers, sicherzustellen, dass die Produkte entsprechend den Vorschriften der Normen ausgewählt und angewendet werden, damit keine Sach- oder Personenschäden auftreten.

BEISPIEL 4
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen

Referenznorm EN ISO 13849-1	
Sicherheits-Kategorie	**4**
Performance Level	**PL e**





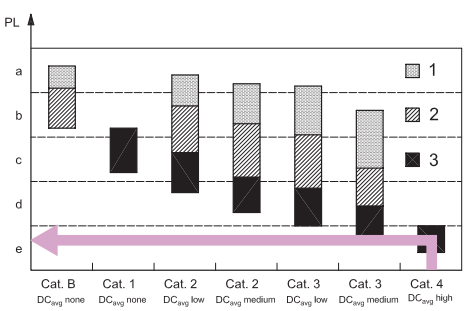
Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Das Öffnen einer Schutzvorrichtung löst den Eingriff der Schalter SS1, SS2 an der ersten Schutzvorrichtung und SS3, SS4 an der zweiten Schutzvorrichtung aus; die Schalter lösen den Eingriff des Sicherheits-Moduls und der beiden Schütze KM1 und KM2 aus.
Das Signal von SS1, SS2 und SS3, SS4 wird vom Sicherheits-Modul CS redundant überwacht, weiterhin wird ein Hilfskontakt der Schalter von der SPS überwacht.
Die Schalter haben unterschiedliche Funktionsweisen.
Auch die Schütze KM1 und KM2 (mit zwangsgeführten Kontakten) werden vom CS über den Rückführkreis überwacht.

Gerätedaten:
- SS1, SS3 (FR 693-M2) sind Schalter mit Zwangsöffnung. Der Wert von B_{10D} beträgt 2.000.000
- SS2, SS4 (FR 1896-M2) sind Schalter für Scharniere mit Zwangsöffnung. B_{10D} = 5.000.000
- KM1, KM2 sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. Der Wert von B_{10D} beträgt 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)
- CS ist ein Sicherheits-Modul (CS AR-05) mit $MTTF_d$ = 152 Jahre und DC = High

Annahme der Nutzungsfrequenz
- 4 mal pro Stunde, 24 h/Tag, 365 Tage/Jahr, ergibt n_{op}/Jahr = 35.040
- Die Schütze greifen mit doppelter Frequenz ein = 70.080

Berechnung $MTTF_d$
- $MTTF_{d\ SS1,SS3}$ = 571 Jahre; $MTTF_{D\ SS2,SS4}$ = 1.427 Jahre
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 185 Jahre
- $MTTF_{d\ CS}$ = 152 Jahre
- $MTTF_{d\ Ch1}$ = 73 Jahre (SS1, CS, KM1) / (SS3, CS, KM1)
- $MTTF_{d\ Ch2}$ = 79 Jahre (SS2, CS, KM2) / (SS4, CS, KM2)
- $MTTF_d$: = bei Mittelwertbildung beider Kanäle erhält man $MTTF_d$ = 76 Jahre (High)

Diagnosedeckungsgrad DC_{avg}
- Die Kontakte von KM1 und KM2 werden vom CS über den Rückführkreis überwacht. DC = 99%
- Alle Hilfskontakte der Schalter werden von der SPS überwacht. DC = 99%
- Das Modul CS AR-05 hat DC = High
- Der Diagnosedeckungsgrad beider Kanäle ist 99% (High)



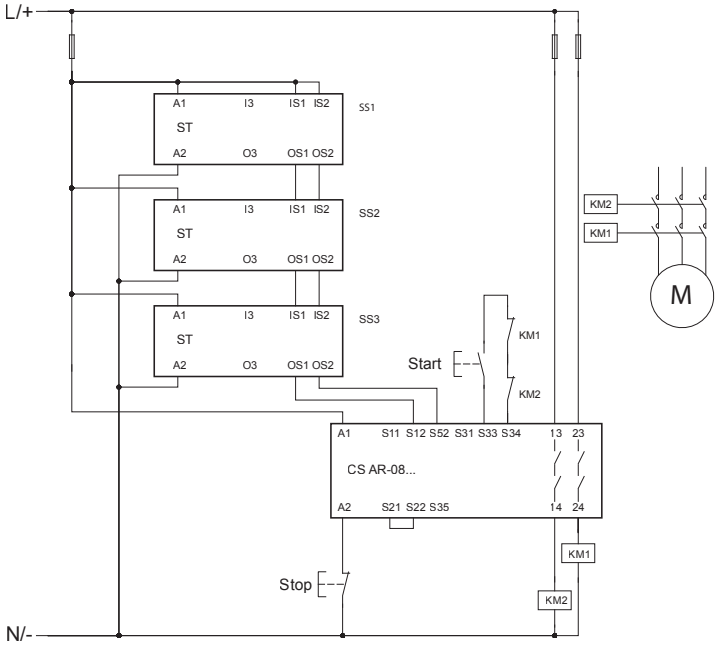
Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache CCF
- Wir nehmen einen Wert > 65 an (anhand Anhang F der EN ISO 13849-1).

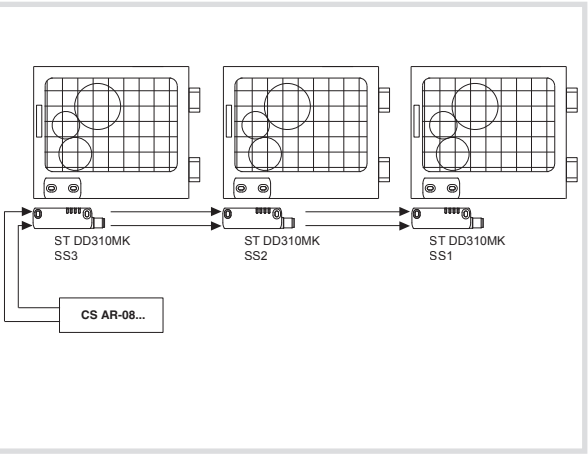
PL-Ermittlung
- Ein Schaltkreis in Kategorie 4 mit $MTTF_D$ = 88,6 Jahre (High) und DC_{avg} = High entspricht PL e.

Alle Informationen, Anwendungsbeispiele und Anschlusspläne in dieser Dokumentation dienen ausschließlich zur Erläuterung.
Es obliegt der Verantwortung des Benutzers, sicherzustellen, dass die Produkte entsprechend den Vorschriften der Normen ausgewählt und angewendet werden, damit keine Sach- oder Personenschäden auftreten.

BEISPIEL 5
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen

Referenznorm EN ISO 13849-1	
Sicherheits-Kategorie	**4**
Performance Level	**PL e**

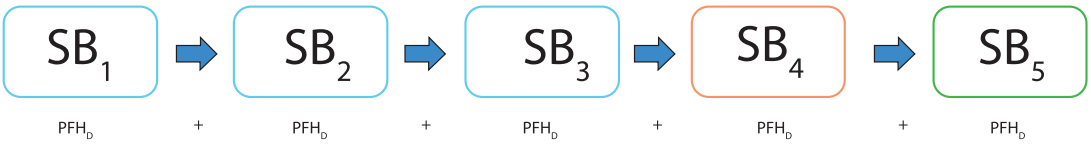




Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Das Öffnen der Schutzvorrichtungen löst den Eingriff von Sensor SS1 an der ersten Schutzvorrichtung, SS2 an der zweiten Schutzvorrichtung und SS3 an der dritten Schutzvorrichtung aus; die Sensoren lösen den Eingriff des Sicherheits-Moduls CS AR-08 und der beiden Schütze KM1 und KM2 aus. Die Schütze KM1 und KM2 (mit zwangsgeführten Kontakten) werden vom CS AR-08 über den Rückführkreis überwacht.

Gerätedaten
SS1, SS2, SS3 sind kodierte Sensoren der Serie ST mit RFID Technologie. PFH_D = 1,20E-11, PL = „e"
CS AR-08 ist ein Sicherheits-Modul. PFH_D = 9,73E-11, PL = „e"
KM1, KM2 sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. B_{10D} = 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)

Annahme der Nutzungsfrequenz
Jede Tür wird alle 2 Minuten geöffnet, 16h/Tag, 365 Tage/Jahr, das ergibt n_{op} = 175.200
Definition des SRP/CS und der Subsysteme
Der SRP/CS besteht aus 5 Subsystemen (SB):
SB1,2,3 sind jeweils die drei RFID Sensoren der Serie ST
SB4 ist das Sicherheits-Modul CS AR-08
SB5 sind die beiden redundant geschalteten Schütze KM1 und KM2 (Kat. 4)



Berechnung PFH_D für SB5
$MTTF_d$ KM1,KM2 = 74,2 Jahre.
DC = 99%, die Kontakte von KM1 und KM2 werden vom Sicherheits-Modul über den Rückführkreis überwacht.
Wir nehmen einen Wert > 65 für den Parameter CCF an (anhand Anhang F der EN ISO 13849-1).
Eine Schaltung in Kategorie 4 mit $MTTF_d$ = 74,2 Jahre (High) und hohem Diagnosedeckungsgrad (DC = 99%) entspricht einer Ausfallwahrscheinlichkeit PFH_D = 3,4E-08 und einem PL „e".

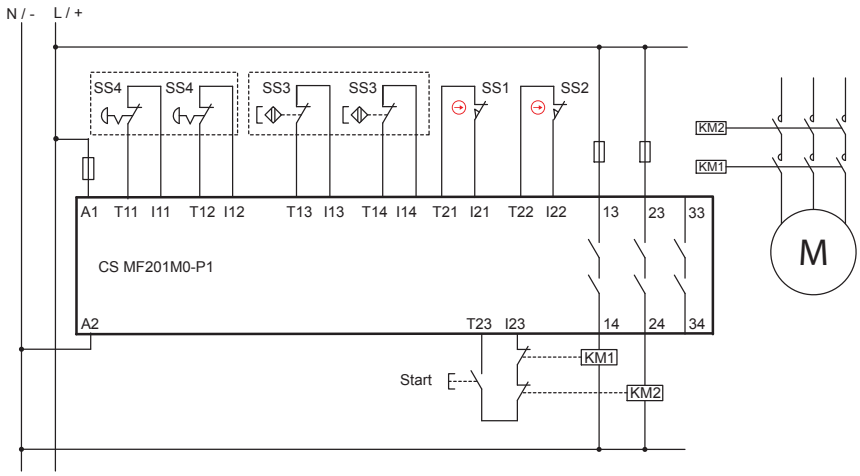
Berechnung Gesamt-PFH_D des SRP/CS
$PFH_{DTOT} = PFH_{DSB1} + PFH_{DSB2} + PFH_{DSB3} + PFH_{DSB4} + PFH_{DSB5}$ = 3,5E-08
Was einem PL „e" entspricht.

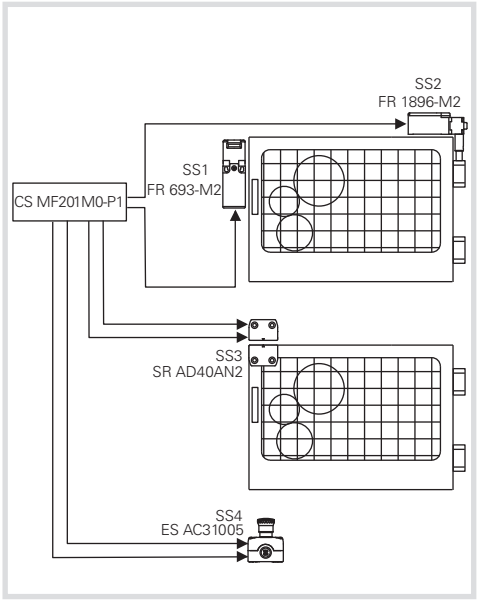
Beispielrechnung ausgeführt mit Software SISTEMA, kann von www.pizzato.com kostenlos heruntergeladen werden

Alle Informationen, Anwendungsbeispiele und Anschlusspläne in dieser Dokumentation dienen ausschließlich zur Erläuterung.
Es obliegt der Verantwortung des Benutzers, sicherzustellen, dass die Produkte entsprechend den Vorschriften der Normen ausgewählt und angewendet werden, damit keine Sach- oder Personenschäden auftreten.

BEISPIEL 6
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen

Referenznorm EN ISO 13849-1	
Sicherheits-Kategorie	**4**
Performance Level	**PL e**





Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Das Öffnen einer Schutzvorrichtung löst den Eingriff der Schalter SS1, SS2 an der ersten Schutzvorrichtung und des Sensors SS3 an der zweiten Schutzvorrichtung aus; die Schalter lösen den Eingriff des Sicherheits-Moduls und der beiden Schütze KM1 und KM2 aus.
Die Signale von SS1, SS2 und SS3 werden vom Sicherheits-Modul CS MF redundant überwacht.
Weiterhin ist ein Not-Halt-Taster vorhanden, der ebenfalls zweikanalig an das Sicherheits-Modul angeschlossen ist.
Auch die Schütze KM1 und KM2 (mit zwangsgeführten Kontakten) werden vom CS MF über den Rückführkreis überwacht.

Gerätedaten:
- SS1 (FR 693-M2) ist ein Schalter mit Zwangsöffnung. B_{10D} = 2.000.000
- SS3 (FR 1896-M2) ist ein Schalter für Scharniere mit Zwangsöffnung. B_{10D} = 5.000.000
- SS3 (SR AD40AN2) ist ein magnetischer Sicherheits-Sensor. B_{10D} = 20.000.000
- SS4 (ES AC31005) ist ein Gehäuse mit Not-Halt-Taster (E2 1PERZ4531) mit 2 NC-Kontakten. B_{10D} = 600.000
- KM1, KM2 sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. B_{10D} = 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)
- CS MF201M0-P1 ist ein Sicherheits-Modul mit $MTTF_D$ = 842 Jahre und DC = 99%

Annahme der Nutzungsfrequenz
- Jede Tür wird 2x pro Stunde geöffnet, 16 h/Tag, 365 Tage/Jahr, ergibt n_{op}/Jahr = 11.680
- Für den Not-Halt-Taster wird maximal eine Betätigung pro Tag angenommen, ergibt n_{op}/Jahr = 365
- Die Schütze greifen mit doppelter Frequenz ein = 23.725

Berechnung $MTTF_d$

Schutzvorrichtung SS1/SS2
- $MTTF_{d\ SS1,SS3}$ = 1.712 Jahre
- $MTTF_{d\ SS2,SS4}$ = 4.281 Jahre
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 548 Jahre
- $MTTF_{d\ CS}$ = 842 Jahre
- $MTTF_{d\ CH1}$ = 278 Jahre (SS1, CS, KM1)
- $MTTF_{d\ CH2}$ = 308 Jahre (SS2, CS, KM2)
- $MTTF_d$: = bei Mittelwertbildung beider Kanäle erhält man $MTTF_d$ = 293 Jahre

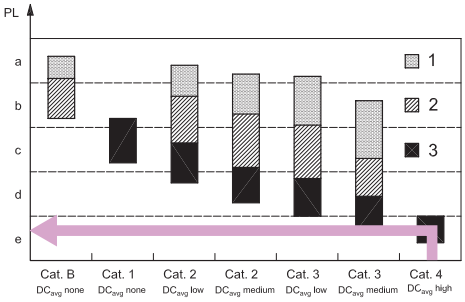
Schutzvorrichtung SS3
- $MTTF_{d\ SS3}$ = 17.123 Jahre
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 548 Jahre
- $MTTF_{d\ CS}$ = 842 Jahre
- $MTTF_d$ = 325 Jahre

Not-Halt-Taster SS4
- $MTTF_{d\ SS4}$ = 16.438 Jahre
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 548 Jahre
- $MTTF_{d\ CS}$ = 842 Jahre
- $MTTF_d$ = 325 Jahre

Diagnosedeckungsgrad DC_{avg}
- Die Kontakte von KM1 und KM2 werden vom CS MF über den Rückführkreis überwacht. DC = 99%
- Bei den Sicherheits-Vorrichtungen SS1, SS2 und SS3 können alle Ausfälle festgestellt werden. DC = 99%
- Das Modul CS MF201M0-P1 hat einen DC = 99%
- Wir nehmen einen Diagnosedeckungsgrad von 99% an (High)

Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache CCF
- Wir nehmen einen Wert > 65 an (anhand Anhang F der EN ISO 13849-1).

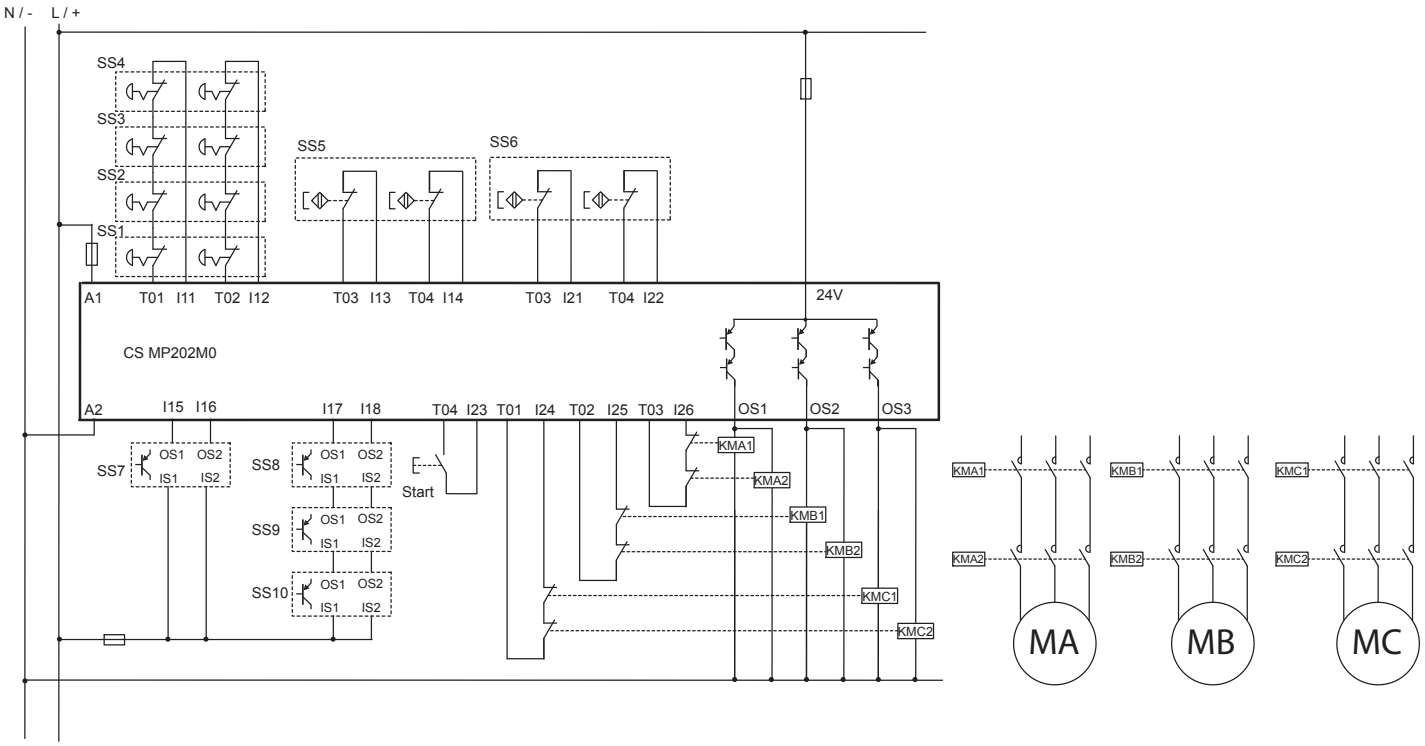
PL-Ermittlung
- Ein Schaltkreis in Kategorie 4 mit $MTTF_D \geq 30$ Jahre (High) und DC_{avg}=High entspricht PL e.
- Die Sicherheits-Funktionen, die mit den Schutzvorrichtungen SS1/SS2, SS3 und dem Not-Halt-Taster verbunden sind, haben PL e.

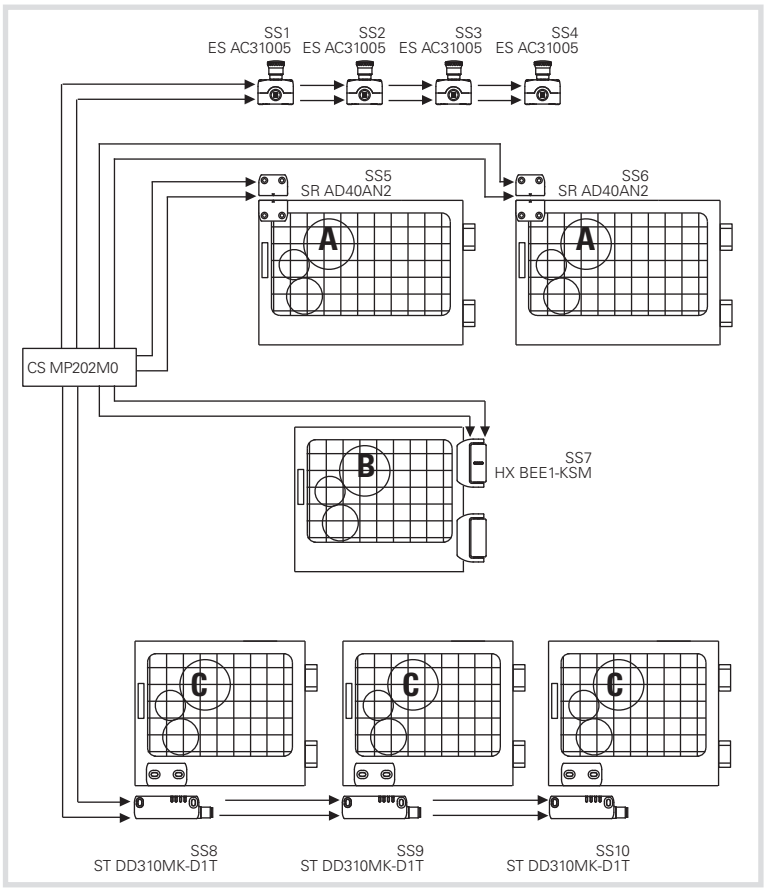


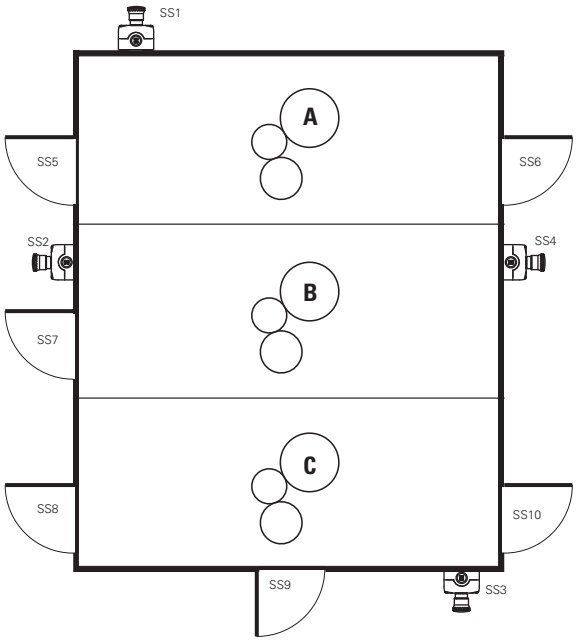
Alle Informationen, Anwendungsbeispiele und Anschlusspläne in dieser Dokumentation dienen ausschließlich zur Erläuterung.
Es obliegt der Verantwortung des Benutzers, sicherzustellen, dass die Produkte entsprechend den Vorschriften der Normen ausgewählt und angewendet werden, damit keine Sach- oder Personenschäden auftreten.

BEISPIEL 7
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen

Referenznorm EN ISO 13849-1	
Sicherheits-Kategorie	**4**
Performance Level	**PL e**







Beschreibung der Sicherheits-Funktion

Eine Maschine ist in 3 verschiedene Zonen unterteilt. Der Zugang zu jeder Zone wird mit den Schutzvorrichtungen überwacht und es sind 4 Not-Halt-Taster vorhanden.
Die Betätigung eines Not-Halt-Tasters löst den Eingriff des Sicherheits-Moduls CS MP und der zwangsgeführten Schütze KMA1/2, KMB1/2, KMC1/2 aus, womit alle Motoren angehalten werden.
Das Öffnen einer Schutzvorrichtung in Zone A löst den Eingriff von SS5 und SS6 aus; diese lösen den Eingriff des Sicherheits-Moduls CS MP und der beiden Schütze KMA1 und KMA2 aus, womit der Motor MA angehalten wird. Die Schalter SS5 und SS6 sind separat und zweikanalig an das Sicherheits-Modul CS MP angeschlossen.
Das Öffnen der Schutzvorrichtung in Zone B löst den Eingriff von SS7 aus; dieses löst den Eingriff des Sicherheits-Moduls CS MP und der beiden Schütze KMB1 und KMB2 aus, womit der Motor MB angehalten wird. Das Scharnier SS7 hat zwei OSSD-Ausgänge und wird vom Sicherheits-Modul CS MP redundant überwacht.
Das Öffnen einer Schutzvorrichtung in Zone C löst den Eingriff von SS8, SS9 und SS10 aus; diese lösen den Eingriff des Sicherheits-Moduls und der beiden Schütze KMC1 und KMC2 aus, womit der Motor MC angehalten wird. Die Sensoren SS8, SS9 und SS10 sind miteinander über die OSSD-Ausgänge verbunden und werden vom Sicherheits-Modul CS MP redundant überwacht.

Gerätedaten

- SS1, SS2, SS3 und SS4 (ES AC31005) sind Not-Halt-Taster (E2 1PERZ4531) mit 2 NC-Kontakten. B_{10D} = 600.000
- SS5 und SS6 (SR AD40AN2) sind magnetische Sicherheits-Sensoren. B_{10D} = 20.000.000
- SS7 (HX BEE1-KSM) ist ein Sicherheits-Scharnier mit OSSD-Ausgängen. $MTTF_d$= 4077 Jahre / DC = 99%
- SS8, SS9 und SS10 (ST DD310MK-D1T) sind Sicherheits-Sensoren mit RFID-Technologie und OSSD-Ausgängen. $MTTF_d$= 4077 Jahre / DC=99%
- KMA, KMB und KMC sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. B_{10D} = 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)
- CS MP202M0 ist ein Sicherheits-Modul mit $MTTF_d$ = 2035 Jahre / DC = 99%

Annahme der Nutzungsfrequenz

- Jede Tür der Zone A wird 2x pro Stunde geöffnet, 16 h/Tag, 365 Tage/Jahr, ergibt n_{op}/Jahr = 11.680. Die Schütze greifen mit doppelter Frequenz ein = 23.360
- Die Tür der Zone B wird 4x pro Stunde geöffnet, 16 h/Tag, 365 Tage/Jahr, ergibt n_{op}/Jahr = 23.360. Die Schütze greifen mit folgender Frequenz ein = 23.360
- Jede Tür der Zone A wird 1x pro Stunde geöffnet, 16 h/Tag, 365 Tage/Jahr, ergibt n_{op}/Jahr = 5.840. Die Schütze greifen mit folgender Frequenz ein = 17.520
- Für die Not-Halt-Taster wird maximal eine Betätigung pro Woche angenommen, ergibt n_{op}/Jahr = 52
- Fehlerausschluss: da man annimmt, dass die Schütz-Paare parallel an die jeweiligen Sicherheits-Ausgänge angeschlossen sind und sich mit permanenter Verkabelung im Inneren des Schaltschranks befinden, kann man einen Kurzschluss zwischen +24V und den Schützen ausschließen (siehe EN ISO 13849-2, Tabelle D.4, Punkt D.5.2).

Berechnung $MTTF_d$

Not-Halt-Taster

- $MTTF_d$ SS1/SS2/SS3/SS4 = 115.384 Jahre
- $MTTF_d$ CS = 2035 Jahre
- $MTTF_d$ KMC1,KMC2 = 742 Jahre
- $MTTF_d$ e-stop = 541 Jahre

Schutzvorrichtungen Zone A

- $MTTF_d$ SS5/SS6 = 17.123 Jahre
- $MTTF_d$ CS = 2035 Jahre
- $MTTF_d$ KMA1,KMA2 = 556 Jahre
- $MTTF_d$ A = 425 Jahre (SS5/SS6,CS,KMA)

Schutzvorrichtung Zone B

- $MTTF_d$ SS7 = 4.077 Jahre
- $MTTF_d$ CS = 2035 Jahre
- $MTTF_d$ KMB1,KMB2 = 556 Jahre
- $MTTF_d$ B = 394 Jahre (SS7,CS,KMB)

Schutzvorrichtungen Zone C

- $MTTF_d$ SS8/SS9/SS10 = 4.077 Jahre
- $MTTF_d$ CS = 2035 Jahre
- $MTTF_d$ KMC1,KMC2 = 742 Jahre
- $MTTF_d$ C = 479 Jahre (SS8/SS9/SS10,CS,KMC)

Diagnosedeckungsgrad DC_{avg}

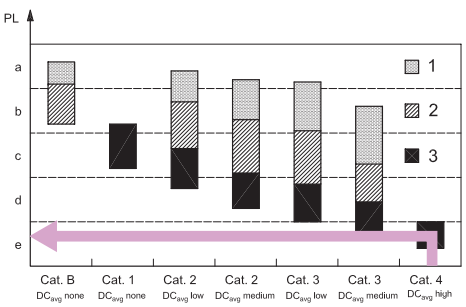
- Die Kontakte von KMA, KMB und KMC werden vom CS MP über den Rückführkreis überwacht. DC = 99%
- Alle Ausfälle der Geräte können festgestellt werden. DC = 99%
- Das Modul CS MP202M0 hat einen DC = 99%
- Wir erhalten einen Diagnosedeckungsgrad von 99% für jede Funktion

Ausfälle infolge gemeinsamer Ursache CCF

- Wir nehmen einen Wert > 65 für alle Sicherheits-Funktionen an (anhand Anhang F der EN ISO 13849-1).

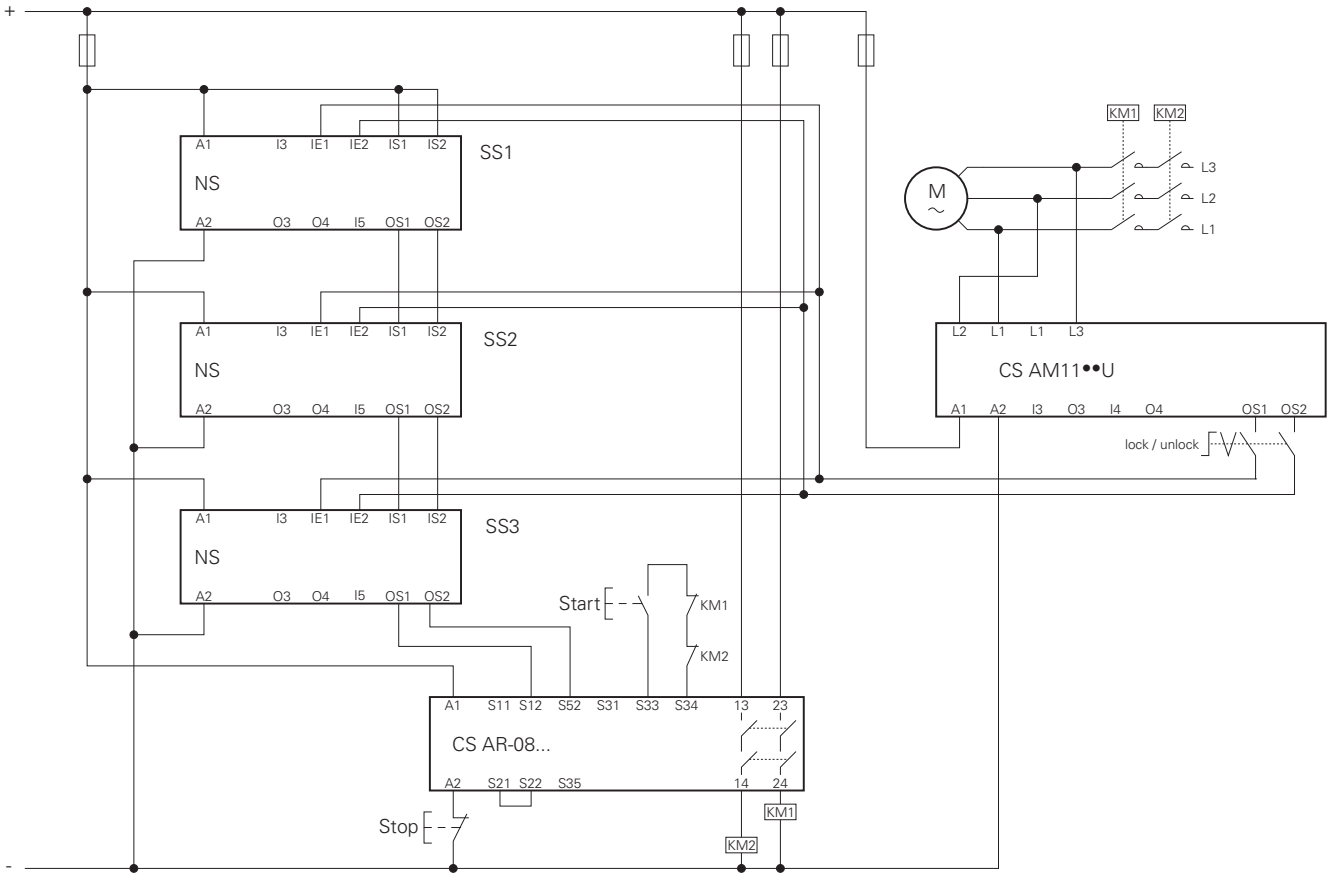
PL-Ermittlung

- Ein Schaltkreis in Kategorie 4 mit $MTTF_d \geq$ 30 Jahre (High) und DC_{avg}=High entspricht PL e.
- Alle Sicherheits-Funktionen, die mit den Schutzvorrichtungen und den Not-Halt-Tastern verbunden sind, haben PL e.

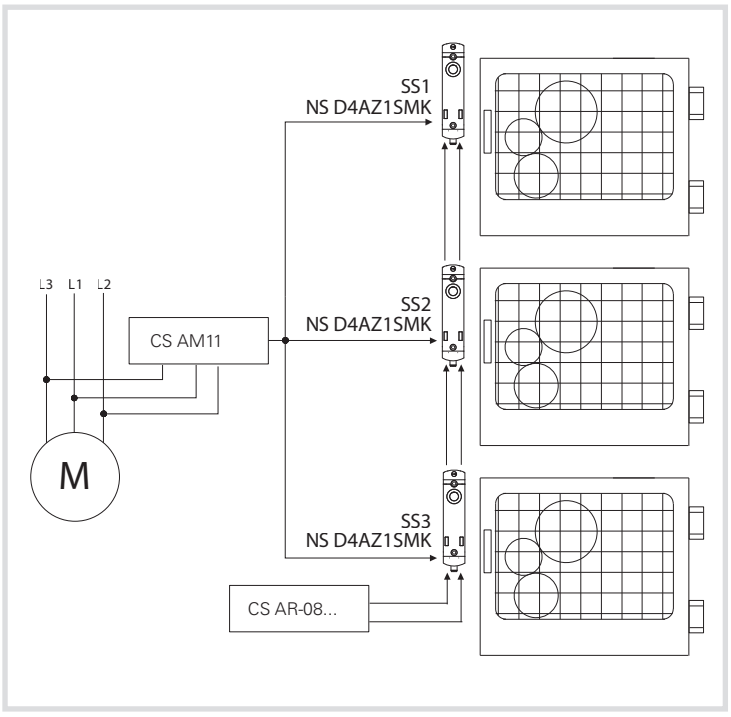


Alle Informationen, Anwendungsbeispiele und Anschlusspläne in dieser Dokumentation dienen ausschließlich zur Erläuterung.
Es obliegt der Verantwortung des Benutzers, sicherzustellen, dass die Produkte entsprechend den Vorschriften der Normen ausgewählt und angewendet werden, damit keine Sach- oder Personenschäden auftreten.

BEISPIEL 8
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen



Referenznorm EN ISO 13849-1	
Performance Level Sicherheits-Funktion 1	**PL e**
Performance Level Sicherheits-Funktion 2	**PL e**

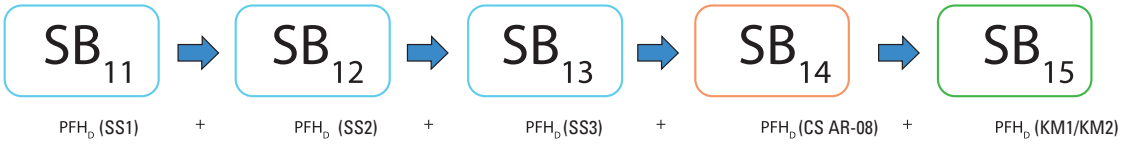


Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Die Verriegelungseinrichtungen SS1, SS2 und SS3 übernehmen zwei Sicherheits-Funktionen: Überwachung des Zustands der verriegelten Schutzvorrichtung und Verriegelung derselben.
Nach erfolgter Entriegelung lösen die drei Sensoren den Eingriff des Sicherheits-Moduls und der beiden Schütze KM1 und KM2 aus. Die Schütze KM1 und KM2 (mit zwangsgeführten Kontakten) werden vom CS AR-08 über den Rückführkreis überwacht.
Das Verriegelungssignal in SS1, SS2 und SS3 wird solange aufrechterhalten, bis das Modul zur Stillstandsüberwachung CS AM11 das effektive Ende der gefährlichen Bewegung feststellt.

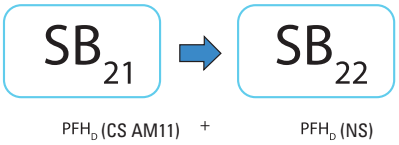
Gerätedaten
SS1, SS2, SS3 sind kodierte Verriegelungseinrichtungen der Serie NS mit RFID-Technologie mit Zuhaltung der Schutzvorrichtung. Funktion zur Erfassung der Verriegelung PFH_D = 1,23E-09 PL = „e", Funktion für Zuhaltebefehl PFH_D = 2,04E-10 PL = „e".
CS AR-08 ist ein Sicherheits-Modul PFH_D = 9,73E-11, PL = „e".
CS AM11 ist ein Sicherheits-Modul zur Stillstandsüberwachung, PFH_D = 1,00E-09, PL „e".
KM1, KM2 sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. B_{10D} = 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)

Annahme der Nutzungsfrequenz
Jede Tür wird alle 10 Minuten geöffnet, 16h/Tag, 365 Tage/Jahr, das ergibt n_{op}/Jahr = 35.040

Definition des SRP/CS und der Subsysteme
Dieses Anwendungsbeispiel beinhaltet zwei Sicherheits-Funktionen:
1. Sicherheitsgerichtete Stopp-Funktion, die von einer Schutzmaßnahme eingeleitet wird
2. Aufrechterhaltung der Verriegelung der Schutzeinrichtung bei Motor M in Bewegung
Die Sicherheits-Funktion 1 wird mit einem SRP/CS realisiert, das aus 5 Subsystemen besteht (SB):
- SB11, 12, 13 sind jeweils die drei RFID Verriegelungseinrichtungen der Serie NS: SS1, SS2 und SS3
- SB14 ist das Sicherheits-Modul CS AR-08
- SB15 sind die beiden redundant geschalteten Schütze KM1 und KM2 (Kat. 4)



Die Sicherheits-Funktion 2 wird mit 2 Subsystemen realisiert (SB):
- SB21 ist das Sicherheits-Modul zur Stillstandsüberwachung CS AM11
- SB22 besteht aus den drei RFID Verriegelungseinrichtungen der Serie NS



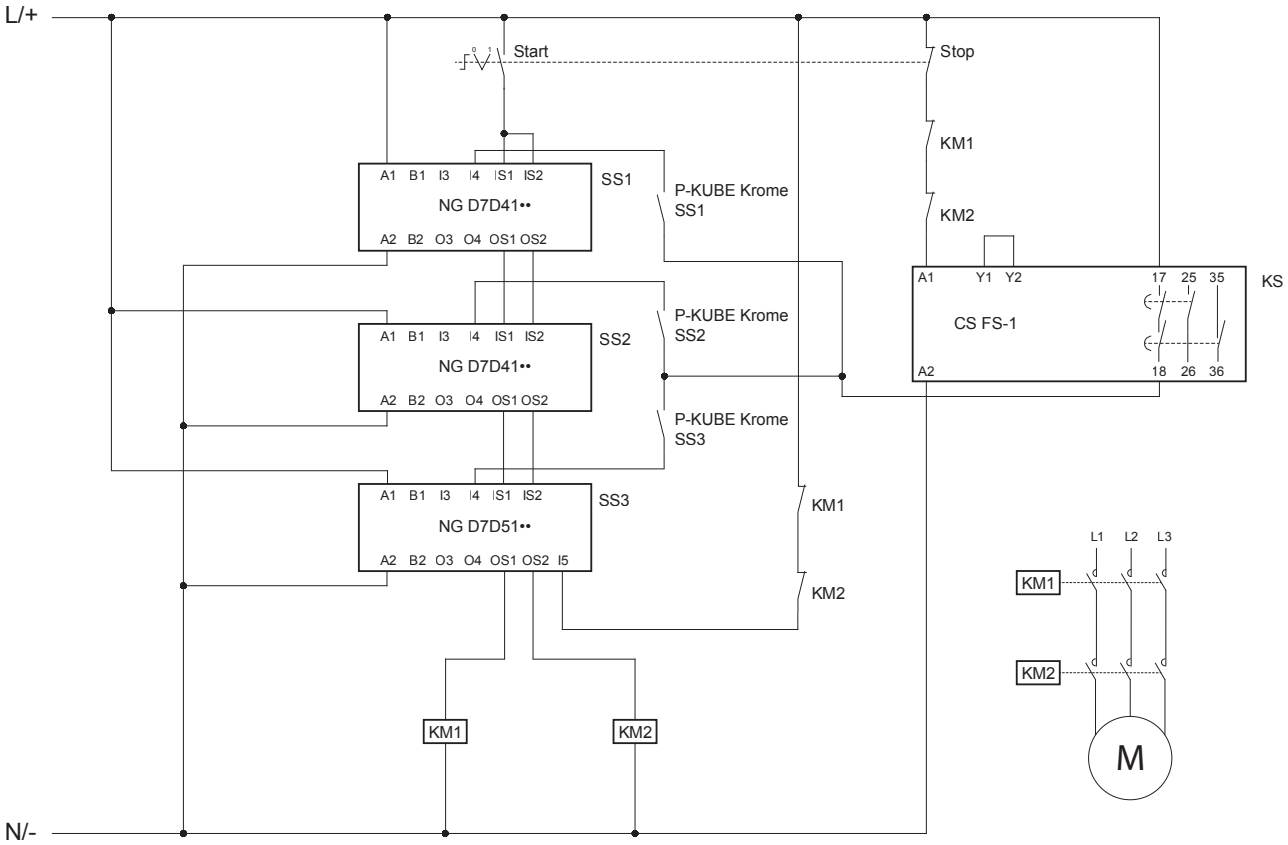
Berechnung PFH_D für SB15
$MTTF_d$ KM1,KM2 = 371 Jahre.
DC = 99%, die Kontakte von KM1 und KM2 werden vom Sicherheits-Modul über den Rückführkreis überwacht.
Wir nehmen einen Wert > 65 für den Parameter CCF an (anhand Anhang F der EN ISO 13849-1).
Eine Schaltung in Kategorie 4 mit $MTTF_d$ = 371 Jahre (High) und hohem Diagnosedeckungsgrad (DC = 99%) entspricht einer Ausfallwahrscheinlichkeit PFH_D = 6,3E-09 und einem PL „e".

Berechnung Gesamt-PFH_D des SRP/CS für Sicherheits-Funktion 1 (Verriegelung)
$PFH_{DTOT} = PFH_{DSB11} + PFH_{DSB12} + PFH_{DSB13} + PFH_{DSB14} + PFH_{DSB15}$ = 1E-08
was einem PL „e" entspricht.

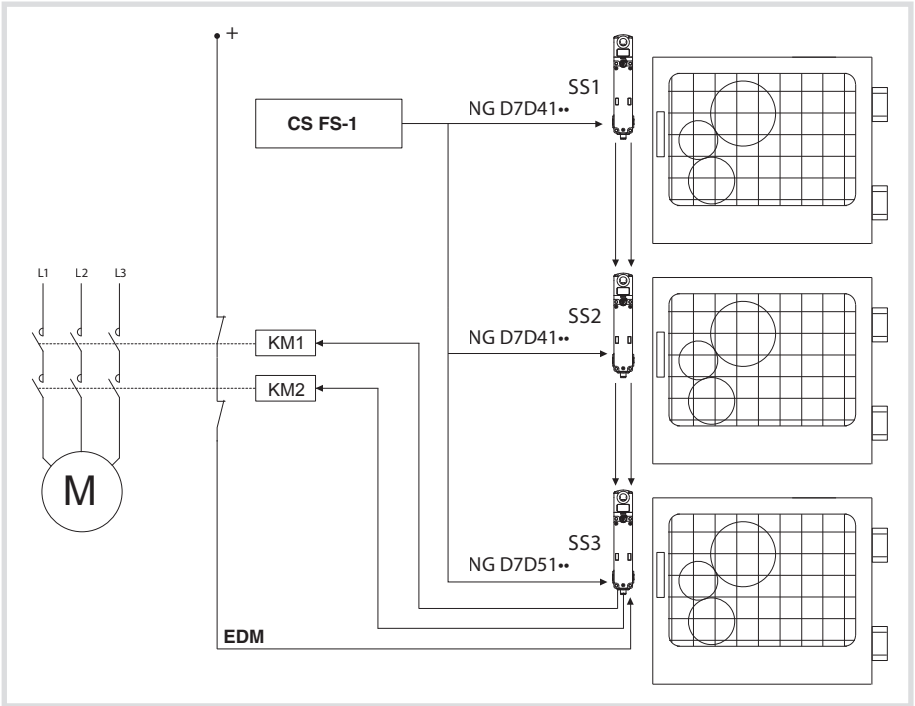
Berechnung Gesamt-PFH_D des SRP/CS für Sicherheits-Funktion 2 (Zuhaltung)
$PFH_{DTOT} = PFH_{DSB21} + PFH_{DSB22}$ = 1,20E-09
was einem PL „e" entspricht.

Beispielrechnung ausgeführt mit Software SISTEMA, kann von www.pizzato.com kostenlos heruntergeladen werden

BEISPIEL 9
Anwendung: Überwachung von Schutzvorrichtungen



Referenznorm EN ISO 13849-1	
Performance Level Sicherheits-Funktion 1	**PL e**
Performance Level Sicherheits-Funktion 2	**PL d**

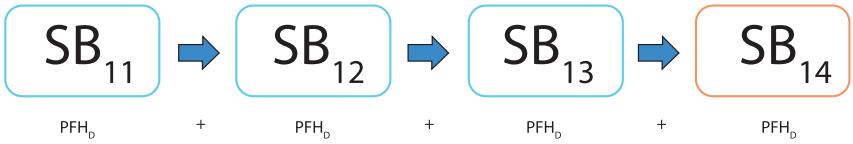


Beschreibung der Sicherheits-Funktion
Die Verriegelungseinrichtungen SS1, SS2 und SS3 übernehmen zwei Sicherheits-Funktionen: Überwachung des Zustands der verriegelten Schutzvorrichtung und Verriegelung derselben.
Nach erfolgter Entriegelung greifen die drei Sensoren direkt auf die beiden Schütze KM1 und KM2 zu. Die Schütze KM1 und KM2 (mit zwangsgeführten Kontakten) werden über den EDM-Eingang (External Device Monitoring) I5 direkt vom Sensor SS3 angesteuert.
Das Verriegelungssignal in SS1, SS2 und SS3 hängt vom Schließen eines Sicherheits-Kontakts eines Sicherheits-Zeitgebers CS FS-1 ab.
Jedes Gerät erhält den Entriegelungsbefehl durch Drücken des Tasters, der auf dem P-KUBE Krome Griff angebracht ist.

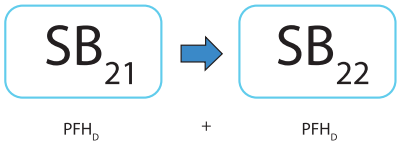
Gerätedaten
SS1, SS2, SS3 sind kodierte Verriegelungseinrichtungen mit RFID-Technologie mit Zuhaltung der Schutzvorrichtung. Funktion zur Erfassung der Verriegelung PFH_d = 1,17E-09 PL = „e“, Funktion für einkanalige Zuhaltesteuerung PFH_d = 1,51E-10 PL = „d“.
CS FS-1 ist ein Sicherheits-Zeitgeber, PFH_d= 5,06E-10, PL „e“.
KM1, KM2 sind Schütze unter Einsatz bei Nennlast. B_{10D} = 1.300.000 (siehe Tabelle C.1 der EN ISO 13849-1)

Annahme der Nutzungsfrequenz
Jede Tür wird alle 10 Minuten geöffnet, 16h/Tag, 365 Tage/Jahr, das ergibt n_{op} = 35.040

Definition des SRP/CS und der Subsysteme
Dieses Anwendungsbeispiel beinhaltet zwei Sicherheits-Funktionen:
1. Sicherheitsgerichtete Stopp-Funktion, die von einer Schutzmaßnahme eingeleitet wird
2. Aufrechterhaltung der Verriegelung der Schutzeinrichtung bei Motor M1 in Bewegung
Die Sicherheits-Funktion 1 wird mit einem SRP/CS realisiert, das aus 4 Subsystemen besteht (SB):
- SB11, 12, 13 sind jeweils die drei RFID Verriegelungseinrichtungen der Serie NG: SS1, SS2 und SS3
- SB14 sind die beiden redundant geschalteten Schütze KM1 und KM2 (Kat. 4)



Die Sicherheits-Funktion 2 wird mit 2 Subsystemen realisiert (SB):



- SB21 ist der Sicherheits-Zeitgeber CS FS-1
- SB22 ist die RFID Verriegelungseinrichtung der Serie NG

Berechnung PFH_D für SB14
$MTTF_d$ KM1,KM2 = 371 Jahre.
DC = 99%, die Kontakte von KM1 und KM2 werden vom letzten NG-Gerät der Reihenschaltung über den EDM-Eingang überwacht.
Wir nehmen einen Wert > 65 für den Parameter CCF an (anhand Anhang F der EN ISO 13849-1).
Eine Schaltung in Kategorie 4 mit $MTTF_d$ = 371 Jahre (High) und hohem Diagnosedeckungsgrad (DC = 99%) entspricht einer Ausfallwahrscheinlichkeit PFH_D = 6,3E-09 und einem PL „e“.

Berechnung Gesamt-PFH_D des SRP/CS für Sicherheits-Funktion 1
$PFH_{DTOT} = PFH_{DSB11} + PFH_{DSB12} + PFH_{DSB13} + PFH_{DSB14}$ = 9,8E-09
Was einem PL „e“ entspricht.

Berechnung Gesamt-PFH_D des SRP/CS für Sicherheits-Funktion 2
$PFH_{DTOT} = PFH_{DSB21} + PFH_{DSB22}$ = 6,6E-10
Was einem PL „e“ entsprechen würde. Für das NG-Gerät mit einkanaligem Verriegelungssignal gilt jedoch PL „d“, was zu einer Herabstufung auf diesen Wert für das gesamte SRP/CS führt, also PL „d“.