



Leitfaden Sichere Maschinen

IN SECHS SCHRITTEN ZUR SICHEREN MASCHINE

EU-Version

SICK
Sensor Intelligence.

Inhalt

Vorwort..... 6

- Über diesen Leitfaden..... 7
- Sicherheit im Arbeitsprozess 8
 - Sicherheit ist ein Grundbedürfnis..... 9
 - Sicherheit ist eine Führungsaufgabe..... 9
 - Einbindung der Mitarbeiter führt zu Akzeptanz..... 9
 - Expertenwissen ist erforderlich..... 10

§ – Gesetze, Richtlinien, Normen..... 11

- Europäische Richtlinien..... 11
 - Die Maschinenrichtlinie 12
 - Die Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie..... 12
 - Pflichten des Herstellers von Maschinen..... 13
 - Sonderfall: unvollständige Maschine..... 15
 - Das EG-Konformitätsbewertungsverfahren für Maschinen und Sicherheitsbauteile..... 16
- Zusammenfassung Gesetze, Richtlinien..... 16
- Normen 16
 - Normentypen 17
 - Übersicht Schutzeinrichtungen, bewegliche trennende Schutzvorrichtungen und zugehörige Normen..... 18
 - Organisationen und Strukturen der europäischen Normung..... 18
 - Organisationen und Strukturen der nationalen Normung..... 19
 - Europäische Normen zur Sicherheit von Maschinen..... 19
 - Zusammenfassung Normen..... 20
- Prüfstellen, Versicherungen und Marktaufsicht..... 20
 - Prüfstellen..... 20
 - Versicherungen..... 20
 - Marktaufsicht 21

1 – Risikobeurteilung..... 22

- Der Prozess der Risikobeurteilung..... 22
- Funktionen der Maschine (Festlegung der Grenzen)..... 23
- Identifizieren von Gefährdungen..... 23
- Risikoeinschätzung und Risikobewertung..... 24
- Skalierbare Methode der Risikoanalyse und -bewertung (SCRAM)..... 25
- Dokumentation..... 27
- Risikobeurteilung mit Safexpert®..... 28
- Zusammenfassung: Risikobeurteilung..... 29

Strategie der Risikominderung..... 30


- Die 3-Stufen-Methode..... 30

2 Sicheres Gestalten (inhärent sichere Konstruktion)..... 31

- Mechanische Konstruktion..... 31

Bedien- und Instandhaltungskonzept.....	32
Elektrische Ausrüstung.....	32
Netzanschluss.....	33
Netztrenneinrichtung.....	34
Ausschalteinrichtung zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf.....	34
Schutz gegen elektrischen Schlag.....	34
Schutzmaßnahmen/Schutzarten.....	36
Stillsetzen.....	37
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	37
Design-Grundregeln, um EMV-Probleme zu vermeiden.....	38
Fluidtechnik.....	39
Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen.....	40
Zusammenfassung: Sicheres Gestalten.....	41
3 – Technische Schutzmaßnahmen.....	42
3a – Festlegen der Sicherheitsfunktionen.....	44
Zugang bzw. Zugriff dauerhaft verhindern.....	44
Zugang zeitweise verhindern.....	45
Teile, Stoffe, Strahlungen zurückhalten.....	45
Stopp auslösen.....	46
Unerwarteten Anlauf vermeiden.....	46
Start verhindern.....	47
Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern.....	47
Materialdurchfahrt ermöglichen.....	48
Maschinenparameter überwachen.....	48
Absichern gemeinsamer Arbeitsbereiche von Mensch und Maschine.....	49
Sicherheitsfunktionen manuell und zeitlich begrenzt aufheben.....	49
Sicherheitsfunktionen kombinieren oder wechseln.....	50
Stillsetzen im Notfall	50
Sicherheitsrelevante Anzeigen und Alarme.....	51
Weitere Funktionen.....	51
Zusammenfassung: Festlegen der Sicherheitsfunktionen.....	51
3b – Bestimmen des erforderlichen Sicherheitsniveaus.....	52
Erforderlicher Performance Level (PLr) gemäß ISO 13849-1.....	52
Erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel (SIL) gemäß IEC 62061.....	53
Zusammenfassung: Bestimmen des erforderlichen Sicherheitsniveaus.....	54
3c – Entwerfen der Sicherheitsfunktion.....	55
Sicherheitskonzept.....	55
Funktionaler Aufbau einer Maschinensteuerung.....	55
Teilsysteme des sicherheitsgerichteten Teils einer Maschinensteuerung.....	56
Entscheidungsmerkmale.....	56
Sicherheitstechnische Aspekte für Teilsysteme.....	57
Technologie, Auswahl und Anwendung von Schutzeinrichtungen.....	61
Trennende Schutzeinrichtungen.....	61
Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen.....	62
Verriegelte trennende Schutzeinrichtungen.....	63

Fehlermaskierung bei der Reihenschaltung von Verriegelungseinrichtungen mit potentialfreien Kontakten.....	70
Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS).....	70
Absicherungsarten und erforderliches Detektionsvermögen der BWS.....	78
Automatische Materialdurchfahrt mit BWS.....	80
Zusätzliche Funktionen von BWS.....	83
Ortsbindende Schutzeinrichtungen.....	87
Zustimmeinrichtungen.....	89
Sensorik für die Überwachung von Maschinenparametern.....	90
Druckempfindliche Schutzeinrichtungen.....	91
Ergänzende Schutzmaßnahmen.....	92
Handlungen im Notfall.....	93
Positionieren bzw. Dimensionieren der Schutzeinrichtungen.....	97
Mindestabstand des Schutzfelds einer BWS in Abhängigkeit von der Annäherung.....	98
Sonderfälle.....	101
Lösungsansätze zur Berechnung des Mindestabstands.....	105
Notwendige Schutzfeldgröße bzw. -höhe der BWS.....	107
Mögliches Übergreifen berücksichtigen.....	108
Mindestabstand vergrößern (Schutzfeldoberkante vorgegeben)	109
Sicherheitsabstand bei trennenden Schutzeinrichtungen.....	111
Mindestabstand bei verriegelten trennenden Schutzeinrichtungen.....	112
Notwendige Höhe bei trennenden Schutzeinrichtungen.....	112
Mindestabstand bei ortsbindenden Schutzeinrichtungen.....	114
Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf.....	115
Integrieren der Schutzeinrichtungen in die Steuerung.....	116
Logikeinheiten.....	118
Leistungssteuernde Elemente.....	123
Antriebstechnik.....	124
Fluidtechnische Steuerungen.....	128
Sicherheitsgerichtete Pneumatik.....	129
Produktübersicht Sicherheitstechnik.....	131
Zusammenfassung: Entwerfen der Sicherheitsfunktion.....	132
3d – Verifizieren der Sicherheitsfunktion.....	133
Verifizieren von trennenden Schutzeinrichtungen.....	133
Verifizieren der funktionalen Sicherheit.....	134
Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL).....	135
Vereinfachtes Verfahren gemäß ISO 13849-1.....	136
Detailliertes Verfahren gemäß ISO 13849-1.....	137
Alternative: Bestimmung des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL).....	145
Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems gemäß IEC 62061.....	146
Hilfreiche Unterstützung.....	150
Zusammenfassung: Verifizieren der Sicherheitsfunktion.....	151
3e – Validieren aller Sicherheitsfunktionen.....	152
3f – Funktionale Sicherheit und Cybersicherheit.....	155
Welche Maßnahmen sind notwendig, um die Cybersicherheits-Aspekte für die Maschinensicherheit abzudecken?.....	155

4 – Benutzerinformation.....	158
Dokumentation.....	159
Zusammenfassung der Schritte 2, 3 und 4 zur Risikominderung.....	160
5 – Gesamtvalidierung.....	162
6 – Inverkehrbringen.....	164
 Verantwortung des Betreibers.....	166
Wie sollten Maschinen eingekauft werden?	166
Sicherheitsinspektionen.....	166
Wesentliche Veränderung von Maschinen.....	167
Anhang.....	170
Wie SICK Sie unterstützt.....	170
Der SICK-Prozess zu den Dienstleistungen für Konformität und Konzeption sicherer Maschinen und Anlagen.....	170
Trainings und Workshops	172
SICK – wir begleiten Ihre Anlage über den gesamten Produktlebenszyklus	173
Eine Übersicht relevanter Normen.....	175
Nützliche Links.....	178
Co-Autoren und Danksagung.....	179

Vorwort



Abbildung 1: Maschinensicherheitsinspektion

Sichere Maschinen erhöhen die Rechtssicherheit für den Hersteller und Betreiber. Maschinenbenutzer erwarten, dass nur sichere Maschinen oder Geräte angeboten werden. Diese Erwartung besteht weltweit. Ebenso gibt es weltweit Regelungen zum Schutz von Personen vor Maschinen. Diese Regelungen sind regional unterschiedlich ausgeprägt. Es besteht jedoch eine breite Übereinkunft über das auf der gegenüberliegenden Seite gezeigte Verfahren beim Bau und bei der Nachrüstung von Maschinen:

Beim Bau von Maschinen muss der Maschinenhersteller durch eine Risikobeurteilung (früher auch Gefahrenanalyse genannt) alle möglichen Gefährdungen und Gefahrstellen erkennen und bewerten.

Entsprechend dieser Risikobeurteilung soll der Maschinenhersteller das Risiko durch geeignete konstruktive Maßnahmen beseitigen oder mindern. Wenn hierdurch das Risiko nicht beseitigt werden kann oder das verbleibende Risiko nicht tolerierbar ist, muss der Maschinenhersteller geeignete Schutzeinrichtungen auswählen und anwenden und gegebenenfalls über Restrisiken informieren.

Um sicherzustellen, dass die vorgesehenen Maßnahmen richtig wirken, ist eine Gesamtvalidierung erforderlich. Diese Gesamtvalidierung muss sowohl die konstruktiven und technischen als auch die organisatorischen Maßnahmen im Zusammenhang bewerten.

Über diesen Leitfaden

Was beinhaltet der Leitfaden?

Vor Ihnen liegt ein umfangreicher Leitfaden zu den Anforderungen an die Sicherheit von Maschinen und über die Auswahl und Anwendung von Schutzeinrichtungen. Unter Berücksichtigung der geltenden europäischen Richtlinien, Vorschriften und Normen stellen wir Ihnen verschiedene Möglichkeiten vor, wie Sie Maschinen absichern und Personen vor Unfällen schützen. Die angeführten Beispiele und Aussagen sind das Ergebnis unserer langjährigen praktischen Erfahrung und sind als typische Anwendungen anzusehen.

Für die bessere Orientierung und Führung durch den Leitfaden haben wir den Weg zur sicheren Maschine in 6 Hauptschritte unterteilt. Zwei zusätzliche Kapitel beschreiben die regulativen Anforderungen an den Maschinenhersteller und die Anforderungen an den Betreiber der Maschine.

Dieser Leitfaden beschreibt die gesetzlichen Vorgaben für die Sicherheit von Maschinen in der Europäischen Gemeinschaft und deren Umsetzung. Die gesetzlichen Vorgaben für Maschinen in anderen Regionen (z. B. Nordamerika, Asien) sind in eigenen Versionen dieses Leitfadens beschrieben.

Aus den folgenden Ausführungen lassen sich keinerlei Ansprüche, gleich aus welchem Rechtsgrund, ableiten, da vor dem Hintergrund nationaler und internationaler Vorschriften und Normen jede Maschine eine spezifische Lösung erfordert.

Wir verweisen auf die zum Zeitpunkt der Edition aktuellen und veröffentlichten Normen und Richtlinien. Wenn bei neuen Normen für eine Übergangszeit auch die Anwendung der Vorgängernorm möglich ist, so haben wir dies in den entsprechenden Kapiteln dieses Leitfadens vermerkt.



Abbildung 2: Struktur "In sechs Schritten zur sicheren Maschine"

Für wen ist der Leitfaden?

Dieser Leitfaden richtet sich an Hersteller, Betreiber, Konstrukteure, Anlagenbauer sowie an alle, die für die Maschinensicherheit verantwortlich sind.

Aus Gründen der Übersetzbarkeit verwenden wir im Folgenden zumeist das generische Maskulin.

Verwendung der Begriffe "Sicherheit" und "sicher" in diesem Dokument

Gemäß ISO Guide 51 wird "der Begriff „sicher“ von der Öffentlichkeit oft als der Zustand verstanden, vor allen Gefahren geschützt zu sein. Dies ist jedoch ein Missverständnis: „sicher“ ist vielmehr der Zustand, vor erkannten Gefahren, die Schaden verursachen können, geschützt zu sein".

Produkte oder Systeme haben immer ein gewisses Risiko (sogenanntes Restrisiko). Daher ist eine absolute Sicherheit nicht möglich.

In diesen Leitfaden werden die Begriffe „Sicherheit“ und „sicher“ als Zusätze zum besseren Verständnis und zur besseren Lesbarkeit verwendet. Die Begriffe sind, wie in ISO Guide 51 als "Freiheit von Risiken, die nicht tolerierbar sind" definiert und sind nicht als absoluter Schutz vor Gefahren zu verstehen.

Aus der Auslegung der Begriffe „sicher“ und „Sicherheit“ in diesem Dokument übernimmt SICK keine Haftung.

Ihr Redaktionsteam



Abbildung 3: Von links nach rechts: Matthias Kurrus, Hans-Jörg Stubenrauch, Rolf Schumacher, Otto Görnemann, Marco Zeefat, Chris Soranno, Jochen Ost, Stephanie Kaiser, Harald Schmidt.

Sicherheit im Arbeitsprozess

Die Anforderungen an die Absicherung von Maschinen haben sich mit fortschreitender Automatisierungstechnik mehr und mehr verändert. Früher wirkten Absicherungen im Arbeitsprozess eher störend, daher wurde oft ganz auf sie verzichtet.

Heute lassen sich Schutzeinrichtungen durch innovative Techniken in den Arbeitsprozess einfach integrieren. Dadurch sind sie für den Bediener nicht mehr hinderlich, oft unterstützen sie sogar die Produktivität.

Aus diesem Grund sind zuverlässige und in den Arbeitsprozess integrierte Schutzeinrichtungen unverzichtbar.



Abbildung 4: Erstellen eines Sicherheitskonzepts

Sicherheit ist ein Grundbedürfnis

Sicherheit ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Studien belegen, dass Personen, die permanenten Stresssituationen ausgesetzt sind, häufiger anfällig für psychosomatische Erkrankungen sind. Obwohl der Mensch sich langfristig mit Extremsituationen arrangieren kann, führen sie zu einer hohen individuellen Belastung.

Häufig besteht jedoch die Auffassung, dass mehr „Sicherheit“ zu geringerer Produktivität führt – das Gegenteil ist der Fall: Höhere Sicherheit führt zu höherer Motivation und Zufriedenheit und damit letztlich zu höherer Produktivität.

Daraus leitet sich folgendes Ziel ab: **Bediener und Wartungspersonal müssen sich auf die Sicherheit einer Maschine verlassen können!**

Sicherheit ist eine Führungsaufgabe

Entscheider in der Industrie tragen die Verantwortung für ihre Mitarbeiter sowie für eine wirtschaftliche und störungsfreie Produktion. Nur wenn das Management im Alltagsgeschäft den Sicherheitsgedanken vorlebt, dann werden sich auch die Mitarbeiter dem Thema nicht verschließen.

Zur Verbesserung der Nachhaltigkeit fordern Experten daher den Ausbau einer weit gefassten „Sicherheitskultur“ in den Unternehmen.

Einbindung der Mitarbeiter führt zu Akzeptanz

Von größter Wichtigkeit ist es, die Bedürfnisse von Bedien- und Wartungspersonal mit in die konzeptionelle Planung einzubinden. Nur ein intelligentes, auf den Arbeitsprozess und das Personal abgestimmtes Sicherheitskonzept führt zur notwendigen Akzeptanz.

Expertenwissen ist erforderlich

Die Sicherheit von Maschinen hängt in großem Umfang von der korrekten Anwendung von Richtlinien und Normen ab. In Europa sind die nationalen Rechtsvorschriften durch europäische Richtlinien, wie z. B. die Maschinenrichtlinie, aneinander angeglichen.

Solche Richtlinien beschreiben generelle Anforderungen, die durch Normen konkretisiert werden. Häufig werden europäische Normen auch außerhalb von Europa akzeptiert.

All diese Anforderungen praxisgerecht auszulegen, erfordert ein umfangreiches Expertenwissen, Anwendungswissen und eine langjährige Erfahrung.

§ – Gesetze, Richtlinien, Normen

Europäische Richtlinien

Eines der Ziele der Europäischen Gemeinschaft ist der Schutz der Gesundheit ihrer Bürger sowohl im privaten wie im beruflichen Umfeld. Ein anderes Ziel ist die Schaffung eines einheitlichen Markts mit freiem Warenverkehr. Damit solche Ziele erreicht werden, ist die Arbeitsweise der Europäischen Union vertraglich folgendermaßen geregelt: Die EU-Kommission bzw. der Rat der Europäischen Union erlässt Rechtsakte (legal acts), unter anderem sogenannte Richtlinien, die die grundsätzlichen Ziele und Anforderungen definieren. So weit wie möglich sind die Richtlinien technologieneutral gehalten. Anschließend müssen die Richtlinien von den Mitgliedsstaaten in nationale Gesetze umgesetzt werden.

Im Bereich der Maschinensicherheit und des Arbeitsschutzes wurden folgende Richtlinien erlassen:

- die Maschinenrichtlinie, die sich an den Hersteller von Maschinen richtet
- die Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie, die sich an den Betreiber von Maschinen richtet
- zusätzliche Richtlinien, wie z. B. Niederspannungsrichtlinie, EMV-Richtlinie, ATEX-Richtlinie

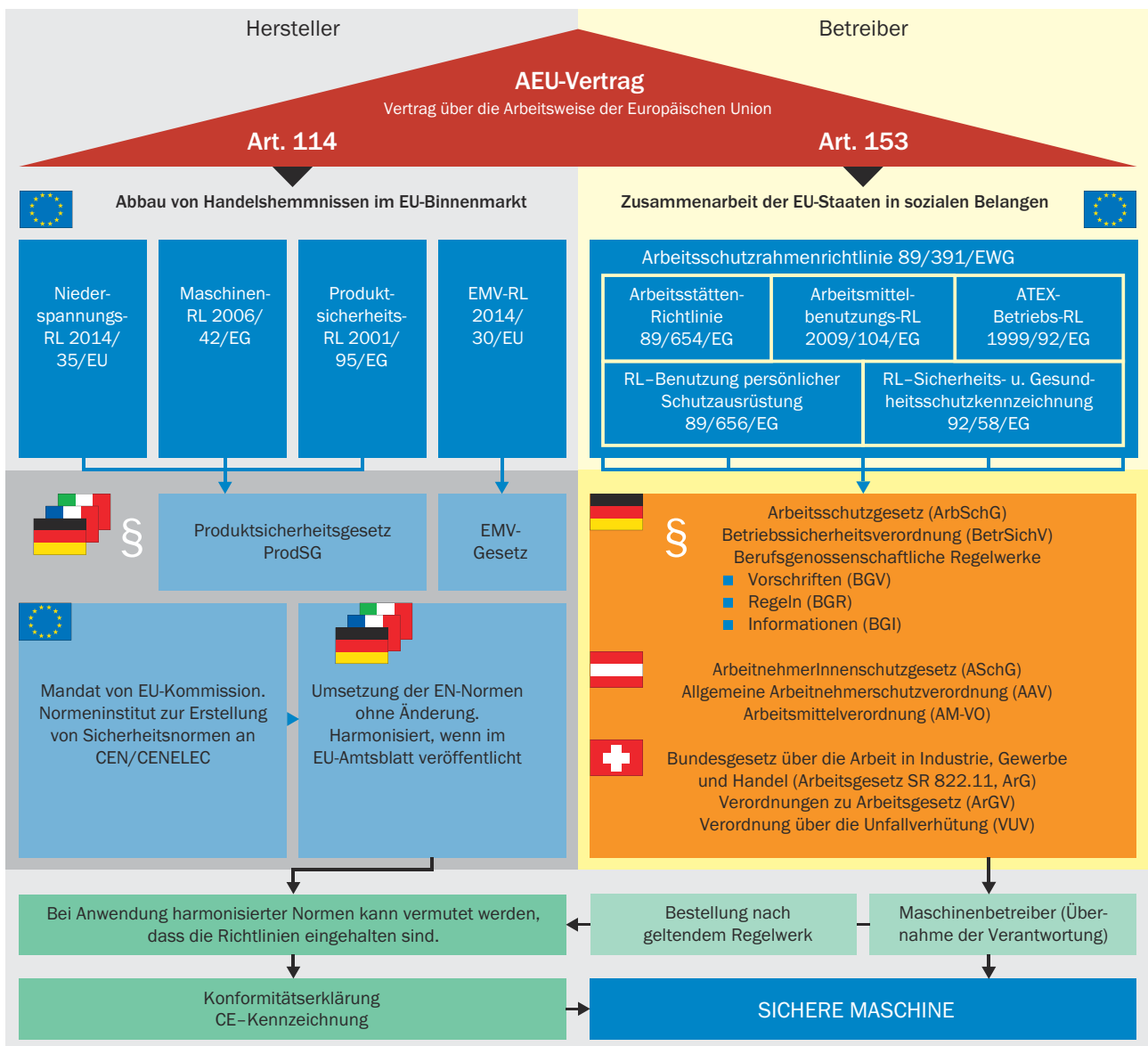


Abbildung 5: EU Richtlinien für Hersteller und Betreiber bezüglich Maschinensicherheit und Arbeitsschutz



HINWEIS

Die Richtlinien sind frei erhältlich, z. B. unter eur-lex.europa.eu.



HINWEIS

Europäische Richtlinien und Normen sind gültig für Hersteller bzw. Inverkehrbringer, die Maschinen in den europäischen Wirtschaftsraum liefern.

Die Maschinenrichtlinie

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG richtet sich an Hersteller und Inverkehrbringer von Maschinen und Sicherheitsbauteilen. Sie legt die Aufgaben zur Erfüllung der Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen für neue Maschinen fest, um Handelsbarrieren innerhalb Europas abzubauen und um den Anwendern und Bedienern ein hohes Maß an Sicherheit und Gesundheitsschutz zu garantieren.

Sie gilt für die Herstellung von Maschinen sowie für einzeln in Verkehr gebrachte Sicherheitsbauteile, aber auch für gebrauchte Maschinen und Geräte aus Drittländern, die erstmals im europäischen Wirtschaftsraum in den Verkehr gebracht werden (z. B. aus den USA oder Japan).

- 1989 erließ der Rat der Europäischen Gemeinschaft die Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen, die als Maschinenrichtlinie bekannt wurde (89/392/EWG).
 - 1995 musste diese Richtlinie in allen Mitgliedsstaaten der EG angewendet werden.
 - 1998 wurden verschiedene Änderungen in der Maschinenrichtlinie 98/37/EG zusammengefasst und konsolidiert.
 - 2006 wurde eine „Neue Maschinenrichtlinie“ (2006/42/EG) erlassen, die die Vorgängerversion ersetzt und deren Anwendung seit dem 29.12.2009 in allen Mitgliedsstaaten der EG verbindlich ist.
-



HINWEIS

Seit dem 29.12.2009 ist nur noch die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG anzuwenden!



HINWEIS

Die Maschinenrichtlinie wurde in den deutschsprachigen Ländern wie folgt umgesetzt:

- Deutschland: Neunte Verordnung (Maschinenverordnung - 9. ProdSV) zum Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) vom 8.11.2011
 - Schweiz: Bundesgesetz über die Produktesicherheit (PrSG) vom 12. Juni 2009 und Verordnung über die Sicherheit von Maschinen (Maschinenverordnung) vom 2. April 2008
 - Österreich: Bundesgesetz zum Schutz vor gefährlichen Produkten (Produktsicherheitsgesetz 2004 [PSG 2004]) und Maschinen-Sicherheitsverordnung 2010
-

Wenn Maschinen und Sicherheitsbauteile der Maschinenrichtlinie entsprechen, dürfen Mitgliedsstaaten nicht das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme untersagen, beschränken oder behindern. Daher dürfen sie auch keine höheren Anforderungen an die Beschaffenheit durch nationale Gesetze, Verordnungen oder Normen stellen!

Die Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie

Die Pflichten des Arbeitgebers sind in der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie geregelt. Diese gilt für die Anwendung von Maschinen und Geräten am Arbeitsplatz. Die Richtlinie enthält Mindestvorschriften die beim Einsatz von Arbeitsmitteln eingehalten werden sollen um den Sicherheits- und Gesundheitsschutz zu verbessern. Jeder Mitgliedsstaat darf seine eigenen nationalen Anforderungen hinzufügen: zum Beispiel an die Prüfung von Arbeitsmitteln, Service oder Wartungsintervallen, an die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung oder die Gestaltung des Arbeitsplatzes. Die Anforderungen der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie sowie nationale Anforderungen und Betriebsvorschriften sind wiederum in nationalen Gesetzen zusammengestellt.



Abbildung 6: Validierung

**HINWEIS**

- Deutschland: Arbeitsschutzgesetz (ArbSchGes), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)
- Schweiz: Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (SR 822.11, ArG)
- Österreich: ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG)

Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie 2009/104/EG: eur-lex.europa.eu

Pflichten des Herstellers von Maschinen**Maschinen sicher gestalten**

Hersteller sind verpflichtet, ihre Maschinen so zu bauen, dass die grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheit und Gesundheitsschutz eingehalten werden. Die Hersteller müssen die Integration der Sicherheit bereits beim Konstruktionsprozess berücksichtigen. In der Praxis bedeutet dies, dass der Konstrukteur schon in der Entwicklungsphase der Maschine eine Risikobeurteilung durchführen muss. Die daraus entwickelten Maßnahmen können direkt in die Konstruktion einfließen. Die Schritte 1 bis 5 dieses Leitfadens beschreiben im Detail, wie hierfür vorzugehen ist.

Technische Dokumentation erstellen

Der Maschinenhersteller muss eine technische Dokumentation gemäß Anhang VII der Maschinenrichtlinie erstellen. Diese Kriterien werden an die technische Dokumentation gestellt:

- Sie sollte alle Pläne, Berechnungen, Prüfprotokolle und Dokumente beinhalten, die für die Einhaltung der grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheits- und Gesundheitsschutz relevant sind.
- Sie muss mindestens zehn Jahre nach dem letzten Tag der Herstellung der Maschine (oder des Maschinentyps) aufbewahrt werden.
- Sie muss auf berechtigtes Verlangen den Behörden vorgelegt werden.



HINWEIS

Aus der Maschinenrichtlinie kann keine Verpflichtung des Herstellers hergeleitet werden, die vollständige technische Dokumentation an den Käufer (Anwender) der Maschine zu liefern.

Ausstellen der Konformitätserklärung

Nachdem der Maschinenhersteller seine Maschine nach den Vorgaben der Maschinenrichtlinie gebaut hat, muss er durch die Ausstellung einer Konformitätserklärung und die Kennzeichnung der Maschine (CE-Kennzeichen) die Einhaltung dieser Vorgaben rechtsverbindlich bestätigen. Dann darf die Maschine im europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht werden.

Die Maschinenrichtlinie erläutert den Ablauf zur Konformitätsbewertung. Es wird zwischen zwei Verfahren von Maschinen unterschieden (siehe „Das EG-Konformitätsbewertungsverfahren für Maschinen und Sicherheitsbauteile“, Seite 16):

- Standardverfahren:
Maschinen, die nicht explizit im Anhang IV der Maschinenrichtlinie gelistet sind, unterliegen dem Standardverfahren. Die im Abschnitt „Grundsätzliche Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ im Anhang I beschriebenen Anforderungen müssen erfüllt werden. Danach bringt der Hersteller in Eigenverantwortung das CE-Kennzeichen an, ohne Einschalten einer Prüfstelle oder Behörde („Eigenzertifizierung“). Er muss aber vorher die technische Dokumentation der Maschine zusammenstellen, um diese den nationalen Behörden auf Verlangen vorlegen zu können.
- Verfahren für Maschinen, die im Anhang IV gelistet sind:
Maschinen, von denen eine hohe Gefährdung ausgeht, unterliegen besonderen Abläufen. Der Anhang IV der Maschinenrichtlinie enthält eine Liste der entsprechenden Maschinen und Sicherheitsbauteile, zu denen auch berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen, wie Sicherheitslichtschranken und Sicherheitslaserscanner, gehören. Die im Abschnitt „Grundsätzliche Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ im Anhang I der Maschinenrichtlinie beschriebenen Anforderungen müssen zunächst erfüllt werden. Existieren für die Maschinen oder Sicherheitsbauteile harmonisierte Normen, die den gesamten Bereich der Anforderungen abdecken, kann die Konformitätsbescheinigung anschließend auf drei Arten erreicht werden:
 - Eigenzertifizierung
 - EG-Baumusterprüfung durch eine notifizierte Prüfstelle: Bei einer Prüfung durch eine notifizierte Prüfstelle muss der Hersteller seine Maschine und die dazugehörigen technischen Unterlagen zur Verfügung stellen, damit durch eine „EG-Baumusterprüfung“ festgestellt werden kann, ob die Maschine die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllt. Die notifizierte Prüfstelle prüft die Übereinstimmung mit der Richtlinie und erstellt eine EG-Baumusterprüfbescheinigung, die die Ergebnisse der Prüfungen darlegt.
 - Anwendung eines geprüften und umfassenden Qualitätsmanagementsystems (QMS): Das umfassende QMS muss die Übereinstimmung mit den Anforderungen der Maschinenrichtlinie gewährleisten und von einer notifizierten Prüfstelle geprüft sein. Für die wirksame und sachgemäße Anwendung des QMS ist der Hersteller verantwortlich. Siehe auch Anhang X der Maschinenrichtlinie.



Abbildung 7: Absicherung einer Maschine und Diagnose der Schutzeinrichtung

Wenn für die Maschinen keine harmonisierten Normen existieren bzw. wenn die Maschine oder Teile der Maschine nicht nach harmonisierten Normen gebaut wurden, kann die Konformitätsbescheinigung nur wie folgt erreicht werden:

- EG-Baumusterprüfung durch eine notifizierte Prüfstelle
- Anwendung eines geprüften und umfassenden Qualitätsmanagementsystems (QMS)

Kennzeichnung der Maschine als konform mit den europäischen Richtlinien ("CE-konform")

Nachdem alle Voraussetzungen erfüllt wurden und bevor die Maschine im Anwendungsbereich der Maschinenrichtlinie in Verkehr gebracht wird, muss die Maschine mit dem CE-Kennzeichen versehen werden.



HINWEIS

Das CE-Kennzeichen darf nur angebracht werden, wenn die Maschine alle auf sie anwendbaren europäischen Richtlinien erfüllt. Nur eine Maschine mit CE-Kennzeichen darf im europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht werden.

Sonderfall: unvollständige Maschine

In vielen Fällen werden Teilmaschinen, Maschinenbaugruppen oder Maschinenkomponenten hergestellt und geliefert, die der Definition einer Maschine sehr nahekommen, aber dennoch nicht als vollständige Maschine im Sinne der Maschinenrichtlinie betrachtet werden können. Die Maschinenrichtlinie definiert als „unvollständige Maschine“ eine Gesamtheit von Bauteilen, die fast eine Maschine bildet, jedoch für sich genommen keine bestimmte Funktion erfüllen kann. Ein einzelner Industrieroboter stellt z. B. eine unvollständige Maschine dar. Eine unvollständige Maschine ist nur dazu bestimmt, in andere Maschinen oder in andere unvollständige Maschinen oder Ausrüstungen eingebaut oder mit ihnen zusammengefügt zu werden, um zusammen mit ihnen eine Maschine im Sinne der Richtlinie zu bilden.

Unvollständige Maschinen können nicht alle Anforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllen. Die Maschinenrichtlinie regelt daher auch deren freien Verkehr durch ein besonderes Verfahren:

- Der Hersteller muss alle vernünftigerweise erfüllbaren grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheit und Gesundheitsschutz einhalten.
- Der Hersteller muss eine Einbauerklärung ausstellen. Diese beschreibt, welche grundlegenden Anforderungen der Richtlinie zur Anwendung kommen und eingehalten werden. Eine technische Dokumentation, ähnlich die einer Maschine, ist entsprechend zu erstellen und aufzubewahren.
- Anstelle einer Betriebsanleitung muss der Hersteller in gleicher Weise eine Montageanleitung erstellen und mit jeder „unvollständigen“ Maschine mitliefern. Die Sprache dieser Montageanleitung kann zwischen Hersteller und Anwender (Integrator) vereinbart werden.



HINWEIS

Siehe auch Abschnitt „Prüfstellen“, Seite 20.

Das EG-Konformitätsbewertungsverfahren für Maschinen und Sicherheitsbauteile

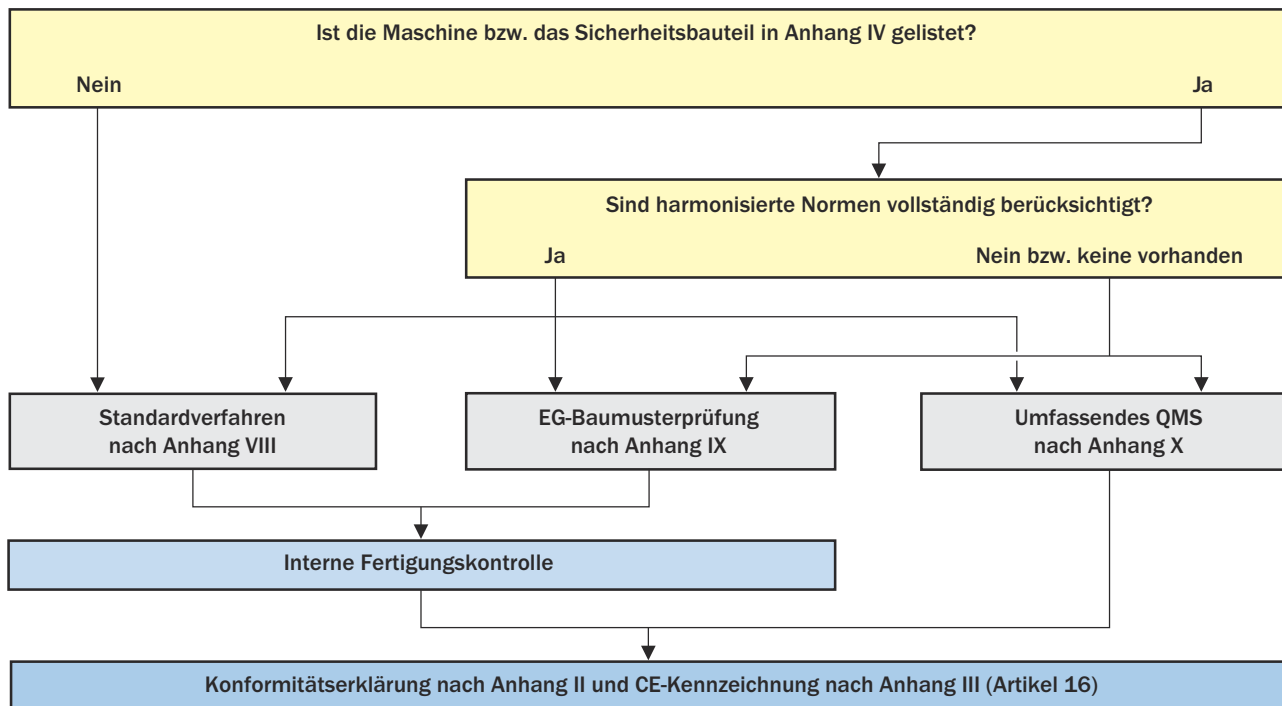


Abbildung 8: Konformitätsbewertungsverfahren nach Artikel 12 der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Zusammenfassung Gesetze, Richtlinien

Als Hersteller einer Maschine gilt für Sie unter anderem die Maschinenrichtlinie:

- Erfüllen Sie die grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie hinsichtlich Sicherheit und Gesundheitsschutz.
- Planen Sie die Integration der Sicherheit bereits während des Konstruktionsprozesses.
- Verwenden Sie zur Konformitätserklärung entweder das Standardverfahren oder das Verfahren für Maschinen des Anhangs IV der Maschinenrichtlinie.
- Stellen Sie eine technische Dokumentation der Maschine zusammen, insbesondere alle sicherheitsrelevanten Konstruktionsdokumente.
- Liefern Sie eine Betriebsanleitung in einer Amtssprache des Verwendungslandes mit. Wenn diese Betriebsanleitung keine "Originalbetriebsanleitung" in einer EU-Amtssprache ist, dann ist eine solche Fassung ebenfalls mitzuliefern.
- Stellen Sie eine Konformitätserklärung aus und kennzeichnen Sie die Maschine oder das Sicherheitsbauteil mit dem CE-Kennzeichen.

Als Betreiber einer Maschine gilt für Sie die Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie:

- Beachten Sie die Anforderungen der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie und deren nationale Umsetzungen. Diese können auch höhere Anforderungen beinhalten!
- Informieren Sie sich, ob weitere nationale Anforderungen (z. B. Prüfung von Arbeitsmitteln, Service- oder Wartungsintervalle usw.) bestehen und erfüllen Sie diese.

Normen

Normen sind Vereinbarungen, die zwischen unterschiedlichen Interessenverbänden (Hersteller, Verbraucher, Prüfstellen, Arbeitsschutzbehörden und Regierungen) getroffen werden. Entgegen der oft herrschenden Meinung werden Normen nicht von Regierungen oder Behörden erstellt oder beschlossen. Normen beschreiben den Stand der Technik zum Zeitpunkt ihrer Erstellung. Während der letzten 100 Jahre hat eine Entwicklung von nationalen

Normen zu weltweit gültigen Standards stattgefunden. Je nach Einsatzort der Maschine oder des Produkts können unterschiedliche gesetzliche Regelungen zutreffen, die die Anwendung unterschiedlicher Normen erforderlich machen. Die korrekte Auswahl der anzuwendenden Normen ist für den Maschinenhersteller ein Hilfsmittel zur Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben.

In diesem Leitfaden werden internationale Normen (ISO, IEC) referenziert. Eine Übersicht der relevanten Normen finden Sie im Anhang, [Seite 175](#).

Diese Übersicht enthält auch den Vergleich der angegebenen internationalen Normen mit regionalen (EN) oder nationalen Normen entsprechend der regionalen Gültigkeit dieses Leitfadens.

ISO (International Standardization Organization)

Die ISO ist ein weltweites Netzwerk von Normungsorganisationen aus 165 Ländern. Die ISO erarbeitet und publiziert internationale Standards mit Fokus auf nicht elektrische Technologien.



IEC (International Electrotechnical Commission)

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) ist eine globale Organisation, die internationale Standards auf dem gesamten Gebiet der Elektrotechnik (z. B. Elektronik, Fernmeldetechnik, elektromagnetische Verträglichkeit, Energieerzeugung) und damit verwandte Technologien erarbeitet und publiziert.



Normentypen

Es gibt drei Normentypen:

Typ-A

Typ-A-Normen, auch Sicherheitsgrundnormen genannt, enthalten Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die auf alle Maschinen angewendet werden können.

Typ-B

Typ-B-Normen, auch Sicherheitsgruppennormen genannt, behandeln einen Sicherheitsaspekt oder eine Sicherheitseinrichtung, die für eine große Bandbreite von Maschinen eingesetzt werden kann. Typ-B-Normen werden wiederum unterteilt in:

- Typ-B1-Normen zu speziellen Sicherheitsaspekten, z. B. die elektrische Sicherheit von Maschinen, die Berechnung von Sicherheitsabständen, die Anforderungen an Steuerungssysteme
- Typ-B2-Normen zu Sicherheitseinrichtungen, z. B. Zweihandschaltungen, trennende Schutzeinrichtungen und berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

Typ-C

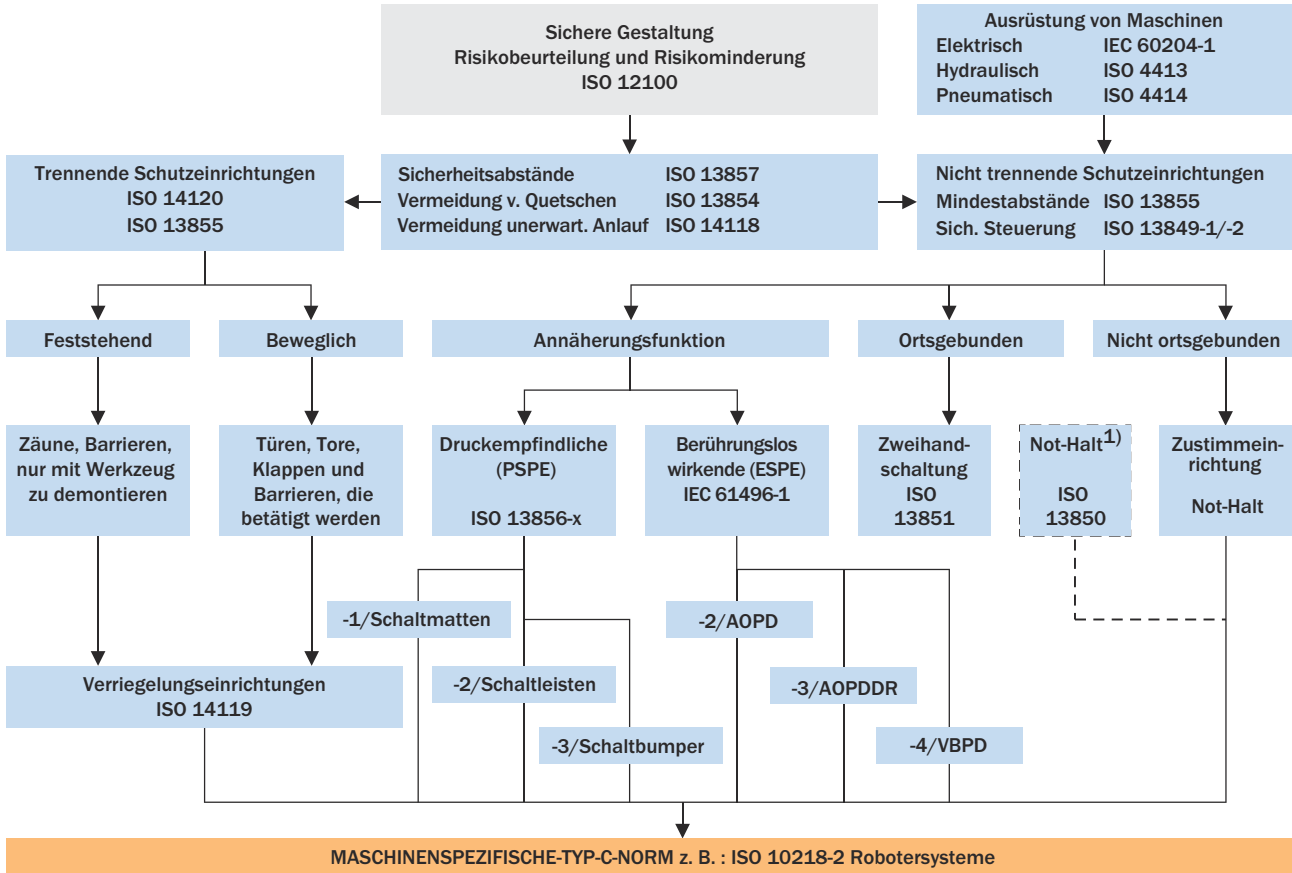
Typ-C-Normen enthalten alle Sicherheitsanforderungen für eine spezielle Maschine oder eine Maschinenbauart. Wenn diese Norm existiert, hat sie Vorrang gegenüber der Typ-A- oder Typ-B-Norm. Dennoch kann eine Typ-C-Norm Bezug auf eine Typ-B- oder Typ-A-Norm nehmen. Auf jeden Fall müssen die Anforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllt werden.



HINWEIS

Eine Liste wichtiger Normen finden Sie im Anhang ([Seite 175](#)).

Übersicht Schutzeinrichtungen, bewegliche trennende Schutzeinrichtungen und zugehörige Normen



- 1) Not-Halt ist eine Sicherheitsmaßnahme, aber keine Schutzeinrichtung!
- AOPD active opto-electronic protective device
- AOPDDR active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection
- VBPD vision based protective device

- Typ-A-Normen
- Typ-B-Normen
- Typ-C-Normen

Abbildung 9: Schutzeinrichtungen und zugehörige Normen

Organisationen und Strukturen der europäischen Normung

CEN (Comité Européen de Normalisation/Europäisches Komitee für Normung)

Das CEN ist eine Gruppe von Normungsorganisationen aus den EU-Mitgliedsstaaten, den Ländern der EFTA sowie zukünftigen Mitgliedern von CEN oder von EFTA. Das CEN erarbeitet die europäischen Normen (EN) auf den nicht elektrischen Gebieten. Um zu vermeiden, dass diese Normen Handelshemmnisse darstellen, strengt das CEN eine enge Zusammenarbeit mit der ISO an. CEN bestimmt durch ein Abstimmungsverfahren, ob ISO-Normen übernommen werden, und publiziert diese als europäische Normen.



CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique/Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung)

Das CENELEC ist die vergleichbare Institution zum CEN auf dem Gebiet der Elektrotechnik und erarbeitet und veröffentlicht die europäischen Normen (EN) in diesem Bereich. CENELEC übernimmt in zunehmendem Maße IEC-Normen und deren Benummerung.



Organisationen und Strukturen der nationalen Normung

In der Regel hat jeder EU-Mitgliedsstaat seine eigene Normungsorganisation wie z. B. DIN, ON, BSI, AFNOR. Diese erstellen und veröffentlichen nationale Normen gemäß den rechtlichen Vorgaben der jeweiligen Mitgliedsstaaten. Um einheitlich die Sicherheit und Gesundheit in der Europäischen Gemeinschaft zu gewährleisten und Handelshemmnisse abzubauen, werden die europäischen Normen von den nationalen Normungsorganisationen übernommen.

Im Verhältnis zwischen nationalen und sicherheitstechnischen Normen gelten folgende Grundsätze:

- Wenn für übernommene europäische Normen gleichartige nationale Normen existieren, müssen diese zurückgezogen werden.
- Wenn keine anwendbaren europäischen Normen für gewisse Aspekte oder Maschinen existieren, dürfen existierende nationale Normen angewendet werden.
- Eine nationale Normungsorganisation darf erst eine neue nationale Norm erstellen, wenn dieses Vorhaben gemeldet wurde und auf europäischer Ebene (bei der CEN oder der CENELEC) kein Interesse vorliegt.

Europäische Normen zur Sicherheit von Maschinen

Normen, die die Anforderungen der europäischen Richtlinien so konkretisieren, dass die Einhaltung der Normen die Konformität mit den Richtlinien vermuten lässt, werden "harmonisierte Normen" benannt.

Der Stand der Norm wird durch verschiedene Abkürzungen angezeigt:

- Eine Norm mit dem Präfix „EN“ ist in allen EU-Staaten anerkannt und anwendbar.
- Eine Norm mit dem Präfix „prEN“ ist derzeit in Bearbeitung.
- Ein Dokument, das als Präfix zusätzlich „TS“ enthält, ist eine Technische Spezifikation und dient als Vornorm. Diese gibt es als CLC/TS oder als CEN/TS.
- Ein Dokument, das als Präfix zusätzlich „TR“ enthält, ist ein Bericht über den Stand der Technik.

So entsteht eine harmonisierte europäische Norm:

1. Die EU-Kommission als das ausführende Organ der EU erlässt ein Mandat an CEN oder CENELEC zur Erarbeitung einer europäischen Norm, um die Anforderungen einer Richtlinie zu konkretisieren.
2. Diese Erarbeitung findet in internationalen Gremien statt, in denen die technischen Spezifikationen zur Erfüllung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen der Richtlinie(n) festgelegt werden.
3. Sobald die Norm durch Abstimmung angenommen ist, wird sie von der Europäischen Kommission dahingehend geprüft, ob die in der Norm enthaltenen Anforderungen ausreichend die in den Anhang ZA gelisteten Anforderung der Maschinenrichtlinie erfüllen. Der Anhang ZA kann eine, mehrere oder alle grundlegenden Sicherheit- und Gesundheitsanforderungen auflisten.
4. Ist die Europäische Kommission der Meinung, dass die Norm den gelisteten Anforderung ausreichend unterstützt, wird die Norm im Amtsblatt der Europäischen Union als harmonisierte Norm gelistet.



HINWEIS

- Eine harmonisierte europäische Norm dient als Referenz und ersetzt alle nationalen Normen zum gleichen Thema.
- Die Konformität mit anwendbaren harmonisierten Normen begründet die Annahme, dass eine Maschine oder ein Sicherheitsbauteil die entsprechenden grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der Richtlinien (z. B. der Maschinenrichtlinie) erfüllt (Vermutungswirkung).



HINWEIS

Eine Auflistung der Normen, die für die Richtlinien Vermutungswirkung besitzen, finden Sie unter ec.europa.eu.



HINWEIS

- In der Maschinenrichtlinie wird die Anwendung der Normen nicht verlangt, unabhängig davon, ob sie harmonisiert sind oder nicht. Wenn jedoch harmonisierte Normen angewendet werden, greift die sogenannte "Konformitätsvermutung", nach der davon ausgegangen wird, dass die Maschine die Vorgaben der Maschinenrichtlinie erfüllt.
 - Wenn eine C-Norm für einen Maschinentyp existiert, dann hat diese Vorrang vor A- und B-Normen. In diesem Fall begründet nur die angewandte C-Norm die Konformitätsvermutung zur Erfüllung der Maschinenrichtlinie.
-

Zusammenfassung Normen

- Europäische Normen konkretisieren die in den europäischen Richtlinien definierten Ziele.
- Die Anwendung von harmonisierten Normen begründet die sogenannte „Konformitätsvermutung“, also die Vermutung, dass die Maschine die Vorgaben der Richtlinie erfüllt. D. h., wenn Sie die für Ihre Maschine oder Anlage richtigen Normen auswählen und anwenden, können Sie davon ausgehen, dass Sie die gesetzlichen Anforderungen einhalten. Im Einzelfall können die Pflichten des Herstellers über den Inhalt der Normen hinausgehen, wenn z. B. eine Norm nicht mehr dem Stand der Technik entspricht.
- Es gibt Typ-A-Normen (Sicherheitsgrundnormen), Typ-B-Normen (Sicherheitsgruppennormen) und Typ-C-Normen (Normen zur Sicherheit von Maschinen). Wenn eine Typ-C-Norm existiert, hat sie Vorrang gegenüber der Typ-A- oder Typ-B-Norm.

Prüfstellen, Versicherungen und Marktaufsicht

Prüfstellen

Sicherheitsberatende Prüfstellen

Firmen, die wissen wollen, ob ihre Maschinen mit den jeweils gültigen europäischen Richtlinien und Normen übereinstimmen, können sich sicherheitstechnisch von Prüfstellen beraten lassen.

Akkreditierte Prüfstellen

Akkreditierte Prüfstellen sind Prüfstellen, die die Einhaltung von Prüfverfahren und Prüfkriterien der anerkannten nationalen Institutionen bescheinigen. Dies sind u. a. berufsgenossenschaftliche Prüfstellen und Unfallversicherungsanstalten, die in der Regel über sehr kompetente Fachprüfstellen verfügen.

Notifizierte Prüfstellen

Jeder EG-Mitgliedsstaat ist verpflichtet, Prüfstellen gemäß den in der Maschinenrichtlinie festgelegten Mindestanforderungen zu benennen und diese Stellen der Europäischen Kommission in Brüssel zu melden.

Nur diese Prüfstellen sind bevollmächtigt, EG-Baumusterprüfungen durchzuführen und EG-Baumusterprüfbescheinigungen für die Maschinen und Sicherheitsbauteile, die im Anhang IV der Maschinenrichtlinie aufgeführt sind, auszustellen. Nicht alle notifizierte Prüfstellen können jede Art von Produkt oder Maschine prüfen. Viele Prüfstellen sind nur für spezielle Tätigkeitsbereiche notifiziert.

Versicherungen

Berufsgenossenschaften/IFA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

In Deutschland übernehmen die Berufsgenossenschaften und andere Träger die gesetzliche Unfallversicherungspflicht. Die Berufsgenossenschaften sind in Fachverbänden organisiert, um so die spezifischen Anforderungen der einzelnen Wirtschaftsbranchen besser zu erfüllen.

Versicherungsgesellschaften

Viele Versicherungsgesellschaften unterhalten Beratungsstellen, die eine kompetente Fachberatung anbieten, insbesondere im Hinblick auf die Vermeidung von Haftungsrisiken, die sich aus Unkenntnis oder Nichtbeachtung von gesetzlichen Anforderungen ergeben.

Marktaufsicht

In den Staaten der EU und der EFTA unterliegt der Arbeitsschutz und die Marktaufsicht der Zuständigkeit von nationalen Behörden.

- In Deutschland sind es die staatlichen Ämter für Arbeitsschutz der Bundesländer.
- Österreich unterhält eine Reihe von Arbeitsschutzinspektoraten. An diese können sich auch die Maschinenhersteller wenden, um bei Fragen der Maschinen- und Arbeitssicherheit fachkundige Beratung zu erhalten.
- In der Schweiz ist für die Marktaufsicht das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) zuständig. Den Vollzug übernimmt die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), die sich auch durch eine hohe technische Kompetenz auszeichnet.



HINWEIS

Wichtige Adressen finden Sie im Anhang im Abschnitt „Nützliche Links“, Seite 178.

1 – Risikobeurteilung

Beim Konstruieren einer Maschine müssen die möglichen Risiken beurteilt und, wenn nötig, Maßnahmen vorgesehen werden, um den Bediener vor bestehenden Gefährdungen zu schützen.

Um dem Maschinenhersteller eine Hilfestellung bei dieser Aufgabe zu geben, definieren und beschreiben die Normen den Prozess der Risikobeurteilung. Eine Risikobeurteilung ist eine Folge von logischen Schritten, die die systematische Analyse und Bewertung von Risiken erlauben. Die Maschine muss unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobeurteilung konstruiert und gebaut werden.

Die Risikobeurteilung soll dabei helfen, Risiken zu reduzieren oder zu vermeiden. Als Folge können sich notwendige Maßnahmen ergeben, um den Bediener vor Gefährdungen zu schützen. Bei Bedarf muss der Prozess der Risikobeurteilung mehrfach durchlaufen werden. Mit den ersten Prozessschritten sollen Gefährdungen erkannt und eingeschätzt werden. Darauf folgt die Bewertung und, wenn erforderlich, die Risikominderung. Wenn die Maßnahme eine neue Gefährdung auslöst, dann deckt die wiederholte Risikobeurteilung dies auf. Maschinenbezogen und anwendungsnah ist die Risikobeurteilung in vielen Typ-C-Normen bereits vorgegeben. Wenn dies nicht gegeben oder nicht anwendbar ist, dann können die Vorgaben der Typ-A- und Typ-B-Normen herangezogen werden.



HINWEIS

→ Sichere Gestaltung, Risikobeurteilung und Risikominderung Typ-A-Norm: ISO 12100

Der Prozess der Risikobeurteilung

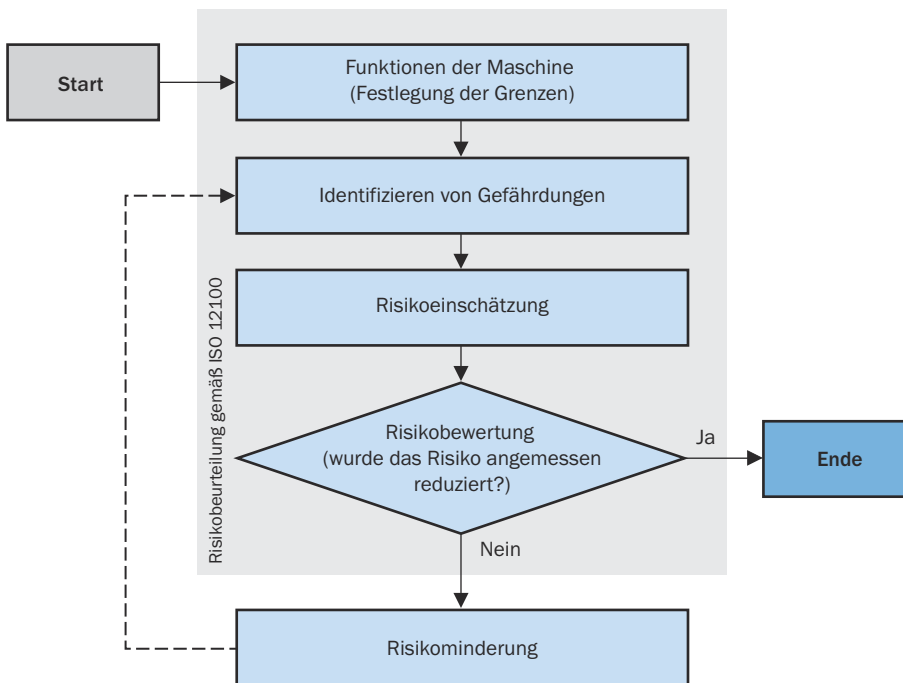


Abbildung 10: Prozess der Risikobeurteilung



HINWEIS

- Der Prozess muss für alle Gefährdungen durchgeführt werden. Er muss so lange wiederholt werden (iterativer Prozess), bis das verbleibende Restrisiko annehmbar gering ist.
- Die erreichten Ergebnisse der Risikobeurteilung und das angewendete Verfahren sind zu dokumentieren.

Funktionen der Maschine (Festlegung der Grenzen)

Die Risikobeurteilung beginnt mit der Festlegung der Funktionen der Maschine. Diese können sein:

- die Spezifikation der Maschine (was wird produziert, maximale Produktionsleistung, vorgesehene Materialien)
- räumliche Grenzen und voraussichtlicher Einsatzort
- die geplante Lebensdauer
- die beabsichtigten Funktionen und Betriebsarten
- die zu erwartenden Fehlfunktionen und Störungen
- die am Maschinenprozess beteiligten Personen
- die mit der Maschine in Zusammenhang stehenden Produkte
- der bestimmungsgemäße Gebrauch, aber auch das unbeabsichtigte Verhalten der Bedienperson oder die vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung (Missbrauch) der Maschine

Vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung

Das vernünftigerweise annehmbare, unbeabsichtigte Verhalten der Bedienperson oder die vorhersehbare Fehlanwendung können unter anderem sein:

- Verlust der Kontrolle der Bedienperson über die Maschine (besonders bei handgehaltenen oder beweglichen Maschinen)
- reflexartiges Verhalten von Personen im Falle einer Fehlfunktion, eines Störfalls oder Ausfalls während des Gebrauchs der Maschine
- Fehlverhalten durch Konzentrationsmangel oder Unachtsamkeit
- Fehlverhalten, das bei der Durchführung einer Aufgabe auf die Wahl des „Weges des geringsten Widerstands“ zurückzuführen ist
- Verhalten unter dem Druck, die Maschine unter allen Umständen in Betrieb zu halten
- Verhalten von bestimmten Personengruppen (z. B. Kinder, Jugendliche, Menschen mit Behinderungen)

Zu erwartende Fehlfunktion und Störungen

Ein hohes Gefahrenpotenzial geht von Fehlfunktionen und Störungen der Komponenten aus, die für die Betriebsfunktion relevant sind, insbesondere von der Steuerung. Beispiele:

- Umkehren der Walzbewegung (sodass Hände eingezogen werden)
- Bewegung eines Roboters außerhalb seines programmierten Arbeitsbereichs





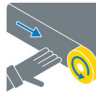




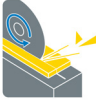
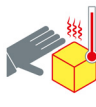




Identifizieren von Gefährdungen

Nach der Festlegung der Funktion der Maschine folgt der wichtigste Schritt bei der Risikobeurteilung der Maschine. Dieser besteht in der systematischen Identifizierung vorhersehbarer Gefährdungen, Gefährdungssituationen und/oder Gefährdungsereignisse.

Tabelle 1: Beispiele für die Gefährdungen in den Lebensphasen einer Maschine

Insbesondere sollte der Maschinenhersteller die nachstehenden Gefahren...	...in allen Phasen der Lebensdauer der Maschine berücksichtigen.
<ul style="list-style-type: none"> • mechanische Gefährdungen • elektrische Gefährdungen • thermische Gefährdungen • Gefährdungen durch Lärm • Gefährdungen durch Schwingungen • Gefährdungen durch Strahlung • Gefährdungen durch Materialien und Substanzen • Gefährdungen durch Vernachlässigung ergonomischer Grundsätze bei der Konstruktion von Maschinen • Gefährdungen durch Ausrutschen, Stolpern und Stürzen • Gefährdungen im Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine • Gefährdungen, die sich aus Kombinationen der o. g. Gefährdungen ergeben 	<ul style="list-style-type: none"> • Transport, Zusammenbau und Installation • Inbetriebnahme • Einrichten • Normalbetrieb und Störungsbeseitigung • Wartung und Reinigung • Außerbetriebnahme, Demontage und Entsorgung

Tabelle 2: Beispiele für Gefährdungen und deren Auswirkungen an Maschinen/Anlagen

	Schneiden durch sich bewegende Teile		Quetschen durch sich bewegende Teile		Abscheren durch sich bewegende Teile mit scharfen Kanten
	Stechen durch spitze, rotierende Teile		Einziehen oder Fangen durch rotierende, sich bewegende Teile		Einziehen oder Fangen
	Erfassen durch hervorstehende rotierende Teile		Stoßen durch sich bewegende Teile		Einwirkung durch gebrochene Teile
	Einwirkung durch herausgeschleuderte Späne		Verbrennung durch Objekte mit hoher Temperatur		Stromschlag durch spannungsführende Teile
	Augenschädigung durch optische Strahlung		Quetschen, Stoßen durch herabfallende Gegenstände		Überfahren werden, Stoßen, Quetschen durch sich bewegende große Maschinen

Risikoeinschätzung und Risikobewertung

Nachdem die Gefährdungen identifiziert wurden, ist für jede betrachtete Gefährdungssituation eine Risikoeinschätzung durchzuführen.

$$\boxed{\text{Risiko}} = \boxed{\text{Schadensausmaß}} \times \boxed{\text{Eintrittswahrscheinlichkeit}}$$

Das mit der betrachteten Gefährdungssituation zusammenhängende Risiko hängt von folgenden Elementen ab:

- dem Schadensausmaß, das durch die Gefährdung verursacht werden kann (leichte Verletzung, schwere Verletzung etc.) und
- der Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Schadens. Diese ergibt sich aus:
 - der Gefährdungsexposition einer Person/von Personen
 - dem Eintritt eines Gefährdungsereignisses und
 - den technischen und menschlichen Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens

Für die Einschätzung von Risiken gibt es verschiedene Werkzeuge, z. B. Tabellen, Risikographen, numerische Methoden.

Bei der Risikobewertung wird anhand der Ergebnisse der Risikoeinschätzung festgelegt, ob die Anwendung von Schutzmaßnahmen erforderlich ist und wann die erforderliche Risikominderung erreicht wurde.



HINWEIS

→ Werkzeuge und Tabellen: Technical Report – ISO/TR 14121-2

Skalierbare Methode der Risikoanalyse und -bewertung (SCRAM)

Die Methode dient der Beurteilung des anfänglichen Risikos und zur Einschätzung des Risikos nach Anwendung von Maßnahmen der sicheren inhärenten Konstruktion. Zusätzlich wird die Einschätzung der Effektivität der implementierten technischen Schutzmaßnahmen und/oder der Nutzerinformation unterstützt.

Diese von SICK auf Grundlage der ISO 12100 entwickelte Methode hat sich durch Praxisnähe, Plausibilität und durch Zuverlässigkeit bei der Verhinderung von Fehlern über viele Jahre bewährt.

Alle 3 Stufen der Risikominderung (3-Stufen-Methode) werden von SCRAM berücksichtigt:

- sicheres Gestalten
- technische Schutzmaßnahmen
- Benutzerinformation

[Tabelle 3](#) und [Tabelle 5](#) auf den folgenden Seiten bilden das Grundgerüst für SCRAM. Die [Tabelle 3](#) ermöglicht eine Kombination aus dem Schadensausmaß und der Wahrscheinlichkeit eines Eintretens dieses Schadens. Die in SCRAM verwendeten Risikoelemente umfassen:

- den Schweregrad der Verletzung
- die Exposition der Person zur Gefährdung
- die Möglichkeit der Vermeidung der Gefährdung
- die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Gefährdung

Tabelle 3: SCRAM, **Schritt 1** (Haupttabelle zur Ermittlung des Risikoindex)

Schweregrad	Exposition	Vermeidung	Auftreten			
			01 - 03	01	02	03
S1	E0	÷	< 1			
	E1 - E3	A1, A2		< 1	< 1	< 1
S2	E0	÷	≤ 1			
		A1		< 1	< 1	1
	A2	< 1		1	1	
	E1	A1		1	2	2
		A2		1	2	2
	E2	A1		2	3	3
A2		2		3	3	
S3	E0	÷	1			
		A1		3	4	4
	A2	3		4	4	
	E1	A1		4	5	5
		A2		5	5	5
	E2	A1		5	6	6
A2		6		6	6	
S4	E0	÷	1			
		A1		6	7	7
	A2	7		7	7	
	E1	A1		7	8	8
		A2		8	8	8
	E2	A1		8	9	9
A2		9		10	10	
Risikoindex						

- S** Schweregrad der Verletzung vernachlässigbar (1), leicht (2), schwer (3), schwerst (4)
- F** Gefährdungsexposition verhindert (0), gering (1), hoch (2)
- A** Möglichkeit einer Vermeidung vermeidbar (1), nicht vermeidbar (2)
- O** Wahrscheinlichkeit des Auftretens gering (1), mittel (2), hoch (3)

Für alle Risikoelemente werden für den Nutzer aus der Praxis abgeleitete Parameter zur Erleichterung der Einstufung und zur Verbesserung der Qualität der Einschätzung angeboten.

Das Ergebnis ist ein sogenannter Risikoindex. Dieser wird den Sicherheitsskalen der ISO 13849-1 (PL-Skala) und der IEC 62061 (SIL-Skala) zugeordnet (siehe Tabelle 4, Seite 26). Eine separate Risikoeinschätzung bei der Anwendung der ISO 13849-1 ist bei Anwendung von SCRAM nicht notwendig.

Tabelle 4: Zuordnung des SCRAM Risikoindex zur erforderlichen Sicherheitsstufe

Risikoindex	< 1	1	2 - 3	4 - 7	8 - 10
PLr (ISO 13849-1)	a	b	c	d	e
SIL (IEC 62061)	÷		1	2	3

Die Tabelle 5 ermöglicht eine Einschätzung der Effektivität der implementierten technischen Schutzmaßnahmen und/oder der vermittelten Nutzungsinformationen.

Tabelle 5: Einschätzung der Effektivität der implementierten technischen Schutzmaßnahmen und/oder der vermittelten Nutzungsinformationen

	EINGANG	Risikominderungsmaßnahmen			AUSGANG
	Risikoindex	MSE und/oder CSE	SIG und/oder INS	ORG und/oder PSA	Risikoindex
Schritt 2	8 – 10	M	n/a	n/a	1
	4 – 7	M			
	2 – 3	M			
	1	HR			< 1
	< 1	R			
Schritt 3	1	n/a	M	n/a	< 1
	< 1		HR		
	< 1	n/a	n/a	umzusetzen durch den Arbeitgeber	AR

MSE mechanische Sicherheitsvorkehrungen

CSE steuerungsbezogene Sicherheitsvorkehrungen

SIG Informationen an der Maschine (z. B. ein Signal oder Zeichen)

INS Informationen in der Betriebsanleitung

ORG Sichere Arbeitsverfahren

PSA persönliche Schutzausrüstung

M Maßnahme oder eine Kombination dieser Maßnahmen ist für diese Risikostufe obligatorisch (mandatory)

HR Maßnahme oder eine Kombination dieser Maßnahmen ist für diese Risikostufe sehr zu empfehlen (highly recommended)

R eine Maßnahme oder eine Kombination dieser Maßnahmen ist für diese Risikostufe zu empfehlen (recommended), wenn auch weniger dringend als eine HR-Empfehlung

n/a nicht anwendbar

Nähere Erläuterungen zur Methode und zum Umgang mit SCRAM sind im SICK-Whitepaper „**SKALIERBARE METHODE DER RISIKOANALYSE UND -BEWERTUNG (SCRAM)**“, 8025660 zu finden.

Dokumentation

Die Dokumentation zur Risikobeurteilung muss das angewendete Verfahren und die erzielten Ergebnisse sowie folgende Angaben beinhalten:

- Angaben über die Maschine, wie Spezifikationen, Grenzen, bestimmungsgemäße Verwendung etc.
- wichtige Annahmen, die getroffen wurden, wie Lasten, Festigkeiten, Sicherheitskoeffizienten
- alle identifizierten Gefährdungen und Gefährdungssituationen und in Betracht gezogenen Gefährdungsergebnisse
- verwendete Daten und deren Quellen, wie die Unfallgeschichten und Erfahrungen bei der Risikominderung an vergleichbaren Maschinen
- eine Beschreibung der angewendeten Schutzmaßnahmen
- eine Beschreibung der durch diese Schutzmaßnahmen zu erreichenden Risikominderungsziele

- die mit der Maschine noch verbundenen Restrisiken
- alle während der Risikobeurteilung erstellten Dokumente



HINWEIS

Die Maschinenrichtlinie fordert nicht, dass die Dokumentation zur Risikobeurteilung mit der Maschine zu übergeben ist!

Risikobeurteilung mit Safexpert®

Nr.	Maßnahme	Art	Risiko IN / OUT
1	Positionsüberwachung des Konus mit Drehgeber; Sicherheit durch Redundanz	SSE	6 / 3
2	Es sind Sicherheitsschuhe zu tragen	PSA	3 / 3
3	Hinweis, dass vor Öffnen des Rollenwechslers die Position des Konus zu überprüfen ist	PIK	3 / 3
4	Hinweis in der Beriebsanleitung	BA	3 / 3

Abbildung 11: Risikobeurteilung mit Software Safexpert® der Firma ibf

Der Prozess der Risikobeurteilung ist auch in Safexpert® enthalten, einer Software für CE-Management der Firma ibf. Der Anwender wird durch die gesetzlichen und normativen Vorgaben geführt. Die hinterlegte Gefährdungsliste, das CE-Management der Firma ibf zur strukturierten Risikobeurteilung und das Schema zur Bewertung des Risikos sowie des notwendigen Sicherheitsniveaus bei steuerungstechnischen Maßnahmen vereinfachen die Durchführung. Mithilfe des NormManagers und des Aktualisierungsassistenten werden die benötigten Normen immer auf dem aktuellen Stand gehalten. Die Gefahren werden getrennt nach Gefahrstellen und in den jeweiligen Lebensphasen der Maschine betrachtet. Die Bewertung einzelner Gefahren führt zur optimalen Auswahl der Maßnahmen zur Beseitigung von Gefährdungen oder Minderung der Risiken. In Safexpert® wird eine Kombination aus Risikograph und Matrix (Tabelle) angewendet. Die Einschätzung erfolgt, bevor (IN) und nachdem (OUT) die Schutzmaßnahme (z. B. Schutzeinrichtung) ausgewählt wurde. Das Risiko wird in eine Skala von 0 (kein Risiko) bis 10 (höchstes Risiko) eingeteilt.

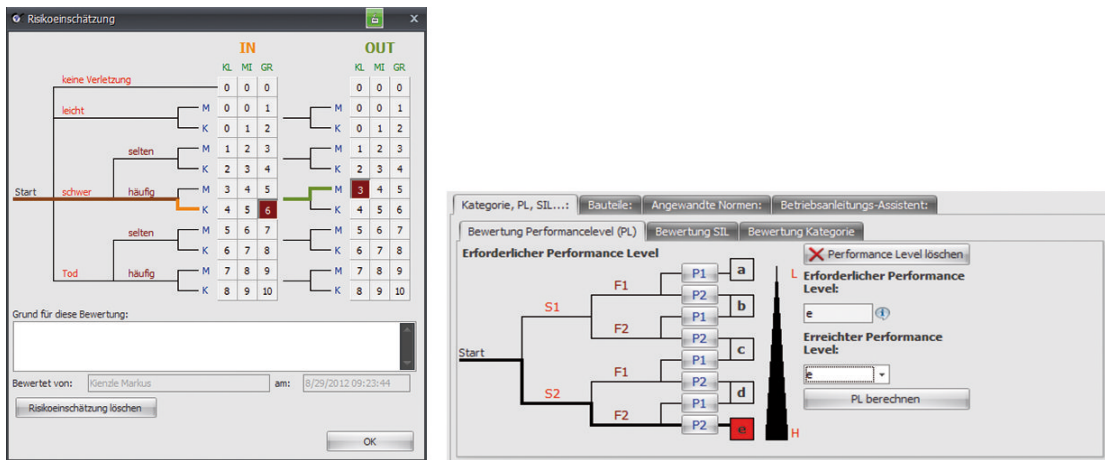


Abbildung 12: Risikograph zur Bewertung von Gefahren mit Software Safexpert® der Firma ibf



HINWEIS

Safexpert® dient nicht nur der Risikobeurteilung. Mit Safexpert® kann der gesamte Konformitätsprozess gemäß der Maschinenrichtlinie effizient durchgeführt und dokumentiert werden.

Zusammenfassung: Risikobeurteilung

Allgemein

- Führen Sie eine Risikobeurteilung für alle Gefährdungen durch. Dieser iterative Prozess muss alle Gefahren und Risiken berücksichtigen, bis keine oder nur annehmbar geringe Restrisiken verbleiben.

Prozess der Risikobeurteilung

- Beginnen Sie die Risikobeurteilung mit der Festlegung der Funktionen der Maschine.
- Berücksichtigen Sie bei der Risikobeurteilung insbesondere vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendungen und Störungen.
- Identifizieren Sie anschließend die Gefährdungen (mechanische, elektrische, thermische etc.), die von der Maschine ausgehen. Berücksichtigen Sie diese Gefährdungen in allen Phasen der Lebensdauer der Maschine.
- Schätzen Sie dann die von den Gefährdungen ausgehenden Risiken ein. Diese hängen vom Schadensausmaß und von der Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens ab.
- Dokumentieren Sie die Ergebnisse Ihrer Risikobeurteilung.

Strategie der Risikominderung

Wenn die Risikobewertung ergibt, dass Maßnahmen nötig sind, um das Risiko zu minimieren, dann muss die 3-Stufen-Methode angewendet werden.

Die 3-Stufen-Methode

Der Maschinenhersteller muss bei der Wahl der Maßnahmen folgende Grundsätze anwenden, und zwar in der angegebenen Reihenfolge:

- 1 Sicheres Gestalten: Beseitigung oder Minimierung der Risiken so weit wie möglich (Integration der Sicherheit in Konstruktion und Bau der Maschine)
- 2 Technische Schutzmaßnahmen: Ergreifen der notwendigen Schutzmaßnahmen gegen Risiken, die sich konstruktiv nicht beseitigen lassen
- 3 Benutzerinformation über Restrisiken

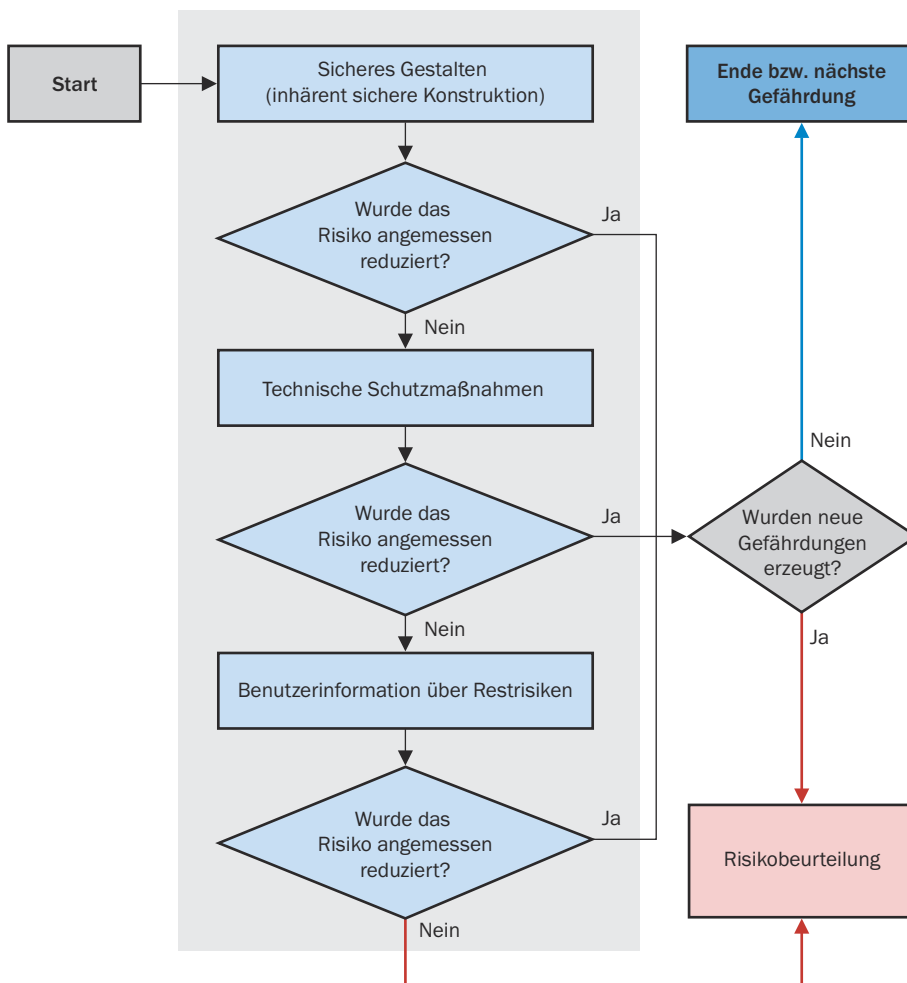


Abbildung 13: Prozess der 3-Stufen-Methode zur Risikominderung



HINWEIS

→ Leitsätze zum Prozess der Risikominderung: ISO 12100 (Typ-A-Norm)

2 Sicheres Gestalten (inhärent sichere Konstruktion)

Sicheres Gestalten ist die erste und wichtigste Stufe im Risikominderungsprozess. Hierbei werden mögliche Gefahren schon durch die Konstruktion und Gestaltung ausgeschlossen. Daher ist die Wirksamkeit des sicheren Gestaltens am höchsten.

Aspekte des sicheren Gestaltens betreffen die Konstruktion der Maschine und die Wechselwirkungen zwischen den gefährdeten Personen und der Maschine.

Beispiele:

- mechanische Konstruktion
- Bedien- und Instandhaltungskonzept
- elektrische Ausrüstung (elektrische Sicherheit, EMV)
- Konzepte zum Stillsetzen im Notfall
- fluidtechnische Ausrüstung
- eingesetzte Werk- und Betriebsstoffe
- Maschinenfunktion und Produktionsprozess

In jedem Fall sollen alle Komponenten so ausgewählt, angewendet und angepasst werden, dass im Falle eines Fehlers der Maschine die Sicherheit von Personen im Vordergrund steht. Die Vermeidung eines Schadens an der Maschine und der Umgebung soll ebenfalls beachtet werden. Alle Bestandteile der Maschinenkonstruktion sollen so spezifiziert werden, dass sie innerhalb ihrer zulässigen Grenzwerte funktionieren. Das Design sollte so einfach wie möglich ausgeführt werden. Sicherheitsbezogene Funktionen sind von anderen Funktionen so gut wie möglich zu trennen.

Mechanische Konstruktion

Folgende Maßnahmen sind Beispiele dafür, wie durch die mechanische Konstruktion verhindert werden kann, dass Gefährdungen entstehen:

- Vermeiden von scharfen Kanten, Ecken und vorstehenden Teilen
- Vermeiden von Quetschstellen, Scherstellen und Einzugstellen
- Begrenzen der kinetischen Energie (Masse und Geschwindigkeit)
- Beachten ergonomischer Grundsätze

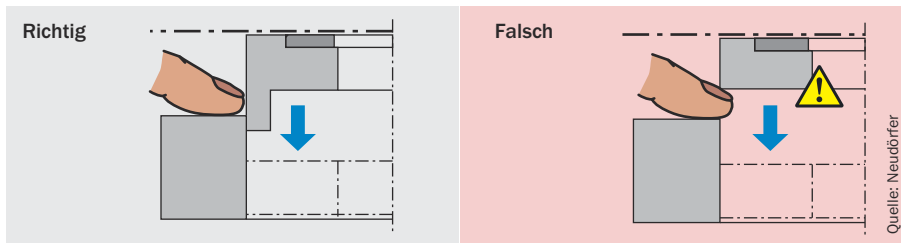


Abbildung 14: Beispiel: Vermeiden von Scherstellen

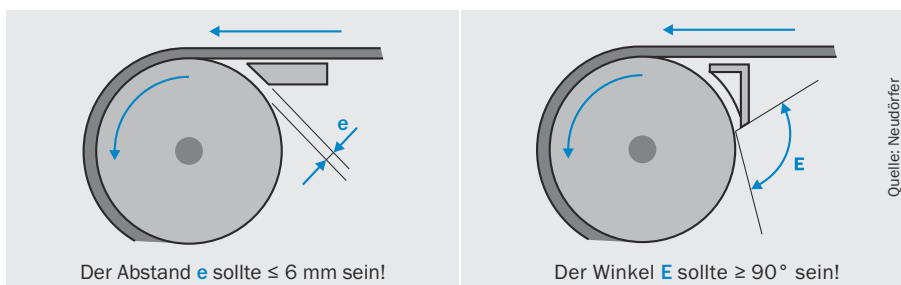


Abbildung 15: Vermeiden von Einzugstellen



HINWEIS

→ Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-662-62703-7 (8. Auflage 2020)

Bedien- und Instandhaltungskonzept

Die Notwendigkeit, sich dem Gefahrenbereich auszusetzen, sollte so gering wie möglich sein. Dies kann beispielsweise erreicht werden durch:

- automatische Be- und Entladestationen
- Einricht- und Wartungsarbeiten von „außen“
- Verwendung von zuverlässigen und verfügbaren Bauteilen, um Wartungsarbeiten zu vermeiden
- klares und eindeutiges Bedienkonzept, z. B. Gruppierung der Bedienteile nach zusammenhängenden Funktionen (z. B. für den Einrichtbetrieb)

Farbliche Kennzeichnung

Bedienteile von Druck Tastern sowie Anzeigeleuchten oder Anzeigen auf Bildschirmen sind farblich zu kennzeichnen. Den einzelnen Farben sind unterschiedliche Bedeutungen zugeordnet.

Tabelle 6: Bedeutung der Farben von Bedienteilen und Anzeigeleuchten nach IEC 60204-1

Allgemeine Bedeutung der Farben von Bedienteilen				Allgemeine Bedeutung der Farben von Anzeigeleuchten			
Farbe		Bedeutung	Erläuterung	Farbe		Bedeutung	Erläuterung
Weiß Grau Schwarz		Unspezifisch	Einleiten von Funktionen	Weiß		Neutral	Verwenden bei Zweifel über die Anwendung von Grün, Rot, Blau oder Gelb
Grün		Sicher	Bei sicherer Bedienung betätigen oder um normalen Zustand vorzubereiten	Grün		Normaler Zustand	
Rot		Notfall	Bei Gefahr bringendem Zustand oder im Notfall betätigen	Rot		Notfall	Gefahr bringender Zustand, mit sofortiger Handlung reagieren
Blau		Vorschrift	Bei Zustand betätigen, der zwingende Handlung erfordert	Blau		Zwingend	Anzeige eines Zustands, der eine zwingende Handlung durch den Bediener erfordert
Gelb		Anormal	Bei anormalem Zustand betätigen	Gelb		Anormal	Anormaler Zustand, bevorstehender kritischer Zustand



HINWEIS

→ Elektrische Ausrüstung von Maschinen: IEC 60204-1

Elektrische Ausrüstung

Es sind Maßnahmen nötig, um elektrische Gefährdungen an Maschinen auszuschließen. Hierbei werden zwei Gefährdungsarten unterschieden:

- Gefahren, die sich durch den elektrischen Strom ergeben, d. h. Gefährdungen durch direktes und indirektes Berühren
- Gefahren durch Situationen, die indirekt durch Fehler in der Steuerung entstehen



HINWEIS

→ In den folgenden Unterkapiteln finden Sie wichtige Punkte für die Gestaltung der elektrischen Ausrüstung.

→ Elektrische Ausrüstung von Maschinen: IEC 60204-1

Netzanschluss

Der Netzanschluss ist die Schnittstelle zwischen der elektrischen Ausrüstung der Maschine und dem Versorgungsnetz. Für den Anschluss sind die Bestimmungen des jeweiligen Netzbetreibers zu beachten.

Insbesondere in sicherheitstechnischen Anwendungen ist eine stabile Netzversorgung notwendig. Daher sollen die Spannungsversorgungen kurzzeitige Netzausfälle überbrücken können.

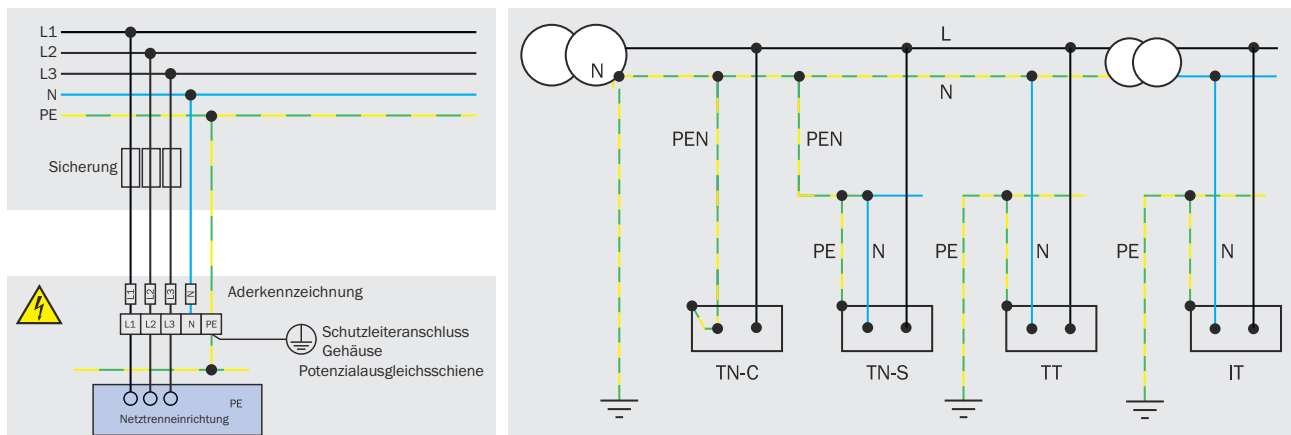
Erdungssystem

Das Erdungssystem charakterisiert sowohl die Art der Verbindung der Sekundärseite des einspeisenden Transformators mit der Erde als auch die Art der Erdung der Körper der elektrischen Ausrüstung. Drei Erdungssysteme sind international standardisiert:

- TN-System
- TT-System
- IT-System

Die Erdung ist eine elektrisch leitfähige Verbindung mit dem Erdboden. Es wird unterschieden zwischen Schutzerdungen PE, die der elektrischen Sicherheit dienen, und Funktionserdungen FE, die anderen Zwecken dienen. Das Schutzleitersystem besteht aus Erdern, Anschlussleitungen und entsprechenden Klemmen. Alle leitfähigen und berührbaren Teile der Maschine müssen für einen Schutzpotenzialausgleich mit dem Schutzleitersystem verbunden sein. Der Schutzpotenzialausgleich ist eine grundlegende Vorsorge für den Schutz im Fehlerfall.

Tabelle 7: Schutzleitersystem bei verschiedenen Erdungssystemen



TN-System

Das TN-System stellt die häufigste Netzform in Niederspannungsanlagen dar. Im TN-System ist der Sternpunkt des Transformators direkt geerdet (Betriebserde). Die Körper der angeschlossenen Betriebsmittel sind über den Schutzleiter (PE) mit dem Sternpunkt des Transformators verbunden.

Je nach verlegtem Leiterquerschnitt werden PE und N-Leiter als gemeinsamer Leiter (TN-C-System) oder als zwei eigenständige Leiter (TN-S-System) verlegt.

TT-System

In einem TT-System ist der Sternpunkt des einspeisenden Transformators, wie in einem TN-System, geerdet. Der an die elektrisch leitfähigen Gehäuse der Betriebsmittel angeschlossene Schutzleiter wird nicht bis an diesen Sternpunkt geführt, sondern separat geerdet. Die Körper der Betriebsmittel dürfen auch über einen gemeinsamen Schutzleiter geerdet sein.

TT-Systeme werden üblicherweise nur in Verbindung mit FI-Schutzschaltern verwendet.

Der Vorteil des TT-Systems besteht in der größeren Zuverlässigkeit bei langen Überlandstrecken.

IT-System

Die leitfähigen Gehäuse der Betriebsmittel sind in einem IT-System wie in einem TT-System geerdet, der Sternpunkt des einspeisenden Transformators jedoch nicht. Anlagen, bei denen das Abschalten eine gewisse Gefahr beinhaltet und die deshalb beim Auftreten von nur einem Körperschluss oder Erdschluss noch nicht abschalten sollen, werden als IT-System ausgeführt.

Im Niederspannungsbereich sind IT-Systeme zum Beispiel zur Versorgung von Operationssälen und Intensivstationen in Krankenhäusern vorgeschrieben.



HINWEIS

→ Schutzmaßnahmen: Basisnorm IEC 61140 und IEC 60364-4-41 mit national unterschiedlichen Anpassungen.

Netztrenneinrichtung

Gemäß IEC 60204-1 muss für jeden Netzanschluss zu einer oder mehreren Maschinen eine Netztrenneinrichtung vorgesehen werden. Sie soll die elektrische Ausrüstung von der Netzversorgung trennen können.

Folgende Trenneinrichtungen können hierzu angewendet werden:

- Lasttrennschalter für Gebrauchskategorie AC-23B oder DC-23B
- Trennschalter mit Hilfskontakt zum voreilenden Abwerfen der Last
- Leistungsschalter
- Stecker/Steckdosenkombination bis 16 A/3 kW

Bestimmte Stromkreise, wie Steuerstromkreise für Verriegelungen, müssen von der Trenneinrichtung nicht abgeschaltet werden. In diesem Fall müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um die Sicherheit des Bedienpersonals zu gewährleisten.

Ausschalteinrichtung zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf

Bei Arbeiten an der Maschine (Wartung, Reinigung, Instandhaltung etc.) darf ein Anlauf der Maschine oder wiederkehrende Energie keine Gefährdung von Personen hervorrufen. Wenn Ausschaltleinrichtungen verwendet werden, müssen Mittel vorgesehen werden, die ein unbeabsichtigtes und/oder irrtümliches Schließen der Netztrenneinrichtung verhindern. Dies kann beispielsweise durch Einhängen eines Bügelschlusses in die Handhabe eines Hauptschalters in der Stellung "AUS" erfolgen.



HINWEIS

Diese Ausschaltleinrichtung ist nicht als Schutzmaßnahme für kurze, betriebsbedingte Eingriffe in den Gefahrbereich geeignet.


Schutz gegen elektrischen Schlag

Schutzklassen

Die Einteilung in verschiedene Schutzklassen beschreibt, mit welchen Mitteln eine Ein-Fehler-Sicherheit erreicht wird. Eine Aussage über die Höhe des Schutzes ergibt sich aus dieser Einteilung nicht.

Tabelle 8: Symbole und Erläuterungen von Schutzklassen

	Schutzklasse I Alle Geräte mit einfacher Isolierung (Basisisolierung) und einem Schutzleiteranschluss fallen unter die Schutzklasse I. Der Schutzleiter muss an der mit dem Symbol oder PE gekennzeichneten Klemme angeschlossen werden und grün-gelb sein.
	Schutzklasse II Betriebsmittel mit Schutzklasse II haben eine verstärkte oder doppelte Isolierung und haben keinen Anschluss an den Schutzleiter. Diese Schutzmaßnahme wird auch Schutzisolierung genannt. Ein Schutzleiter darf nicht angeschlossen werden.

	<p>Schutzklasse III Betriebsmittel der Schutzklasse III arbeiten mit Schutzkleinspannung und benötigen daher keinen expliziten Schutz.</p>
---	--

Schutzkleinspannung SELV/PELV

Als Schutzkleinspannung, auch Sicherheitskleinspannung genannt, sind Wechselspannungen bis 50 Volt Effektivwert (V_{rms}) und Gleichspannungen bis 120 Volt zulässig. Dabei sind oberhalb einer Grenze von 75 Volt Gleichspannung zusätzlich die Anforderungen der Niederspannungsrichtlinie zu beachten.

Bei Anwendung in üblicherweise trockenen Räumen kann auf einen Schutz gegen direktes Berühren (Basisschutz) verzichtet werden, wenn der Effektivwert der Wechselspannung 25 Volt oder die Oberschwingungsfreie Gleichspannung 60 Volt nicht überschreitet. Eine Oberschwingungsfreiheit ist gegeben bei Überlagerung der Gleichspannung mit einem sinusförmigen Wechselspannungsanteil von höchstens 10 % effektiv.

Der Schutzkleinspannungskreis muss sicher von anderen Stromkreisen getrennt werden (ausreichende Luft- und Kriechstrecken, Isolierung, Verbindung von Stromkreisen mit dem Schutzleiter usw.).

Zwei Sicherheitskleinspannungen werden unterschieden:

- SELV (safety extra-low voltage)
- PELV (protective extra-low voltage)



HINWEIS

Schutzkleinspannung darf nicht aus dem Netz durch Spartransformatoren, Spannungsteiler oder durch Vorwiderstände erzeugt werden.

Tabelle 9: Schutzkleinspannungen SELV/PELV

		ELV (AC < 50 V rms , DC < 120 V)	
		SELV	PELV
Art der Trennung	Stromquellen	Stromquellen mit sicherer Trennung, z. B. ein Sicherheitstransformator oder gleichwertige Stromquellen	
	Stromkreise	<ul style="list-style-type: none"> • Stromkreise mit sicherer Trennung zu anderen Nicht-SELV- bzw. Nicht-PELV-Stromkreisen • Stromkreise mit Basisisolierung zwischen SELV- und PELV-Stromkreisen 	
Bezug zum Erdpotential oder zu einem Schutzleiter	Stromkreise	Ungeerdete Stromkreise	Geerdete oder ungeerdete Stromkreise
	Gehäuse	Gehäuse dürfen nicht absichtlich geerdet und auch nicht mit einem Schutzleiter verbunden sein.	Gehäuse dürfen geerdet oder mit einem Schutzleiter verbunden sein.
Zusatzmaßnahmen	Nennspannung: AC > 25 V oder DC > 60 V oder Betriebsmittel im Wasser	Basisschutz durch normgerechte Isolierung oder Umhüllungen	
	Nennspannung bei normaler trockener Umgebung: AC ≤ 25 V oder DC ≤ 60 V	Keine Zusatzmaßnahmen erforderlich	Basisschutz durch: normgerechte Isolierung oder Umhüllungen oder Verbindung von Körper und aktiven Teilen mit Haupterdungsschiene



HINWEIS

- Schutzklassen: IEC 60364-4-41
- Sicherheit von Transformatoren: EN 61558-x

Schutzmaßnahmen/Schutzarten

Die Schutzarten beschreiben den Schutz eines Betriebsmittels gegen das Eindringen von Wasser (kein Wasserdampf) und Fremtteilen (Staub). Zusätzlich beschreiben sie den Schutz gegen direktes Berühren von spannungsführenden Teilen. Dieser Schutz ist immer erforderlich, auch bei Kleinspannungen. Alle nach dem Trennen unter Spannung bleibenden, berührbaren Teile müssen mindestens mit Schutzart IP 2x, Schaltschränke mindestens mit der Schutzart IP 54 ausgeführt werden.

Tabelle 10: Übersicht Schutzarten nach IEC 60529

1. Kennziffer: Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern		2. Kennziffer: Schutz gegen Eindringen von Wasser (kein Wasserdampf, keine anderen Flüssigkeiten!)									
		IP ...0	IP ...1	IP ...2	IP ...3	IP ...4	IP ...5	IP ...6	IP ...7	IP ...8	IP ...9K
		Kein Schutz	Tropfwasser senkrecht	Tropfwasser schräg	Sprühwasser	Spritzwasser	Strahlwasser	Strahlwasser, stark	Untertauchen zeitweilig	Untertauchen dauernd	100 bar, 16 l/min., 80 °C
IP 0... Kein Schutz		IP 00									
IP 1... Größe des Fremdkörpers ≥ 50 mm Ø		IP 10	IP 11	IP 12							
IP 2... Größe des Fremdkörpers ≥ 12 mm Ø		IP 20	IP 21	IP 22	IP 23						
IP 3... Größe des Fremdkörpers ≥ 2,5 mm Ø		IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34					
IP 4... Größe des Fremdkörpers ≥ 1 mm Ø		IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44					
IP 5... Staubgeschützt		IP 50			IP 53	IP 54	IP 55	IP 56			
IP 6... Staubdicht		IP 60					IP 65	IP 66	IP 67		IP 69K

Stillsetzen

Neben dem betriebsmäßigen Stillsetzen muss eine Maschine im Notfall angehalten werden können.

Anforderungen:

- Jede Maschine muss mit einem oder mehreren Not-Halt-Befehlsgeräten ausgerüstet sein, die ein Stillsetzen im Notfall ermöglichen.
- Jede Maschine muss mit einer Befehleinrichtung zum betriebsmäßigen Stillsetzen der gesamten Maschine ausgerüstet sein.
- Zumindest eine Stopp-Funktion der Kategorie 0 muss vorhanden sein. Zusätzliche Stopp-Funktionen der Kategorie 1 und/oder 2 können aus sicherheits- und funktionstechnischen Erfordernissen der Maschine notwendig sein.
- Ein Befehl zum Stillsetzen der Maschine muss den Befehlen zum Ingangsetzen übergeordnet sein.

Stopp-Kategorien nach IEC 60204-1

Sicherheits- und funktionstechnische Erfordernisse von Maschinen führen zu Stopp-Funktionen in unterschiedlichen Kategorien. Stopp-Kategorien sind nicht zu verwechseln mit den Kategorien gemäß ISO 13849-1.

Tabelle 11: Stopp-Kategorien nach IEC 60204-1

Stopp- Kategorie 0	Energiezufuhr zu den Antriebselementen wird getrennt (ungesteuertes Stillsetzen)
Stopp- Kategorie 1	Maschine wird in einen sicheren Zustand versetzt, dann erst wird die Energiezufuhr zu den Antriebselementen getrennt
Stopp- Kategorie 2	Maschine wird in einen sicheren Zustand versetzt, die Energiezufuhr zu den Antriebselementen wird aber nicht getrennt



HINWEIS

→ Siehe auch Abschnitt „Stillsetzen im Notfall“, Seite 50.



HINWEIS

→ Stopp-Kategorien, siehe „Elektrische Ausrüstung von Maschinen: IEC 60204-1“.

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Elektromagnetische Verträglichkeit ist „die Fähigkeit eines Gerätes bzw. einer Anlage, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in der Umwelt vorhandenen Geräte bzw. Anlagen unannehmbar wären“.

Die Maschine und die eingesetzten Komponenten müssen so gewählt und verifiziert werden, dass sie den zu erwartenden Störungen standhalten. Für Sicherheitskomponenten gelten erhöhte Anforderungen.

Elektromagnetische Störungen können hervorgerufen werden durch die folgenden Ursachen:

- schnelle, transiente, elektrische Störgrößen (Burst)
- Stoßspannungen (Surge), z. B. hervorgerufen durch Blitzeinschläge ins Netz
- elektromagnetische Felder
- hochfrequente Störungen (benachbarter Leitungen)
- elektrostatische Entladung (ESD)

Die Grenzwerte für Störfestigkeit und Störaussendung sind unterschiedlich für den Industrie- und den Wohnbereich. Je nach Anwendungsbereich gelten Grenzwerte für die zulässige Störfestigkeit. Im Industriebereich gelten höhere Anforderungen an die Komponenten. Sie müssen einerseits stärkeren Störungen standhalten, sie dürfen aber andererseits stärker stören. Komponenten, die die Funkschutzbestimmungen aus dem Industriebereich erfüllen, können beim Einsatz im Wohnbereich Funkstörungen verursachen.

Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch die typische Störfestigkeit verschiedener Anwendungsgebiete jeweils im Frequenzbereich von 900 bis 2000 MHz.

Tabelle 12: Typische Störfestigkeit im Anwendungsgebiet

Anwendungsgebiet	Verträgliche Mindeststörfeldstärke
Unterhaltungselektronik	3 V/m
Haushaltselektrogeräte	3 V/m
Geräte der Informationselektronik	3 V/m
Medizinische Geräte	3 ... 30 V/m
Industrieelektronik	10 V/m
Sicherheitskomponenten	10 ... 30 V/m
Fahrzeugelektronik	Bis 100 V/m

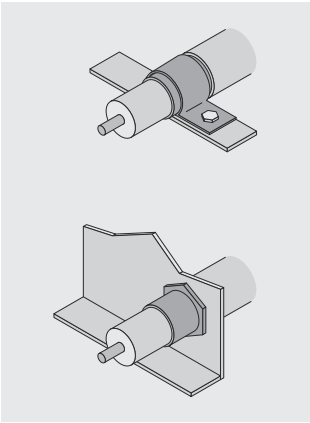
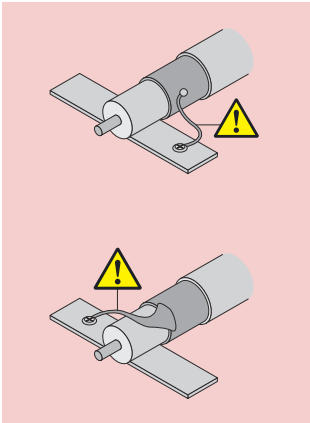
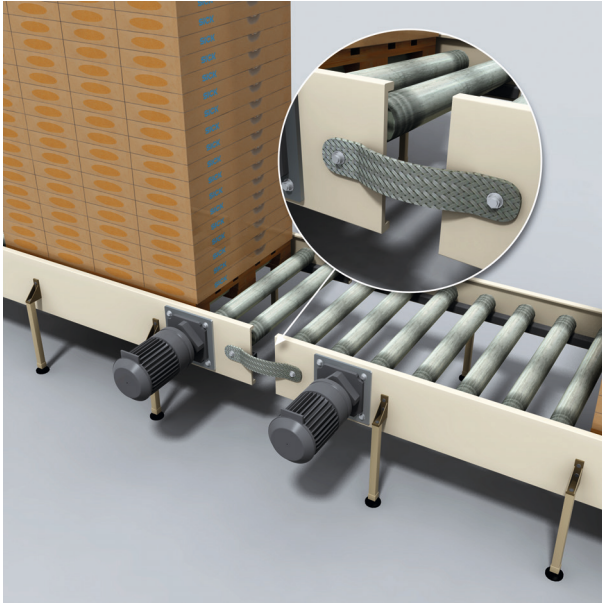
Tabelle 13: Beispiel für typische Abstände von Mobilfunkanlagen zur Erreichung verschiedener Störfeldstärken

Anwendungsgebiet	3 V/m	10 V/m	100 V/m	Anmerkung
DECT-Station	Ca. 1,5 m	Ca. 0,4 m	≤ 1 cm	Basisstation oder Mobilteil
GSM-Mobiltelefon	Ca. 3 m	Ca. 1 m	≤ 1 cm	Maximale Sendeleistung (900 MHz)
GSM-Basisstation	Ca. 1,5 m	Ca. 1,5 m	Ca. 1,5 m	Bei einer Sendeleistung von ca. 10 Watt

Design-Grundregeln, um EMV-Probleme zu vermeiden

- durchgängiger Potenzialausgleich durch leitende Verbindung zwischen Maschinen- und Anlagenteilen
- räumliche Trennung der Steuerungs- und Messkomponenten vom Versorgungsteil, z. B. Netzteile, Schütze, Aktorik, Umrichter
- keinen Potenzialausgleichstrom über die Abschirmung führen
- Abschirmung kurz und vollflächig auflegen
- vorhandene Funktionserde (FE) anschließen
- vorhandene Kommunikationsleitungen nach Herstellerangabe fachgerecht abschließen, z. B. mit Abschlusswiderstand

Zur Übertragung von Daten (Feldbus) sind häufig verdrehte Leitungen erforderlich.

Beispiel: Schirmung korrekt anbinden		Beispiel Potenzialausgleich herstellen
 <p>Richtig: Schirm kurz und vollflächig angebunden</p>	 <p>Falsch: sogenannte „Schweinschwänzchen“</p>	

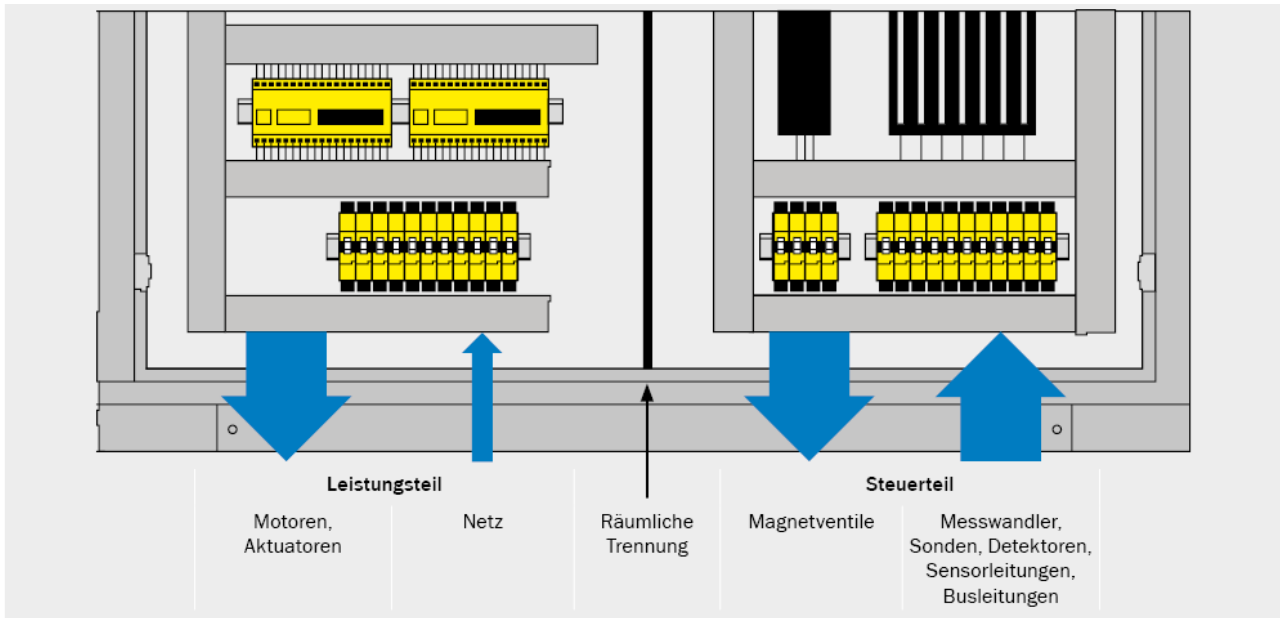


Abbildung 16: Beispiel für räumliche Trennung



HINWEIS

→ EMV-Normen: IEC 61000-1 bis -4

→ EMV-Anforderungen an Sicherheitskomponenten: IEC 61496-1, IEC 62061

Fluidtechnik

Fluidtechnik ist ein Oberbegriff für alle Verfahren, bei denen Energie durch Gase oder Flüssigkeiten übertragen wird. Der übergeordnete Begriff wird verwendet, weil Flüssigkeiten und Gase ein ähnliches Verhalten haben. Die Fluidtechnik beschreibt Verfahren und Anlagen zur Kraftübertragung mittels Fluiden in geschlossenen Leitungssystemen.

Teilsysteme

Jede fluidtechnische Anlage besteht aus den Teilsystemen:

- Verdichten: Kompressor bzw. Pumpe
- Aufbereiten: Filter
- Fördern: Verrohrung bzw. Verschlauchung
- Steuern: Ventil
- Antreiben: Zylinder

Druck stellt sich in jedem fluidtechnischen System durch das Fördern des Fluids gegen Lasten ein. Wächst die Last, steigt auch der Druck.

Technisch angewendet wird die Fluidtechnik in der Hydraulik (Energieübertragung durch Hydrauliköle) und in der Pneumatik (Energieübertragung durch Druckluft). Die Ölhydraulik benötigt einen Kreislauf des Fluids (Hin- und Rücklauf), während in der Pneumatik die Abluft über Schalldämpfer in die Umgebung abgeblasen wird.

Gestaltungsprinzipien

Die grundlegenden Prinzipien zur sicheren Anwendung der Fluidtechnik werden in ISO 4413 (Hydraulik) und ISO 4414 (Pneumatik) beschrieben. Alle Teile eines fluidtechnischen Systems sind gegen Drücke zu schützen, die den maximalen Arbeitsdruck eines Teilsystems oder den Nenndruck einer Komponente überschreiten. Durch Leckage innerhalb einer Komponente oder in der Verrohrung bzw. Verschlauchung darf keine Gefahr verursacht

werden. Schalldämpfer sollen verwendet werden, um den durch entweichende Luft verursachten Schallpegel zu reduzieren. Der Gebrauch von Schalldämpfern darf keine zusätzliche Gefährdung schaffen, Schalldämpfer dürfen keinen schädlichen Gegendruck verursachen.

Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

Der Explosionsschutz zählt zu den besonders sicherheitsrelevanten Aufgabenbereichen. Im Explosionsfall sind Personen gefährdet, z. B. durch unkontrollierte Hitzestrahlung, Flammen, Druckwellen und umherfliegende Trümmer sowie durch schädliche Reaktionsprodukte und durch den Verbrauch des zum Atmen benötigten Sauerstoffs aus der Umgebungsluft. Explosionen und Brände gehören nicht zu den häufigsten Ursachen von Arbeitsunfällen. Ihre Folgen sind aber häufig mit schweren Verletzungen und Tod sowie großen wirtschaftlichen Schäden verbunden.

Wo Stäube, brennbare Gase oder Flüssigkeiten hergestellt, transportiert, verarbeitet oder gelagert werden, kann eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen, d. h. ein Gemisch von Brennstoff und Luftsauerstoff innerhalb der Explosionsgrenzen. Wenn auch eine Zündquelle vorhanden ist, dann kommt es zur Explosion.

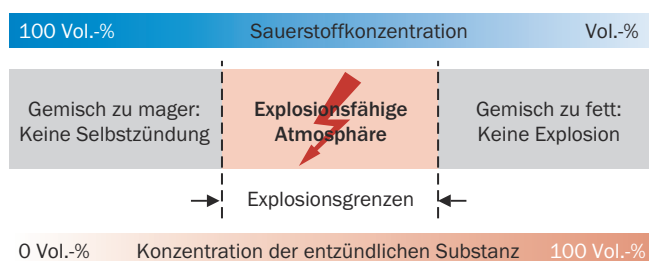


Abbildung 17: Bedingungen für eine explosionsfähige Atmosphäre

Beurteilung des Umfangs der erforderlichen Schutzmaßnahmen

Für eine Beurteilung des Umfangs der erforderlichen Schutzmaßnahmen sind explosionsgefährdete Bereiche nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre vom Betreiber/Arbeitgeber in Zonen zu unterteilen, siehe ATEX-Betriebsrichtlinie 1999/92/EG, Anhang I.

Die Angaben in der folgenden Tabelle gelten nicht für den Bergbau (Übertage, Untertage).

Tabelle 14: ATEX-Zonendefinition und Gerätekategorien für Gerätegruppe II: Geräte zur Verwendung in explosionsgefährdeten Staub- und Gasatmosphären

Zonendefinition				
Für Gase	G	Zone 2	Zone 1	Zone 0
Für Stäube	D	Zone 22	Zone 21	Zone 20
Explosionsfähige Atmosphäre		Selten, kurzzeitig (< 10/Jahr)	Gelegentlich (10 -- 100 h/Jahr)	Ständig, häufig, langfristig (> 1000 h/Jahr)
Sicherheitsmaßnahme		Normal	Hoch	Sehr hoch
Einsetzbare Gerätekategorie (ATEX)				
1		II 1G/II 1D		
2		II 2G/II 2D		
3		II 3G/II 3D		

Kennzeichnung

Betriebsmittel müssen für den Einsatz in diesen Zonen ausgelegt, geprüft und vom Hersteller nach ATEX-Produkt-richtlinie 2014/34/EU entsprechend gekennzeichnet sein.

Tabelle 15: Kennzeichnung von Betriebsmitteln für den Einsatz in den Zonen explosionsgefährdeter Bereiche

	II	2G	Ex ia	IIC	T4	Beispiel: Kennzeichnung eines Ex-Betriebsmittels gemäß ATEX
						Temperaturklasse Einsetzbar bei Zündtemperatur > 135 °C
						Explosionsgruppe Acetylen, Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff
						Schutzprinzip i = eigensicher a = zwei-Fehler-sicher
						Geräteklasse (ATEX) Einsetzbar in Zone 1
						Gerätegruppe Einsatz nicht in schlagwettergefährdeten Bereichen
Explosionsschutz-Kennzeichen						



HINWEIS

- ATEX-Betriebsrichtlinie: 1999/92/EG
- ATEX-Produktrichtlinie: 2014/34/EU
- Norm: EN 1127-1 Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz - Teil 1: Grundlagen und Methodik
- Norm: EN IEC 60079-0 Explosionsgefährdete Bereiche - Teil 0: Betriebsmittel - Allgemeine Anforderungen

Zusammenfassung: Sicheres Gestalten

Mechanik, Elektrik, Bedienung

- Die wirkungsvollste und wichtigste Maßnahme ist das sichere Gestalten, um Gefährdungen erst gar nicht entstehen zu lassen.
- Konstruieren Sie so, dass sich das Bedienpersonal so wenig wie möglich dem Gefahrenbereich aussetzen muss.
- Vermeiden Sie Gefahren, die sich direkt durch elektrischen Strom ergeben (direktes und indirektes Berühren) oder die indirekt durch Fehler in der Steuerung entstehen.

Stillsetzen

- Planen Sie eine Befehlseinrichtung zum betriebsmäßigen Stillsetzen der gesamten Maschine ein.

EMV

- Konstruieren Sie Maschinen, die die gültigen EMV-Anforderungen erfüllen. Die eingesetzten Komponenten müssen so gewählt und verifiziert werden, dass sie die folgenden Kriterien erfüllen:
 - Grenzwerte für elektromagnetische Störung einhalten, die andere Geräte bzw. Anlagen nicht stören
 - Störfestigkeit gegenüber den zu erwartenden Störungen sicherstellen
 - Grenzwerte für den Anwendungsbereich einhalten

3 – Technische Schutzmaßnahmen

Eine technische Schutzmaßnahme wird durch eine oder mehrere Sicherheitsfunktionen realisiert. Jede Sicherheitsfunktion besteht aus mindestens einer Schutzeinrichtung. Es gibt drei Arten von Schutzeinrichtungen:

- Mechanische Schutzeinrichtungen, die Teile, Stoffe oder Strahlung zurückhalten oder den Zugang/Zugriff dauerhaft verhindern.
- Schutzeinrichtungen, die in die Steuerung der Maschine eingebunden sind, um den sicheren Zustand einzuleiten, sobald Personen oder Teile des menschlichen Körpers detektiert werden.
- Schutzeinrichtungen, die in die Steuerung der Maschine eingebunden sind, um den sicheren Zustand einzuleiten, sobald die überwachten sicherheitsbezogenen Grenzen von Parametern der Maschine (Position, Geschwindigkeit, Kraft etc.) überschritten werden.

Alle diese Schutzeinrichtungen realisieren Sicherheitsfunktionen, aber nicht jede Schutzeinrichtung muss dazu in die Steuerung der Maschine eingebunden werden. Feste trennende Schutzeinrichtungen (Zäune, Barrieren, Abdeckungen) werden z. B. nicht in die Steuerung der Maschine eingebunden, doch bei korrekter Gestaltung erfüllen solche Schutzeinrichtungen die Anforderung der Sicherheitsfunktion.

Funktionale Sicherheit

Wenn Schutzeinrichtungen in die Steuerung der Maschine eingebunden werden, hängt die Risikominderung von der korrekten Funktion der Steuerung ab. In diesem Fall spricht man von funktionaler Sicherheit. Für die Realisierung der funktionalen Sicherheit muss für jede Sicherheitsfunktion das erforderliche Sicherheitsniveau bestimmt werden. Die Anforderungen der jeweiligen Schutzmaßnahme müssen mit geeigneten Komponenten umgesetzt werden.

Validierung

Die Validierung aller technischen Schutzmaßnahmen stellt sicher, dass die richtigen Sicherheitsfunktionen zuverlässig die Risiken mindern.

Die Ausgestaltung von technischen Schutzmaßnahmen und Sicherheitsfunktionen sowie die Methodik zur steuerungstechnischen Umsetzung bilden den Inhalt der nächsten Kapitel (Teilschritte 3a bis 3e).

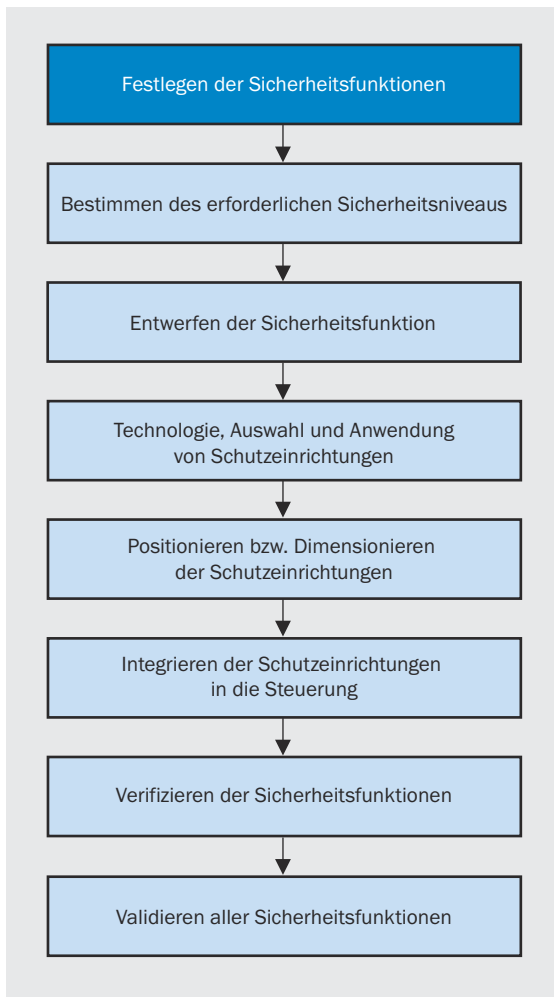


Abbildung 18: Von der Festlegung bis zu Validierung der Sicherheitsfunktionen

3a – Festlegen der Sicherheitsfunktionen

Die Sicherheitsfunktionen beschreiben, wie das Risiko durch sicherheitstechnische Maßnahmen gemindert werden soll. Für jede Gefährdung, die konstruktiv nicht beseitigt wurde, ist mindestens eine Sicherheitsfunktion zu definieren.

Die genaue Definition der Sicherheitsfunktionen ist notwendig, um die erforderliche Sicherheit mit angemessenem Aufwand zu erzielen. Aus der Definition der Sicherheitsfunktionen leitet sich die dafür notwendige Art und Anzahl der Komponenten ab.



HINWEIS

→ Beispiele für die Definition von Sicherheitsfunktionen: IFA Report 2/2017, „Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen“

Zugang bzw. Zugriff dauerhaft verhindern

Der Zugang zu einer Gefahrstelle wird durch mechanische Abdeckungen, Barrieren oder Hindernisse, sogenannte trennende Schutzeinrichtungen, verhindert.

Beispiele:

- Verhinderung des direkten Erreichens von Gefahrstellen durch Abdeckungen
- Distanzierende Schutzeinrichtungen (z. B. Tunnel), die das Erreichen der Gefahrstellen verhindern und den Durchgang von Materialien oder Waren erlauben (siehe Abbildung)
- Verhinderung des Ganzkörperzugangs zu Gefahrbereichen durch trennende Schutzeinrichtungen

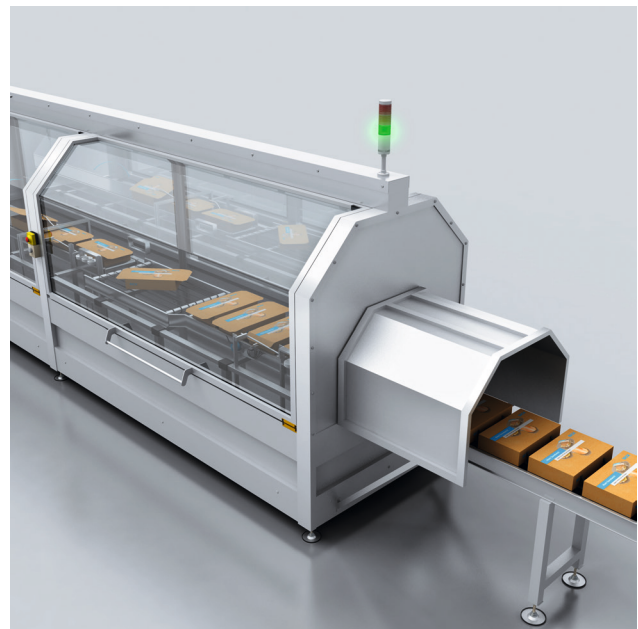


Abbildung 19: Verhindern des Zugangs zur Gefahrstelle in einer Verpackungsmaschine durch einen Tunnel

Zugang zeitweise verhindern

Der Zugang zu einer Gefahrstelle wird so lange verhindert, bis sich die Maschine in einem sicheren Zustand befindet.

Beispiele:

- Auf Anforderung wird ein Betriebsstopp eingeleitet. Wenn die Maschine den sicheren Zustand erreicht, wird die durch die Sicherheitszuhaltung ausgeführte Blockierung des Zugangs aufgehoben.
- Nach Trennung der Energie wird ein Transferschlüssel freigegeben, welcher den Zugang (Öffnen der beweglichen trennenden Schutzeinrichtung) ermöglicht.

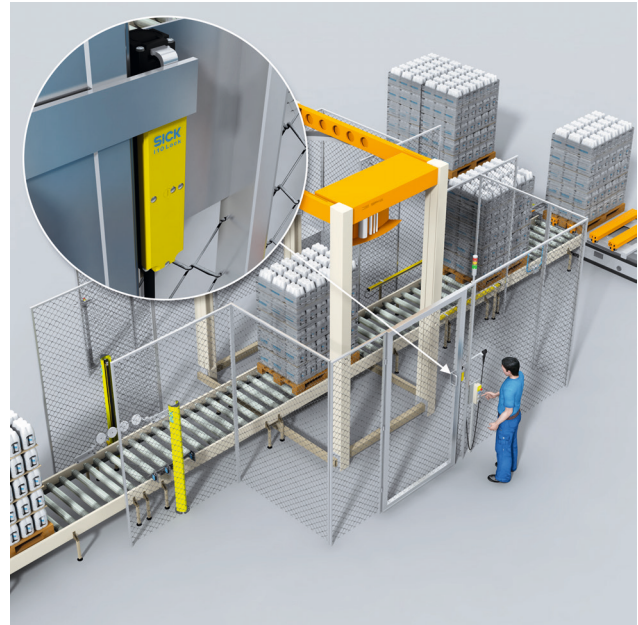


Abbildung 20: Zeitweise verhindern des Zugangs zur Gefahrstelle in einer Folienwickelmaschine durch eine Sicherheitszuhaltung

Teile, Stoffe, Strahlungen zurückhalten

Wenn aus Maschinen Teile herausgeschleudert werden können oder Strahlungen auftreten, müssen mechanische Schutzeinrichtungen verwendet werden (trennende Schutzeinrichtungen), um diese Gefährdungen zu vermeiden.

Beispiele:

- Schutzhaube mit speziellem Sichtfenster an einer Fräsmaschine zum Schutz vor herausfliegenden Spänen und Werkzeugteilen
- Zaun, der einen Roboter zurückhalten kann

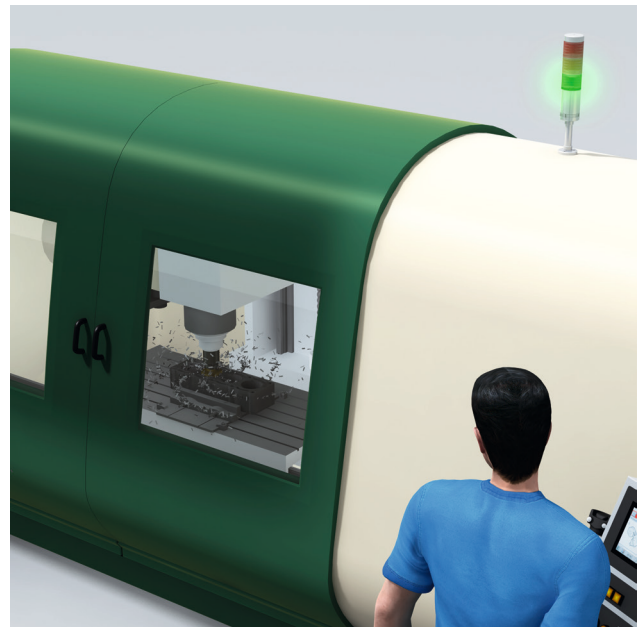


Abbildung 21: Zurückhalten der Späne in einer Bearbeitungsmaschine durch eine Schutzhaube

Stopp auslösen

Eine sicherheitsbezogene Stopp-Funktion soll bei Anforderung (z. B. Annäherung einer Person) die Maschine in den sicheren Zustand bringen. Um die Stoppzeit zu verringern, kann es sinnvoll sein, diese Stopp-Funktion gemäß der Stopp-Kategorie 1 (IEC 60204-1 „Stillsetzen“, Seite 37) auszuführen. Ggf. sind zusätzliche Sicherheitsfunktionen notwendig, um einen unerwarteten Wiederanlauf zu verhindern.

Beispiele:

- Öffnen einer Schutztür mit Verriegelungseinrichtung ohne Zuhaltung
- Unterbrechung des Lichtstrahls einer Sicherheitslichtschranke, die den Zugang absichert

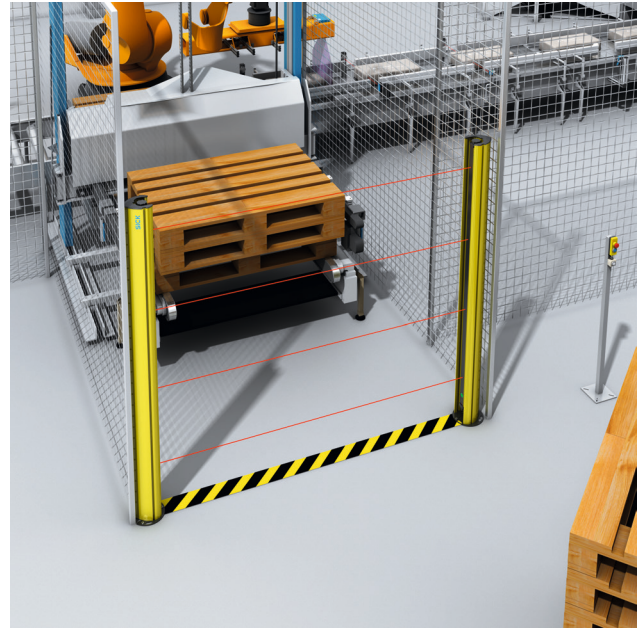


Abbildung 22: Stopp auslösen durch eine Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranke an einem Palettierer bei Annäherung einer Person

Unerwarteten Anlauf vermeiden

Nach dem Auslösen der Funktion „Stopp auslösen“ oder dem Einschalten der Maschine sollen bewusste Aktionen notwendig sein, um die Maschine in Gang zu setzen. Hierzu zählt das manuelle Rücksetzen einer Schutzeinrichtung zum Vorbereiten des Wiederanlaufs der Maschine (siehe auch Abschnitt „Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf“, Seite 115)

Beispiele:

- Rücksetzen eines Sicherheitslichtvorhangs (siehe Abbildung: blaue Taste "Reset")
- Rückstellen der Not-Halt-Einrichtung

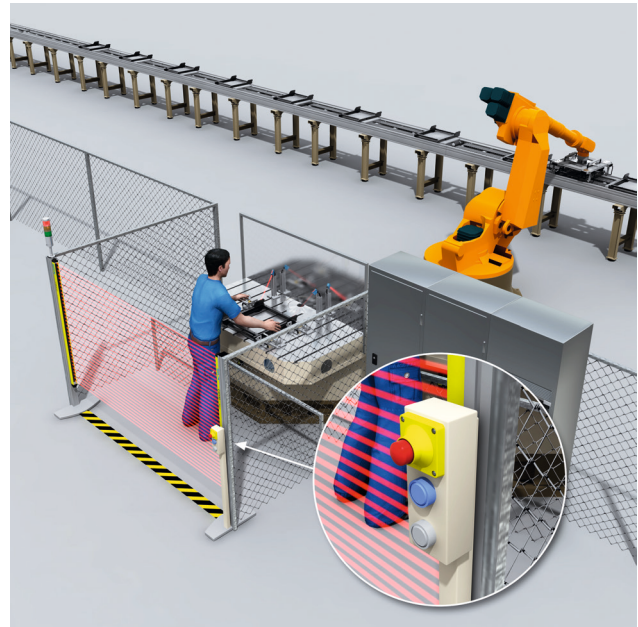


Abbildung 23: Vermeidung des unerwarteten Anlaufs durch bewusstes Rücksetzen des Sicherheitslichtvorhangs

Start verhindern

Nach der Funktion „Stopp auslösen“ soll ein Start oder Wiedereingangssetzen durch technische Maßnahmen verhindert werden, solange sich Personen im Gefahrenbereich befinden.

Beispiele:

- Anwendung eines Schlüsseltransfersystems: Die Wiederherstellung der Energieversorgung ist nur mit dem Transferschlüssel möglich. Der Transferschlüssel ist nur verfügbar, wenn der Zugang (bewegliche trennende Schutzeinrichtung) geschlossen und zugehalten ist.
- Erfassung im aktiven Schutzfeld eines horizontal angeordneten Sicherheitslichtvorhangs. Die Funktion „Stopp auslösen“ wird durch das vertikale Schutzfeld des Sicherheitslichtvorhangs realisiert.

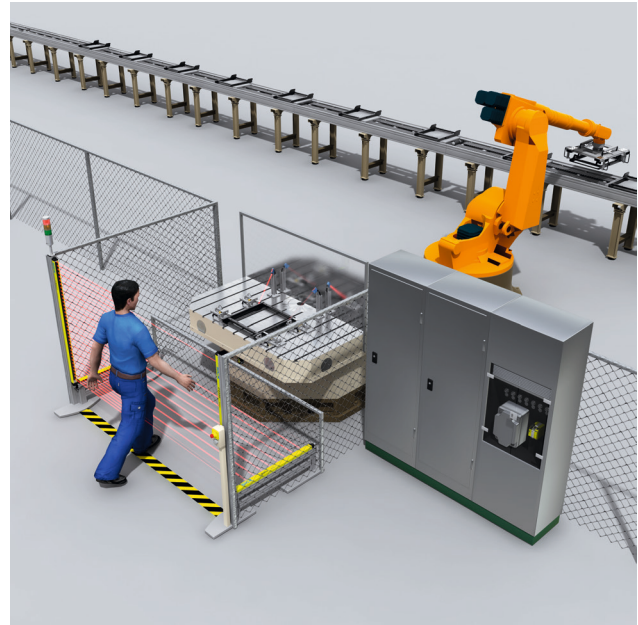


Abbildung 24: Start verhindern durch einen horizontalen Sicherheitslichtvorhang

Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern

Mit derselben Schutzeinrichtung, die den Stopp auslöst, wird ein erneuter Start verhindert, solange sich Personen oder Körperteile im Gefahrenbereich befinden.

Beispiele:

- eine Zweihandeinrichtung bei 1-Personen-Arbeitsplätzen
- Anwendung eines Sicherheitslichtvorhangs, sodass Hintertreten oder Umgreifen nicht möglich ist (Gefahrstellenabsicherung)
- Anwendung eines bereichsabsichernden Sicherheitslaserscanners



Abbildung 25: Stopp auslösen und Start verhindern durch einen Sicherheitslaserscanner (Gefahrenbereichsüberwachung)

Materialdurchfahrt ermöglichen

Um Materialien in oder aus Gefahrenbereichen zu fördern, werden spezifische Merkmale der zugeführten Materialien zur Materialerkennung oder zur automatischen Unterscheidung zwischen Material und Personen benutzt. Beim Materialtransport spricht die Schutz-einrichtung dann nicht an, Personen werden jedoch erkannt.

Beispiele:

- Durch geeignete Auswahl und Positionierung von Sensoren wird das Material erkannt und die Sicherheitsfunktion während der Durchfahrt des Materials zeitbegrenzt aufgehoben (Muting).
- Schutzfeldumschaltung eines Sicherheitslaserscanners
- Horizontale Lichtvorhänge mit integriertem Algorithmus zur **Mensch-Material-Unterscheidung**

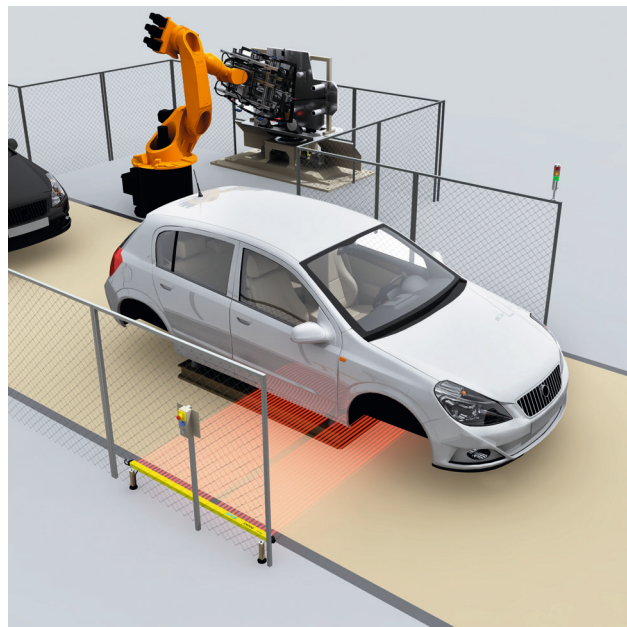


Abbildung 26: Zugangsüberwachung und Ermöglichung des Karosserie-Transfers durch einen horizontalen Sicherheitslichtvorhang mit integrierter Mensch-Material-Unterscheidung



HINWEIS

→ Ausführliche Erläuterungen siehe Abschnitt [siehe „Automatische Materialdurchfahrt mit BWS“, Seite 80.](#)

Maschinenparameter überwachen

In manchen Anwendungen ist es erforderlich, verschiedene Parameter der Maschine auf sicherheitsbezogene Grenzen zu überwachen. Bei Überschreiten eines Grenzwerts werden geeignete Maßnahmen eingeleitet (z. B. Stopp, Warnsignal).

Beispiele:

- Überwachung von Geschwindigkeit, Temperatur oder Druck
- Positionsüberwachung zur Kollisionsvermeidung

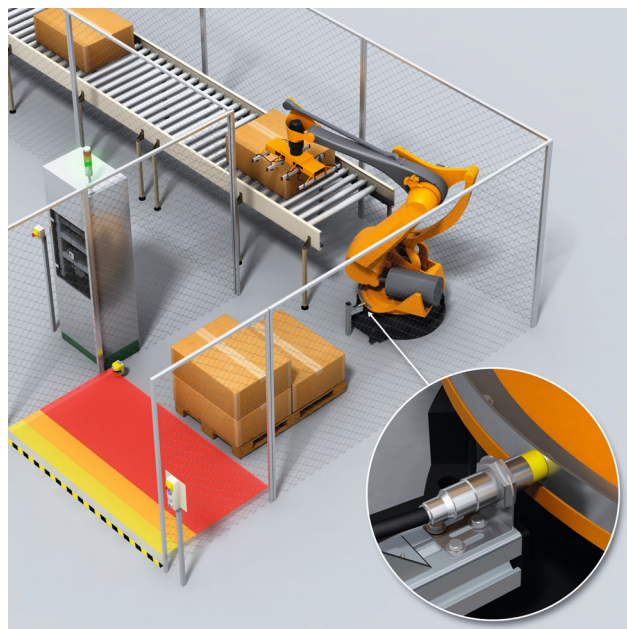


Abbildung 27: Überwachung der Roboterposition mit einem induktiven Näherungssensor

Absichern gemeinsamer Arbeitsbereiche von Mensch und Maschine

Wenn für den Betrieb einer Maschine ein Arbeitsraum benötigt wird, zu dem sowohl ein Werker als auch gefährbringende Teile der Maschine (z. B. ein Roboter) Zugang zu unterschiedlichen Zeiten benötigt, muss sichergestellt werden, dass der Kontakt bzw. eine Kollision vermieden wird.

Ggf. sind zusätzliche Sicherheitsfunktionen notwendig, um einen unerwarteten Wiederanlauf zu verhindern.

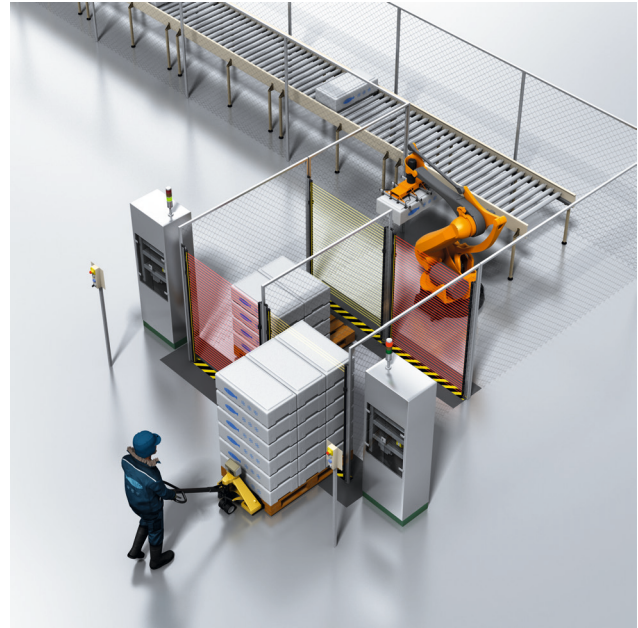


Abbildung 28: Absichern eines gemeinsamen Arbeitsbereiches von Mensch und Roboter mit Sicherheitslichtvorhängen

Sicherheitsfunktionen manuell und zeitlich begrenzt aufheben

Ist bei Einrichtarbeiten oder zur Prozessbeobachtung ein Betrieb der Maschine bei aufgehobener Schutzwirkung der Schutzvorrichtungen erforderlich, soll eine entsprechende Betriebsart vorgesehen werden, die folgende Anforderungen erfüllt:

- Betriebsart wird nur bei entsprechender Stellung eines Betriebsartenwahlschalters aktiviert.
- Betriebsart sperrt alle anderen Steuerungs- und Betriebsarten der Maschine.
- Betriebsart lässt keine Maschinenbewegungen aufgrund direkter oder indirekter Einwirkung auf Sensoren oder Befehlsverkettungen zu.
- Betriebsart ermöglicht gefährliche Maschinenfunktionen nur bei kontinuierlicher Betätigung von Befehlseinrichtungen (z. B. Zustimmungstaster) und vermindertem Risiko (z. B. Begrenzung von Geschwindigkeit, Bewegungsweg, Funktionsdauer).



Abbildung 29: Sicheres Wechseln der Folienrolle an einer Folienwickelmaschine bei geöffneter Schutztür durch die Kombination von Zustimmungstaster und sicher reduzierter Geschwindigkeit

Sicherheitsfunktionen kombinieren oder wechseln

Eine Maschine kann verschiedene Zustände einnehmen oder in verschiedenen Betriebsarten arbeiten. Hierbei können unterschiedliche Sicherheitsmaßnahmen wirken oder verschiedene Sicherheitsfunktionen miteinander gekoppelt sein. Eine Umschaltung von Betriebsarten oder die Auswahl und Anpassung verschiedener Sicherheitsmaßnahmen darf nicht zu einem Gefahr bringenden Zustand führen. Für das Kombinieren oder Wechseln von Sicherheitsfunktionen muss ebenfalls ein entsprechendes Sicherheitsniveau bestimmt und realisiert werden.

Beispiele:

- Nach einem Betriebsartenwechsel zwischen Einricht- und Normalbetrieb wird die Maschine angehalten. Ein erneuter manueller Startbefehl ist erforderlich.
- Anpassung des Überwachungsbereichs eines Sicherheitslaserscanners an die Fahrzeuggeschwindigkeit



Abbildung 30: Anpassung des Überwachungsbereichs eines Sicherheitslaserscanners an die Fahrzeuggeschwindigkeit

Stillsetzen im Notfall

Stillsetzen im Notfall (Not-Halt) ist eine ergänzende Schutzmaßnahme und keine Schutzeinrichtung.

Abhängig von der Risikobeurteilung der Maschine ist das erforderliche Sicherheitsniveau dieser Funktion festzulegen. Insbesondere müssen Umwelteinflüsse (z. B. Vibrationen, Betätigungsart etc.) berücksichtigt werden (siehe auch Abschnitt „[Handlungen im Notfall](#)“, Seite 93).



Abbildung 31: Stillsetzen im Notfall durch einen Not-Halt-Taster



HINWEIS

→ Siehe IEC 60204-1 und ISO 13850

Sicherheitsrelevante Anzeigen und Alarme

Sicherheitsrelevante Anzeigen sind Maßnahmen zur Benutzerinformation, die vor drohenden Gefährdungen (z. B. Überdrehzahl) oder möglichen Restrisiken warnen. Derartige Signale können auch dazu verwendet werden, um Bedienpersonen zu warnen, bevor automatische Schutzmaßnahmen ausgelöst werden.

Folgendes ist zu beachten:

- Warneinrichtungen müssen so konstruiert und angeordnet sein, dass die Überprüfung leicht durchführbar ist.
- Die Benutzerinformation muss die regelmäßige Überprüfung von Warneinrichtungen vorschreiben.
- Reizüberflutung sollte vermieden werden, insbesondere bei akustischen Alarmen.

Beispiele:

- Verriegelungsanzeigen
- Anlaufwarneinrichtungen
- Muting-Leuchten

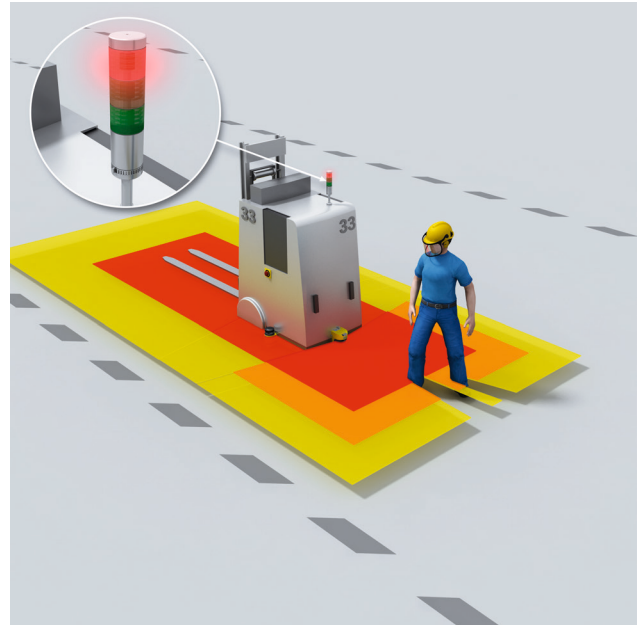


Abbildung 32: Sicherheitsrelevante Anzeige an einem selbstfahrenden Gabelstapler

Weitere Funktionen

Sicherheitstechnische Einrichtungen können noch weitere Funktionen ausführen. Dabei dürfen die eigentlichen Sicherheitsfunktionen nicht beeinträchtigt werden.

Beispiele:

- Werkzeug- bzw. Maschinenschutz
- Taktbetrieb (Zyklusauslösung - siehe „Zusätzliche Funktionen von BWS“, Seite 83 ff)
- Verwendung der Messdaten eines Sicherheitslaserscanners zur Navigation eines fahrerlosen Fahrzeugs

Zusammenfassung: Festlegen der Sicherheitsfunktionen

Legen Sie fest, welche Sicherheitsfunktionen zur Risikominderung erforderlich sind:

- Zugang bzw. Zugriff dauerhaft verhindern
- Zugang zeitweise verhindern
- Teile, Stoffe, Strahlungen zurückhalten
- Stopp auslösen
- Start verhindern
- Unerwarteten Anlauf vermeiden
- Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern
- Mensch von Material unterscheiden
- Maschinenparameter überwachen
- Sicherheitsfunktionen manuell und zeitlich begrenzt aufheben
- Sicherheitsfunktionen kombinieren oder wechseln

3b – Bestimmen des erforderlichen Sicherheitsniveaus

In der Regel wird in Typ-C-Normen (maschinen-spezifische Normen) das erforderliche Sicherheitsniveau vorgegeben.

Das erforderliche Sicherheitsniveau ist für jede Sicherheitsfunktion einzeln festzulegen und gilt dann für alle beteiligten Geräte, wie z. B. für ...

- den Sensor bzw. die Schutzeinrichtung
- die auswertende Logikeinheit
- das oder die leistungssteuernde(n) Element(e)

Wenn keine Typ-C-Norm für die entsprechende Maschine vorhanden ist oder in der Typ-C-Norm diesbezüglich keine Vorgaben existieren, kann das erforderliche Sicherheitsniveau nach einer der folgenden Normen ermittelt werden:



HINWEIS

→ ISO 13849-1

→ IEC 62061

Durch die Anwendung der Normen wird sichergestellt, dass der Aufwand für die Realisierung der Risikominderung in einem angemessenen Verhältnis zum festgestellten Risiko steht. Der Schutz eines Bedieners, der mit der Hand Teile in eine Metallpresse einlegt bzw. daraus entnimmt, verlangt eine andere Risikominderung als der Schutz eines Bedieners, der an einer Maschine arbeitet, bei der das maximale Risiko im Einklemmen eines Fingers besteht. Sicherheitsfunktionen sind für jede Lebensphase und Gefährdung einzeln festzulegen, da ein und dieselbe Maschine in verschiedenen Lebensphasen verschiedene Gefahrstellen mit unterschiedlichen Risiken besitzen kann.

Auf folgenden Parametern basiert die Risikobewertung:

- die Schwere der möglichen Verletzung/Gesundheitsschädigung
- die Häufigkeit und/oder die Dauer der Gefahrenexposition
- die Möglichkeit der Gefahrvermeidung

Durch die Kombination dieser Parameter kann das erforderliche Sicherheitsniveau bestimmt werden. Für diese Bestimmung enthalten manche Normen entsprechende Verfahren. Die Risikobeurteilung startet immer ohne Berücksichtigung von Risikominderungsmaßnahmen.

Erforderlicher Performance Level (PLr) gemäß ISO 13849-1

Diese Norm verwendet zur Bestimmung des erforderlichen Sicherheitsniveaus einen Risikographen. Für die Bestimmung der Risikohöhe werden die Parameter S, F und P verwendet.

Das Ergebnis des Verfahrens ist ein „erforderlicher Performance Level“ (PLr: required Performance Level).

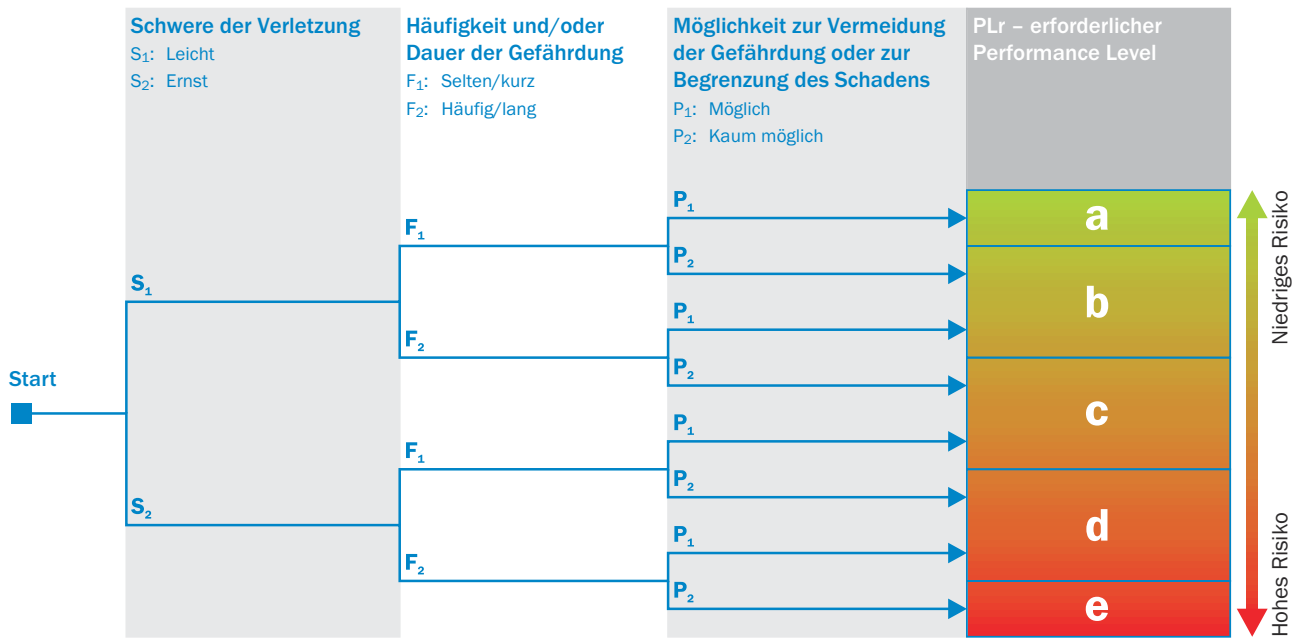


Abbildung 33: Risikograph nach ISO 13849-1

Der Performance Level ist in fünf diskreten Stufen definiert. Der Performance Level hängt ab von der Struktur des Steuerungssystems, der Zuverlässigkeit der verwendeten Bauteile, der Fähigkeit zur Fehlererkennung, sowie der Widerstandsfähigkeit gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache in mehrkanaligen Steuerungen (siehe Abschnitt „Sicherheitstechnische Aspekte für Teilsysteme“, Seite 57). Zusätzlich sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Designfehlern gefordert.

Wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsereignisses als niedrig bewertet werden kann, darf der PLr um einen Level verringert werden. Dieses Verfahren ist im Anhang A der Norm beschrieben. Dieser Anhang ist informativ und nicht normativ. Daher ist die Anwendung des dort beschriebenen Verfahrens nicht erforderlich um die Anforderungen der Norm vollständig zu erfüllen.

Alternativ kann auch die SCRAM-Methode von SICK verwendet werden. Der Vorteil ist die universelle Anwendbarkeit und die feinere Granularität der Entscheidungsparameter siehe „Skalierbare Methode der Risikoanalyse und -bewertung (SCRAM)“, Seite 25.

Erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel (SIL) gemäß IEC 62061

Das hier verwendete Verfahren ist ein numerisches Verfahren. Es werden das Schadensausmaß, die Häufigkeit bzw. Aufenthaltsdauer im Gefahrenbereich und die Möglichkeit zur Vermeidung bewertet. Zusätzlich wird die Eintrittswahrscheinlichkeit des Gefährdungsereignisses berücksichtigt. Das Ergebnis ist der erforderliche Sicherheits-Integritätslevel (SIL).

Tabelle 16: Erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel in Abhängigkeit von den Auswirkungen der Gefährdung nach IEC 62061

Auswirkungen	Schadensausmaß S	Klasse K = F + W + P				
		4	5-7	8-10	11-13	14-15
Tod, Verlust von Auge oder Arm	4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
Permanent, Verlust von Fingern	3			SIL1	SIL2	SIL3
Reversibel, medizinische Behandlung	2				SIL1	SIL2
Reversibel, Erste Hilfe	1					SIL1

Tabelle 17: Einflußgrößen zur SIL-Festsetzung nach IEC 62061

Häufigkeit ¹⁾ des Gefährdungsereignisses F		Eintrittswahrscheinlichkeit des Gefährdungsereignisses W		Möglichkeit zur Vermeidung des Gefährdungsereignisses P	
F \geq 1 \times pro Stunde	5	Häufig	5		
1 \times pro Stunde > F \geq 1 \times pro Tag	5	Wahrscheinlich	4		
1 \times pro Tag > F \geq 1 \times in 2 Wochen	4	Möglich	3	Unmöglich	5
1 \times in 2 Wochen > F \geq 1 \times pro Jahr	3	Selten	2	Möglich	3
1 \times pro Jahr > F	2	Vernachlässigbar	1	Wahrscheinlich	1

1) Gilt für Aufenthalte von mehr als 10 Minuten Dauer

Die SIL-Festsetzung wird wie folgt vorgenommen:

- Schadensausmaß S festlegen.
- Werte für Häufigkeit F, Wahrscheinlichkeit W und Vermeidung P bestimmen.
- Klasse K aus der Summe F + W + P berechnen.
- Geforderter SIL ist der Schnittpunkt aus Zeile „Schadensausmaß S“ und Spalte „Klasse K“

Der SIL ist in drei diskreten Stufen definiert. Der realisierte SIL hängt ab von der Struktur des Steuerungssystems, der Zuverlässigkeit der verwendeten Bauteile, der Fähigkeit Fehler zu erkennen, sowie der Widerstandsfähigkeit gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache in mehrkanaligen Steuerungen. Zusätzlich sind weitere Maßnahmen zur Vermeidung von Designfehlern gefordert (siehe „Sicherheitstechnische Aspekte für Teilsysteme“, Seite 57).

Zusammenfassung: Bestimmen des erforderlichen Sicherheitsniveaus

Allgemein

- Legen Sie das erforderliche Sicherheitsniveau für jede Sicherheitsfunktion fest.
- Die Parameter „Schwere der möglichen Verletzung“, „Häufigkeit und Dauer der Gefahrexposition“ und „Möglichkeit zur Gefahrvermeidung“ bestimmen das erforderliche Sicherheitsniveau.

Verwendbare Normen

- Die ISO 13849-1 verwendet zur Bestimmung des erforderlichen Sicherheitsniveaus einen Risikographen. Das Ergebnis des Verfahrens ist ein „erforderlicher Performance Level“ (PLr).
- Die ISO 13849-1 ist auch für Hydraulik, Pneumatik und Mechanik anwendbar.
- Die IEC 62061 verwendet zur Bestimmung des erforderlichen Sicherheitsniveaus ein numerisches Verfahren. Das Ergebnis ist ein erforderlicher Sicherheits-Integritätslevel (SIL).

3c – Entwerfen der Sicherheitsfunktion

Die Schritte 3c und 3d beschreiben Entwurf und Verifizierung der Sicherheitsfunktionen. Diese Schritte sind in einem iterativen Prozess gegebenenfalls mehrmals zu durchlaufen.

Der Schritt 3c umfasst das Erstellen des Sicherheitskonzepts, die Auswahl der Schutzeinrichtungen, die Integration in die Steuerung und die Verifizierung der Sicherheitsfunktion.

HINWEIS
Hierbei ist immer wieder zu überprüfen, ob die Auswahl der Technologie genügend Sicherheit bietet und auch technisch zu realisieren ist oder ob durch den Einsatz einer bestimmten Technologie andere oder zusätzliche Risiken entstehen.

Sicherheitskonzept

Entwickeln Sie ein Konzept für die erforderlichen Sicherheitsfunktionen.

Eine Maschine oder Anlage besteht aus verschiedenen Komponenten, die zusammenwirken und die Funktion einer Maschine oder Anlage sicherstellen.

Hierbei sind Komponenten, die reine Betriebsaufgaben übernehmen, zu unterscheiden von solchen, die sicherheitstechnische Funktionen übernehmen.

HINWEIS
→ Details hierzu: IFA-Report 2/2017, „Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen“ unter www.dguv.de/ifa/publikationen

Funktionaler Aufbau einer Maschinensteuerung

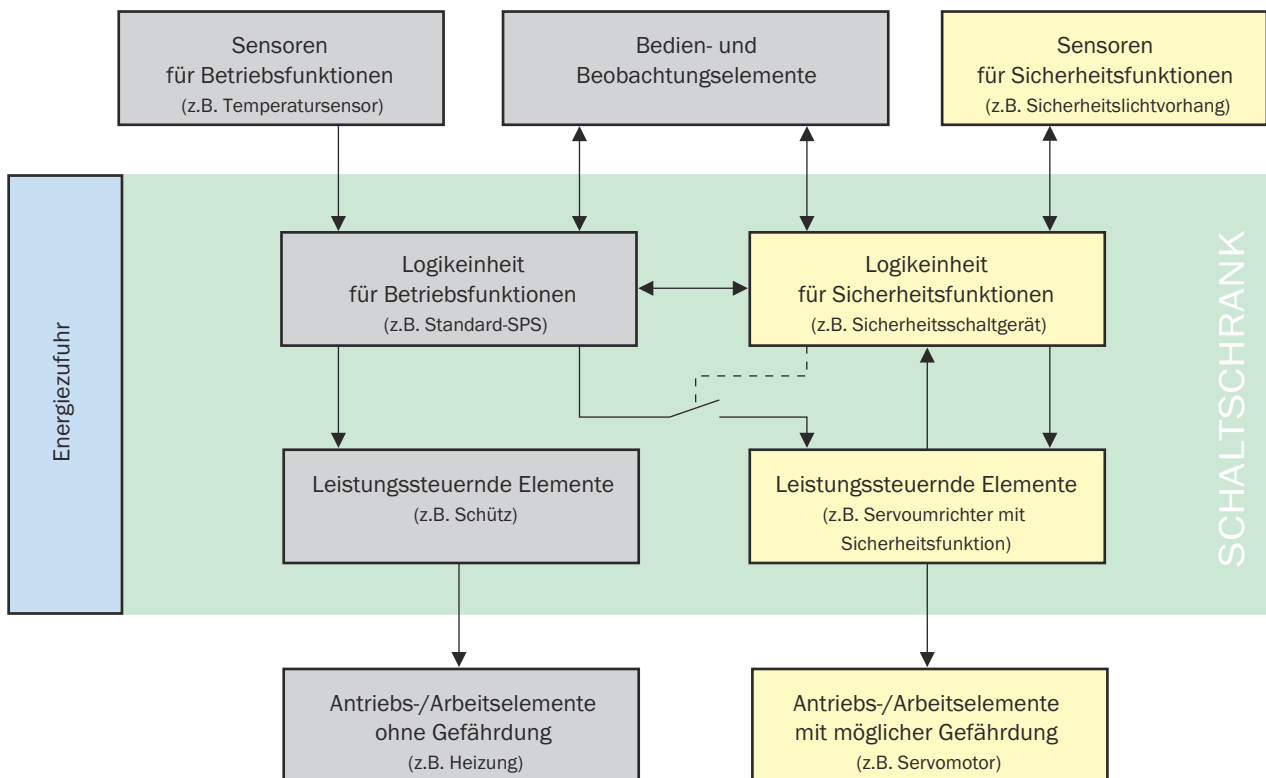


Abbildung 34: Funktionaler Aufbau einer Maschinensteuerung

Entsprechend den Sicherheitsfunktionen und dem erforderlichen Sicherheitsniveau sind die sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen auszuwählen, wie z. B. Sensoren, Logikeinheiten, leistungssteuernde Elemente sowie Antriebs- und Arbeitselemente. Diese Auswahl erfolgt in der Regel bei der Erstellung eines Sicherheitskonzepts.

Eine Sicherheitsfunktion kann durch eine oder mehrere sicherheitsbezogene Komponenten realisiert sein. Mehrere Sicherheitsfunktionen können sich eine oder mehrere Komponenten teilen. Steuerungen sind so zu gestalten, dass Gefährdungssituationen vermieden werden. Das Ingangsetzen einer Maschine darf nur durch absichtliches Betätigen einer hierfür vorgesehenen Befehlseinrichtung möglich sein.

Wenn vom Wiederanlauf der Maschine eine Gefährdung ausgeht, dann muss der Wiederanlauf beim Einschalten der Versorgungsspannung technisch ausgeschlossen werden.

Wenn vom Wiederanlauf keine Gefährdung ausgeht, dann darf der Wiederanlauf ohne Bedieneringriff (automatisch) erfolgen.

Teilsysteme des sicherheitsgerichteten Teils einer Maschinensteuerung

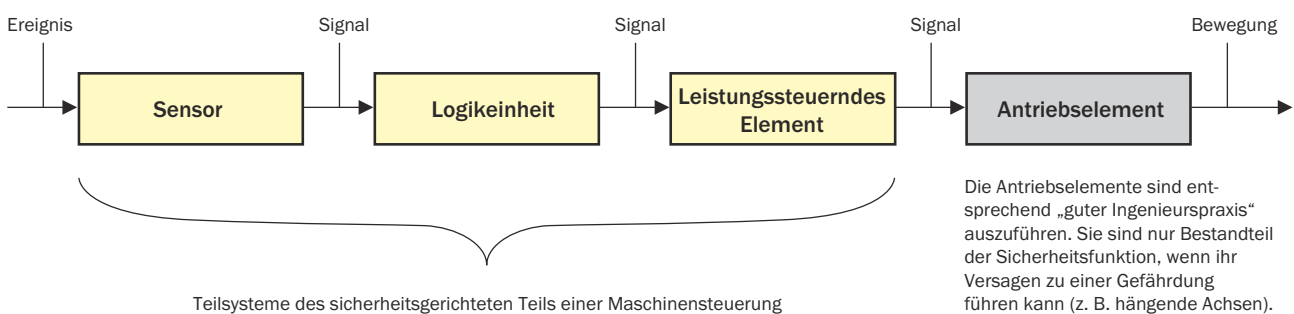


Abbildung 35: Teilsysteme einer Maschinensteuerung

Entscheidungsmerkmale

Folgende Merkmale sind bei der Erstellung des Sicherheitskonzepts zu berücksichtigen:

- Merkmale der Maschine
- Merkmale der Umgebung
- Menschliche Eigenschaften
- Merkmale des Designs
- Merkmale von Schutzeinrichtungen (siehe „Technologie, Auswahl und Anwendung von Schutzeinrichtungen“, Seite 61)

Abhängig von diesen Merkmalen muss festgelegt werden, welche Schutzeinrichtungen wie zu integrieren sind.

Merkmale der Maschine

Folgende Merkmale der Maschine sollten berücksichtigt werden:

- Fähigkeit, die Gefahr bringende Bewegung zu jedem Zeitpunkt zu stoppen (wenn nicht möglich, trennende oder abweisende Schutzeinrichtungen anwenden)
- Fähigkeit, die Gefahr bringende Bewegung ohne zusätzliche Gefährdungen anzuhalten (wenn nicht möglich, andere Konstruktion bzw. Schutzeinrichtung wählen)
- Möglichkeit der Gefährdung durch herausgeschleuderte Teile (wenn ja: trennende Schutzeinrichtungen verwenden)
- Stoppzeiten (die Kenntnis der Stoppzeiten ist erforderlich, um die Wirkung der Schutzeinrichtung sicherzustellen)
- Möglichkeit der Überwachung von Stoppzeit bzw. Nachlaufweg (dies ist erforderlich, wenn durch Alterung bzw. Verschleiß Veränderungen auftreten können)

Merkmale der Umgebung

Folgende Merkmale der Umgebung sollten berücksichtigt werden:

- elektromagnetische Störungen, Störstrahlung
- Vibration, Schock
- Fremdlicht, Störlicht von Sensoren, Schweißfunken
- spiegelnde Flächen
- Verschmutzung (Nebel, Späne)
- Temperaturbereich
- Feuchtigkeit, Witterung

Menschliche Eigenschaften

Folgende menschliche Eigenschaften sollten berücksichtigt werden:

- voraussichtliche Qualifikation des Bedieners der Maschine
- voraussichtlicher Personenverkehr
- Annäherungsgeschwindigkeit (K)
- Möglichkeiten des Umgehens der Schutzeinrichtungen
- vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung

Merkmale des Designs

Grundsätzlich ist es ratsam, Sicherheitsfunktionen mit zertifizierten Sicherheitskomponenten zu realisieren. Hierdurch werden der Designprozess und die nachfolgende Verifizierung vereinfacht. Eine Sicherheitsfunktion wird durch mehrere Teilsysteme ausgeführt.

Häufig ist es nicht möglich, ein Teilsystem nur mit zertifizierten Sicherheitskomponenten zu realisieren, die das Sicherheitsniveau (PL/SIL) bereits angeben. Vielmehr muss es dann aus mehreren diskreten Elementen zusammengesetzt werden. In diesem Fall ist das Sicherheitsniveau abhängig von verschiedenen sicherheitstechnischen Aspekten, [siehe „Sicherheitstechnische Aspekte für Teilsysteme“, Seite 57.](#)

Sicherheitstechnische Aspekte für Teilsysteme

Das Sicherheitsniveau eines Teilsystems ist abhängig von verschiedenen sicherheitstechnischen Aspekten, wie:

- Struktur
- Zuverlässigkeit der Komponenten bzw. Geräte
- Diagnose zur Fehlererkennung
- Resistenz gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursachen
- Prozess

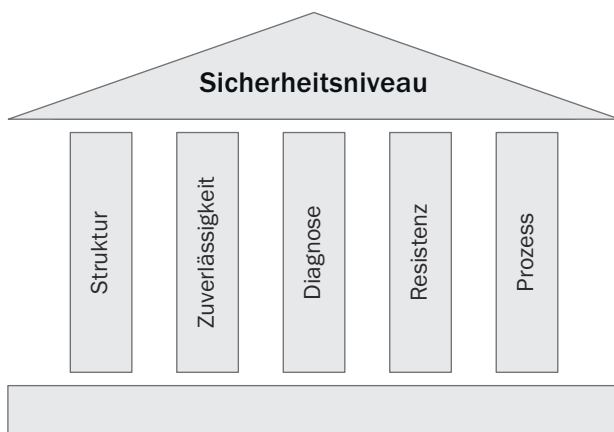


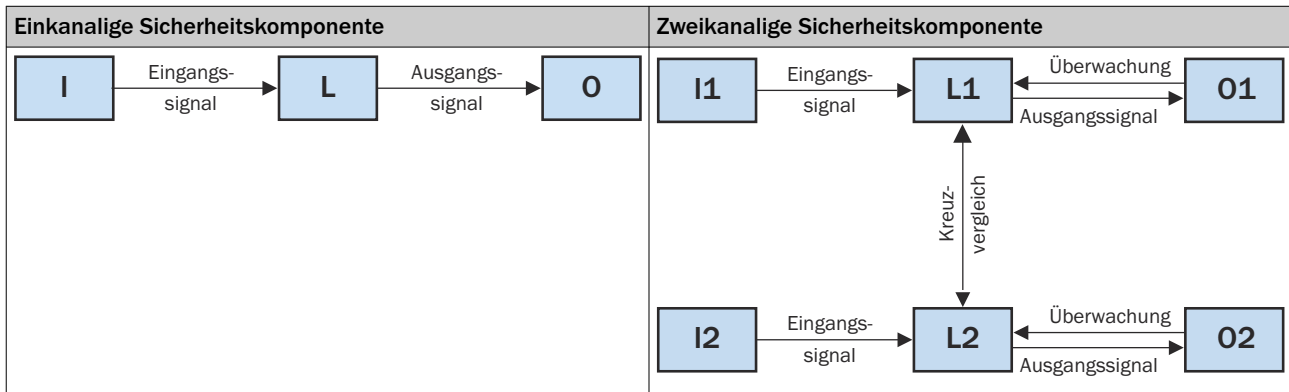
Abbildung 36: Aspekte zur Bestimmung des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems

Struktur

Um die Fehleranfälligkeit einer Sicherheitskomponente durch eine bessere Struktur zu reduzieren, können die sicherheitstechnischen Funktionen von mehreren Kanälen parallel ausgeführt werden. Im Bereich der Maschinensicherheit sind zweikanalige Sicherheitskomponenten üblich (siehe nachfolgende Abbildung). Jeder Kanal kann

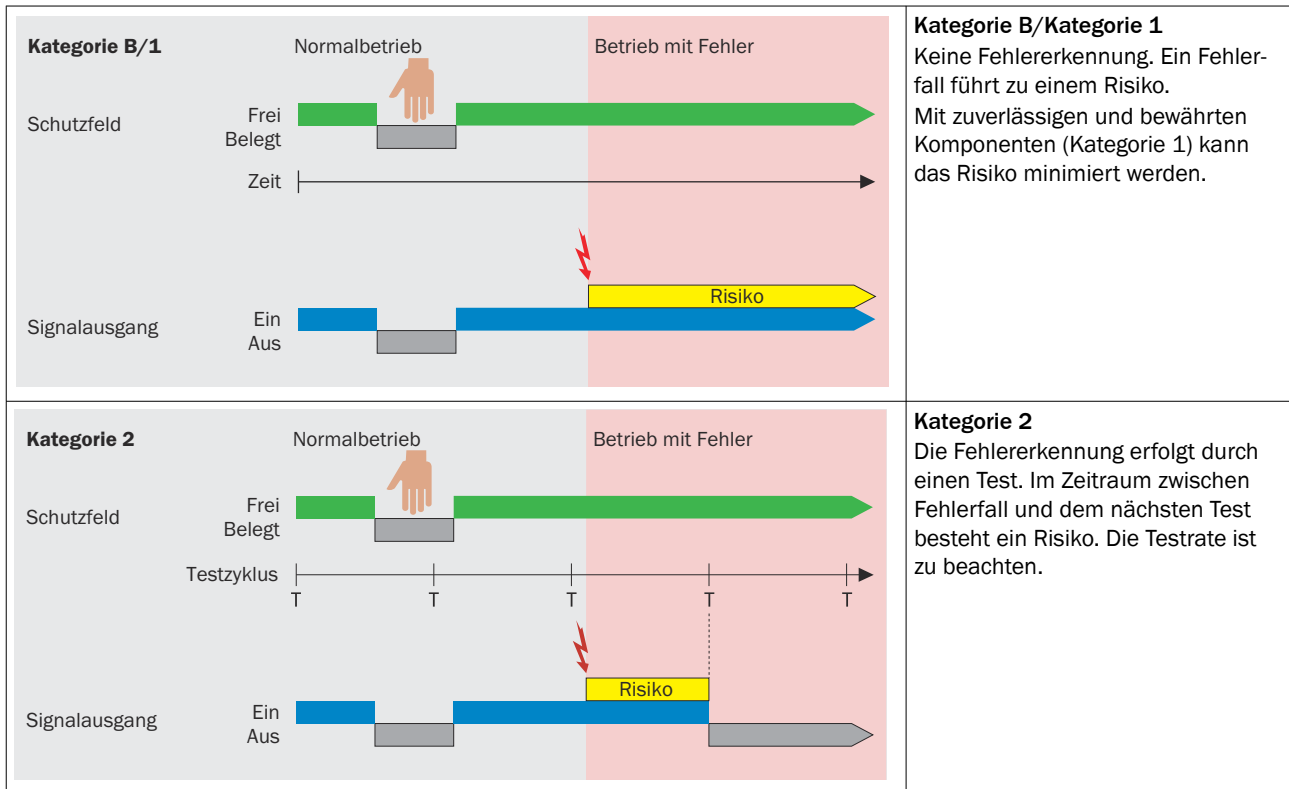
den Gefahr bringenden Zustand stoppen. Die zwei Kanäle können auch diversitär aufgebaut sein (z. B. wird ein Kanal durch elektromechanische Komponenten abgebildet, der andere durch reine Elektronik). Anstelle eines zweiten gleichwertigen Kanals kann dieser auch eine reine Überwachungsfunktion haben.

Tabelle 18: Struktur von einkanaligen und zweikanaligen Sicherheitskomponenten

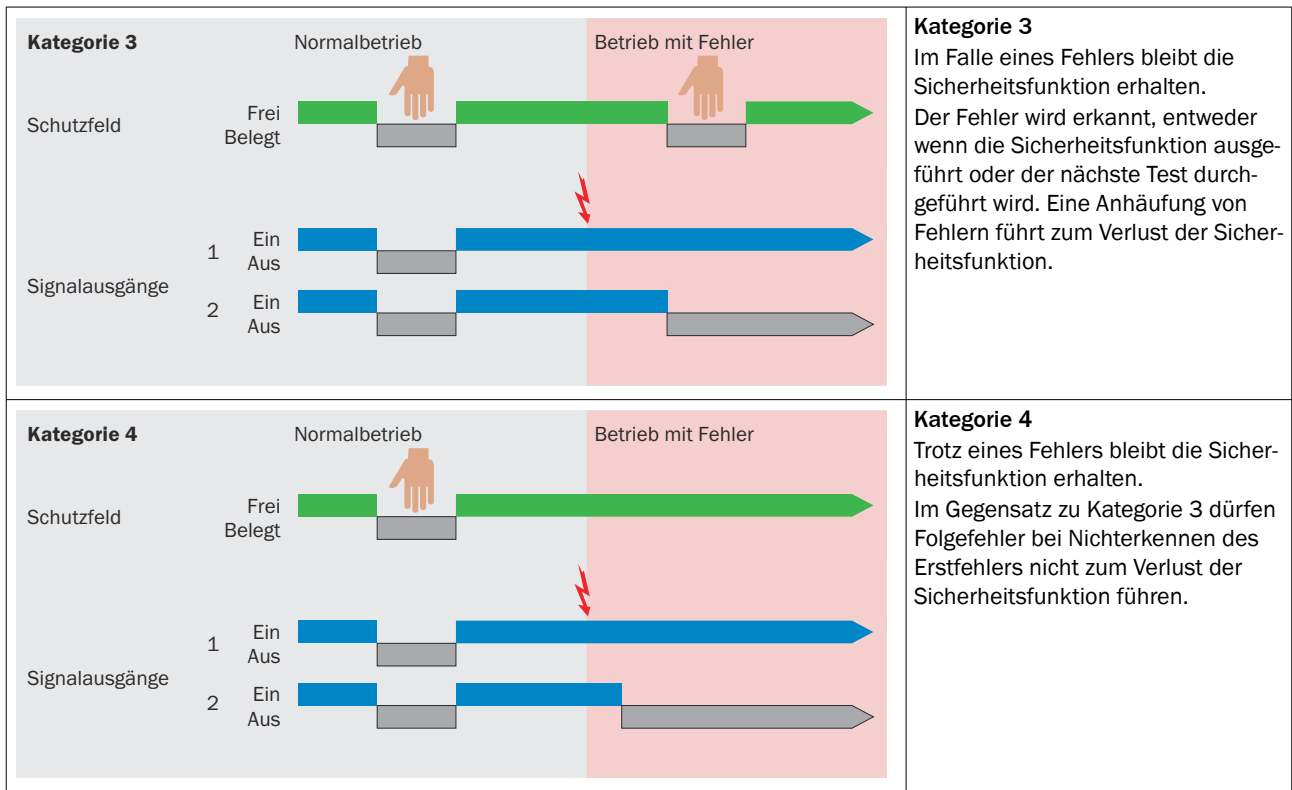


Die Struktur wird in der Norm ISO 13849-1¹⁾ durch die nachfolgend dargestellten Kategorien beschrieben.

Tabelle 19: Kategorien nach ISO 13849-1 mit Beschreibung



1) Bemerkung: Eine Sicherheitsfunktion ist definiert als Funktion, deren Versagen zu einer unmittelbaren Erhöhung des Risikos führen kann.



Zuverlässigkeit der Sicherheitskomponenten bzw. -geräte

Der Ausfall von Sicherheitskomponenten bzw. -geräten führt zu Störungen im Produktionsablauf. Diese Komponenten sollten deshalb ein hohes Maß an Zuverlässigkeit bieten. Mit steigender Zuverlässigkeit wird ein Gefahr bringender Ausfall immer unwahrscheinlicher. Die Angaben für die Zuverlässigkeit beschreiben die Anzahl zufälliger Ausfälle innerhalb der Lebensdauer der Komponenten. Diese Werte werden üblicherweise angegeben:

- **B₁₀-Wert** für elektromechanische oder pneumatische Komponenten. Hier hängt die Lebensdauer von der Schalthäufigkeit ab. Der **B₁₀-Wert** gibt die Anzahl der Schaltzyklen an, nach der 10 % der Komponenten ausgefallen sind.
- **Ausfallrate λ** (Lambdawert) für elektronische Komponenten. Die Ausfallrate wird oft in FIT (Failures In Time) angegeben. Ein FIT ist dabei ein Ausfall je 10⁹ Stunden.

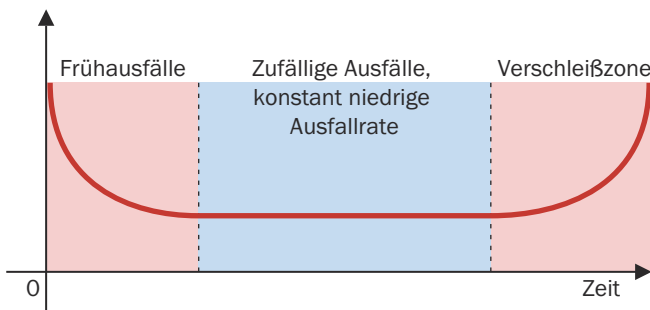


Abbildung 37: Ausfallrate λ (Badewannenkurve)

Diagnose zur Fehlererkennung

Einige Fehler können durch Diagnosemaßnahmen aufgedeckt werden. Diagnosemaßnahmen sind z. B. die gegenseitige Überwachung, Strom- und Spannungsüberwachung, Watchdog-Funktionalitäten, kurzzeitiger Funktionstest.

Nicht alle Fehler lassen sich aufdecken, daher ist das Maß der Fehlererkennung zu bestimmen. Hierzu kann eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA = Failure Mode Effects Analysis) durchgeführt werden. Für komplexe Designs helfen Maßnahmen und Erfahrungswerte aus Normen.

Resistenz gegen Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache

Von Fehlern aufgrund gemeinsamer Ursache spricht man, wenn zum Beispiel durch eine Störbeeinflussung beide Kanäle gleichzeitig ausfallen.

Dagegen sind entsprechende Maßnahmen zu treffen, z. B. getrennte Leitungsführung, Schutzbeschaltungen, Diversität von Bauteilen.

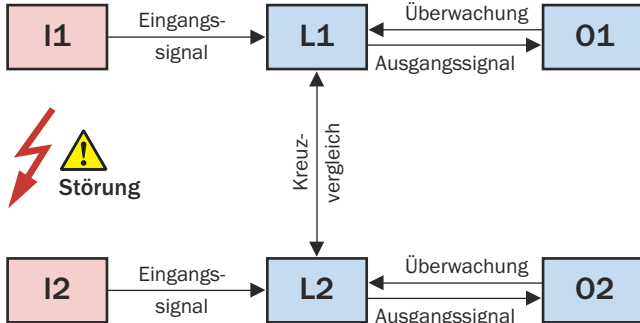


Abbildung 38: Struktur einer zweikanaligen Sicherheitskomponente mit Störung

Prozess

Der Prozess fasst folgende beeinflussende Elemente zusammen:

- Organisation und Kompetenz
- Designregeln (z. B. Spezifikationsvorlagen, Codierungsrichtlinien)
- Prüfkonzept und Prüfkriterien
- Dokumentation und Konfigurationsmanagement

Im Bereich der Sicherheitstechnik hat sich insbesondere für Software ein Prozess nach dem V-Modell bewährt (siehe Abbildung).

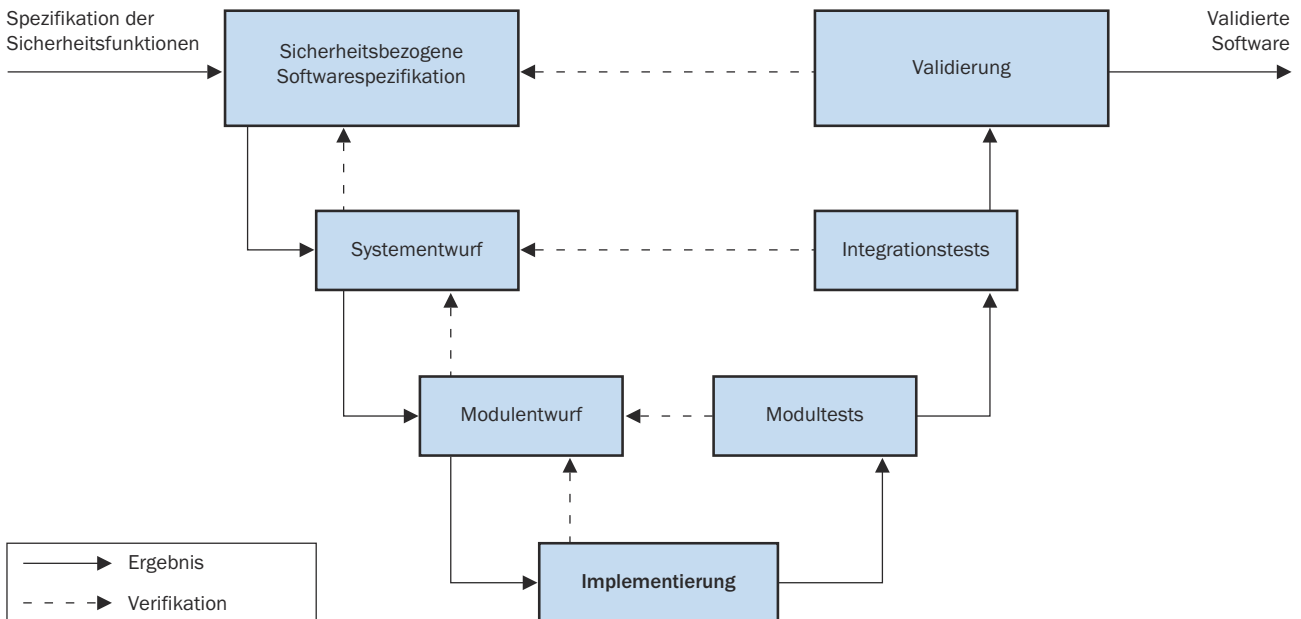
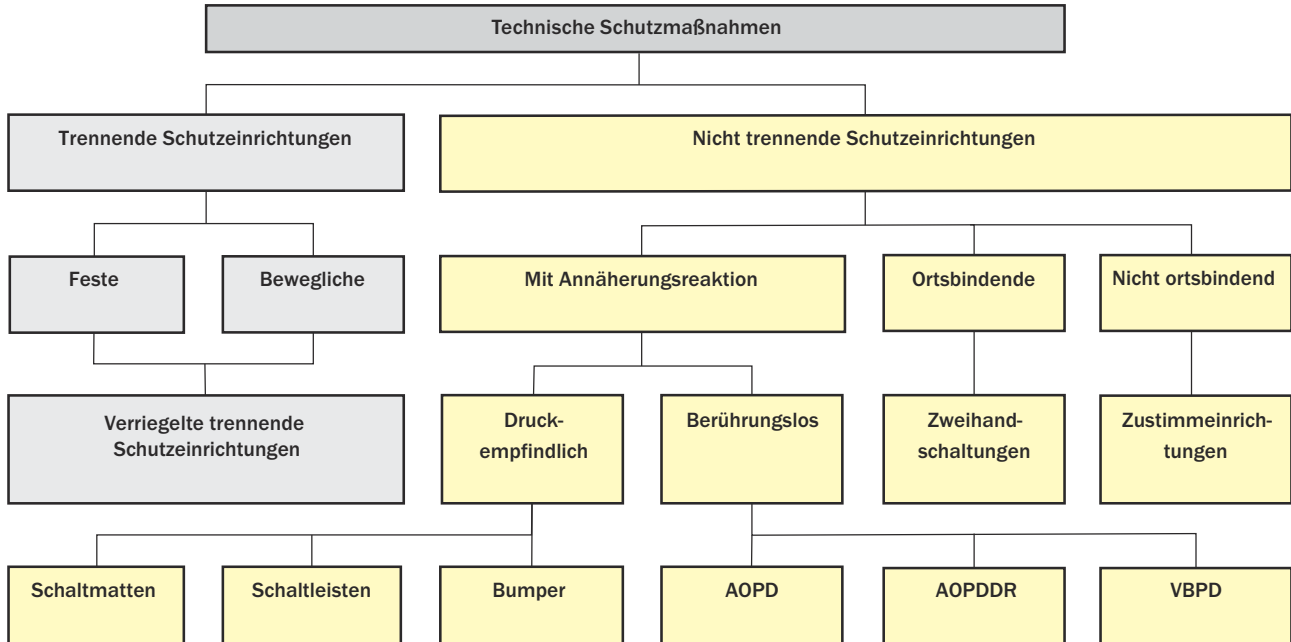


Abbildung 39: V-Modell mit dem Entwicklungs- und Prüfkonzept für sicherheitsrelevante Software

Technologie, Auswahl und Anwendung von Schutzeinrichtungen



AOPD active opto-electronic protective device, Sicherheitslichtvorhänge und Sicherheitslichtschranken
AOPDDR active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection, Sicherheitslaserscanner
VBPD vision based protective device, Kamerabasierte Schutzeinrichtungen

Abbildung 40: Technologie, Auswahl und Anwendung von Schutzmaßnahmen

Trennende Schutzeinrichtungen

Trennende Schutzeinrichtungen sind mechanische Schutzeinrichtungen, die verhindern, dass Gefahrstellen direkt mit Körperteilen erreicht werden können. Sie können fest oder beweglich ausgeführt sein. Trennende Schutzvorrichtungen sind z. B. Abdeckungen, Zäune, Barrieren, Klappen und Schutztüren. Abdeckungen und Verdecke verhindern den Zugriff von allen Seiten. Schutzgitter werden in der Regel verwendet, um den Ganzkörperzugang zu verhindern. Im Gegensatz dazu können Absperrungen lediglich den ungewollten oder unbewussten Zugang zu Gefahrstellen vermeiden.

Die Sicherheitsfunktion ist wesentlich für die Ausgestaltung trennender Schutzvorrichtungen. Muss die trennende Schutzvorrichtung z. B. nur den Zugang verhindern, und/oder auch Teile und Strahlungen zurückhalten?

Beispiele für herausgeschleuderte Teile:

- brechende/berstende Werkzeuge (Schleifscheiben, Bohrer)
- auftretende Stoffe (Staub, Späne, Splitter, Partikel)
- austretende Stoffe (Hydrauliköl, Druckluft, Schmiermittel, Werkstoffe)
- geschleuderte Teile nach dem Versagen eines Greif- oder Handhabungssystems

Beispiele für auftretende Strahlungen:

- Wärmestrahlung des Prozesses oder der Produkte (heiße Oberflächen)
- optische Strahlungen von Laserlicht, IR- oder UV-Quellen
- Teilchen- oder Ionenstrahlung
- starke elektromagnetische Felder, Hochfrequenzeinrichtungen
- Hochspannung von Prüfsystemen oder Systemen zur Ableitung elektrostatischer Aufladungen (Papier- und Kunststoffbahnen)



HINWEIS

Um Strahlung oder Stoffe zurückzuhalten, müssen die mechanischen Anforderungen an die trennenden Schutzeinrichtungen in der Regel höher sein als bei trennenden Schutzeinrichtungen zur Vermeidung des Zugangs von Personen.

Die Beschädigung (Bruch oder Deformation) einer trennenden Schutzeinrichtung wird in Fällen erlaubt, in denen die Risikobeurteilung ergibt, dass dadurch keine weiteren Gefährdungen auftreten.

Grundanforderungen an trennende Schutzeinrichtungen

- Damit Schutzeinrichtungen den zu erwartenden betriebsmäßigen Beanspruchungen der Umgebung standhalten, müssen sie ausreichend fest und haltbar ausgelegt sein. Die Eigenschaften von trennenden Schutzeinrichtungen müssen während der gesamten Nutzungsdauer der Maschinen beibehalten werden.
- Sie dürfen keine zusätzlichen Gefahren verursachen.
- Sie dürfen nicht auf einfache Weise umgangen oder unwirksam gemacht werden können.
- Sie dürfen die Beobachtung des Arbeitsablaufs nicht mehr als notwendig einschränken, sofern eine Beobachtung erforderlich ist.
- Sie müssen fest an ihrem Platz gehalten werden.
- Sie müssen entweder durch Systeme gehalten werden, die nur mit Werkzeugen geöffnet werden können, oder sie müssen mit der Gefahr bringenden Bewegung verriegelt sein.
- Soweit es möglich ist, dürfen sie nach Lösen der Befestigungsmittel nicht in Schutzstellung bleiben.



HINWEIS

→ Trennende Schutzeinrichtungen: ISO 14120

→ Leitsätze zur sicheren Maschinengestaltung: ISO 12100 (Typ-A-Norm)

Befestigung von trennenden Schutzeinrichtungen

Schutzeinrichtungen, die nicht häufig oder nur für Instandhaltungsarbeiten abgenommen oder geöffnet werden, müssen grundsätzlich so mit dem Maschinengestell verbunden sein, dass sie nur mit Werkzeug (z. B. Schraubenschlüssel, Bartschlüssel) gelöst werden können. Ihr Entfernen muss einen montagemäßigen Vorgang bedeuten, für den Werkzeuge notwendig sind.

Die Befestigungselemente von Schutzeinrichtungen, die regelmäßig demontiert oder abgenommen werden, müssen so gestaltet sein, dass sie nicht verloren gehen können (z. B. unverlierbare Schrauben).

Andere Befestigungsarten, wie Schnellverschlüsse, Schraubengriffe, Rändel- und Flügelschrauben, sind nur zulässig, wenn die trennenden Schutzeinrichtungen verriegelt werden.

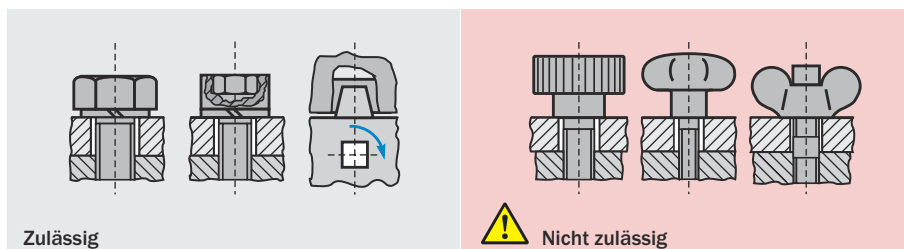


Abbildung 41: Beispiel: Befestigungsarten für trennende Schutzeinrichtungen

Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen

Bewegliche Schutzeinrichtungen, die ohne Werkzeug häufig oder regelmäßig (z. B. für Rüstarbeiten) geöffnet werden, müssen mit der Gefahr bringenden Funktion der Maschine funktionell gekoppelt sein (Verriegelung, Zuhaltung). Von häufigem Öffnen spricht man z. B., wenn die Schutzeinrichtung innerhalb einer Arbeitsschicht mindestens einmal geöffnet wird.

Wenn beim Öffnen von Schutzeinrichtungen mit Gefährdungen zu rechnen ist (z. B. sehr langer Nachlauf), dann sind Zuhaltungen erforderlich.

Ergonomische Anforderungen an bewegliche trennende Schutzeinrichtungen

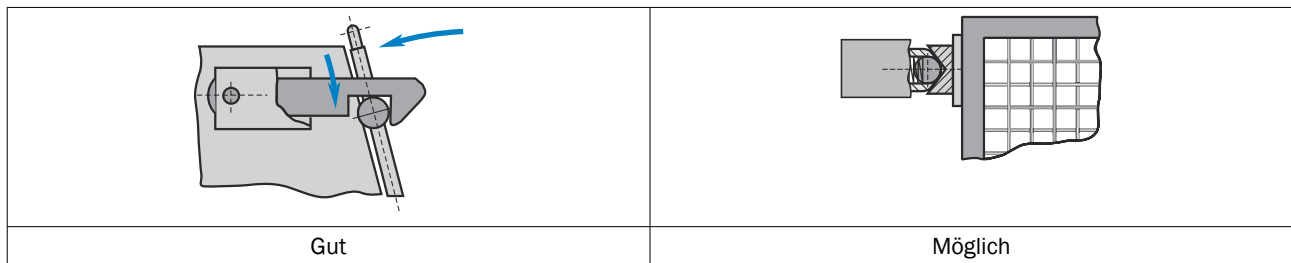
Beim Gestalten der Schutzeinrichtungen sind auch ergonomische Gesichtspunkte von Bedeutung. Nur dann, wenn Schutzeinrichtungen das Rüsten und Instandhalten und ähnliche Tätigkeiten nicht mehr als notwendig erschweren, werden sie von den Beschäftigten akzeptiert. Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen müssen folgende ergonomische Kriterien erfüllen:

- leichtes (z. B. einhändiges) Öffnen und Schließen, Heben oder Verschieben
- funktionsgerechter Handgriff
- Die geöffneten Schutzeinrichtungen sollen den erforderlichen Zugang oder Zugriff bequem ermöglichen.

Mechanische Arretierung von beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen

Soweit durchführbar, müssen bewegliche trennende Schutzeinrichtungen so mit der Maschine verbunden sein, dass sie durch Scharniere, Führungen usw. in geöffneter Stellung sicher gehalten werden können. Formschlüssige Halterungen sollen bevorzugt werden. Reibschlüssige Halterungen (z. B. Kugelverschlüsse) sind wegen ihrer nachlassenden Wirkung (Verschleiß) nicht zu empfehlen.

Tabelle 20: Beispiel: Arretieren von trennenden Schutzeinrichtungen



Verriegelte trennende Schutzeinrichtungen

Trennende Schutzeinrichtungen müssen verriegelt werden, wenn sie folgende Eigenschaften haben:

- zyklisch betätigt bzw. regelmäßig geöffnet werden (Türen, Klappen)
- ohne Werkzeug oder leicht entfernbar sind (z. B. Abdeckungen)
- gegen ein hohes Gefährdungspotenzial schützen

Verriegeln bedeutet, dass das Öffnen der Schutzeinrichtung in ein Steuerungssignal umgesetzt wird, das die Gefahr bringende Bewegung stoppt. Trennende Schutzeinrichtungen werden üblicherweise mit Positionsschaltern elektrisch verriegelt.










Die Verriegelung einer trennenden Schutzeinrichtung sollte folgende Funktionen erfüllen:

- Die Gefahr bringende Maschinenfunktion kann bei offener (fehlender) Schutzeinrichtung nicht ausgeführt werden (Start verhindern).
- Die Gefahr bringende Maschinenfunktion wird angehalten, wenn die Schutzeinrichtung geöffnet (entfernt) wird (Stopp auslösen).

Der folgende Abschnitt beschreibt die wesentlichen Anforderungen an Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen nach ISO 14119.

Verriegelungseinrichtungen werden in vier Bauarten unterteilt:

Tabelle 21: Bauarten von Verriegelungseinrichtungen nach ISO 14119

Bezeichnung	Betätigung		Betätiger		SICK-Produkt	
	Prinzip	Beispiele	Prinzip	Beispiele	Beispiel	
Bauart 1	Mechanisch	Physischer Kontakt, Kraft, Druck	Nicht codiert	Schaltnocke	i10P	
				Schaltlineal	i10R	
				Scharnier	i10H	
Bauart 2			Codiert	Geformter Betätiger (Schaltzunge)	i16S	
				Schlüssel	-	
Bauart 3	Berührungslos	Induktiv	Nicht codiert	Geeignete ferromagnetische Stoffe	IME2S	
		Magnetisch		Magnete, Elektromagnete	MM12 ¹	
		Kapazitiv		alle geeigneten Stoffe	CM18 ¹	
		Ultraschall		alle geeigneten Stoffe	UM12 ¹	
		Optisch		alle geeigneten Stoffe	WT 12 ¹	
Bauart 4		Magnetisch	Codiert	Codierter Magnet	RE1/2	
		RFID		Codierter RFID-Transponder	STR1	
		Optisch		Codierter optischer Betätiger	-	

¹ Diese Sensoren sind nicht für Sicherheitsanwendungen entwickelt. Bei der Anwendung in Verriegelungseinrichtungen muss der Konstrukteur mögliche systematische Ausfälle und Fehler mit gemeinsamer Ursache sehr sorgfältig berücksichtigen und zusätzliche geeignete Maßnahmen treffen.



HINWEIS

Verriegelungseinrichtungen der Bauart 3 sollten nur dann angewendet werden, wenn die Risikobeurteilung ergibt, dass eine Manipulation nicht vorhersehbar ist oder zusätzliche Maßnahmen diese ausreichend verhindern

Sicherheitsschalter, Positionsschalter und Verriegelungseinrichtungen

Der weit verbreitete Begriff „Sicherheitsschalter“ wird in den Normen nicht verwendet, da es aufgrund der Vielzahl von Technologien und Ausführungen von geeigneten Sensoren für Verriegelungseinrichtungen nicht möglich ist, gemeinsame Anforderungen zu definieren.

Unabhängig von der angewandten Technologie (mechanisch, elektrisch, pneumatisch, hydraulisch) gelten folgende Begriffsbestimmungen:

- Eine Verriegelungseinrichtung besteht aus einem Betätiger und einen Positionsschalter.
- Ein Positionsschalter besteht aus Betätigungselement und einem Ausgangssignalelement.

Je nach Technologie des verwendeten Positionsschalters und den Anforderungen der funktionalen Sicherheit sind entweder eine oder mehrere Verriegelungseinrichtungen für eine trennende Schutzeinrichtung erforderlich.

Mechanische Anbringung und Befestigung

Eine zuverlässige mechanische Anbringung der Positionsschalter und der Betätiger ist entscheidend für deren Wirksamkeit. Die Elemente von Verriegelungseinrichtungen

- müssen so angebracht sein, dass sie vor Schäden durch vorhersehbare äußere Einflüsse geschützt sind.
- dürfen nicht als mechanischer Anschlag verwendet werden.
- müssen durch Anordnung und Ausführung gegen unbeabsichtigtes Betätigen und Beschädigung gesichert sein.
- müssen durch Anordnung, Ausführung und Befestigung gegen unbeabsichtigte Lageänderungen gesichert sein. Wenn erforderlich, ist eine Sicherung des Schalters und des Betätigungselements durch Formschluss zu erreichen, z. B. mit Rundlöchern, Passstiften, Anschlägen.
- müssen durch die Betätigungsart oder ihre Einbindung in die Steuerung so gesichert sein, dass sie nicht auf einfache Weise umgangen werden können.
- müssen auf ihre einwandfreie Wirkungsweise überprüfbar und nach Möglichkeit zur Kontrolle leicht zugänglich sein.

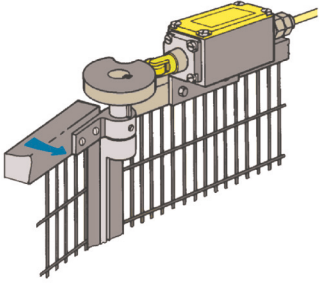
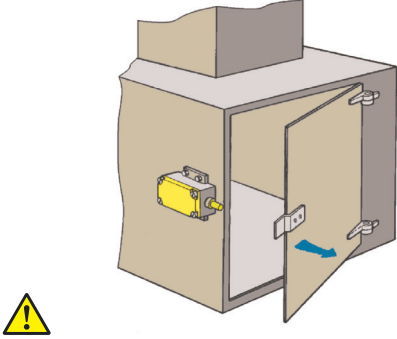
Tabelle 22: Beispiel: Mechanische Anbringung von Positionsschaltern

<p>Richtige Montage: Der Positionsschalter wird durch einen mechanischen Anschlag geschützt.</p>	<p>Falsche Montage: Der Positionsschalter wird als Anschlag benutzt.</p>	<p>Richtige Montage: Die Höhe des Nockens wurde auf den Positionsschalter abgestimmt.</p>

Zwangläufige Betätigung bzw. formschlüssige Anordnung

Bei der Anwendung von mechanischen Verriegelungseinrichtungen ist die zuverlässige Betätigung wichtig. Die Anwendung der zwangläufigen Betätigung in einer Verriegelungseinrichtung stellt die Betätigung des Positionsschalters beim Öffnen der trennenden Schutzeinrichtungen sicher und verringert die Manipulationsmöglichkeiten. Die beweglichen mechanischen Bauteile der Verriegelung (Sicherheitsschalter) werden zwangläufig mitbewegt, indem direkter Kontakt zu mechanischen Bauteilen oder zu der trennenden Schutzeinrichtung (z. B. Schutztür) besteht.

Tabelle 23: Beispiel: Zwangläufige Betätigung

	
<p>Sicher: Das Öffnen der Schutztür bewegt den mechanischen Stößel des Positionsschalters (Zwangläufige Betätigung). Dadurch wird der Sicherheitsstromkreis geöffnet.</p>	<p>Fehlerhafte Konstruktion: Der Positionsschalter wird ggf. den Sicherheitsstromkreis nicht öffnen, z. B. wenn Verkrustungen oder verhartetes Schmieröl den Stößel verkleben.</p>
<p>Quelle: BG Feinmechanik und Elektrotechnik, BGI 575</p>	

Zwangsöffnung

Ein Kontaktelement ist zwangsöffnend, wenn die Trennung der Schaltkontakte unmittelbar durch eine definierte Bewegung des Betätigungselements durch nicht elastische Teile (z. B. Federn) erfolgt. Die Anwendung von zwangsöffnenden Kontakten von mechanisch betätigten Positionsschaltern stellt sicher, dass die Trennung des elektrischen Stromkreises auch bei Kontaktverschweißen oder anderen elektrischen Fehlern trotzdem noch ausgeführt wird.

Für mechanische Positionsschalter mit Zwangsöffnung gilt außerdem:

- Der Betätigungsweg muss entsprechend dem Zwangsöffnungsweg nach Herstellerangabe eingestellt sein.
- Der vom Hersteller angegebene Mindeststößelweg muss eingehalten werden, damit die für die Zwangsöffnung erforderliche Schaltstrecke gewährleistet ist.



Abbildung 42: Kennzeichnung von zwangsöffnenden Kontakten gemäß IEC 60947-5-1, Anhang K



HINWEIS

Als gleichwertig zur Zwangsöffnung wird die Verwendung beider redundant überwachter elektronischer Ausgänge von berührungslosen Positionsschaltern angesehen. Wenn eine Verriegelungseinrichtung Bauart 3 oder Bauart 4 die einzige Verriegelungseinrichtung an einer trennenden Schutzeinrichtung ist, dann muss diese die Anforderungen von IEC 60947-5-3 erfüllen.

Manipulationsschutz

Bei der Gestaltung von Verriegelungseinrichtungen muss der Konstrukteur die mögliche Motivation, die Schutzeinrichtung zu manipulieren und die vorhersehbare Manipulation berücksichtigen.

Maßnahmen gegen eine Manipulation mit einfachen Mitteln müssen angewendet werden.

Einfache Mittel sind beispielsweise Schrauben, Nadeln, Blechstücke, Münzen, gebogener Draht u. ä.

Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung der einfachen Manipulation von Verriegelungseinrichtungen sind:

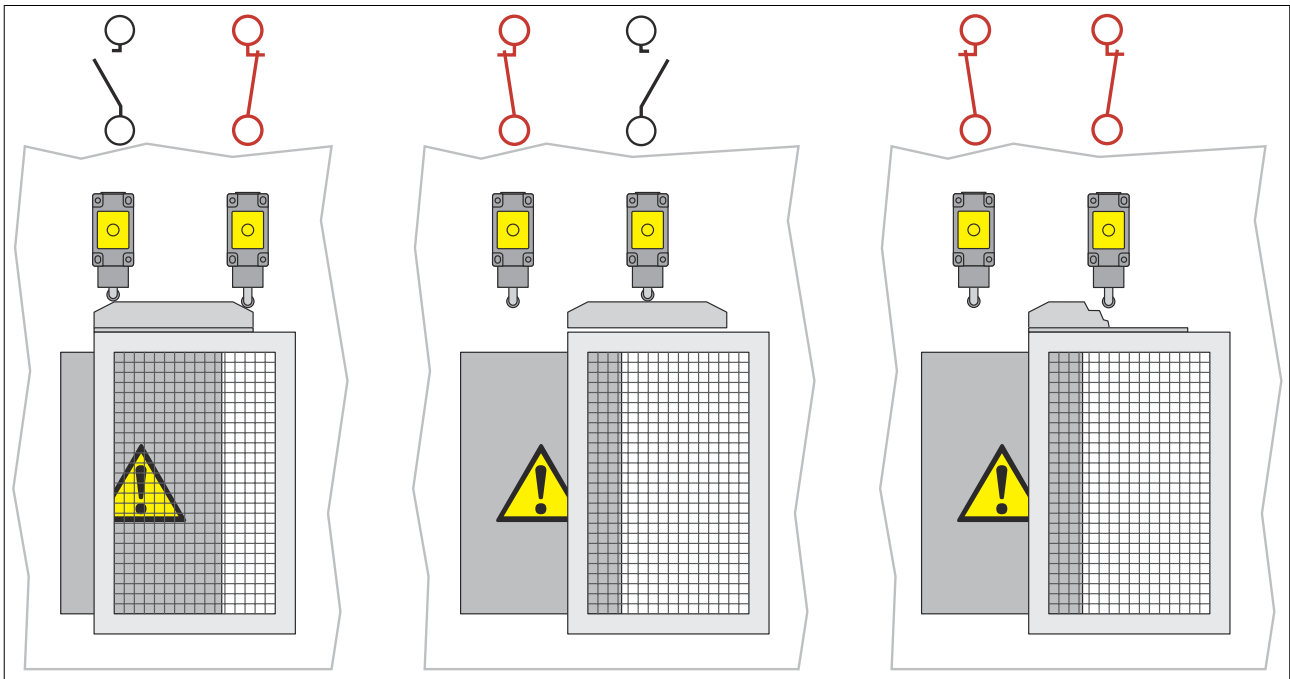
- Erschweren des Zugangs zu den Verriegelungseinrichtungen durch verdeckte Montage oder Montage außer Reichweite
- Verwendung von Positionsschaltern mit codierten Betätigern
- Befestigung der Elemente der Verriegelungseinrichtungen mit „Einweg“-Befestigungen (z. B. Sicherheitschrauben, Nieten)
- Manipulationsüberwachung in der Steuerung (Plausibilitätsprüfung, Testung)

Redundante Ausführung

Durch Manipulation, mechanische Fehler am Betätiger- oder Positionsschalter (Beispiel: Alterung) oder durch den Einfluss von extremen Umgebungsbedingungen (Beispiel Nahrungsmittelindustrie: Verklebte Rollensößel durch Verschmutzung mit Mehl) ist ein kritischer Ausfall eines einzelnen Sicherheitsschalters möglich. Insbesondere bei höheren Sicherheitsniveaus ist es notwendig, einen weiteren Positionsschalter, z. B. mit gegenläufiger Funktion, zu nutzen und beide steuerungstechnisch zu überwachen.

Beispiel: eine Spritzgießmaschine, deren vordere Schutztüren zyklisch betätigt werden. Hier ist die Verwendung von zwei mechanischen Schaltern vorgeschrieben.

Table 24: Beispiel: Erkennung von mechanischen Fehlern durch redundante diversitäre Anordnung



Zuhaltungen

Zuhaltungen sind Einrichtungen, die das Öffnen von trennenden Schutzeinrichtungen verhindern. Sie müssen verwendet werden, wenn die Stoppzeit des Gefahr bringenden Maschinenzustands größer ist als die Zeit, die eine Person benötigt, um den Gefahrenbereich zu erreichen (Sicherheitsfunktion „Zugang zeitweise verhindern“, Seite 45). Zuhaltungen sollen den Zugang zu den Gefahrenbereichen so lange verhindern, bis der Gefahr bringende Maschinenzustand nicht mehr besteht. Zuhaltungen sind auch notwendig, wenn ein Prozess nicht unterbrochen werden darf (nur Prozessschutz, keine Sicherheitsfunktion). Die nachfolgende Abbildung zeigt die möglichen Ausführungen von Zuhaltungen.

Tabelle 25: Wirkprinzipien von Zuhaltungen

Prinzip	Form			Kraft
Funktionsweise	Federkraftbetätigt und durch Energie entsperrt	Energiebetätigt und durch Federkraft entsperrt	Energiebetätigt und durch energielos entsperrt	Energiebetätigt und durch Energie entsperrt
Benennung	Mechanische Zuhaltung (für Personenschutz bevorzugt)	Elektrische Zuhaltung (für Prozessschutz bevorzugt)	Pneumatische bzw. hydraulische Zuhaltung Bistabile Spule	Elektromagnetische Zuhaltung

Die Entsperrung der Zuhaltung durch Energie kann wie folgt durchgeführt werden:

- Zeitgesteuert: Bei Verwendung eines Zeitschalters darf ein Ausfall dieser Einrichtung die Verzögerungszeit nicht vermindern.
- Automatisch: Nur wenn kein Gefahr bringender Maschinenzustand besteht (z. B. durch Stillstandswächter).
- Manuell: Die Zeit zwischen Entsperrung und Freigabe der Schutzeinrichtung muss größer als die Stopzeit des Gefahr bringenden Maschinenzustands sein.

Mechanische und elektrische Integration von Zuhaltungen

Für die Zuhaltungseinrichtungen gelten in der Regel die gleichen Hinweise wie für die Sicherheitsschalter. Beim Prinzip der Zwangsöffnung ist darauf zu achten, welche Kontakte zwangsöffnend ausgeführt sind. Türmeldekontakte signalisieren, wenn der Betätiger gezogen wurde, die Tür also offen ist. Diese können, müssen aber nicht immer zwangsöffnend sein.

Hilfs- und Fluchtentriegelung, Notentsperrung

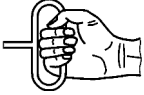
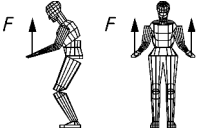
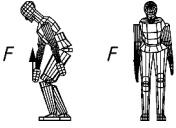
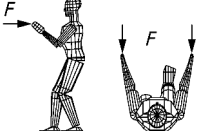
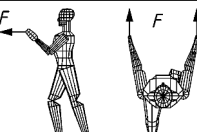
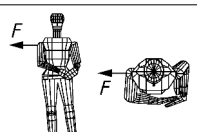
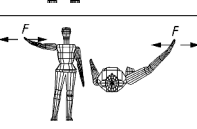
Die Risikobeurteilung kann ergeben, dass im Fehlerfall oder im Notfall Maßnahmen zum Befreien von eingeschlossenen Personen aus dem Gefahrenbereich nötig sind. Zu unterscheiden sind Konzepte zur Hilfsentsperrung (mit Werkzeug) und zur Notentsperrung bzw. Fluchtentriegelung (ohne Werkzeug), wie folgt:

- Notentsperrung einer Zuhaltung
Möglichkeit einer manuellen Entsperrung der Zuhaltung im Notfall ohne Hilfsmittel von außerhalb des geschützten Bereichs. Eine Zuhaltung mit Notentsperrung kann z. B. für die Befreiung eingeschlossener Personen oder zur Brandbekämpfung erforderlich sein.
- Hilfsentriegelung einer Zuhaltung
Möglichkeit einer manuellen Entsperrung der Zuhaltung mithilfe eines Werkzeugs oder eines Schlüssels von außerhalb des geschützten Bereichs im Falle einer Fehlfunktion. Eine Zuhaltung mit Hilfsentriegelung ist nicht für die Notentsperrung oder Fluchtentriegelung der Zuhaltung geeignet.
- Fluchtentriegelung einer Zuhaltung
Möglichkeit einer manuellen Entsperrung der Zuhaltung ohne Hilfe von Werkzeug innerhalb des geschützten Bereiches zum Verlassen dieses Bereiches.

Erforderliche Zuhaltekraft

Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl der Zuhaltung ist die Kraft, mit der die trennende Schutzeinrichtung zugehalten werden muss. Der Anhang I der Norm ISO 14119 gibt den maximalen Kraftaufwand an, der an den meistgebrauchten beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen angenommen werden kann.

Tabelle 26: Erforderliche Zuhaltekraft für trennende Schutzeinrichtungen nach Anhang I der Norm ISO 14119

Richtung der Kraft	Stellung	Kraftanwendung	Kraft [N]	
	Waagrecht ziehend (Zerren)	Sitzend	Einhändig	600
	Senkrecht nach oben	Stehend, Torso und Beine angewinkelt, Füße parallel	Beidhändig, waagrechte Griffe	1400
	Senkrecht nach oben	Frei stehend	Einhändig, waagrechte Griffe	1200
	Waagrecht, parallel zur Symmetrieebene des Körpers rückwärts, ziehend	Stehend, Füße parallel oder in Schreitstellung	Beidhändig, senkrechte Griffe	1100
	Waagrecht, parallel zur Symmetrieebene des Körpers vorwärts, schiebend	Stehend, Füße parallel oder in Schreitstellung	Beidhändig, senkrechte Griffe	1300
	Waagrecht, normal zur Symmetrieebene des Körpers schiebend	Stehend, Torso seitlich gebogen	Schulter auf Metallplatte drückend	1300
	Waagrecht, normal zur Symmetrieebene des Körpers schiebend	Stehend, Füße parallel	Einhändig, senkrechter Griff	700

Schlüsseltransfersysteme

Eine Möglichkeit, einen ungewollten Start zu verhindern, bieten Schlüsseltransfersysteme. Um bestimmte Funktionen und Betriebsarten zu aktivieren, müssen Schlüssel verwendet werden, [siehe Tabelle 27, Seite 70](#).

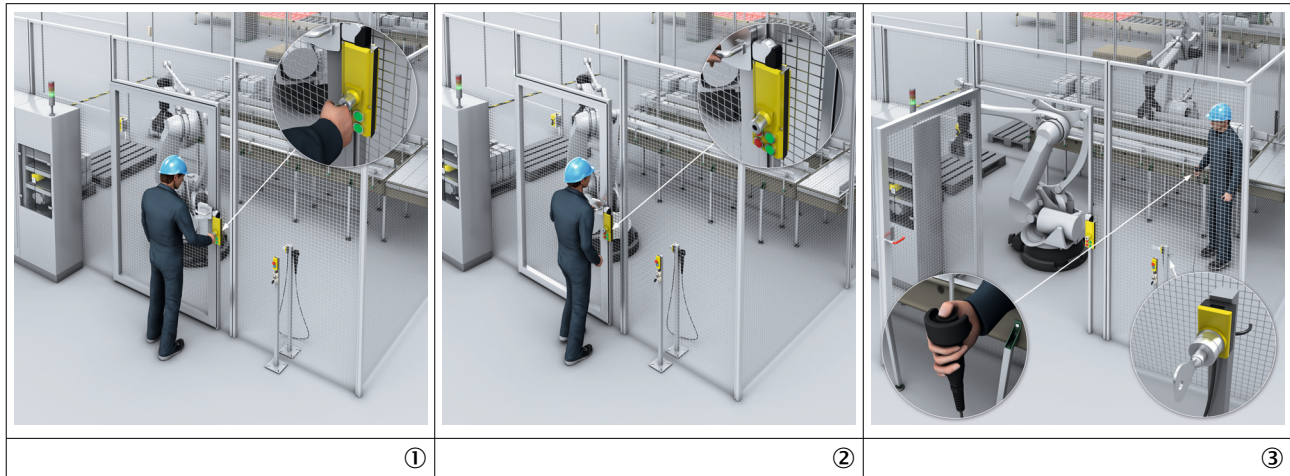
Abbildung ①: Beim Ziehen des Schlüssels wird ein Stoppsignal erzeugt und der Gefahr bringende Zustand beendet.

Abbildung ②: Im sicheren Zustand (bei Stillstand) wird die Sicherheitszuhaltung entriegelt und die Tür kann geöffnet werden.

Abbildung ③: Der Servicetechniker nimmt den Schlüssel in den Innenbereich der Anlage mit. Im Innenbereich ermöglicht der aufgesteckte Schlüssel die Betriebsart "Einrichtbetrieb". Gefahr bringende Maschinenbewegungen können nun in reduzierter Geschwindigkeit (Roboter zur Seite drehen) mittels Zustimmungstaster erfolgen. Der Automatikbetrieb wird so lange blockiert.

Danach wird der Schlüssel wieder abgezogen, der Servicetechniker verlässt den Gefahrenbereich, schließt die Tür und steckt zum Schluss den Schlüssel wieder in den Adapter ein. Die Tür wird verriegelt und der Automatikbetrieb ist jetzt wieder möglich.

Tabelle 27: Beispiel: Schlüsseltransfersystem



Fehlermaskierung bei der Reihenschaltung von Verriegelungseinrichtungen mit potentialfreien Kontakten

Die Norm EN ISO 14119 und der technische Bericht ISO TR 24119 definieren unter anderem die Anforderungen an die logische Reihenschaltung von Positionsschaltern. Die Gefahr einer möglichen „Fehlermaskierung“ in der herkömmlichen Reihenschaltung der Sicherheitsschalter limitiert den erreichbaren Performance Level und macht in einigen Anwendungen eine solche Reihenschaltung unzulässig.

Fehlermaskierung kann bei Reihenschaltung von Schaltern mit potenzialfreien Kontakten auftreten. Da die Auswerteeinheit nur die Signale der kompletten Reihe auswertet, kann die Fehlererkennung verhindert werden. Der Fehler wie z. B. Kurzschluss oder Querschluss wird durch die Betätigung einer weiteren Schutzeinrichtung mit einem fehlerfreien Schalter entweder gar nicht erkannt oder nach der Erkennung wieder zurückgesetzt (maskiert). Dies führt dazu, dass der Betrieb gefährdender Maschinenfunktionen trotz Vorhandenseins eines Einzelfehlers möglich ist. Die Anhäufung von maskierten Fehlern führt dann zum Verlust der Sicherheitsfunktion.

Beispiel für den Verlauf einer Fehlermaskierung

Wenn davon ausgegangen werden muss, dass während der vorhersehbaren Fehlersuche durch den Maschinenbediener eine der beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen (z. B. Schutztür, Wartungsklappe) betätigt und damit der Fehler maskiert wird, muss die entsprechende Verringerung des Diagnosedeckungsgrades DC (Fehlererkennungsrate) berücksichtigt werden. Dies kann zur Senkung des Performance Levels auf PL d oder PL c führen.



HINWEIS

Mehr Information in der Sonderinformation "**Sichere Reihenschaltung**" von SICK .

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS)

Bei berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) beruht die Schutzwirkung im Gegensatz zu den „trennenden Schutzeinrichtungen“ nicht auf der physischen Trennung des Gefährdeten von der Gefährdung. Die Schutzwirkung wird durch eine zeitliche Trennung erreicht. Solange sich eine Person in einem definierten Bereich befindet, finden dort keine Gefahr bringenden Maschinenfunktionen statt. Wenn solche Funktionen bereits stattfinden, müssen diese angehalten werden. Dieses Anhalten benötigt eine gewisse Zeit, die sogenannte „Nachlaufzeit“.

Die BWS muss die Annäherung der Person an diesen Gefahrenbereich rechtzeitig erkennen und je nach Applikation auch die Anwesenheit der Person im Gefahrenbereich.

Die internationale Norm IEC 61496-1 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an BWS, unabhängig von deren Technologie oder Funktionsprinzip.

Welche Vorteile bieten berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen?

Wenn ein Bediener häufiger oder regelmäßig in eine Maschine eingreifen muss und dabei einer Gefahr ausgesetzt ist, ist der Einsatz von BWS anstatt (mechanischer) trennender Schutzeinrichtungen (Abdeckungen, Schutzzäune etc.) vorteilhaft durch:

- Reduzierung der Zugriffszeit (Bediener muss nicht auf das Öffnen der Schutzeinrichtung warten)
- Steigerung der Produktivität (Zeitersparnis beim Beschicken der Maschine)
- Verbesserung der Ergonomie des Arbeitsplatzes (Bediener muss nicht eine trennende Schutzeinrichtung betätigen)

Darüber hinaus werden Bediener und andere Personen gleichermaßen geschützt.

Vor welchen Gefährdungen schützen berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen nicht?

Da berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen keine physische Barriere darstellen, sind sie nicht in der Lage, Personen vor Emissionen, wie herausgeschleuderten Maschinenteilen, Werkstücken oder Spänen, ionisierender Strahlung, Hitze (thermischer Strahlung), Lärm, verspritzten Kühl- und Schmiermitteln etc. zu schützen. Der Einsatz von BWS ist ebenfalls nicht möglich an Maschinen, an denen lange Nachlaufzeiten nicht realisierbare Mindestabstände erfordern.

In solchen Fällen müssen trennende Schutzeinrichtungen angewendet werden.

Technologien für BWS

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen können die Erkennung von Personen durch verschiedene Prinzipien realisieren: optisch, kapazitiv, Ultraschall, Mikrowellen (Radar) und passive Infraroterkennung.

Optische Schutzeinrichtungen haben sich seit vielen Jahren und in großer Stückzahl in der Praxis bewährt (siehe Abbildung).

Optoelektronische Schutzeinrichtungen

Die verbreitetsten berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen sind optoelektronische Einrichtungen, wie

- Sicherheitslichtvorhänge und Sicherheitslichtschranken (AOPD: active opto-electronic protective devices)
- Sicherheitslaserscanner (AOPDDR: active opto-electronic protective devices responsive to diffuse reflection)
- Kamerabasierte Schutzeinrichtungen (VBPD: vision based protective devices)



Abbildung 43: Beispiele für optoelektronische Schutzeinrichtungen



HINWEIS

Eine optoelektronische Schutzeinrichtung kann verwendet werden, wenn der Bediener keinerlei Gefahr der Verletzung durch herausgeschleuderte Materialteile ausgesetzt ist (z. B. durch Spritzer geschmolzenen Materials).

Sicherheitslichtvorhänge und Sicherheitslichtschranken (AOPD)

AOPD sind Schutzeinrichtungen, die durch optoelektronische Sendeelemente und Empfangselemente in einem vorgegebenen zweidimensionalen Bereich Personen detektieren. Eine Reihe paralleler Lichtstrahlen (in der Regel Infrarotlicht), die vom Sender zum Empfänger gesendet werden, bauen ein Schutzfeld auf, das den Gefahrenbereich absichert. Die Detektion erfolgt durch die vollständige Unterbrechung eines oder mehrerer Strahlen durch ein lichtundurchlässiges Objekt. Dabei signalisiert der Empfänger die Strahlunterbrechung durch einen Signalwechsel (AUS-Zustand) an seinen Schaltausgängen (OSSD).

Die Signale der OSSD werden zum Anhalten des Gefahrbringenden Maschinenzustands verwendet.

Die internationale Norm IEC 61496-2 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an AOPD.

Typische AOPD sind Ein- und Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranken sowie Sicherheitslichtvorhänge. Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranken werden AOPD mit einem Detektionsvermögen genannt, das größer als 40 mm ist. Sie werden zur Absicherung von Zugängen zu Gefahrenbereichen angewendet (siehe [Abbildung 44](#), [Seite 72](#)).

AOPD mit einem Detektionsvermögen von 40 mm oder weniger werden Sicherheitslichtgitter oder Sicherheitslichtvorhänge genannt und dienen der unmittelbaren Absicherung von Gefahrstellen (siehe [Abbildung 45](#)).

Bei Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranken sowie Sicherheitslichtvorhängen sind in der Regel nicht alle Lichtstrahlen zum gleichen Zeitpunkt aktiviert, sondern werden in schneller Folge nacheinander ein- und ausgeschaltet. Dies erhöht die Störfestigkeit gegenüber anderen Lichtquellen und demzufolge die Zuverlässigkeit. Bei modernen AOPD synchronisieren sich Sender und Empfänger automatisch auf optischem Weg. Durch die Verwendung von Mikroprozessoren können die Strahlen einzeln ausgewertet werden. Dadurch können neben der reinen Schutzfunktion auch zusätzliche Funktionen der BWS realisiert werden („[Zusätzliche Funktionen von BWS](#)“, [Seite 83](#)).

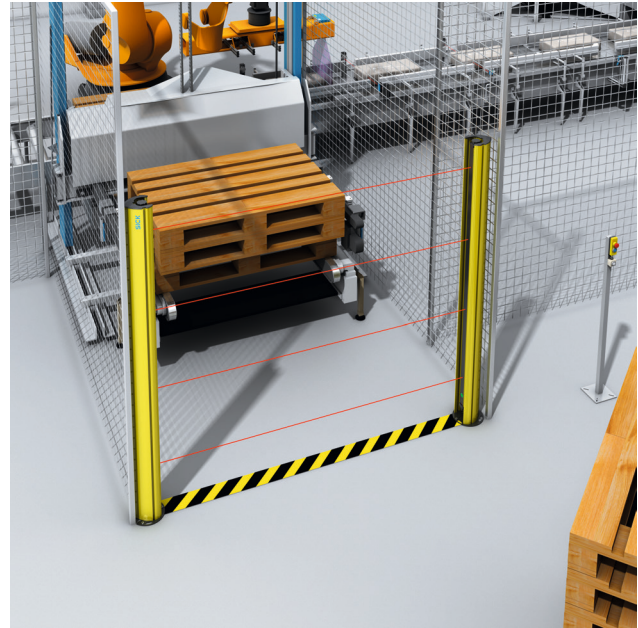


Abbildung 44: Zugangsabsicherung mit einer Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranke



Abbildung 45: Gefahrstellenabsicherung mit einem Sicherheitslichtvorhang

Sicherheitslaserscanner (AOPDDR)

AOPDDR sind Schutzeinrichtungen, die durch optoelektronische Sendeelemente und Empfangselemente die Reflexion der optischen Strahlung detektieren, die die Schutzeinrichtung erzeugt. Diese Reflexion wird durch ein Objekt in einem vorgegebenen zweidimensionalen Bereich erzeugt.

Durch einen Signalwechsel (Aus-Zustand) an seinen Schaltausgängen (OSSD) wird die Detektion signalisiert. Die Signale der OSSD werden zum Anhalten des Gefahrbringenden Maschinenzustands verwendet.

Der Sicherheitslaserscanner ist ein optischer Sensor, der die Umgebung mit infraroten Laserstrahlen in einer Ebene abtastet und dadurch einen Gefahrenbereich an einer Maschine oder einem Fahrzeug überwacht.

Der Sicherheitslaserscanner arbeitet nach dem Prinzip der Lichtlaufzeitmessung. Dabei sendet der Scanner sehr kurze Lichtimpulse aus (S). Gleichzeitig läuft eine „elektronische Stoppuhr“ mit. Trifft das Licht auf ein Objekt, so wird es reflektiert und vom Scanner empfangen (R). Aus der Differenz zwischen Sende- und Empfangszeitpunkt errechnet der Scanner die Entfernung zum Objekt.

Ein gleichmäßig rotierender Spiegel (M) im Scanner lenkt die Lichtimpulse ab, sodass ein Kreisabschnitt überstrichen wird. Aus der gemessenen Entfernung und dem jeweiligen Drehwinkel des Spiegels bestimmt der Scanner die genaue Position des Objekts.

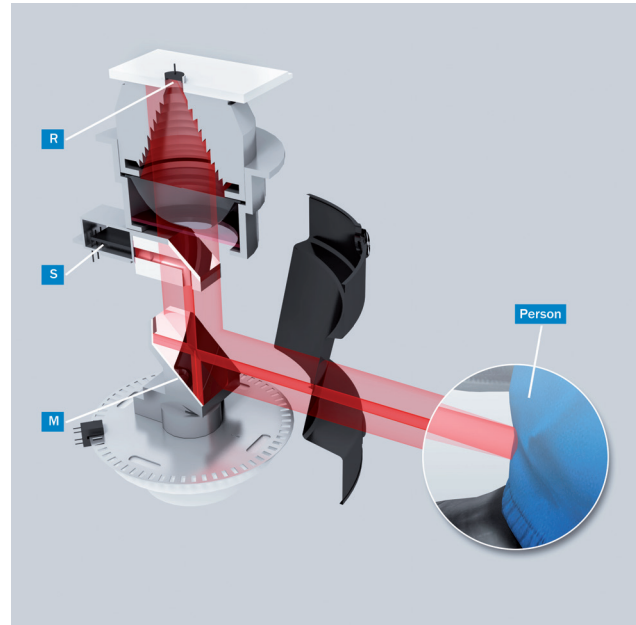


Abbildung 46: Prinzipieller Aufbau eines Laserscanners

Der Bereich, in dem eine Objekterkennung zur Auslösung führt (Schutzfeld), kann vom Anwender über eine grafische Benutzeroberfläche konfiguriert werden. Moderne Scanner erlauben die gleichzeitige und separate Überwachung mehrerer Bereiche durch simultane Felddauswertung und die Signalisierung an die Steuerung durch mehrere sichere Abschaltpfade. Dies kann z. B. zur Anpassung des Überwachungsbereichs an die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs verwendet werden.

Sicherheitslaserscanner arbeiten mit präzise in bestimmte Richtungen einzeln abgestrahlten Lichtimpulsen, überstreichen also nicht kontinuierlich den zu überwachenden Bereich. Durch diese Arbeitsweise werden Auflösungen (Detektionsvermögen) bis 20 mm erreicht. Durch das aktive Tastprinzip benötigen Sicherheitslaserscanner weder externe Empfänger noch Reflektoren. Sicherheitslaserscanner müssen auch Objekte mit einem extrem niedrigen Rückstrahlvermögen sicher detektieren können (z. B. schwarze Arbeitskleidung). Die internationale Norm IEC 61496-3 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an AOPDDR.



Abbildung 47: Simultane Überwachung mehrerer Schutzfelder

Kamerabasierte Schutzeinrichtungen (VBPD)

VBPD sind kamerabasierte Schutzeinrichtungen und verwenden Technologien der Bilderfassung und Bildverarbeitung zur sicherheitstechnischen Detektion von Personen (siehe [Abbildung 48](#)).

Als Lichtquellen werden zurzeit spezielle Lichtsender verwendet. VBPD, die das vorhandene Umgebungslicht verwenden, sind ebenfalls möglich.

Zur Personendetektion können verschiedene Prinzipien verwendet werden, u. a.:

- Unterbrechung des Lichts, das von einem Retroreflektor zurückgestrahlt wird
- Laufzeitmessung des Lichts, das vom Objekt reflektiert wird
- Überwachung von Änderungen von Hintergrundmustern
- Erkennung von Personen anhand menschlicher Merkmale

Die verschiedenen technischen Spezifikationen (TS) und technische Reports (TR) der Normenreihe IEC 61496-4 beinhalten die Anforderungen und Eigenschaften von VBPDs.

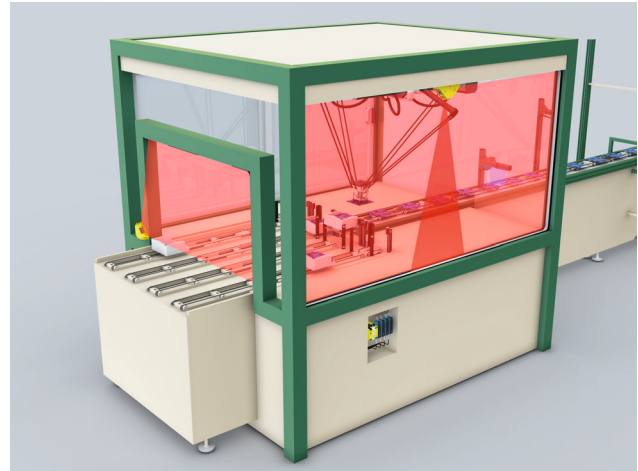


Abbildung 48: Kamerabasierte Schutzeinrichtung

Detektionsvermögen (Auflösung) optoelektronischer Schutzeinrichtungen

Das Detektionsvermögen wird definiert als die Grenze des Sensorparameters, die ein Ansprechen der berührungslos wirkenden Schutzeinrichtung (BWS) verursacht.

Praktisch handelt es sich hierbei um die Größe des kleinsten Objekts, das innerhalb des definierten Überwachungsbereichs (Schutzfeld) von der BWS immer erkannt wird.

Das Detektionsvermögen wird vom Hersteller angegeben. Es wird in der Regel aus der Summe von Strahlabstand und effektivem Strahldurchmesser ermittelt. Dadurch ist sichergestellt, dass ein Objekt mit dieser Größe unabhängig von der Position im Schutzfeld immer einen Lichtstrahl vollständig abdeckt und somit erkannt wird.

Bei Sicherheitslaserscannern (AOPDDR) ist das Detektionsvermögen vom Abstand zum Objekt, dem Winkel zwischen den einzelnen Lichtstrahlen (Pulse) sowie von Form und Größe des Sendestrahl abhängig.

Die Zuverlässigkeit des Detektionsvermögens wird durch die Typ-Klassifizierung in der Normenreihe IEC 61496 bestimmt (siehe [Tabelle 28, Seite 77](#)).

Vermeidung der Umspiegelung von AOPD

Bei AOPD wird der Lichtstrahl vom Sender fokussiert. Dabei ist der Öffnungswinkel der Optik so weit wie möglich verringert, sodass auch bei kleinen Ausrichtfehlern ein störungsfreier Betrieb gewährleistet ist. Gleiches gilt für den Öffnungswinkel des Empfängers (effektiver Öffnungswinkel gemäß IEC 61496-2). Auch bei kleineren Öffnungswinkeln besteht die Möglichkeit, dass Lichtstrahlen des Senders von reflektierenden Flächen abgelenkt werden, was zum Nichterkennen eines Objekts führt (siehe [Abbildung 49](#), siehe [Abbildung 50](#)).

Deshalb müssen alle reflektierenden Flächen und Gegenstände (z. B. Materialbehälter, reflektierende Böden) einen Mindestabstand a zum Schutzfeld des Systems einhalten (siehe [Tabelle 28](#), [Seite 77](#)).

Dieser Mindestabstand a ist abhängig vom Abstand D zwischen Sender und Empfänger (Schutzfeldbreite). Der Mindestabstand muss nach allen Seiten zum Schutzfeld eingehalten werden.

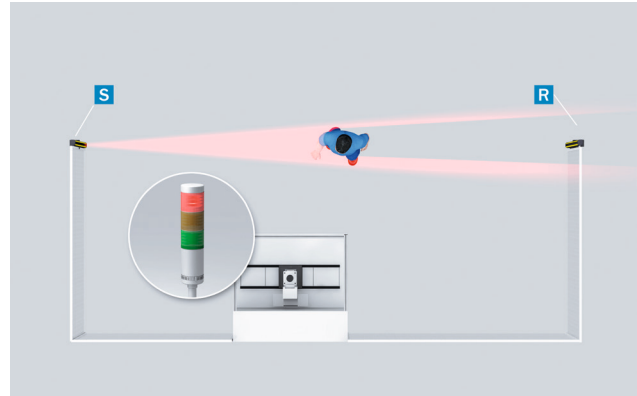


Abbildung 49: Die Person wird zuverlässig detektiert und die Gefahr bringende Bewegung wird gestoppt.

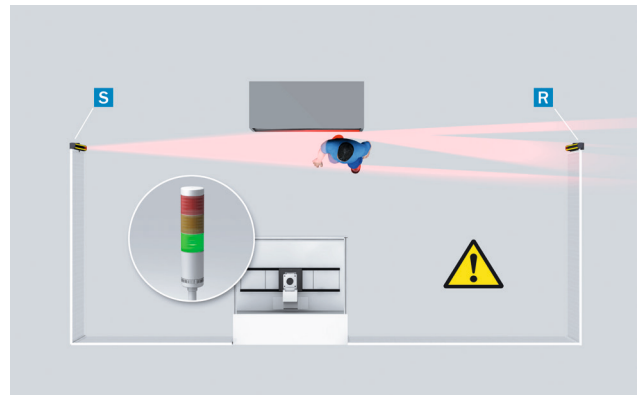


Abbildung 50: Umspiegelung verhindert die Schutzwirkung der BWS und die Gefahr bringende Bewegung wird nicht gestoppt.

Gegenseitige Beeinflussung von AOPD

Wenn mehrere AOPD räumlich nahe beieinander in Betrieb sind, können die Senderstrahlen des einen Systems (S1) den Empfänger des anderen Systems (R2) beeinflussen. Es besteht die Gefahr, dass die so beeinflusste AOPD dadurch keine Schutzwirkung mehr hat (siehe [Abbildung 51](#)).

Derartige Montagesituationen müssen vermieden werden. Falls es nicht anders möglich ist, müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, die die gegenseitige Beeinflussung verhindern, z. B. durch Montage lichtundurchlässiger Trennwände oder durch Umkehren der Senderichtung eines Systems.

AOPD vom Typ 4 müssen entweder über eine geeignete Fremdsendererkennung verfügen und bei Beeinflussung in einen sicheren Zustand (Ausgänge im Auszustand) übergehen oder über technische Maßnahmen verfügen, die eine Beeinflussung verhindern. In der Regel wird eine Strahlcodierung verwendet, sodass

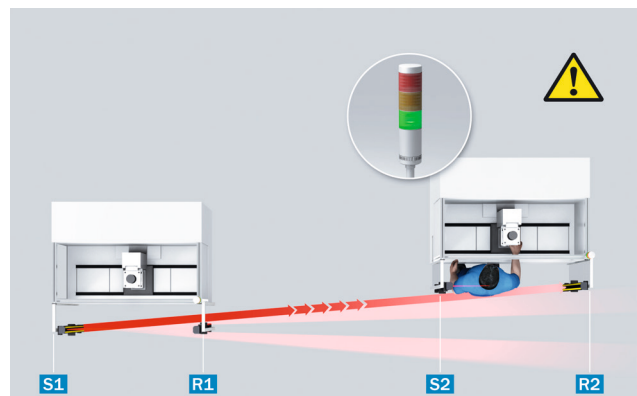


Abbildung 51: Durch gegenseitige Beeinflussung wird die Schutzwirkung der BWS (S2-R2) aufgehoben und die Gefahr bringende Bewegung nicht gestoppt.

der Empfänger nur auf die Lichtstrahlen des zugeordneten (gleich codierten) Senders reagiert (siehe [Abbildung 52](#)).

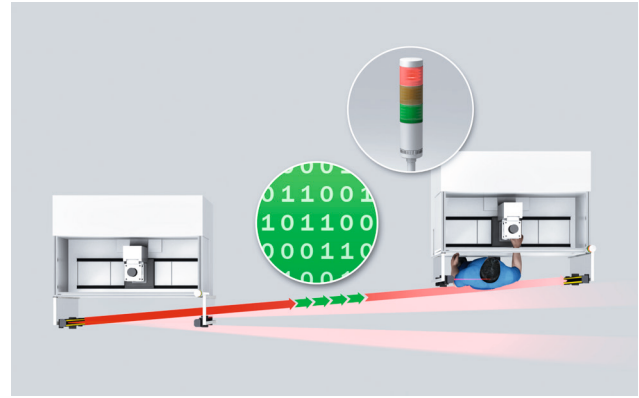


Abbildung 52: Keine gegenseitige Beeinflussung der Schutzeinrichtungen durch Verwendung von Lichtstrahlcodierung – Person wird zuverlässig detektiert und die Gefahr bringende Bewegung gestoppt.

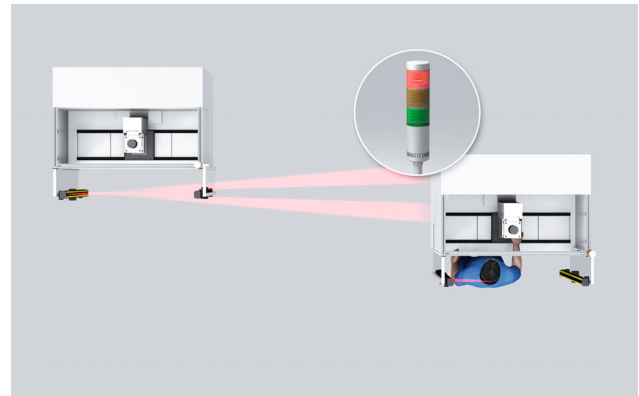


Abbildung 53: Keine gegenseitige Beeinflussung der Schutzeinrichtungen durch geeignete Anordnung der Maschine oder BWS-Systeme

Auswahl einer geeigneten BWS

Kriterien können sein:

- Vorgaben aus harmonisierten Normen, insbesondere Typ-C-Normen
- der zur Verfügung stehende Platz vor dem Gefahrenbereich
- ergonomische Kriterien, z. B. zyklische Einlegearbeiten
- Auflösungsvermögen
- Ansprechzeit
- Umgebungsbedingungen

Welche Sicherheitsfunktion soll die BWS erfüllen?

- Stopp auslösen („Stopp auslösen“, Seite 46)
- Unerwarteten Anlauf vermeiden („Unerwarteten Anlauf vermeiden“, Seite 46)
- Start verhindern („Start verhindern“, Seite 47)
- Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern (siehe „Kombination: Stopp auslösen und Start verhindern“, Seite 47)
- Materialdurchfahrt ermöglichen („Materialdurchfahrt ermöglichen“, Seite 48)
- Maschinenparameter überwachen („Maschinenparameter überwachen“, Seite 48)

- Sicherheitsrelevante Anzeigen und Alarmer (siehe „Sicherheitsrelevante Anzeigen und Alarmer“, Seite 51)
- Weitere Funktionen, z. B. Taktbetrieb, Ausblendung, Schutzfeldumschaltung etc. (siehe „Zusätzliche Funktionen von BWS“, Seite 83)



HINWEIS

→ Anforderungen an BWS: Normenreihe IEC 61496

Sicherheitsniveau

Die sicherheitstechnischen Kenngrößen sind für BWS in der Typ-Klassifizierung (Typ 2, Typ 3, Typ 4) umgesetzt. Für AOPDDR ist der Typ 3 definiert. Für AOPD sind die Typen 2 und 4 definiert.

Tabelle 28: Hauptunterschiede von AOPD des Typs 2 und des Typs 4 nach IEC 61496-2

	Typ 2	Typ 4
Funktionale Sicherheit	Zwischen den Testintervallen ist bei Auftreten eines Fehlers ein Verlust der Schutzfunktion möglich	Auch bei Auftreten von mehreren Fehlern bleibt die Schutzfunktion erhalten
EMV (elektromagnetische Verträglichkeit)	Grundanforderungen	Erhöhte Anforderungen
Maximaler Öffnungswinkel der Optik	10°	5°
Mindestabstand a zu reflektierenden Flächen, wenn Abstand D ≤ 3 m	262 mm	131 mm
	<p>The diagram illustrates the geometry for determining the minimum distance 'a' to a reflecting surface. A light beam is emitted from a sender (left) and received by a receiver (right) at a distance 'D'. The beam has a half-angle 'Öffnungswinkel'. A reflecting surface is located at a distance 'a' from the beam's axis. The distance 'D' is labeled as 'Abstand D Sender-Empfänger'.</p>	
Mindestabstand a zu reflektierenden Flächen, wenn Abstand D > 3 m	= Distanz x tan (10°/2)	= Distanz x tan (5°/2)
Mehrere Sender der gleichen Bauart in einer Anlage	Keine speziellen Anforderungen (Strahlcodierung wird empfohlen)	Keine Beeinflussung oder OSSDs schalten bei Beeinflussung aus

Neben strukturellen Aspekten (Kategorien nach ISO 13849-1) sind in der Typ-Klassifizierung auch einzuhaltende Anforderungen hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), der Umweltbedingungen und des optischen Systems definiert. Hierzu zählt insbesondere das Verhalten gegenüber Störquellen (Sonne, Lampen, Geräte gleicher Bauart etc.) und auch der Öffnungswinkel der Optiken bei Sicherheitslichtvorhängen oder Sicherheitslichtschranken (die Anforderungen an eine Typ-4-AOPD sind höher als an eine Typ-2-AOPD).



HINWEIS

Der Öffnungswinkel ist entscheidend, um den Mindestabstand gegenüber reflektierenden Flächen zu ermitteln (siehe Tabelle 28).

Erreichbare Zuverlässigkeit von Sicherheitsfunktionen mit optoelektronischen Schutzeinrichtungen

Tabelle 29: Gegenüberstellung der Sicherheitsniveaus von ISO 13849-1 und IEC 62061

		ISO 13849-1					Gerätebeispiele
		a	b	c	d	e	
BWS-Typ nach EN 61496-1	2						Sicherheitslichtvorhänge, Einstrahl-Sicherheitslichtschranken, Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranken
	3						Sicherheitslaserscanner, sichere Kamerasysteme
	4						
		1		2	3		
		SIL (IEC 62061)					



HINWEIS

Beachten Sie stets die in den Betriebsanleitungen der optoelektronischen Schutzeinrichtungen enthaltenen weiteren Anwendungshinweise, Informationen und Anweisungen!

Absicherungsarten und erforderliches Detektionsvermögen der BWS

In diesem Abschnitt werden die Absicherungsarten beschrieben und welche Körperteile von der BWS detektiert werden sollen.

Gefahrstellenabsicherung: Finger- oder Handerkennung

Bei der Gefahrstellenabsicherung soll die Annäherung der Person sehr nahe an der Gefahrstelle detektiert werden. Damit kann der geringste Mindestabstand realisiert werden. Das kann für eine ergonomische Bedienung der Maschine nötig sein z. B. für die Einlegearbeiten an einer Presse, oder um den Platzbedarf der Maschine gering zu halten. Daher müssen Finger/Hände detektiert werden und BWS mit Detektionsvermögen bis 40 mm (ISO 13855) sind erforderlich. Wenn eine Person den Detektionsbereich der Schutz-einrichtung passieren kann, ist die Verhinderung des unerwarteten Anlaufs notwendig, z. B. durch eine Rücksetzfunktion der BWS.



Abbildung 54: Gefahrstellenabsicherung an einem Montage-automat mit Sicherheitslichtvorhang

Zugangsabsicherung: Erkennen einer Person beim Zugang zum Gefahrenbereich

Bei der Zugangsabsicherung soll der Eintritt der Person in den **Gefahrenbereich** detektiert werden. Dafür ist die Detektion des größten Körperteiles (Torso) ausreichend. Die Zugangsabsicherung ist besonders für die Absicherung von großen Bereichen und **Bereichen mit räumlich großen Zugängen** geeignet. Eine Person, welche den Detektionsbereich der Schutzeinrichtung passiert hat, wird nicht mehr erkannt. Deshalb ist bei der Zugangsabsicherung immer eine Verhinderung des unerwarteten Anlaufs notwendig.

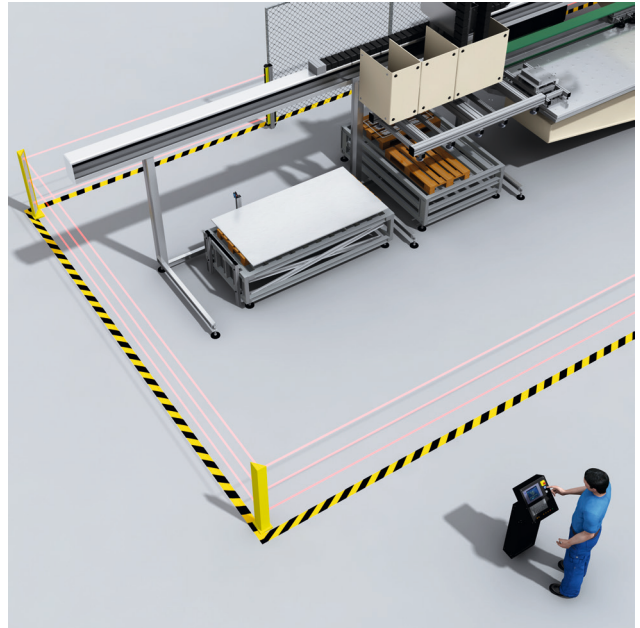


Abbildung 55: Zugangsabsicherung einer Maschine mit Mehral-Sicherheitslichtschranken und Umlenkspiegeln

Gefahrenbereichsabsicherung: Erkennen der Anwesenheit einer Person im Gefahrenbereich

Bei der Gefahrenbereichsabsicherung soll die Annäherung an und die Präsenz der Person **im Gefahrenbereich** detektiert werden. Dafür ist die Detektion der unteren **Gliedmaßen** oder des Torsos notwendig. Die Gefahrenbereichsabsicherung ist besonders für Maschinen geeignet, bei denen z. B. der **Gefahrenbereich** von der Position der Rücksetztaste aus nicht vollständig eingesehen werden kann. Die Gefahrenbereichsabsicherung benötigt keine Rücksetzfunktion, wenn der Detektionsbereich nicht in Richtung Gefahrstelle verlassen werden kann. Beim Eintreten in den **Gefahrenbereich** wird der gefährliche Zustand der Maschine beendet und ein Start verhindert.

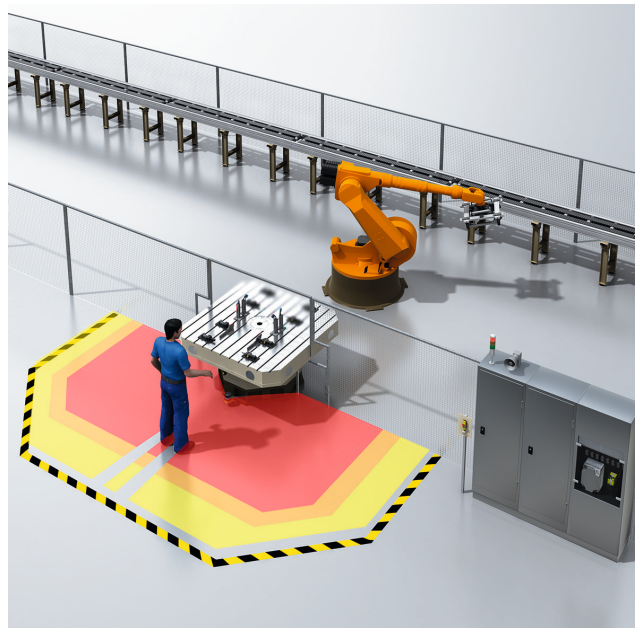


Abbildung 56: Gefahrenbereichsabsicherung eines Drehtischs mit Sicherheitslaserscanner

Mobile Gefahrenbereichsabsicherung: Erkennen der Annäherung einer Person an den Gefahrenbereich

Bei der mobilen Gefahrenbereichsabsicherung soll die Annäherung an, wie auch die Präsenz der Person in dem **Gefahrenbereich** einer beweglichen Gefahrstelle detektiert werden. Dafür ist die Detektion der unteren Gliedmaßen notwendig. Die Applikation kann gegebenenfalls erfordern, dass liegende Personen detektiert werden.

Die mobile Gefahrenbereichsabsicherung ist besonders für fahrerlose Fahrzeuge (z. B. Kräne und Stapler) geeignet.

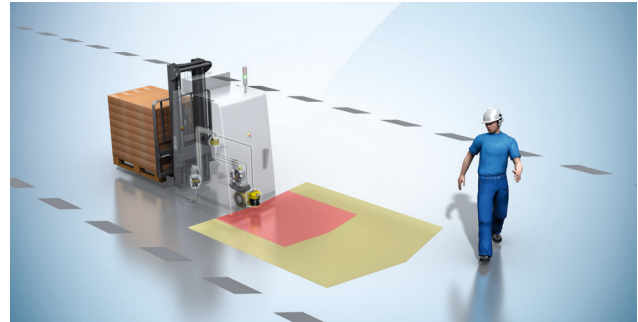


Abbildung 57: Mobile Gefahrenbereichsabsicherung eines selbstfahrenden Gabelstaplers mit Sicherheitslaserscanner

Automatische Materialdurchfahrt mit BWS

Die folgenden Sicherheitsfunktionen können entweder in die Logikeinheit oder auch direkt in geeignete BWS integriert werden.

Automatische Schutzfeldumschaltung

Wenn große Öffnungen von Maschinen mit BWS gesichert sind, kann durch Änderung der Form des aktiven Schutzfelds die Durchfahrt von Materialien oder Verpackungen mit unterschiedlichen Konturen ermöglicht werden. Der Zugang von Personen zur Gefahrenzone über oder hinter diese Materialien wird dabei verhindert. Einige Arten von BWS (AOPD) ermöglichen die Aktivierung vorprogrammierter Schutzfelder durch externe Signale. Anstatt die gesamte Schutzeinrichtung zu überbrücken (Muting), kann das passende (vertikale) Schutzfeld der BWS bei der Durchfahrt aktiviert werden.

Darüber hinaus kann eine Feldumschaltung auch erforderlich sein, wenn sich Gefahrenzonen von Maschinen während des Maschinenbetriebs dynamisch ändern, z. B. angepasste Sperrzonen bei Industrierobotern mit verschiedenen Betriebszyklen oder bei Transferwagen beim Andocken an einen Bahnhof.



Abbildung 58: Anwendungsbeispiel für die Durchfahrt von Material mit unterschiedlicher Kontur und entsprechend automatisch angepassten Schutzfeldern von Sicherheitslaserscannern

Zeitlich begrenzte Überbrückung (Muting)

Die Muting-Funktion (Überbrückung) erlaubt das zeitlich begrenzte Deaktivieren der Schutzfunktion einer Schutzeinrichtung. Diese wird benötigt, wenn Material durch das Schutzfeld der Schutzeinrichtung bewegt werden muss, ohne den Arbeitsablauf (Gefahr bringender Maschinentzustand) anzuhalten.

Sie kann auch sinnvoll eingesetzt werden, um den Arbeitsablauf zu optimieren, wenn bestimmte Maschinentzustände dies ermöglichen (z. B. Überbrückung der Funktion eines Sicherheitslichtvorhangs während des ungefährlichen Hochlaufens eines Pressenstößels, wodurch dem Bediener eine leichtere Werkstückentnahme ermöglicht wird).

Muting darf nur möglich sein, wenn der Zugang zur Gefahrstelle durch das durchfahrende Material blockiert wird. Wenn Detektionsbereiche nicht hintertretbar (nicht passierbar) sind, darf Muting nur möglich sein, wenn die noch stattfindenden Maschinenfunktionen nicht gefährlich sind (z. B. nicht Gefahr bringender Aufwärtshub bei einer Presse). Dieser Zustand wird durch Muting-Sensoren bzw. -Signale festgestellt.

Für die Muting-Funktion ist große Sorgfalt bei der Auswahl und Positionierung der Muting-Sensoren und der verwendeten Steuerungssignale notwendig.

Folgende Bedingungen sind einzuhalten, um eine sichere und normgerechte Muting-Funktion zu implementieren:

- Während des Mutings muss ein sicherer Zustand durch andere Mittel sichergestellt sein, d. h., ein Zugang zum Gefahrenbereich darf nicht möglich sein.
- Muting muss automatisch und darf nicht manuell erfolgen.
- Muting darf nicht von einem einzelnen elektrischen Signal abhängig sein.
- Muting darf nicht vollständig von Softwaresignalen abhängig sein.
- Muting-Signale dürfen keinen Muting-Zustand erlauben, wenn sie im Verlauf einer ungültigen Kombination auftreten.
- Der Muting-Zustand muss sofort nach dem Durchfahren des Materials aufgehoben werden.

Zur Verbesserung der Unterscheidungsqualität können zusätzliche Grenzwerte, Verknüpfungen oder Signale verwendet werden, z. B.:

- Bewegungsrichtung des Materials (Sequenz der Muting-Signale)
- Begrenzung der Muting-Dauer
- Materialanforderung durch die Maschinensteuerung
- Betriebszustand der fördertechnischen Elemente (z. B. Förderband, Rollenförderer)
- Materialerkennung durch zusätzliche Eigenschaften (z. B. Barcode)

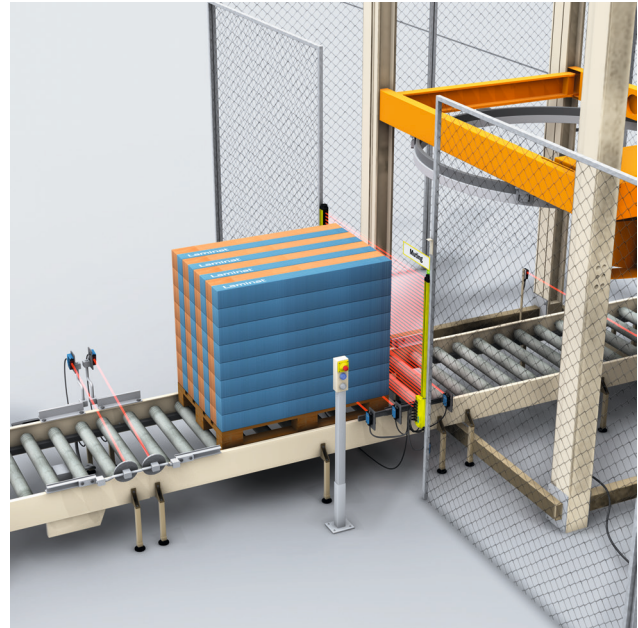


Abbildung 59: Muting-Funktion mit Sicherheitslichtvorhang und Muting-Sensoren an einer Folienwickelmaschine



HINWEIS

→ Praktische Anwendung von BWS: IEC 62046

Sicherheitslichtvorhänge mit Entry-Exit-Funktion

Eine weitere Möglichkeit, Material in einen abgesicherten Bereich zu bewegen, ist die aktive Unterscheidung zwischen Mensch und Material (Entry-Exit-Funktion).

Bei dieser Applikation werden horizontal angeordnete Sicherheitslichtvorhänge (AOPD) angewendet. Jeder ihrer Lichtstrahlen kann ausgewertet werden, um das Unterbrechungsmuster des Materials oder Materialträgers (z. B. Palette) von dem einer Person zu unterscheiden.

Durch Anwendung selbstlernender, dynamischer Ausblendung sowie weiterer Unterscheidungskriterien, wie Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Ein- und Austritt im Schutzfeld etc., kann eine sicherheitsrelevante Unterscheidung erzielt werden. Dadurch wird ein unerkanntes Eindringen von Personen in den Gefahrenbereich zuverlässig verhindert (siehe [Abbildung 60](#)).

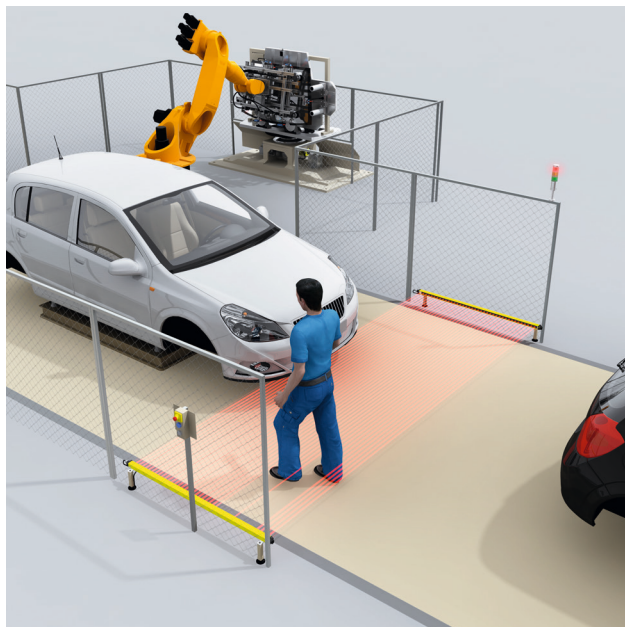


Abbildung 60: Entry-Exit-Funktion mit horizontal angeordnetem Sicherheitslichtvorhang in einer Bearbeitungsstation einer Automobilfertigungsstraße

Sicherheitslaserscanner mit Schutzfeldumschaltung

Eine alternative Möglichkeit, Material in einen abgesicherten Bereich zu bewegen, ist die aktive Umschaltung von Schutzfeldern. Anstelle der aktiven Schutzfeldumschaltung kann eine getrennte Auswertung simultaner Schutzfelder angewendet werden.

In der Regel werden bei dieser Applikation Sicherheitslaserscanner mit senkrechten (auch leicht geneigten) Schutzfeldern angewendet.

Durch geeignete Signale aus der Maschinensteuerung und aus entsprechend positionierten Sensoren wird aus einer Reihe von vorprogrammierten Schutzfeldern das geeignete Schutzfeld aktiviert. Die Schutzfeldkontur wird so gestaltet, dass die Durchfahrt des Materials nicht zum Ansprechen der Schutzeinrichtung führt, aber die nicht überwachten Bereiche ausreichend klein sind, um das unerkannte Eindringen von Personen in den Gefahrenbereich zu verhindern (siehe [Abbildung 61](#)).

Alternativ kann die Schutzfeldumschaltung selbständig durch Schutzeinrichtung erfolgen, ohne dass externe Sensoren oder Signale erforderlich sind (z. B. Systemlösung Safe Portal von SICK, siehe [Abbildung 62](#), [Seite 83](#)).

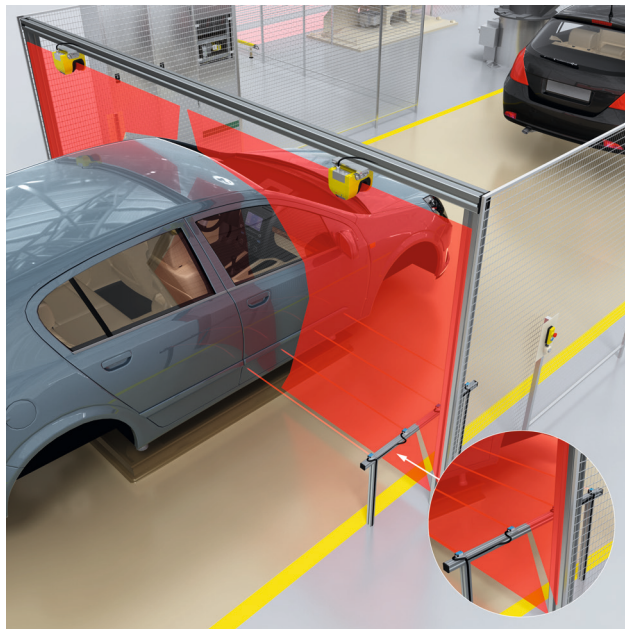


Abbildung 61: Zugangsabsicherung mit Möglichkeit der Materialdurchfahrt mit Sicherheitslaserscannern, senkrechten Schutzfeldern und Schutzfeldumschaltung mit geeignet angeordneten Sensoren

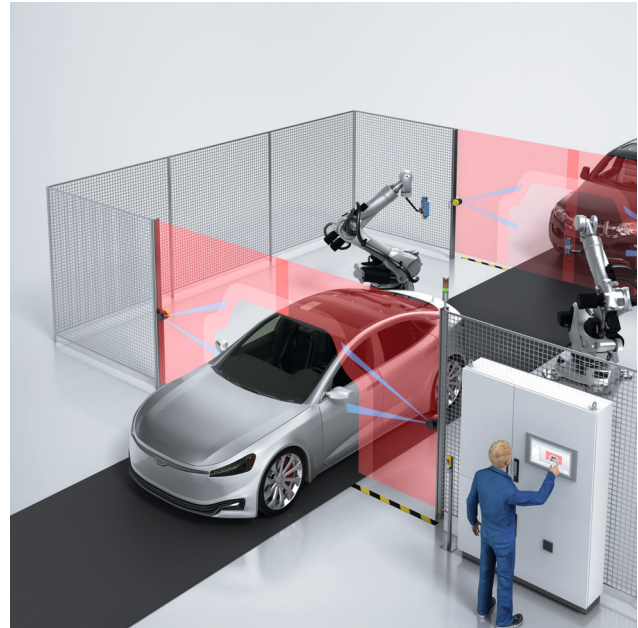


Abbildung 62: Anwendungsbeispiel für Materialtransfer mit unterschiedlicher Kontur. Die Sicherheitslaserscanner identifizieren das Material über die Kontur und passen die Schutzfelder dynamisch an.

Zusätzliche Funktionen von BWS

Ausblendung (Blanking)

Bei vielen AOPD kann die Konfiguration des Detektionsvermögens und/oder des Schutzfelds so gestaltet werden, dass die Anwesenheit von einem oder mehreren Objekten innerhalb eines definierten Teils des Schutzfelds nicht zur Auslösung der Sicherheitsfunktion (Aus-Zustand) führt. Die Ausblendung kann verwendet werden, um bestimmte Objekte durch das Schutzfeld hindurchzuführen, z. B. Schlauch für Kühlschmiermittel, Rutsche bzw. Träger für Werkstücke (siehe Abbildung 63).

Bei der **festen Ausblendung** wird der ausgeblendete Bereich in Größe und Position fest definiert. Bei der **beweglichen Ausblendung** wird nur die Größe des ausgeblendeten Bereichs festgelegt, nicht aber die Lage im Schutzfeld (siehe Tabelle 30).

Um Lücken im Schutzfeld zu vermeiden, kann die Abwesenheit (oder in einigen Fällen eine Änderung der Größe oder der Position) des Objekts genutzt werden, um die Sicherheitsfunktion auszulösen (Aus-Zustand).

Wenn der ausgeblendete Bereich nicht vollständig durch die ausgeblendeten Objekte verdeckt wird, entsteht eine Lücke(n) im Schutzfeld. Diese muss (müssen) entweder durch zusätzliche Abdeckung geschlossen werden (siehe Abbildung 63). Alternativ muss das aus der Lücke resultierende Detektionsvermögen in der Mindestabstandsberechnung berücksichtigt werden.

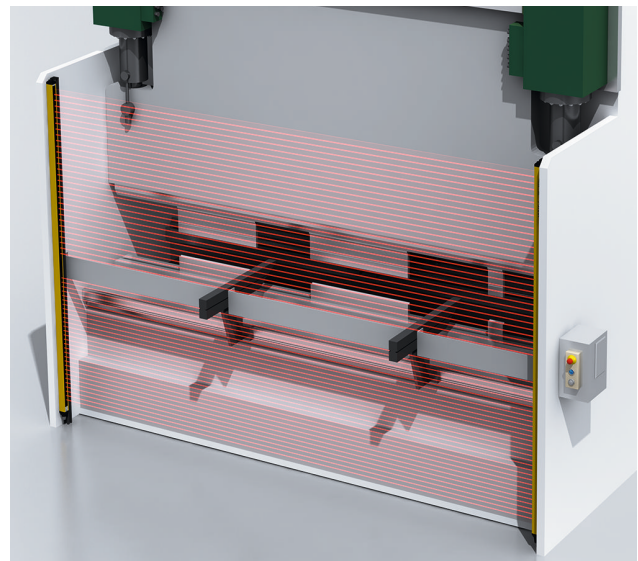


Abbildung 63: Feste Ausblendung von Strahlen eines Lichtvorhangs an einer Abkantpresse



HINWEIS

Im ausgeblendeten Bereich vergrößert (verschlechtert) sich das Detektionsvermögen der BWS. Berücksichtigen Sie die entsprechenden Angaben des Herstellers bei der Berechnung des Mindestabstands.

Tabelle 30: Kriterien für feste und bewegliche Ausblendung

Feste Ausblendung		Bewegliche Ausblendung	
Feste Ausblendung	Feste Ausblendung mit erhöhter Größentoleranz	Bewegliche Ausblendung mit vollständiger Objektüberwachung	Bewegliche Ausblendung mit teilweiser Objektüberwachung
Ein Objekt fester Größe muss sich an einer bestimmten Stelle im Schutzfeld befinden.	Von der Bedienerseite darf sich ein Objekt begrenzter Größe durch das Schutzfeld bewegen.	Ein Objekt fester Größe muss sich innerhalb eines bestimmten Bereichs im Schutzfeld befinden. Das Objekt darf sich bewegen.	Ein Objekt fester Größe darf sich innerhalb eines bestimmten Bereichs im Schutzfeld befinden. Das Objekt darf sich bewegen.

Um Lücken im Schutzfeld zu vermeiden, kann die Abwesenheit (oder in einigen Fällen eine Änderung der Größe oder der Position) des Objekts genutzt werden, um die Sicherheitsfunktion auszulösen (AUS-Zustand).

Steuern mit einer Schutzeinrichtung - Taktbetrieb

Als Taktbetrieb wird die Verwendung der Schutzeinrichtung zum Auslösen der Maschinenfunktion (steuernde Schutzeinrichtung) bezeichnet. Diese Betriebsart ist vorteilhaft, wenn Teile zyklisch von Hand eingelegt bzw. entnommen werden.

Taktbetrieb darf normgerecht nur mit AOPD vom Typ 4 und einer wirksamen Auflösung $d \leq 30$ mm ausgeführt werden. Im Taktbetrieb wartet die Maschine an einer definierten Position auf eine angegebene Anzahl von Eingriffen des Bedieners. Der Sicherheitslichtvorhang gibt die Gefahr bringende Bewegung nach einer bestimmten Anzahl von Unterbrechungen automatisch wieder frei.

Unter folgenden Bedingungen ist ein Rücksetzen der BWS erforderlich:

- beim Maschinenstart
- beim Wiederanlauf, wenn die AOPD innerhalb einer Gefahr bringenden Bewegung unterbrochen wird
- wenn innerhalb der vorgegebenen Taktzeit kein Takt ausgelöst wurde

Es muss geprüft werden, dass während des Arbeitsprozesses keine Gefährdung für den Bediener entstehen kann. Dies begrenzt die Verwendung dieser Betriebsart auf Maschinen, bei denen der Gefahrenbereich nicht begehbar und es dem Bediener nicht möglich ist, unerkannt zwischen Schutzfeld und Maschine zu verbleiben (Hintertretschutz).

1-Takt-Betrieb bedeutet, dass die AOPD die Maschinenfunktion auslöst, nachdem der Bediener den Eingriff beendet hat.

2-Takt-Betrieb bedeutet, dass die AOPD die Maschinenfunktion nach dem ersten Eingreifen des Bedieners (z. B. Entnahme eines bearbeiteten Werkstücks) im verriegelten Zustand belässt. Erst wenn der Bediener den zweiten Eingriff beendet hat (z. B. Zuführen eines Rohlings), gibt die AOPD die Maschinenfunktion wieder frei.

Taktbetrieb wird oft an Pressen und Stanzen angewendet, kann aber auch an anderen Maschinen verwendet werden (z. B. an Drehtischen, Montageautomaten). Bei der Anwendung des Taktbetriebs darf der Lichtvorhang nicht hintertretbar sein. Bei Pressen gelten für den Taktbetrieb besondere Bedingungen.

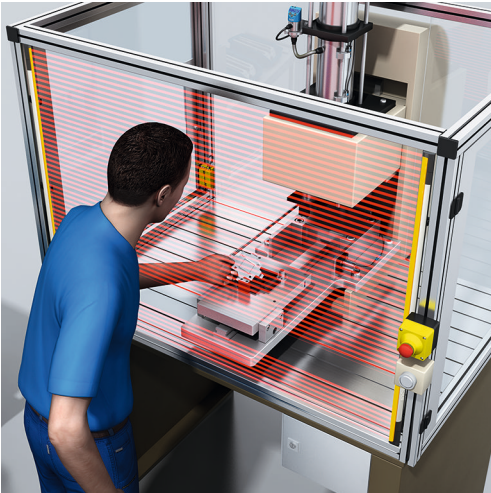


Abbildung 64: 1-Takt-Betrieb an einem Montageautomaten mit Sicherheitslichtvorhang. Beim Einlegen befindet sich das Werkzeug im oberen Punkt. Nach Freigabe des Schutzfelds durch den Bediener wird der Montageprozess eingeleitet.

HINWEIS
Für Taktbetrieb muss die Auflösung der AOPD feiner oder gleich 30 mm sein (Finger- oder Handdetektion).

HINWEIS
→ Taktauslösung: Typ-B-Normen ISO 13855, IEC 61496-1
→ Taktbetrieb an Pressen: Typ-C-Normenreihe ISO 16092

Unterschiedliche Schutzfelder

Wenn Schutzfelder mit unterschiedlichen Formen und/oder Abmessungen erforderlich sind, müssen entsprechende Anforderungen erfüllt sein. Diese Anforderungen betreffen:

- das Sicherheitsniveau der sicherheitsbezogenen Teile des Steuerungssystems (SRP/CS)
- die Vermeidung unzulässiger Zustände oder unzulässiger Umkonfigurationen
- die Aktivierung, sowie die Bedingungen zur Einleitung des automatischen Modus der Maschine
- den einzunehmenden Zustand bei Erkennung eines Fehlers
- die notwendigen Bedingungen zur Auswahl des Schutzfeldes
- die Einrichtung und die organisatorischen Maßnahmen

Wenn Applikationen mit simultanen Felddauswertungen realisiert werden, reduziert sich die Anzahl der Umschaltungen. Die Ausführung wird stark vereinfacht.

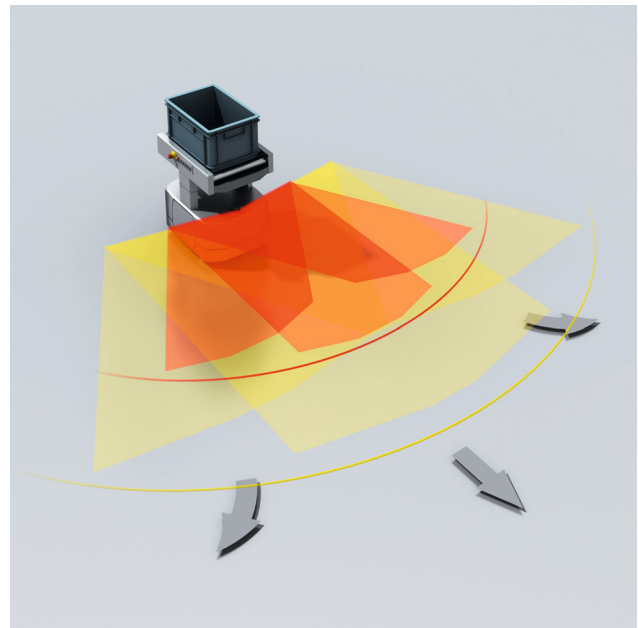


Abbildung 65: Schutzfelder eines Sicherheitslaserscanners mit unterschiedlichen Geometrien an einem fahrerlosen Fahrzeug



Abbildung 66: Anwendungsbeispiel für Schutzfelder an einem fahrerlosen Fahrzeug

Zusätzliche Anforderungen für die automatische Auswahl von aktiven Schutzfeldern, um die Durchfahrt von Material in oder aus einem Gefahrenbereich zu ermöglichen:

- Ein "maximales" (größtes) aktives Schutzfeld ist so zu konfigurieren, dass ein unerkannter Zugang zu den Gefahrenbereichen verhindert wird, wenn dieser Zugang nicht durch das Material blockiert ist.
- Mindestens eines der Umschaltsignale muss von einem Sensor erzeugt werden, der die Position des Materials erkennt, welches den Zugang zum Gefahrenbereich blockiert.
- Eine Unterbrechung und/oder Wiederherstellung der Stromversorgung der Sensoren zur Materialerkennung darf nicht dazu führen, dass ein aktives Schutzfeld gewählt wird, das für den Zustand der Maschine nicht geeignet ist.
- Das größte Schutzfeld wird unmittelbar nach dem Durchgang des Materials durch das aktive Schutzfeld automatisch aktiviert.
- Die automatische Auswahl des aktiven Schutzfeldes darf nicht durch einen Erdschluss oder eine Unterbrechung der Signalleitungen oder der Stromversorgung des/der Sensoren zur Materialerkennung ausgelöst werden.

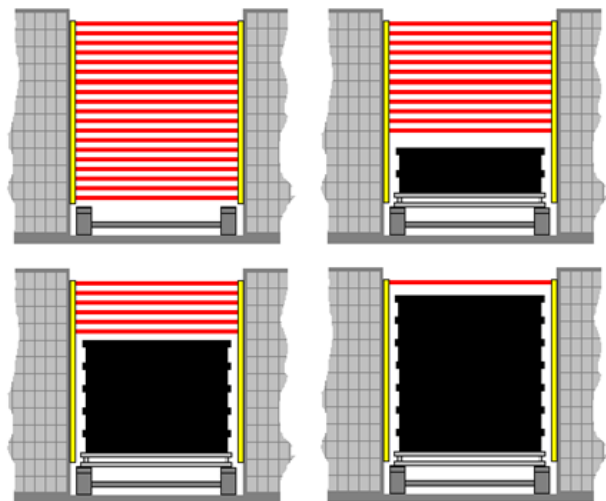


Abbildung 67: Schematische Darstellung der Schutzfeldumschaltung mit Sicherheitslichtvorhängen (AOPD) für die Durchfahrt von Material

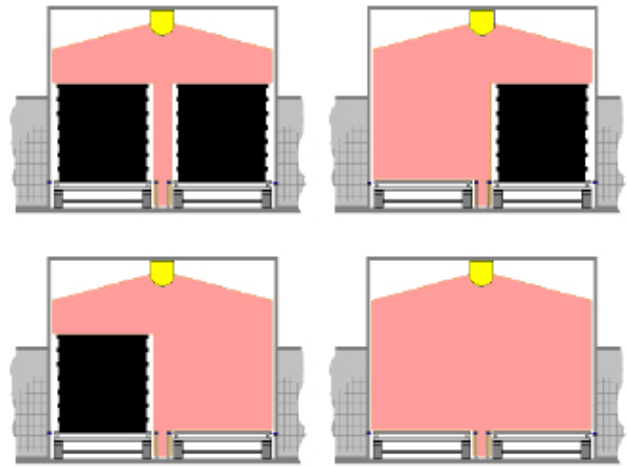


Abbildung 68: Schematische Darstellung der Schutzfeldumschaltung mit vertikal montierten Sicherheitslaserscannern (AOPDDR) für die Durchfahrt von Material

Ortsbindende Schutzeinrichtungen

Ortsbindende Schutzeinrichtungen sind nicht trennende Schutzeinrichtungen, die eine Person an einen Ort außerhalb des Gefahrenbereichs binden, z. B. Taster, Fußschalter oder Zweihandeinrichtungen.



HINWEIS

Eine vollständige und gute Übersicht über ortsbindende Schutzeinrichtungen findet man in:

→ Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-662-62703-7 (8. Auflage 2020)

Zweihandschaltung

Die Gefahr bringende Funktion wird nur durch bewusstes Betätigen von zwei Befehlsgeräten (z. B. Taster) ausgelöst und endet, sobald eines der Befehlsgeräte nicht mehr betätigt wird. Eine Zweihandschaltung kann immer nur einen Bediener schützen. Wenn mehrere Bediener eine Maschine bedienen, muss für jeden Bediener eine eigene Zweihandschaltung installiert sein. Es gibt verschiedene Typen von Zweihandschaltungen. Die unterscheidenden Merkmale werden nachfolgend aufgeführt.



Abbildung 69: Beispiel der Anwendung einer Zweihandeinrichtung. Diese ist beweglich ausgeführt (Ergonomie). Ein Disanzring sichert die Einhaltung des Sicherheitsabstands zur Gefahrstelle.

Folgende Grundsatzprinzipien gelten für alle Typen:

- Die Benutzung beider Hände muss sichergestellt sein.
- Das Loslassen eines der beiden Bedienteile beendet die Gefahr bringende Funktion.
- Versehentliches Betätigen muss verhindert werden.
- Ein einfaches Umgehen der Zweihandschaltung ist nicht möglich.
- Die Zweihandschaltung darf nicht in den Gefahrenbereich mitgenommen werden können.

Für Zweihandschaltungen vom Typ II und Typ III gilt zusätzlich:

- Das Einleiten einer erneuten Funktion darf erst nach Loslassen beider Bedienteile und anschließender Betätigung erfolgen.

Für Zweihandschaltungen vom Typ III gilt zusätzlich:

- Das Einleiten einer Funktion darf nur erfolgen, wenn beide Bedienteile innerhalb von 0,5 Sekunden synchron betätigt wurden.

Für Zweihandschaltungen vom Typ III sind Untertypen mit detaillierten steuerungstechnischen Anforderungen definiert. Die wichtigsten Untertypen sind:

- Typ III A: PLc oder SIL 1
- Typ III B: PLd oder SIL 2 mit HFT1
- Typ III C: PLe oder SIL 3 mit HFT1



HINWEIS

HFT1: [siehe „Hardwarefehlertoleranz \(HFT\)“, Seite 146](#)



HINWEIS

→ Anforderungen an Zweihandschaltungen: ISO 13851 (Typ-B-Norm)



WICHTIG

→ Berechnung des Mindestabstands für Zweihandschaltungen [siehe „Lösungsansätze zur Berechnung des Mindestabstands“, Seite 105](#)

Zustimmeinrichtungen

Zustimmeinrichtungen sind Befehlsgeräte mit denen der Bediener der Ausführung einer Maschinenfunktion bewußt zustimmt.

Als Zustimmeinrichtungen werden in der Regel Drucktaster oder Fußschalter verwendet. Industriell bewährt und daher zu empfehlen sind dreistufige Zustimmeinrichtungen.

- Stellung 1, unbetätigt
Keine Zustimmung zur Ausführung der Funktion
- Stellung 2, in Mittelstellung betätigt
Zustimmung zur Ausführung der Funktion
- Stellung 3, über die Mittelstellung heraus betätigt
Keine Zustimmung zur Ausführung der Funktion und sofortige Beendigung dieser. Je nach Anwendung kann auch die Auslösung einer sicherheitsbezogene Stopp-Funktion oder einer Not-Halt Funktion erforderlich sein.

Beim Einrichten, bei der Instandhaltung und bei einer notwendigen ortsnahen Beobachtung von Fertigungsabläufen können mit Zustimmeinrichtungen die Funktionen der für den Normalbetrieb vorgesehenen Schutzeinrichtungen zeitweilig aufgehoben werden. Diese ist jedoch nur in Verbindung mit weiteren Maßnahmen zulässig, die das Risiko minimieren (verminderte Kraft bzw. Geschwindigkeit etc.).



Abbildung 70: Zustimmeinrichtung zur Einrichtung eines Bohrautomaten

! WICHTIG
Der Maschinenstart darf nicht allein durch das Betätigen einer Zustimmeinrichtung ausgelöst werden. Vielmehr wird eine Bewegung nur so lange zugelassen, wie die Zustimmeinrichtung betätigt ist.

Beim Wechsel zurück, von der Stellung 3 in die Stellung 2, darf die Zustimmungsfunktion nicht freigegeben werden.

Sind Zustimmeinrichtungen in Stellung 3 mit gesonderten Kontakten ausgeführt, ist es empfehlenswert diese in einer sicherheitsbezogene Stopp-Funktion oder in der Not-Halt Funktion einzubinden.

Auch beim Einsatz von Zustimmeinrichtungen ist die Manipulationssicherheit von hoher Bedeutung.

i HINWEIS
→ Anforderungen an Zustimmeinrichtungen: IEC 60204-1

Fußschalter

Fußschalter werden zum Steuern von Arbeitsabläufen eingesetzt.

Bei bestimmten Maschinen (z. B. an Pressen, Stanzen, Biege- und Blechbearbeitungsmaschinen) dürfen Fußschalter in Sicherheitsfunktionen nur unter folgenden Bedingungen verwendet werden:

- nur bei besonderen Betriebsarten
- immer in Verbindung mit anderen technischen Schutzmaßnahmen (z. B. langsame Geschwindigkeit einer Gefahr bringenden Bewegung)

Fußschalter in dieser Verwendung sind wie folgt auszuführen:

- mit Schutzhaube gegen unbeabsichtigtes Betätigen
- in dreistufiger Ausführung analog dem Zustimmeschalterprinzip (siehe „Zustimmeinrichtungen“, Seite 89)
- mit Rückstellung per Hand, bei Betätigung des Stellteils über den Druckpunkt

- in einer Art, dass nach einem Stopp der Gefahr bringenden Maschinenfunktion der Wiederanlauf erst nach dem Loslassen und erneuter Betätigung des Fußschalters erfolgt
- in einer Art, dass ein Kurzschluss in der Verbindungsleitung zwischen Fußschalter und Steuersystem keinen unbeabsichtigten Anlauf auslöst (z. B. mit mindestens einem Schließer- und einem Öffnerkontakt zur Auswertung)
- in entsprechender Anzahl für alle Bedienpersonen, damit eine Gefahr bringende Maschinenfunktion nur eingeleitet und aufrechterhalten werden kann, wenn alle Fußschalter betätigt sind

Sensorik für die Überwachung von Maschinenparametern

Die Risikobeurteilung kann ergeben, dass bestimmte Maschinenparameter im Betrieb überwacht und erfasst werden müssen (siehe „Maschinenparameter überwachen“, Seite 48).

Sichere Positionsüberwachung

Wenn aus Sicherheitsgründen Teile einer Maschine eine bestimmte Position nicht überfahren oder verlassen dürfen, sollen hierfür Positionsschalter oder sicherheitsgerichtete Sensoren verwendet werden.

Besonders geeignet für diese Aufgabe sind berührungslos wirkende, sicherheitsgerichtete induktive Positionsschalter (siehe Tabelle 21, Seite 64). Diese überwachen ohne einen besonderen Betätiger verschleißfrei und mit hoher Schutzart einen bestimmten Teil einer Roboterachse oder eines beweglichen Maschinenteils auf Anwesenheit.

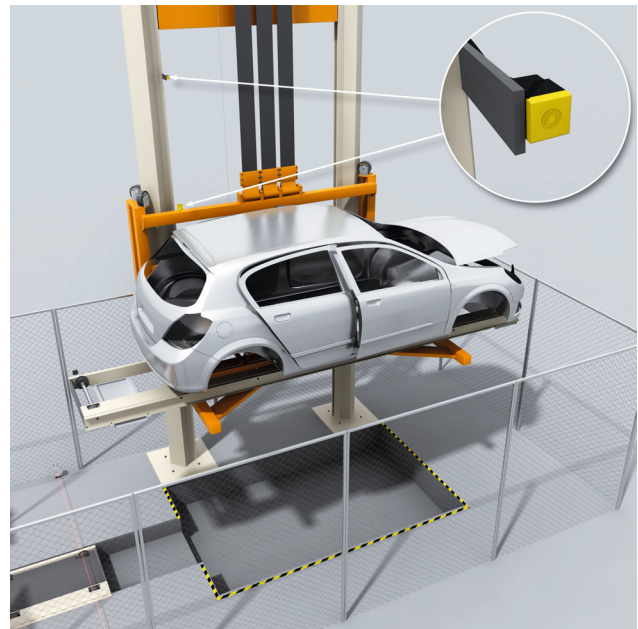


Abbildung 71: Sichere Positionsüberwachung einer Hebevorrichtung in einer Automobilfertigungsstraße

Überwachung von Drehzahl, Geschwindigkeit, Nachlauf

Drehgeber oder Wegmesssysteme ermöglichen eine Erfassung und Auswertung von Drehzahl, Geschwindigkeit oder Nachlauf.

Bei fahrerlosen Transportsystemen können die Signale von Drehgebern verwendet werden, um die Schutzfeldgröße von Sicherheitslaserscannern an die Fahrgeschwindigkeit anzupassen.

Sichere Stillstands- oder Drehwächtermodule überwachen die Bewegung von Antrieben mittels Sensoren oder Drehgebern, um bei Stillstand oder beim Abweichen von eingestellten Parametern ein sicheres Steuerungssignal zu erzeugen. Bei höheren sicherheitstechnischen Anforderungen sind entweder sicherheitsgerichtete oder redundante Geber anzuwenden.

Eine weitere Möglichkeit ist, die Spannung zu überwachen, die von einem austrudelnden Motor durch Restmagnetisierung induziert wird.

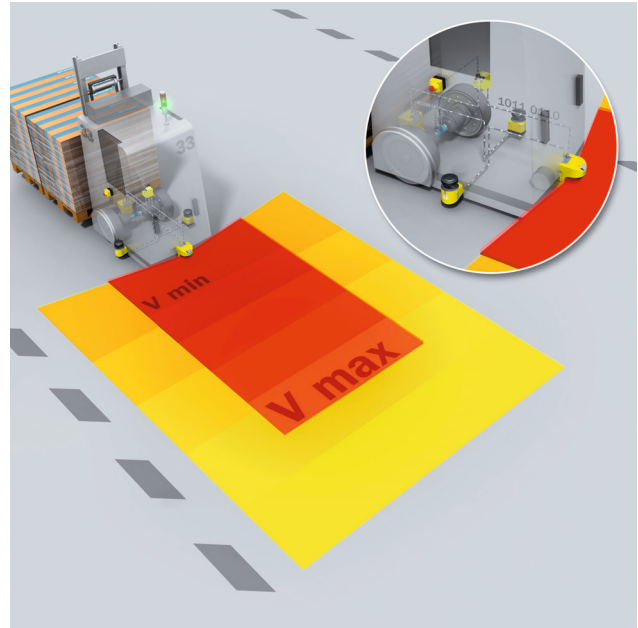


Abbildung 72: Geschwindigkeitsüberwachung zur Schutzfeldumschaltung an einem fahrerlosen Transportfahrzeug

Druckempfindliche Schutzeinrichtungen

In einigen Anwendungsfällen können druckempfindliche Schutzeinrichtungen, wie Schaltmatten, Schaltleisten oder Bumper, sinnvoll sein. Das Funktionsprinzip beruht in den meisten Fällen auf einer elastischen Verformung eines Hohlkörpers, der dafür sorgt, dass ein interner Signalgeber (elektromechanisch oder optisch) die Sicherheitsfunktion auslöst.

Die üblichen elektromechanisch wirkenden Systeme gibt es in unterschiedlichen Ausführungen.

Die richtige mechanische Ausgestaltung und Integration ist in allen Fällen für eine wirksame Schutzfunktion unbedingt einzuhalten. Das Erkennen von Kindern mit einem Körpergewicht unter 20 kg wird in den Produktnormen für Schaltmatten und Schaltplatten nicht berücksichtigt.

Tabelle 31: Funktionsprinzipien von Schaltmatten, Schaltleisten, Bumpern

Kurzschlussbildende Ausführungen (Arbeitsstromprinzip)		Zwangsoffnende Ausführung (Ruhestromprinzip)
4-Draht-Variante	Widerstandsvariante	
<p>Bei beiden Varianten wird ein Kurzschluss erzeugt, wenn die Schutzeinrichtung aktiviert wird. Bei der 4-Draht-Ausführung wird ein Stromkreis kurzgeschlossen (wenige Ohm). Bei der Widerstandsvariante wird eine Änderung zu einem Soll-Widerstandswert (im Bereich kOhm) detektiert. Diese Ausführungsformen benötigen eine aufwendigere Auswertung.</p>		<p>Diese Ausführungsform ist universeller und vorteilhafter. Die Aktivierung der Schutzeinrichtung führt zum Öffnen des Schaltkontakts. Durch spezielle Leitungsverlegung ist ein Kurzschluss zwischen den Leitungen auszuschließen.</p>



HINWEIS

Gestaltung druckempfindlicher Schutzeinrichtungen: Typ-B-Norm ISO 13856 (Normenreihe)

Ergänzende Schutzmaßnahmen

Erforderlichenfalls müssen weitere Schutzmaßnahmen vorgesehen werden, die weder inhärent sichere Konstruktionen noch technische Schutzmaßnahmen sind.

Solche ergänzenden Schutzmaßnahmen sind u. a.:

- Einrichtungen zum Stillsetzen im Notfall
- Maßnahmen zur Befreiung und Rettung eingeschlossener Personen
- Maßnahmen zur Energietrennung und Energieableitung (siehe „Netzanschluss“, Seite 33 und siehe „Netztrenneinrichtung“, Seite 34)
- Vorkehrungen für die leichte und sichere Handhabung von Maschinen und schweren Teilen
- Maßnahmen für sicheren Zugang zu Maschinen

Wenn diese ergänzenden Maßnahmen von der korrekten Funktion entsprechender Steuerungsteile abhängig sind, dann handelt es sich um „Sicherheitsfunktionen“. Die Anforderungen der funktionalen Sicherheit müssen für diese Maßnahmen erfüllt werden. (siehe „Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf“, Seite 115).

Handlungen im Notfall

Um aufkommende Gefährdungen für Personen, Schäden an Maschinen oder Produktionsprozessen abzuwenden oder bereits bestehende zu mindern, sind Funktionen für solche Notfälle vorzusehen. Diese Funktionen, die im Notfall das Anhalten von Maschinenfunktionen (Not-Halt) oder das Trennen der elektrischen Energie hervorrufen (Not-Aus), sind ergänzende Schutzmaßnahmen für Gefährdungen an Maschinen. Sie ersetzen nicht die Anwendung von inhärent sicherer Konstruktion oder von Schutzeinrichtungen.



Abbildung 73: Not-Halt- und Reset-Befehlsgeräte an Roboterstation

Not-Halt (Stillsetzen im Notfall – ISO 13850)

Im Notfall müssen nicht nur alle Gefahr bringenden Bewegungen angehalten, sondern alle Energiequellen sicher abgeleitet werden, von denen eine Gefährdung ausgeht, wie z. B. gespeicherte Energien. Diese Handlung wird mit Not-Halt bezeichnet. Jede Maschine muss mit mindestens einer Not-Halt-Funktion ausgerüstet sein, mit Ausnahme von:

- Maschinen, bei denen ein Not-Halt das Risiko nicht verringern würde
- von Hand tragbaren und handgeführten Maschinen

Die Not-Halt-Funktion soll durch eine einzelne Handlung einer Person ausgelöst werden. Für die Not-Halt-Funktion und deren Einrichtungen gelten gemäß ISO 13850 folgende grundlegende Anforderungen:

- Die Betätiger von Not-Halt-Befehlsgeräten müssen leicht erreichbar sein.
- Die Not-Halt-Funktion muss den gefahrbringenden Zustand in geeigneter Weise schnellstmöglich beenden, ohne dass zusätzliche Risiken entstehen.
- Die Not-Halt-Funktion muss gegenüber allen anderen Funktionen und Befehlen in allen Betriebsarten Vorrang haben.
- Die Not-Halt-Funktion darf nicht die Wirksamkeit von anderen Sicherheitsfunktionen beeinträchtigen.
- Das Rückstellen der Not-Halt-Befehlsgeräte darf keinen Wiederanlauf einleiten.
- Das Prinzip der direkten mechanisch zwangsläufigen Betätigung mit mechanischer Verriegelungsfunktion muss angewendet werden (in IEC 60947-5-1 als Verrastfunktion bezeichnet).
- Wenn ein Not-Halt-Befehlsgerät betätigt wird, muss ein Stoppbefehl ausgelöst werden, unabhängig von der Wirksamkeit der mechanischen Verriegelungsfunktion bzw. Verrastfunktion.
- Die Not-Halt-Funktion muss entsprechend Stopp-Kategorie 0 oder 1 erfolgen (siehe „Stillsetzen“, Seite 37).
- Die Not-Halt-Funktion muss so konzipiert sein, dass Entscheidungen, diese auszulösen, der entsprechenden Person keine Überlegungen bezüglich der sich daraus ergebenden Wirkungen abverlangt (z. B. wirtschaftliche Verluste).

Rücksetzen

Wenn ein Gerät für Handlungen im Notfall betätigt wird, dann müssen hierdurch ausgelöste Einrichtungen im Aus-Zustand verbleiben, bis das Gerät für Handlungen im Notfall zurückgesetzt wurde. Das Rücksetzen von Befehlsgeräten muss manuell vor Ort erfolgen. Dabei darf nur das Wiedereingangssetzen der Maschine vorbereitet werden (siehe „Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf“, Seite 115).

Die Betriebsanleitung der Maschine muss Aussagen machen, dass nach der Betätigung und vor der Rückstellung des Befehlsgeräts die Maschine überprüft werden muss, um den Grund für die Betätigung zu ermitteln. Wenn die Betätigung des Not-Halt-Befehlsgeräts durch Seile oder Drähte erfolgt, müssen die Hinweise die Überprüfung der gesamten Länge der Seile oder Drähte beinhalten.

Bei Not-Halt-Befehlsgeräten in tragbaren Bedienstation darf das Rücksetzen des Not-Halt-Befehls nur möglich sein nachdem das betätigte Not-Halt-Befehlsgerät entriegelt wurde. Wenn der Wirkungsbereich nicht vollständig einsehbar ist, müssen eine oder mehrere Rücksetztaster im oder am Wirkungsbereich ein zusätzliches Rücksetzen erfordern. Dies soll sicherstellen, dass keine Personen sich in einen Gefahrenbereich befinden um Risiken durch einen unerwarteten Anlauf zu vermeiden und keine der Hilfe bedürftigen Personen unentdeckt an oder in der Maschine bleiben.

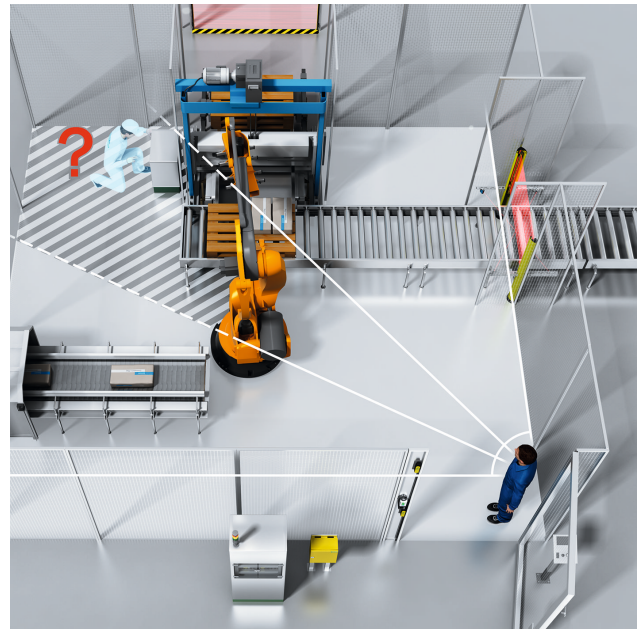


Abbildung 74: Beispiel eines nicht vollständig einsehbaren Wirkungsbereichs

Not-Halt-Ausrüstung

Die Not-Halt-Funktion ist eine „Sicherheitsfunktion“ und daher sind die Anforderungen der funktionalen Sicherheit zu erfüllen (ISO 13849-1 oder IEC 62061).

Die erforderliche Zuverlässigkeit der Sicherheitsfunktion (PL oder SIL) soll dem Zweck der Not-Halt-Funktion entsprechen. Die Mindestanforderung ist nach ISO 13850 jedoch PL c oder SIL1 nach IEC 62061.

Die hydraulische und pneumatische Ausrüstung, die eine Not-Halt-Funktion ausführt, muss den Anforderungen von ISO 4413 bzw. ISO 4414 entsprechen.

Die elektrische Ausrüstung für Not-Halt-Funktionen muss die Anforderungen der IEC 60204-1 erfüllen. Die Kontakte der verwendeten elektrischen Befehlsgeräte müssen zwangsöffnend sein.

Die Betätiger müssen rot sein. Der Hintergrund muss gelb sein, soweit vorhanden und technisch möglich. Es können eingesetzt werden:

- mit Pilzdrucktasten betätigte Schalter
- mit Drähten, Seilen oder Schienen betätigte Schalter
- Fußschalter ohne Schutzhaube (nur für Not-Halt und wenn andere Lösungen nicht anwendbar sind)
- mit Griffen betätigte Netztrenneinrichtungen nach IEC 60204-1



Abbildung 75: Not-Halt-Befehlsgeräte in verschiedenen Ausführungsformen

Wenn Drähte und Seile als Stellteile für Not-Halt-Einrichtungen verwendet werden, dann müssen diese so konzipiert und angebracht sein, dass sie leicht zu betätigen sind. Rückstelleinrichtungen sollten so angeordnet sein, dass die ganze Länge des Drahts oder des Seils vom Ort der Rückstelleinrichtung aus sichtbar ist. Maßnahmen müssen ergriffen werden, um einen Verlust der Not-Halt Funktion durch Bruch oder Aushängen der Drähte oder Seile zu verhindern.

Weder der Not-Halt-Betätiger noch der Hintergrund dürfen mit Text oder Symbolen gekennzeichnet werden. Wenn es zur Klarstellung dient, darf nur das folgende Symbol (IEC 60417-5638) angebracht sein:



Abbildung 76: Symbol IEC 60417-5638: Not-Halt

Um Verwechslungen zwischen Betätigung (z. B. Drücken eines Betätigers) und Entriegelung (z. B. Drehen eines Betätigers) zu vermeiden, muss die Kennzeichnung für die Entriegelung die gleiche oder annähernd die gleiche Farbe wie der Betätiger aufweisen.

Not-Halt-Befehlsgeräte müssen so montiert sein, dass deren Betätigung nicht auf einfache Art und Weise mit einfachen Mitteln verhindert werden kann oder ungewollt blockiert wird. Betätigungsflächen mit Schlössern zur Rückstellung sollten vermieden werden. Wenn solche Not-Halt-Befehlsgeräte eingesetzt werden, muss die Betriebsanleitung der Maschine auf die korrekte Anwendung hinweisen. Insbesondere soll auf mögliche Verletzungen hingewiesen werden, die sich aus der Betätigung bei gestecktem Schlüssel ergeben.

Wirkungsbereich der Not-Halt-Funktion

Der Wirkungsbereich der Not-Halt-Funktion muss grundsätzlich die vollständige Maschine umfassen. Wenn dies zusätzliche Gefährdungen erzeugt oder unnötige Auswirkungen auf die Produktion hat, kann die Maschine in mehrere Wirkungsbereiche der Not-Halt Funktion aufgeteilt werden. Wirkungsbereiche können Teile einer Maschine, eine einzelne Maschine oder eine Gruppe von Maschinen umfassen. Verschiedene Wirkungsbereiche dürfen sich überschneiden.

Eine Aufteilung in Wirkungsbereiche soll Folgendes berücksichtigen:

- die einsehbaren Bereiche, die sich aus der Maschinengestaltung ergeben
- die Möglichkeit, gefährliche Situationen zu erkennen (Sichtbarkeit, Hörbarkeit etc.)
- alle sicherheitsrelevanten Konsequenzen für andere Teile der Maschine oder andere Maschinen
- die vorhersehbaren Gefährdungsexpositionen
- alle möglichen Gefährdungen im Wirkungsbereich

Die verschiedenen Wirkungsbereiche müssen festgelegt und gekennzeichnet sein damit die Not-Halt-Befehlsgeräte leicht mit den entsprechenden Bereichen in Verbindung gebracht werden können. Die Betätigung eines Not-Halt-Geräts für einen Wirkungsbereich darf das Auslösen einer Not-Halt-Funktion in einen anderen Wirkungsbereich nicht verhindern. Die Betriebsanleitung der Maschine muss Informationen über den Wirkungsbereich(e) der Not-Halt-Befehlsgeräte enthalten. Not-Halt-Befehlsgeräte mit unterschiedlichen Wirkungsbereichen sollten, soweit technisch möglich, nicht nebeneinander oder örtlich nahe beieinander angeordnet sein.

Position von Not-Halt-Befehlsgeräte

Not-Halt-Befehlsgeräte müssen an jeder Bedienstation angebracht sein, es sei denn, die Risikobewertung zeigt, dass dieses nicht erforderlich ist. Not-Halt-Befehlsgeräte müssen auch an anderen Orten angebracht sein, wenn die Risikobeurteilung dieses anzeigt (z. B. an Ein- und Ausgängen oder Be- und Entladestellen).

Not-Halt-Befehlsgeräte, die mit der Hand betätigt werden sollen, müssen in einer Höhe zwischen 0,6 und 1,7 m über der Zugangsebene (Bezugsebene) angebracht werden. Fußschalter für Not-Halt-Funktionen müssen fest auf der Zugangsebene befestigt sein.

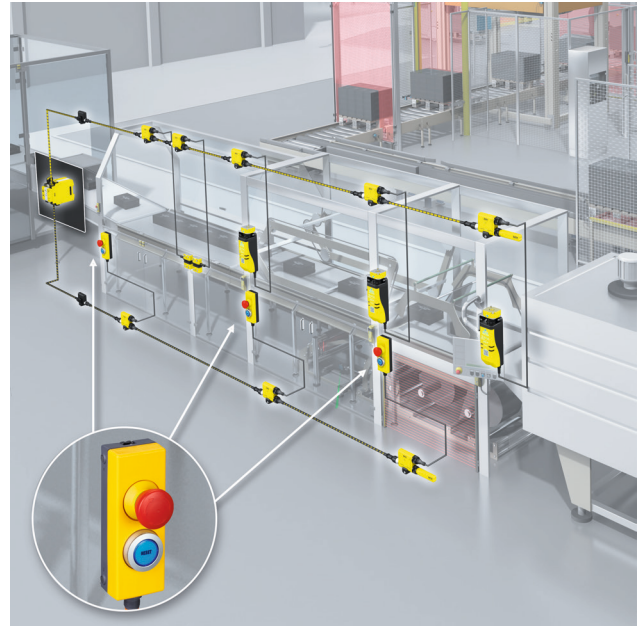


Abbildung 77: Verteilte Not-Halt-Befehlsgeräte an einer Getränkeabfüllanlage

Vermeiden der unbeabsichtigten Auslösung

Die unbeabsichtigte Auslösung von Not-Halt-Befehlsgeräten muss so weit wie möglich vermieden werden, ohne dass ein bewusstes Auslösen behindert wird. Dieses ist eher durch die Anordnung als durch Gestaltungsmaßnahmen zu erreichen:

- Anordnen des Not-Halt-Geräts fern von vorhersehbar stark frequentierten Bereichen
- Anbringen des Not-Halt-Geräts in einer versenkten Oberfläche der umgebenden Bedienstation
- Auswahl eines geeigneten Typs des Not-Halt-Geräts
- Auswahl der angemessenen Größe und Form des Not-Halt-Geräts

Die Verwendung eines Schutzkragens um das Not-Halt-Gerät herum sollte vermieden werden. Eine Ausnahme besteht, wenn unbeabsichtigtes Betätigen verhindert werden muss und andere Maßnahmen nicht praktikabel sind.

Schutzkragen dürfen keine scharfen Ecken oder Kanten oder raue Oberflächen haben und dürfen das Betätigen mit der Handfläche nicht behindern oder verhindern. Dieses gilt von jeder vorhersehbaren Position des Maschinenbedieners oder von anderen Personen, die sie betätigen können müssen (in der Nähe gelegene Bedien- oder Arbeitsplätze).

Not-Halt-Befehlsgeräte in tragbaren Bedienstationen

Wenn Not-Halt-Befehlsgeräte in tragbare Bedienstationen eingebaut sind, sind Maßnahmen anzuwenden, um eine Verwechslung zwischen aktiven und nicht aktiven Not-Halt-Befehlsgeräten zu vermeiden. Dieses gilt auch auf Bedienstationen bei denen die Not-Halt-Befehle über Steckverbindungen an der Steuerung weitergegeben werden. Mindestens eine der folgenden Maßnahmen muss angewendet werden:

- Kennzeichnung der aktiven Not-Halt-Befehlsgeräte durch Farbänderung mittels Beleuchtung
- Abdeckung der inaktiven Not-Halt-Befehlsgeräte, wenn möglich selbsttätig
- Vorkehrung der geeigneten Lagerung der inaktiven Bedienstationen

Not-Aus (Ausschalten im Notfall - IEC 60204-1)

Wenn die Möglichkeit von Gefährdungen oder Beschädigungen durch elektrische Energie besteht, dann sollte Not-Aus vorgesehen werden. Hierbei soll die Energieeinspeisung mit elektromechanischen Schaltgeräten abgeschaltet werden.

Die Energieeinspeisung darf erst nach Rückstellen aller Not-Aus-Befehle eingeschaltet werden können. Das Not-Aus hat Stopp-Kategorie 0 zur Folge („Stillsetzen“, Seite 37).

**HINWEIS**

- Gestaltungsleitsätze für Not-Halt-Einrichtungen: ISO 13850 (Typ-B-Norm)
- Stillsetzen im Notfall: Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Positionieren bzw. Dimensionieren der Schutzeinrichtungen

Es muss sichergestellt sein, dass noch rechtzeitig vor Erreichen der Gefahrstelle der Gefahr bringende Zustand aufgehoben ist. Dazu muss die Schutzeinrichtung im notwendigen Mindestabstand zur Gefahrstelle positioniert werden. Der notwendige Mindestabstand ist auch von den Eigenschaften der Schutzeinrichtung abhängig. Dies kann auch die Auswahl der optimalen Schutzeinrichtung beeinflussen.

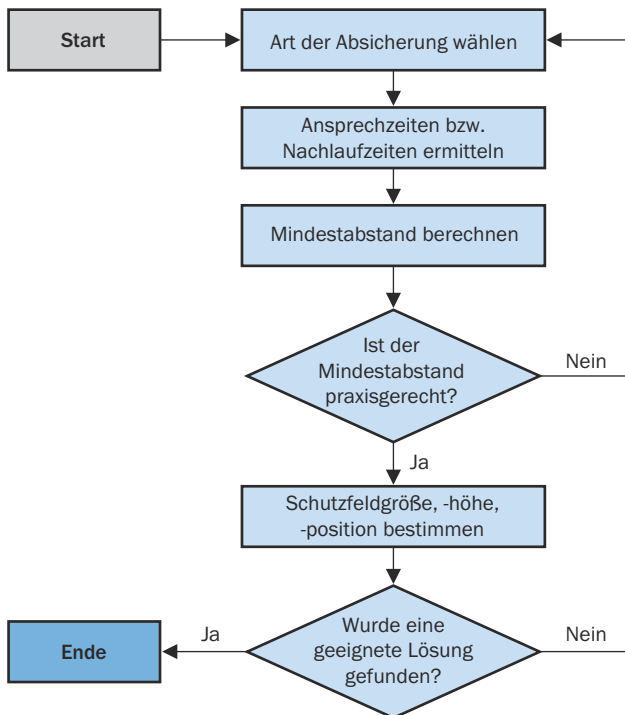
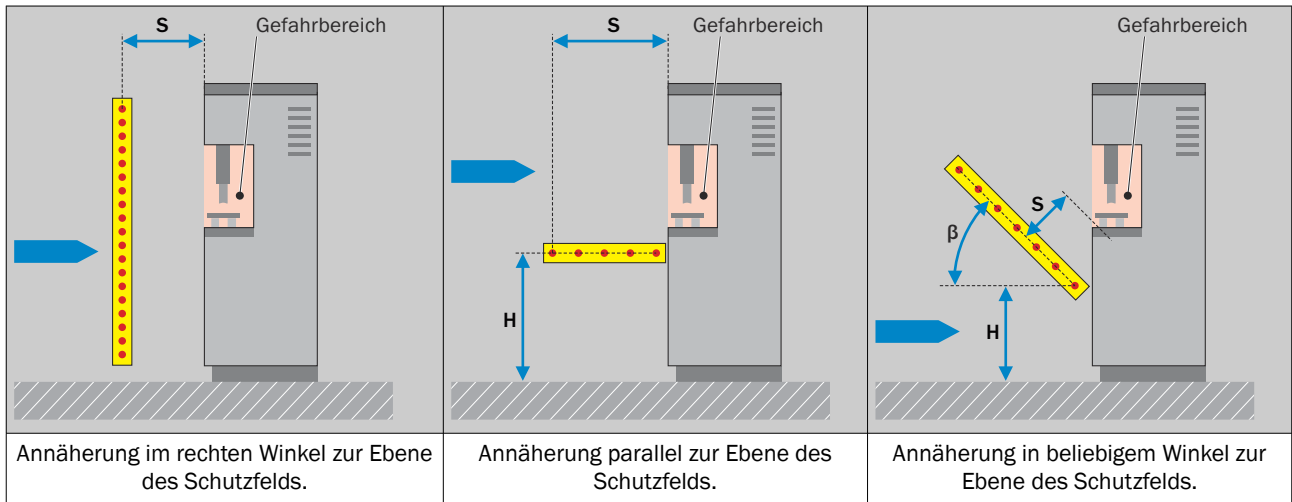


Abbildung 78: Prinzipieller Ablauf der Positionierung und Dimensionierung einer Schutzeinrichtung

Mindestabstand des Schutzfelds einer BWS in Abhängigkeit von der Annäherung

Tabelle 32: Annäherungsarten und Mindestabstand bei BWS



Die Mindestabstandsbetrachtung gilt für BWS mit zweidimensionalem Schutzfeld, wie z. B. Lichtvorhänge, Lichtschranken (AOPD), Laserscanner (AOPDDR) oder zweidimensionale Kamerasysteme. Bei der Annäherung unterscheidet man zwischen drei Arten.

Nachdem die den Stopp auslösende BWS ausgewählt wurde, ist der notwendige Mindestabstand zwischen dem Schutzfeld der BWS und der nächstliegenden Gefahrstelle zu berechnen.

Folgende Parameter sind zu berücksichtigen:

- Stoppzeit der Maschine
- Ansprechzeit der sicherheitsbezogenen Steuerung
- Ansprechzeit Schutzeinrichtung (BWS)
- Zuschläge abhängig vom Auflösungsvermögen der BWS, von der Schutzfeldhöhe und/oder Art der Annäherung sowie der Möglichkeit das Schutzfeld durch Um-, Über- oder Untergreifen zu umgehen (siehe Tabelle 40, Seite 108).

Wenn die minimale Entfernung zu groß und aus ergonomischer Sicht nicht akzeptabel ist, dann muss entweder die Gesamtstoppzeit der Maschine vermindert oder es muss eine BWS mit besserer Detektionsfähigkeit (kleinere Auflösung) verwendet werden. Risiken durch ein mögliches unerkanntes Verbleiben einer Person zwischen Schutzfeld der BWS und Gefahrstelle sind durch geeignete Maßnahmen gegen unerwarteten Anlauf zu vermeiden:

- Wiederanlaufsperrern die eine manuelle Rücksetzung erfordern
- Zusätzliche Einrichtung zur Detektion von Personen im Gefahrenbereich (siehe Tabelle 40, Seite 108)

HINWEIS Die Berechnung des Mindestabstands S für eine BWS wird in der Norm ISO 13855 beschrieben (Typ-B-Norm).

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

- S** Mindestabstand in Millimetern, gemessen von der nächstliegenden Gefahrstelle zum Detektionsbereich der BWS.
- K** Parameter in Millimetern pro Sekunde, abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen.
- T** Nachlaufzeit des gesamten Systems in Sekunden.
- C** Zusätzliche Abstand in Millimetern, der das Eindringen in den Gefahrenbereich vor Auslösen der Schutzeinrichtung darstellt.

Auflösungsabhängiger Zuschlag C_{RT}	
$8 \times (d - 14)$	

Je nach Detektionsfähigkeit (Auflösungsvermögen) der BWS ist es möglich, dass die BWS auslöst (eine Person erkennt), wenn bereits Körperteile das Schutzfeld durchdrungen haben.

Dies muss durch Hinzufügen des auflösungsabhängigen Zuschlags C_{RT} berücksichtigt werden.

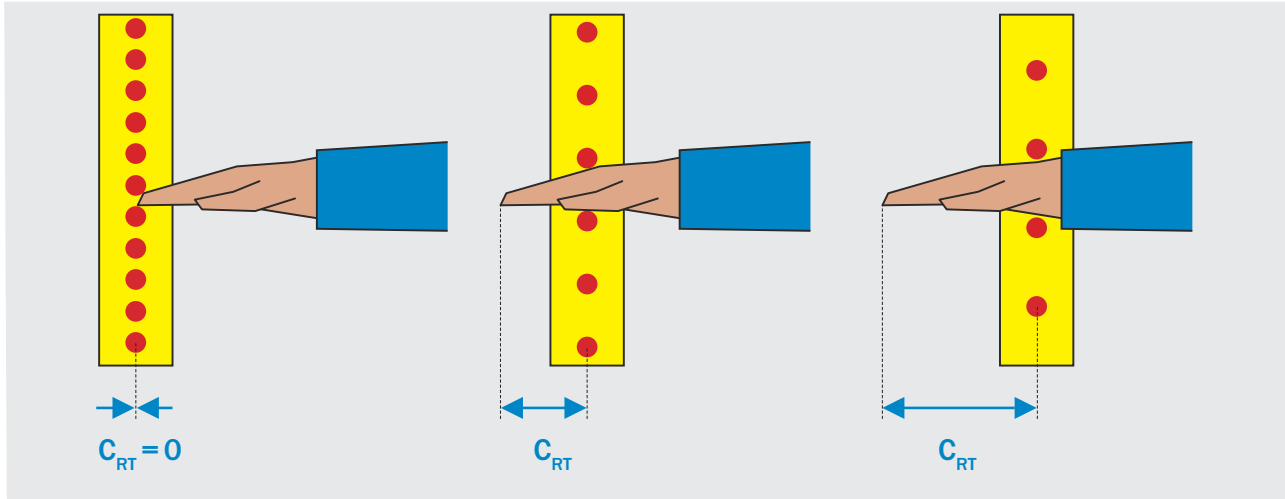
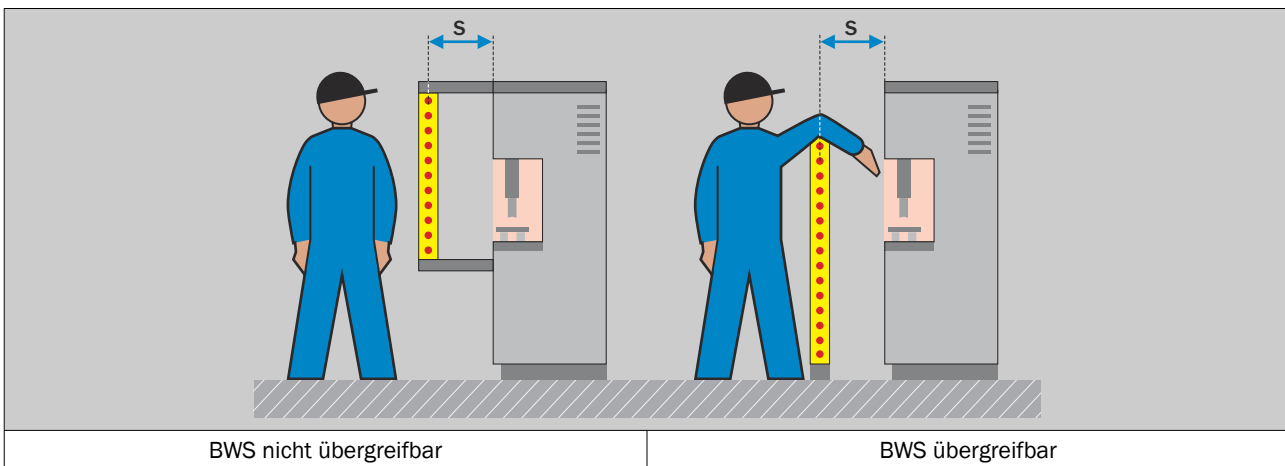


Abbildung 79: Die Abbildung zeigt beispielhaft das unerkannte Eindringen (C_{RT}) an Sicherheitslichtvorhängen mit unterschiedlichen Detektionsvermögen.

Übergreifbare Schutzeinrichtungen

Je nach Höhe und Lage des Schutzfelds einer BWS, der Form der Maschine und anderen Faktoren, kann das Schutzfeld einer BWS so übergreifbar werden, dass Gefahrstellen vor Beendigung des Gefahr bringenden Maschinenvorgangs erreicht werden können und somit die beabsichtigte Schutzwirkung nicht erfolgt. Die Abbildung zeigt beispielhaft eine nicht übergreifbare und eine übergreifbare BWS im Vergleich.

Tabelle 33: Nicht übergreifbare und übergreifbare BWS im Vergleich



Wenn der Zugang zum Gefahrenbereich durch Übergreifen (Hinüberreichen) über ein senkrechttes Schutzfeld nicht ausgeschlossen werden kann, müssen die Höhe des Schutzfelds und der Mindestabstand der BWS bestimmt werden. Dies erfolgt durch Vergleich des berechneten Werts auf Grundlage der möglichen Detektion von Gliedmaßen oder Körperteilen mit dem Wert, der sich durch das mögliche Hinüberreichen ergibt. Angewendet wird der größere Wert, der sich aus diesem Vergleich ergibt. Dieser Vergleich ist gemäß ISO 13855, Abschnitt 6.5 durchzuführen.

Wenn das Schutzfeld der BWS nicht übergreifen werden kann, ist C vom Detektionsvermögen (Auflösung) der BWS abhängig und wird C_{RT} (reach through = Durchgreifen) genannt. Wenn das Schutzfeld der BWS übergreifen werden kann, ist C von der Schutzfeldhöhe der BWS abhängig und wird C_{RO} (reach over = Übergreifen) genannt.

Tabelle 34: Formel zur Berechnung des Mindestabstands S bei rechtwinkliger Annäherung

Rechtwinklige Annäherung: $\beta = 90^\circ (\pm 5^\circ)$				
	Schritt 1: Berechnung des Mindestabstands S			
	$d \leq 40$ mm	$S = 2000 \times T + 8 \times (d - 14)$ Wenn $S > 500$ mm, dann verwenden Sie: $S = 1600 \times T + 8 \times (d - 14)$. In diesem Fall darf S nicht < 500 mm sein.	Der Mindestabstand S darf nicht < 100 mm sein. $C = 8 \times (d - 14)$ ist hier der zusätzliche Abstand in Millimetern, der das Eindringen in den Gefahrenbereich vor Auslösen der Schutzeinrichtung darstellt.	
	$40 < d \leq 70$ mm	$S = 1600 \times T + 850$	Höhe des untersten Strahls ≤ 300 mm Höhe des obersten Strahls ≥ 900 mm	
	$d > 70$ mm	$S = 1600 \times T + 850$	Anzahl Strahlen 4 3 2	Empfohlene Höhen 300, 600, 900, 1200 mm 300, 700, 1100 mm 400, 900 mm (400 mm darf nur verwendet werden, wenn keine Gefahr des Unterkriechens besteht.)
Schritt 2: Berechnung der erforderlichen Höhe der Schutzfeldoberkante (siehe „Mindestabstand vergrößern (Schutzfeldoberkante vorgegeben)“, Seite 109)				

- S Mindestabstand
- H Schutzfeldhöhe (Detektionsebene)
- d Auflösung der BWS
- β Winkel zwischen der Detektionsebene und der Annäherungsrichtung
- T Nachlaufzeit des gesamten Systems

Tabelle 35: Formel zur Berechnung des Mindestabstands S bei paralleler Annäherung

Parallele Annäherung: $\beta = 0^\circ (\pm 5^\circ)$				
	Schritt 1: Berechnung des Mindestabstands S			
	$S = 1600 \times T + (1200 - 0,4 \times H)$ wobei $C = (1200 - 0,4 \times H) \geq 850$ mm		$H \leq 1000$ mm	
	Schritt 2: Berechnung der erforderlichen Auflösung abhängig von der Schutzfeldhöhe			
	$d \leq \frac{H}{15} + 50$ mm	$H \leq 1000$ mm $d \leq 117$ mm		

- S Mindestabstand
- H Schutzfeldhöhe (Detektionsebene)
- d Auflösung der BWS
- β Winkel zwischen der Detektionsebene und der Annäherungsrichtung
- T Nachlaufzeit des gesamten Systems

Tabelle 36: Formel zur Berechnung des Mindestabstands S bei winkelförmiger Annäherung

Winkelförmige Annäherung: $5^\circ < \beta < 85^\circ$			
	$\beta > 30^\circ$	Vgl. rechtwinklige Annäherung.	$d \leq \frac{H}{15} + 50$ mm bezieht sich auf den untersten Strahl.
	$\beta < 30^\circ$	Vgl. parallele Annäherung.	
			S wird auf den am weitesten vom Gefahrenbereich entfernten Strahl angewendet, dessen Höhe ≤ 1000 mm ist.

- S Mindestabstand
- H Schutzfeldhöhe (Detektionsebene)
- d Auflösung der BWS
- β Winkel zwischen der Detektionsebene und der Annäherungsrichtung
- T Nachlaufzeit des gesamten Systems

Sonderfälle

Sonderfall 1: Pressenanwendung

Abweichend von den allgemeinen Normen können in maschinenspezifischen C-Normen spezielle Vorgaben enthalten sein. Insbesondere für Pressen der Metallbearbeitung gilt Folgendes:

Tabelle 37: Zuschläge für Mindestabstände von BWS bei Pressen nach ISO 16092-1 und ISO 16092-3

Berechnung des Zuschlags bei Pressen		
Auflösung d (mm) der BWS	Zuschlag C (mm)	Hubauslösung durch BWS/Taktbetrieb
$d \leq 14$	0	Zulässig
$14 < d \leq 20$	80	
$20 < d \leq 30$	130	
$30 < d \leq 40$	240	Nicht zulässig
> 40	850	



HINWEIS

→ Pressennormen: ISO 16092-1, ISO 16092-3 (Typ-C-Normen)

Sonderfall 2: BWS für Hintertretschutz

Diese Art der Absicherung empfiehlt sich für große Anlagen, die vom Boden aus zugänglich sind. In diesem speziellen Fall muss verhindert werden, dass die Maschine anläuft (Sicherheitsfunktion „Start verhindern“), während sich ein Bediener im Innenraum befindet. Es handelt sich hierbei um eine sekundäre Schutz-einrichtung, die die Anwesenheit von Personen im Gefahrenbereich erfasst und währenddessen das In-gang-setzen des Gefahr bringenden Maschinenzustands verhindert. Zusätzlich zur BWS für Hintertretschutz muss eine primäre Schutzmaßnahme für die Sicherheitsfunktion „Stopp auslösen“ vorhanden sein, z. B. in Form einer anderen BWS oder einer verriegelten, beweglichen trennenden Schutz-einrichtung.

Der Mindestabstand muss in diesem Fall für die Haupt-schutz-einrichtung berechnet werden (z. B. für einen vertikalen Lichtvorhang, der die Aufgabe hat, die Anlage zu stoppen).



Abbildung 80: Sicherheitslaserscanner an einer Bearbeitungsstation als Sicherheitsfunktion Pos. 1, Stopp auslösen und Sicherheitsfunktion Pos. 2, Start verhindern (Hintertretschutz)

Sonderfall 3: BWS-Anwendungen an fahrerlosen Fahrzeugen

Wenn der Gefahr bringende Zustand von einer Kollision mit einem fahrerlosen Fahrzeug ausgeht, dann wird in der Regel bei der Bestimmung des Mindestabstands nur die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs zugrunde gelegt und nicht die Annäherungsgeschwindigkeit der Person. Man geht davon aus, dass die Person das sich nähernde Fahrzeug (Fahrzeug mit Schutz-einrichtung) erkennt und stehen bleibt oder sich entfernt.



Abbildung 81: Gefahrbereichsabsicherung an einem fahrerlosen Fahrzeug mit Sicherheitslaserscannern

Der Mindestabstand muss groß genug gewählt werden, um ein sicheres Anhalten des Fahrzeugs zu ermöglichen. Der Mindestabstand entspricht dem Bremsweg des Fahrzeugs. Eine genaue Berechnung des Bremswegs ist nicht möglich, da er von mehreren Faktoren abhängig ist, z. B. Reibung zwischen Reifen und Untergrund, Gesamtgewicht inkl. Beladung, Bremskraft etc.

Es empfiehlt sich daher, zuerst eine Berechnung des Mindestabstandes vorzunehmen und das Ergebnis durch eine Prüfung zu validieren (bestätigen).

Für die Berechnung muss die Bremsverzögerung des Fahrzeuges (a) bei Nennlast, maximaler Betriebsgeschwindigkeit (v_0) und unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen bekannt sein oder ermittelt werden. Der Bremsweg (S_B) errechnet sich dann wie folgt:

$$S_B = \frac{v_0^2}{2a}$$

Abhängig von der Anwendung und der verwendeten Technologie können noch Sicherheitszuschläge notwendig sein. Der errechnete Wert soll durch zwei Prüfungen validiert werden:

1. Zur Detektion einer liegenden Person
Es soll ein Prüfkörper mit einem Durchmesser von 200 mm und einer Länge von 600 mm verwendet werden. Der Prüfkörper wird liegend links, in der Mitte und rechts des abzusichernden Fahrweges und orthogonal (senkrecht) zum Fahrweg fest platziert.



Abbildung 82: Positionierung eines Prüfkörpers an einem fahrerlosen Fahrzeug zur Prüfung der Detektion einer liegenden Person

- Zur Detektion einer stehenden Person
Es soll ein Prüfkörper mit einem Durchmesser von 70 mm und einer Länge von 400 mm verwendet werden. Der Prüfkörper wird senkrecht und vollständig an einer beliebigen Stelle des abzusichernden Fahrweges fest platziert.

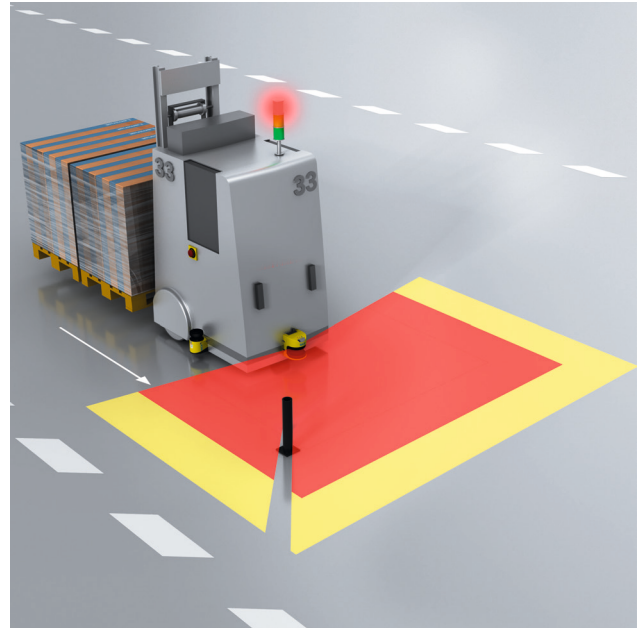


Abbildung 83: Positionierung eines Prüfkörpers an einem fahrerlosen Fahrzeug zur Prüfung der Detektion einer stehenden Person

- Validierung
Das Fahrzeug muss mit der Nennlast beladen sein und sich dem Prüfkörper mit der maximalen Betriebsgeschwindigkeit nähern. Das Fahrzeug muss rechtzeitig anhalten, daher entweder den Prüfkörper nicht berühren oder, wenn es zu einer Berührung kommt, darf die auf den liegenden Prüfkörper (1) wirkende Kraft 750 N und auf den stehenden Prüfkörper (2) 250 N nicht überschreiten.

Dieses Verfahren stellt die derzeitige Normenlage für die Absicherung von fahrerlosen Fahrzeugen im industriellen Bereich dar (ISO 3691-4).

Für den nicht industriellen Bereich kann das Verfahren auch angewendet werden, jedoch sollte folgendes unbedingt berücksichtigt werden:

- Es kann nicht immer davon ausgegangen werden, dass sich Personen nie den sich bewegenden Fahrzeug nähern. Daher sind unter Umständen beide Geschwindigkeiten (Person und Fahrzeug) entsprechend zu berücksichtigen.
- Die maximal zulässigen Kräfte bei einem Kontakt sind bei Kindern oder ältere Menschen wesentlich geringer als die angegebenen.
- Die Körpermaße von Kindern können nicht durch die angegebenen Prüfkörper simuliert werden. In diesem Fall sollten die Maße der Prüfkörper der entsprechenden Literatur entnommen werden.

Sonderfall 4: Stationäre Anwendung einer mitfahrenden BWS

An manchen Maschinen sind funktionsbedingt Bediener sehr nahe am Gefahrenbereich. Bei Gesenkbiege- bzw. Abkantpressen müssen kleine Bleche nah der Biegekante gehalten werden. Als praxistaugliche Schutzeinrichtungen haben sich mitfahrende Systeme durchgesetzt, die rund um die Werkzeugöffnungen ein Schutzfeld bilden. Weil bei solchen Anwendungen die Greifgeschwindigkeit des Bedieners nicht berücksichtigt wird, ist die allgemeine Formel nicht anwendbar.

Die Anforderungen an das Auflösungsvermögen sind sehr hoch und Um Spiegelungen an den metallischen Oberflächen müssen ausgeschlossen werden. Daher finden hierfür fokussierte Lasersysteme mit kamerabasierter Auswertung Anwendung. In Verbindung mit anderen Maßnahmen (z. B. 3-Pedal-Fußschalter, automatische Nachlaufmessung, Handschuhpflicht etc.) ist diese Absicherungsart in den Typ-C-Normen festgelegt.



HINWEIS

→ Sicherheit von Gesenkbiegepressen: EN 12622 (Typ-C-Norm)

HINWEIS
Die Messung der Nachlaufzeit und des notwendigen Mindestabstands erfordert besonderes Fachwissen und Ausrüstung. SICK bietet diese Messungen als Dienstleistung an.

Lösungsansätze zur Berechnung des Mindestabstands

Lösungsansatz 1: Rechtwinklige Annäherung – Gefahrstellenabsicherung mit Hintertretschutz

Die Berechnung ergibt einen Mindestabstand von $S = 320 \text{ mm}$ (siehe Abbildung 86). Durch die Verwendung eines Sicherheitslichtvorhangs mit der bestmöglichen Auflösung (14 mm) ist dies bereits der optimale Mindestabstand.

Damit die Person überall im Gefahrenbereich erfasst wird, werden zwei AOPD eingesetzt:

- eine senkrechte AOPD, die entsprechend dem errechneten Mindestabstand positioniert ist (senkrechte Annäherung) - für die Sicherheitsfunktion: Stopp auslösen
- eine horizontale AOPD, um die Gefahr des Hintertretens zu eliminieren - für die Sicherheitsfunktion: unerwarteten Anlauf verhindern

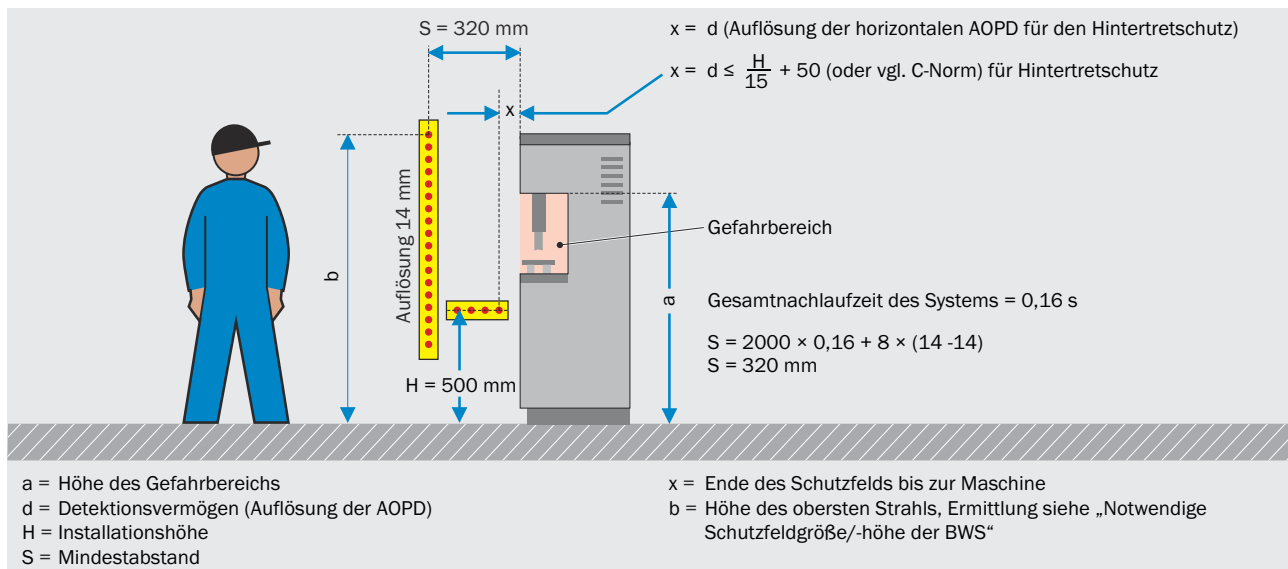


Abbildung 84: Bestimmung der Positionierung und Dimensionierung von BWS für Gefahrstellenabsicherung und Hintertretschutz mit Sicherheitslichtvorhang

Lösungsansatz 2: Parallele Annäherung – Gefahrenbereichsabsicherung

Eine horizontale AOPD wird eingesetzt. Die folgende Abbildung zeigt eine horizontal angeordnete AOPD und die Berechnung des Mindestabstands S . Wenn die Installationshöhe der AOPD auf 300 mm erhöht wird, reduziert sich der Mindestabstand. Für diese Höhe kann eine AOPD mit einer Auflösung kleiner oder gleich 80 mm eingesetzt werden. Unterhalb der AOPD darf jedoch kein Zugang in den Gefahrenbereich möglich sein (Gefahr des Unterkriechen bewerten). Diese Absicherungsart wird häufig auch durch AOPDDR (Laserscanner) realisiert. Bei diesen Geräten sind jedoch technologiebedingte Zuschläge zu addieren.

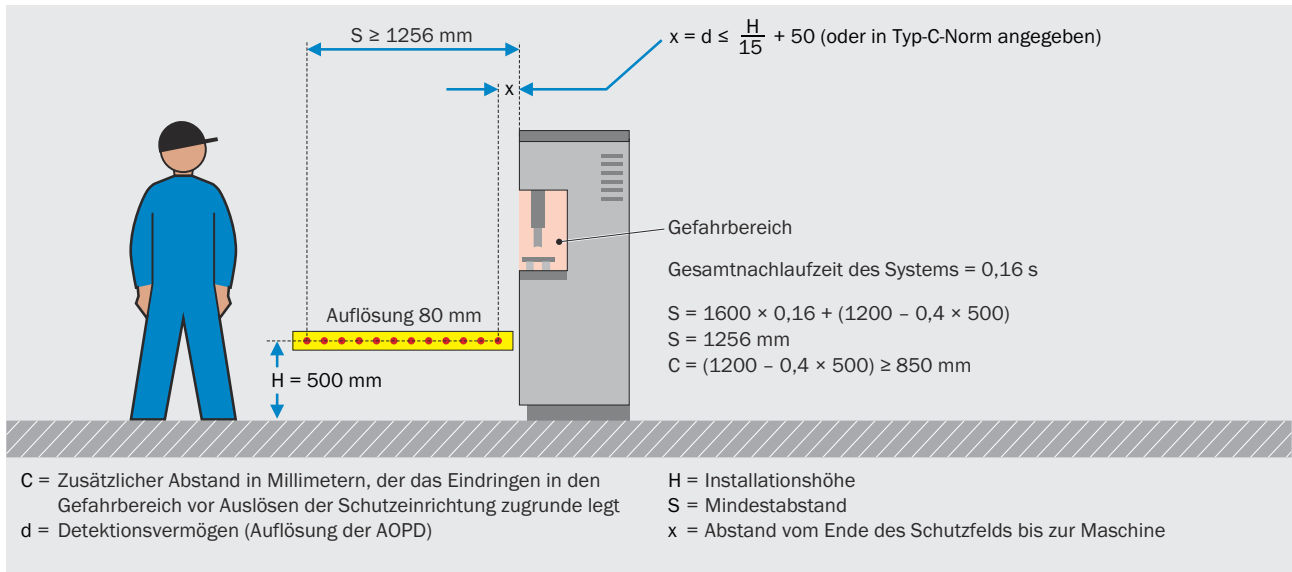


Abbildung 85: Bestimmung der Positionierung und Dimensionierung von BWS für Gefahrbereichsabsicherung mit Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranke bei rechtwinkliger Annäherung

Lösungsansatz 3: Zugangsabsicherung

Eine Zugangsabsicherung mit drei Strahlen (bei Höhen von 300 mm, 700 mm und 1100 mm) erlaubt eine senkrechte Annäherung. Diese Lösung lässt zu, dass ein Bediener sich unerkannt zwischen Gefahrbereich und AOPD befindet. Daher müssen zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden, um dieses Risiko zu mindern. Die Befehlseinrichtung (z. B. Rücksetztaster) muss so positioniert sein, dass der ganze Gefahrbereich eingesehen werden kann. Sie darf vom Gefahrbereich aus nicht erreichbar sein.

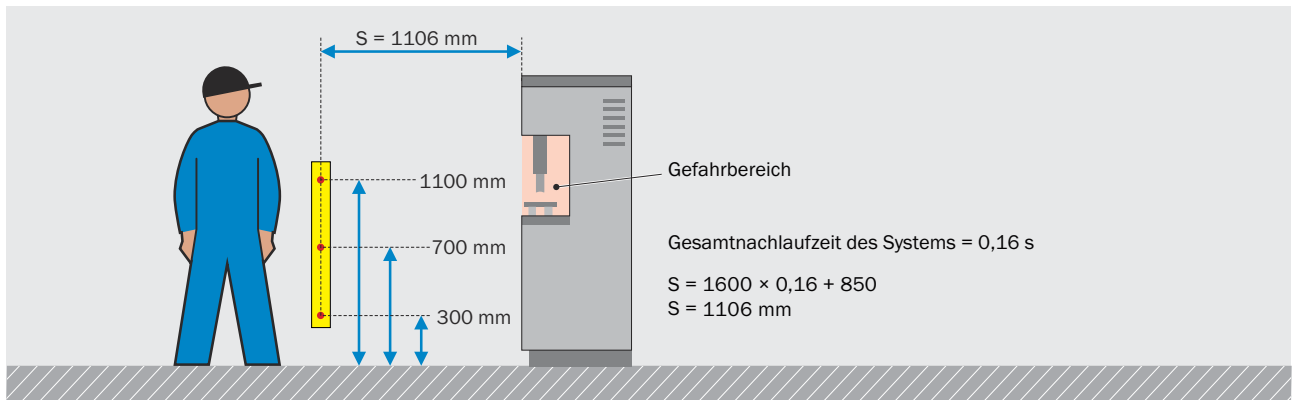


Abbildung 86: Bestimmung der Positionierung und Dimensionierung von BWS für Zugangsabsicherung mit Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranke bei paralleler Annäherung

Ergebnisübersicht

Tabelle 38: Lösungsansätze im Vergleich, Auswahl nach betrieblichen Erfordernissen

Lösungsansatz bei Nachlaufzeit = 0,16 s	Vorteile	Nachteile
1 Gefahrstellenabsicherung S = 320 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Größere Produktivität, da der Bediener näher am Arbeitsprozess steht (kurze Wege) • Automatischer Start oder Taktbetrieb möglich • Geringster Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Höherer Preis für die Schutzeinrichtung wegen des guten Auflösungsvermögens und Hintertretschutzes
2 Gefahrbereichsabsicherung S = 1256 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Automatischer Start möglich • Erlaubt die Absicherung des Zugangs unabhängig von der Höhe des Gefahrbereichs 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Bediener ist viel weiter entfernt (lange Wege) • Höherer Platzbedarf • Niedrigere Produktivität
3 Zugangsabsicherung S = 1106 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Preisgünstigste Lösung • Erlaubt die Absicherung des Zugangs unabhängig von der Höhe des Gefahrbereichs • Absicherung mehrerer Seiten mit Umlenkspiegel möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Bediener ist viel weiter entfernt (lange Wege) • Niedrigste Produktivität (Rücksetzen der BWS immer notwendig) • Das Risiko des Hintertretens ist zu berücksichtigen. Nicht zu empfehlen, wenn mehrere Personen am Arbeitsplatz arbeiten.

Notwendige Schutzfeldgröße bzw. -höhe der BWS

Allgemein müssen bei der Montage von Schutzeinrichtungen folgende Fehler ausgeschlossen sein:

- Die Gefahrstelle darf nur durch das Schutzfeld hindurch erreichbar sein.
- Insbesondere dürfen Gefahrstellen nicht durch Über-, Unter- oder Umgreifen erreichbar sein.
- Wenn Schutzeinrichtungen hintertretbar sind, müssen Zusatzmaßnahmen zur Verhinderung eines unerwarteten Anlaufs wirken (z. B. Wiederanlaufsperrung, sekundäre Schutzeinrichtung).

Nachdem der Mindestabstand zwischen Schutzfeld und der nächstliegenden Gefahrstelle berechnet wurde, ist in einem weiteren Schritt die erforderliche Schutzfeldhöhe zu bestimmen. Dadurch soll verhindert werden, dass die Gefahrstelle durch Übergreifen erreicht werden kann.

Tabelle 39: Beispiele für richtige Montage von BWS

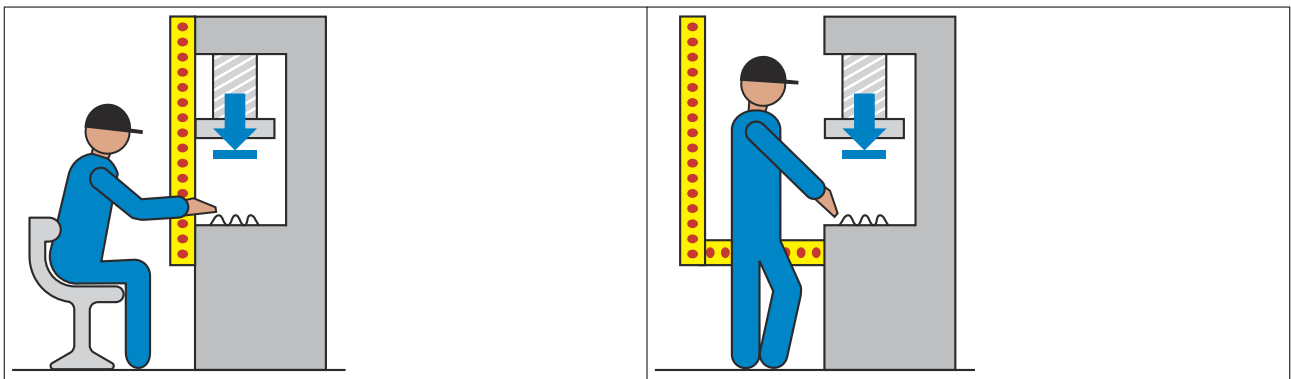
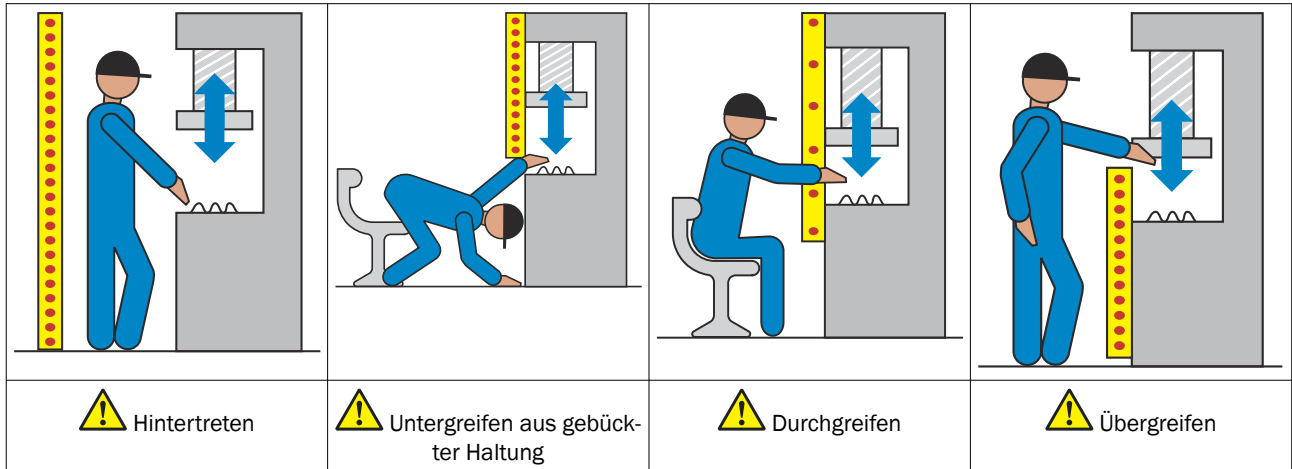


Tabelle 40: Beispiele für gefährliche Montagefehler



Mögliches Übergreifen berücksichtigen

Wenn ein Übergreifen des senkrechten Schutzfelds einer BWS möglich ist, muss die Höhe **b** der Schutzfeldoberkante erhöht oder der Zuschlag **C** angepasst werden. Bei beiden Verfahren muss die entsprechende Tabelle gemäß der Norm ISO 13855 verwendet werden.

Einige Typ-C-Normen weichen bei der Berechnung der Mindestabstände von der ISO 13855 ab.

Schutzfeldoberkante erhöhen

Bei Erhöhung der Schutzfeldoberkante **b** wird neben der Höhe des Gefahrenbereichs **a** der auflösungsabhängige Zuschlag C_{RT} verwendet, um bei gleichbleibendem Mindestabstand die erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante zu ermitteln. Bei dieser ermittelten Höhe der Schutzfeldoberkante ist ein Erreichen des Gefahrenbereichs durch Übergreifen nicht möglich, ein Zuschlag C_{RO} ist nicht erforderlich.

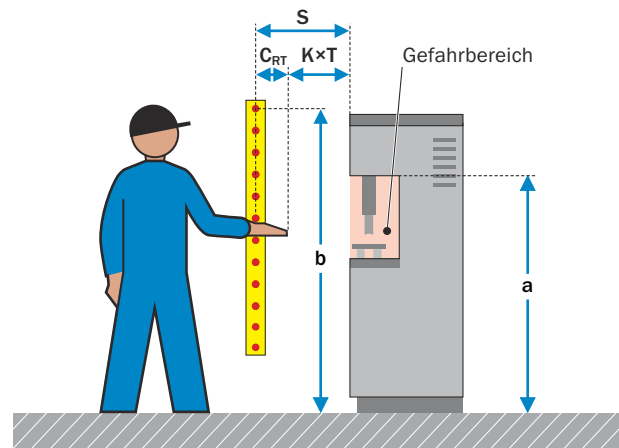


Abbildung 87: Parameter zur Bestimmung des erforderlichen Mindestabstands beim Durchgreifen

Um ein mögliches Übergreifen zu berücksichtigen, bietet die Norm ISO 13855 folgende Tabelle an. Mithilfe dieser Tabelle erfolgt die Berechnung für die erhöhte Schutzfeldoberkante oder den vergrößerten Mindestabstand.

Tabelle 41: Berücksichtigung eines möglichen Übergreifens nach ISO 13855

Höhe a des Gefahrenbereichs (mm)	Zusätzlicher horizontaler Abstand C_{RO} zum Gefahrenbereich (mm)											
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0

Höhe a des Gefahrenbereichs (mm)	Zusätzlicher horizontaler Abstand C_{RO} zum Gefahrenbereich (mm)											
	1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der Schutzfeldoberkante (mm)											
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600

Mindestabstand vergrößern (Schutzfeldoberkante vorgegeben)

Wenn die Schutzfeldoberkante **b** durch z. B. ein bereits existierendes Produkt vorgegeben ist, muss der Mindestabstand vergrößert werden. Dies erfolgt neben der Bestimmung der Höhe des Gefahrenbereichs **a** mit der Höhe der Schutzfeldoberkante **b**.

Das Ergebnis aus dem resultierenden Schnittpunkt beschreibt den Eindringabstand C_{RO} . Nachdem C_{RO} und C_{RT} ermittelt wurden, wird der größere der beiden Werte für die Berechnung des Mindestabstands verwendet.

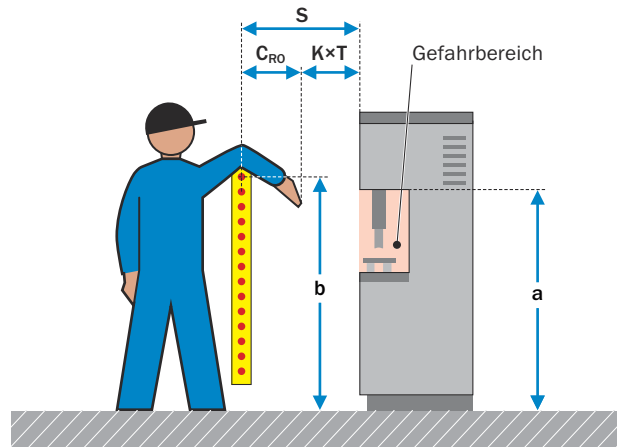


Abbildung 88: Parameter zur Bestimmung des erforderlichen Mindestabstands bei möglichem Übergreifen

Für den zusätzlichen Abstand bei Übergreifen und Durchgreifen gilt:

$C \geq C_{RO}$ (Übergreifen) und $C \geq C_{RT}$ (Durchgreifen)
--

Auf den folgenden Seiten finden Sie die für den jeweiligen Anwendungsfall benötigte Tabelle, gemäß ISO 13855, und Beispiele zur Nutzung.

So ermitteln Sie die erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante:

1. Ermitteln Sie die Höhe der Gefahrstelle **a** und suchen Sie den gleichen oder nächstgrößeren Wert in der linken Spalte.
2. Berechnen Sie den auflösungsabhängigen Zuschlag C_{RT} gemäß den bekannten Formeln für die rechtwinklige Annäherung:
 - BWS, Auflösung $d \leq 40$ mm: $C_{RT} = 8 \times (d - 14)$
 - BWS, Auflösung $d > 40$ mm: $C_{RT} = 850$ mm
3. Ermitteln Sie in der durch **a** festgelegten Zeile die letzte Spalte, in der der zusätzliche horizontale Abstand **C** gleich oder kleiner dem errechneten auflösungsabhängigen Zuschlag C_{RT} ist.
4. Lesen Sie in der Fußzeile der durch Schritt 2 festgelegten Spalte die resultierende Höhe **b** der Schutzfeldoberkante ab.

Tabelle 42: Ermittlung der erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante nach ISO 13855

Höhe a des Gefahrenbereichs (mm)	Zusätzlicher horizontaler Abstand C zum Gefahrenbereich (mm)												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0	0
1600①	1150	1150	1100	1000	900	850②	750	450	0	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der Schutzfeldoberkante (mm)												
	900	1000	1100	1200	1300	1400③	1600	1800	2000	2200	2400	2600	
Beispiel	<ul style="list-style-type: none"> • Auflösungsvermögen der BWS: > 40 mm • Höhe a des Gefahrenbereichs: 1600 mm ① Dadurch resultiert ein auflösungsabhängiger Zuschlag (C_{RT}) von 850mm • Die Bedingung $C \geq C_{RO}$ und $C \geq C_{RT}$ wird durch den Wert $C = 850$mm erfüllt ② <p>Die Höhe b der Schutzfeldoberkante der BWS darf 1400 mm ③ nicht unterschreiten. Ist das technisch nicht möglich, muss der horizontale Abstand zum Gefahrenbereich vergrößert werden.</p>												

Wenn die erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante nicht realisiert werden kann, so muss der Zuschlag C_{RO} wie folgt ermittelt werden:

- 1 Legen Sie die mögliche (geplante oder vorhandene BWS) Höhe **b** der Schutzfeldoberkante fest und suchen Sie den gleichen oder nächstkleineren Wert in der Fußzeile.
- 2 Ermitteln Sie die Höhe der Gefahrstelle **a** und suchen Sie den Wert in der linken Spalte. Bei Zwischenwerten ist die benachbarte Zeile (obere oder untere) zu wählen, die im Schritt 3 den größeren Abstand ergibt.
- 3 Lesen Sie den erforderlichen horizontalen Abstand **C** am Schnittpunkt der beiden Werte ab.

Tabelle 43: Ermittlung des Zuschlags C_{RO} nach ISO 13855, wenn die erforderliche Höhe der Schutzfeldoberkante nicht erreicht werden kann

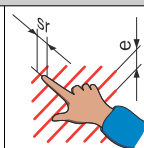
Höhe a des Gefahrenbereichs (mm)	Zusätzlicher horizontaler Abstand C_{RO} zum Gefahrenbereich (mm)												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0	0
1400 ②	1200	1200	1100 ③	1000	900	850	650	0	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der Schutzfeldoberkante (mm)												
	900	1000	1100 ①	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	
Beispiel	<ul style="list-style-type: none"> • Dreistrahlige Standard-BWS (300/700/1100 mm) • Höhe b der Schutzfeldoberkante: 1100 mm ① • Höhe a des Gefahrenbereichs: 1400 mm ② • Durch mögliches Übergreifen bedingter Zuschlag C_{RO} : 1100 mm ③ 												

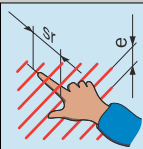
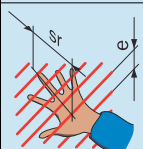
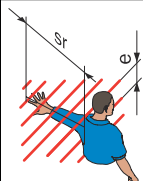
Sicherheitsabstand bei trennenden Schutzeinrichtungen

Trennende Schutzeinrichtungen müssen ausreichend Abstand zum Gefahrenbereich haben, sofern sie Öffnungen aufweisen. Dies gilt auch für Öffnungen zwischen Schutzeinrichtung und Maschinengestell, Aufspannplatten usw.

Tabelle 44: Sicherheitsabstand s_r in Abhängigkeit von Öffnungen in trennender Schutzeinrichtungen nach ISO 13857

Körperteil	Öffnung e (mm)	Sicherheitsabstand s_r (mm)		
		Schlitz	Quadrat	Kreis
Fingerspitze	$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
	$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5



Körperteil	Öffnung e (mm)	Sicherheitsabstand s _r (mm)			
		Schlitz	Quadrat	Kreis	
Finger bis Handwurzel	 $6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5	
		≥ 80	≥ 25	≥ 20	
	 $10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80	
		≥ 120	≥ 120	≥ 120	
		$20 < e \leq 30$	≥ 850	≥ 120	≥ 120
Arm bis Schultergelenk	 $30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120	
	$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850	

Mindestabstand bei verriegelten trennenden Schutzeinrichtungen

Für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen, die einen Stopp auslösen, muss analog zur Vorgehensweise bei den BWS ebenfalls ein Mindestabstand eingehalten werden. Alternativ können Verriegelungen mit Zuhaltungen den Zugang so lange verhindern, bis keine Gefährdung mehr vorhanden ist.

Beschreibung der Parameter:

- **S:** Mindestabstand in Millimetern, gemessen von der nächstliegenden Gefahrstelle zum nächstliegenden Türöffnungspunkt.
- **K:** Parameter in Millimetern pro Sekunde, abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen, in der Regel 1600 mm/s.
- **T:** Nachlaufzeit des gesamten Systems in Sekunden.
- **C:** Sicherheitsabstand (s_r, siehe Tabelle 44). Dieser ist erforderlich, wenn es möglich ist, vor Erzeugung eines Stoppsignals die Finger oder die Hand durch die Öffnung der Tür in Richtung des Gefahrenbereichs zu stecken.

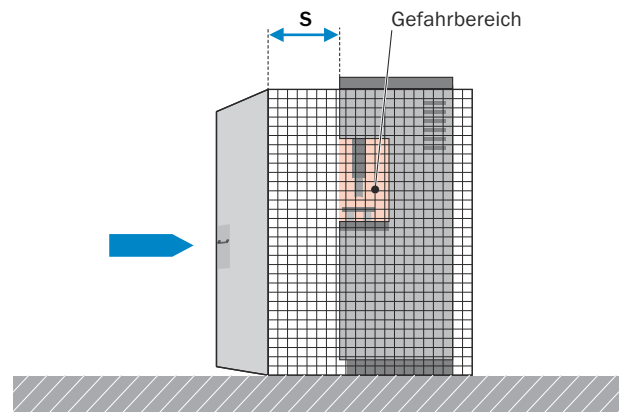


Abbildung 89: Mindestabstand S für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen

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

HINWEIS
 → Berechnung des Mindestabstands für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen: ISO 13855 (Typ-B-Norm)

Notwendige Höhe bei trennenden Schutzeinrichtungen

Analog zur Vorgehensweise bei BWS ist das gleiche Verfahren auch für trennende Schutzeinrichtungen anzuwenden. Je nach Gefährdungspotenzial sind unterschiedliche Berechnungstabellen zu betrachten.

Um das Unterkriechen der trennenden Schutzeinrichtungen zu vermeiden, reicht es im Normalfall, wenn diese bei 200 mm über der Bezugsebene beginnen.

Erforderliche Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen bei geringem Gefährdungspotenzial gemäß ISO 13857

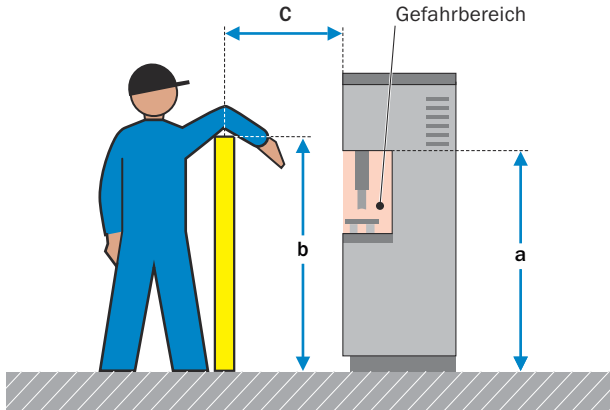


Abbildung 90: Parameter zur Bestimmung der erforderlichen Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen

Tabelle 45: Erforderliche Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen bei geringem Gefährdungspotenzial gemäß ISO 13857

Höhe a des Gefahrenbereichs (mm)	Horizontaler Abstand C zum Gefahrenbereich (mm)								
	0	100	200	300	400	500	600	700	800
2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2000	1100	900	700	600	500	350	0	0	0
1800	1100	1000	900	900	600	0	0	0	0
1600	1300	1000	900	900	500	0	0	0	0
1400	1300	1000	900	800	100	0	0	0	0
1200	1400	1000	900	500	0	0	0	0	0
1000	1400	1000	900	300	0	0	0	0	0
800	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der trennenden Schutzeinrichtung (mm)								
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500

Erforderliche Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen bei hohem Gefährdungspotenzial gemäß ISO 13857

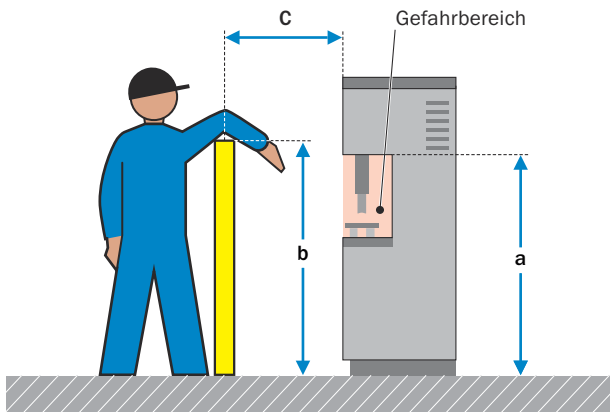


Abbildung 91: Parameter zur Bestimmung der erforderlichen Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen

Tabelle 46: Erforderliche Höhe von trennenden Schutzeinrichtungen bei hohem Gefährdungspotenzial gemäß ISO 13857

Höhe a des Gefahrbereichs (mm)	Horizontaler Abstand C zum Gefahrbereich (mm)										
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0	0
2400	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100	0	0
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	0	0	0
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	0	0	0	0
1800	1500	1400	1100	900	800	600	0	0	0	0	0
1600	1500	1400	1100	900	800	500	0	0	0	0	0
1400	1500	1400	1100	900	800	0	0	0	0	0	0
1200	1500	1400	1100	900	700	0	0	0	0	0	0
1000 ①	1500	1400	1000	800	0 ②	0	0	0	0	0	0
800	1500	1300	900	600	0	0	0	0	0	0	0
600	1400	1300	800	0	0	0	0	0	0	0	0
400	1400	1200	400	0	0	0	0	0	0	0	0
200	1200	900	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Höhe b der trennenden Schutzeinrichtung (mm)										
	1000	1200	1400	1600	1800 ③	2000	2200	2400	2500	2700	
Beispiel	Die trennende Schutzeinrichtung muss somit bei 200 mm über der Bezugsebene beginnen und bei 1800 mm enden. Wenn die Höhe der trennenden Schutzeinrichtung bei 1600 mm liegen soll, dann muss der Sicherheitsabstand auf mindestens 800 mm vergrößert werden.										

Gehen Sie wie folgt vor, um die notwendige Höhe der Oberkante der Schutzeinrichtung für diesen Sicherheitsabstand zu bestimmen:

1. Ermitteln Sie die Höhe der Gefahrstelle a und suchen Sie den Wert in der linken Spalte, z. B. 1000 mm.
2. Ermitteln Sie in dieser Zeile die erste Spalte, in der der horizontale Abstand C kleiner als der errechnete Sicherheitsabstand ist, z. B. das erste Feld mit dem Wert „0“.
3. Lesen Sie in der Fußzeile die resultierende Höhe b für die trennende Schutzeinrichtung ab, z. B. 1800 mm.



HINWEIS

→ Sicherheitsabstände und erforderliche Schutzfeldhöhe: ISO 13857

Mindestabstand bei ortsbindenden Schutzeinrichtungen

Wenn die Zweihandschaltung an ortsveränderlichen Ständern angebracht ist, dann muss das Einhalten des notwendigen Mindestabstands durch Distanzring oder begrenzte Kabellängen (zum Verhindern der unzulässigen Mitnahme in den Gefahrbereich) sichergestellt werden.

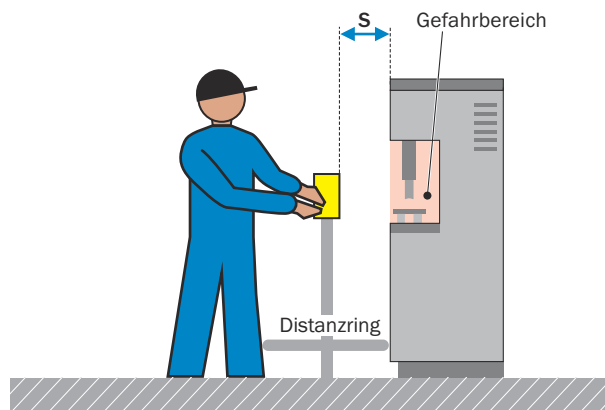


Abbildung 92: Mindestabstand einer Zweihandschaltung

Beispiel: Mindestabstand Zweihandschaltung

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

- S** Mindestabstand in Millimetern, gemessen vom Bedienteil zur nächstliegenden Gefahrstelle
- K** Parameter in Millimetern pro Sekunde, abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen, in der Regel 1600 mm/s
- T** Nachlaufzeit des gesamten Systems, gemessen ab dem Loslassen des Bedienteils in Sekunden
- C** Zuschlagsfaktor 250 mm. Er kann unter bestimmten Bedingungen entfallen (z. B. Überdeckung des Befehlsgeräts).

**HINWEIS**

→ Berechnung des Mindestabstands: ISO 13855 (Typ-B-Norm)

Anwenden von Rücksetzen und Wiederanlauf

Wenn eine Schutzeinrichtung einen Stopp-Befehl auslöst, dann muss der Stopp-Zustand aufrecht erhalten werden, bis ein sicherer Zustand für einen Wiederanlauf gegeben ist. Die Risikobeurteilung kann ergeben, dass der Stopp-Zustand nur durch manuelles, separates und absichtliches Rücksetzen beendet werden darf. In einem weiteren Schritt kann die Maschine neu gestartet werden.

Das Rücksetzen muss durch ein besonderes Befehlsgerät erfolgen. Das Befehlsgerät muss der vorhersehbaren Beanspruchung standhalten und fachgerecht eingesetzt sein, damit eine unabsichtliche Betätigung ausgeschlossen ist (Touch Panel sind u. U. ungeeignet). Darüber hinaus muss das Gerät an einer sicheren Stelle außerhalb des Gefahrenbereichs angebracht sein. Von der Stelle aus muss der Gefahrenbereich vollständig einsehbar sein, um sicherzustellen, dass sich keine Person im Gefahrenbereich aufhält.

Das Signal des Befehlsgeräts muss es der Steuerung ermöglichen einen separaten Startbefehl für den Wiederanlauf zu geben. Die Signalverarbeitung muss dabei sicherstellen, dass der Wiederanlauf nur dann erfolgen kann, wenn alle Sicherheitsfunktionen und Schutzeinrichtungen funktionsfähig sind.

In der ISO 13849-1 (Ziff. 5.2.2) wird daher gefordert, dass die Rückstellung nur durch das Loslassen des Betätigungselements aus seiner betätigten (EIN-)Position erfolgen darf und die Signalverarbeitung die fallende Signalflanke des Befehlsgeräts erkennen soll. Das heißt, die Quittierung darf nur durch das Loslassen des Betätigungselement aus seiner betätigten (EIN-)Position erfolgen.

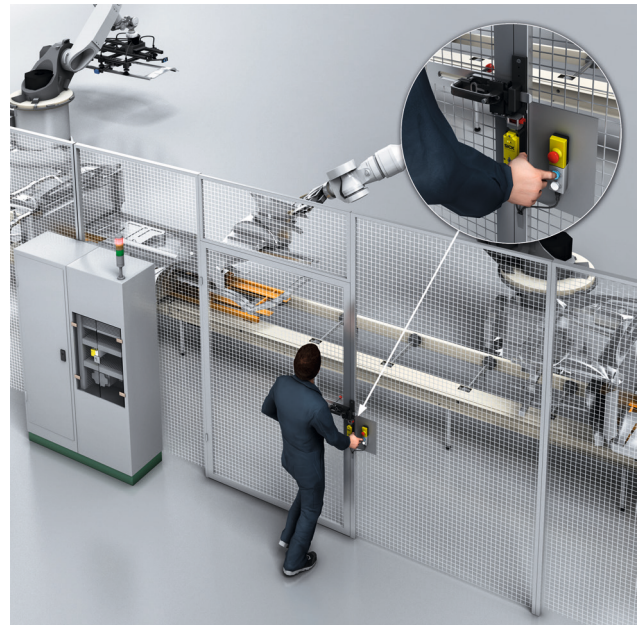


Abbildung 93: Die Position des Reset-Tasters erlaubt die vollständige Einsicht in den Gefahrenbereich für das Rücksetzen der Schutzeinrichtung.

Das manuelle Rücksetzen ist eine Sicherheitsfunktion und muss entsprechend realisiert werden, z. B. unter Anwendung der Normen ISO 13849-1 oder IEC 62061.

Das Signal (beim Betätigen) der Rücksetzeinrichtung ist Bestandteil der Sicherheitsfunktion. Daher muss **eine** der folgenden Maßnahmen umgesetzt werden:

- Das Signal muss diskret auf die sicherheitsgerichtete Logikeinheit verdrahtet werden.
- Das Signal muss über ein sicherheitsgerichtetes Bussystem übertragen werden.

Durch das Rücksetzen darf keine Bewegung oder Gefährdungssituation eingeleitet werden. Stattdessen kann die Maschinensteuerung nach dem Rücksetzen einen separaten Startbefehl annehmen.

Eine Ausnahme bei der Anwendung von Rücksetzen und Wiederanlauf besteht, wenn Schutzeinrichtungen verwendet werden, die eine ständige Erkennung von gefährdeten Personen im Gefahrenbereich ermöglichen (z. B. Hintertretschutz).

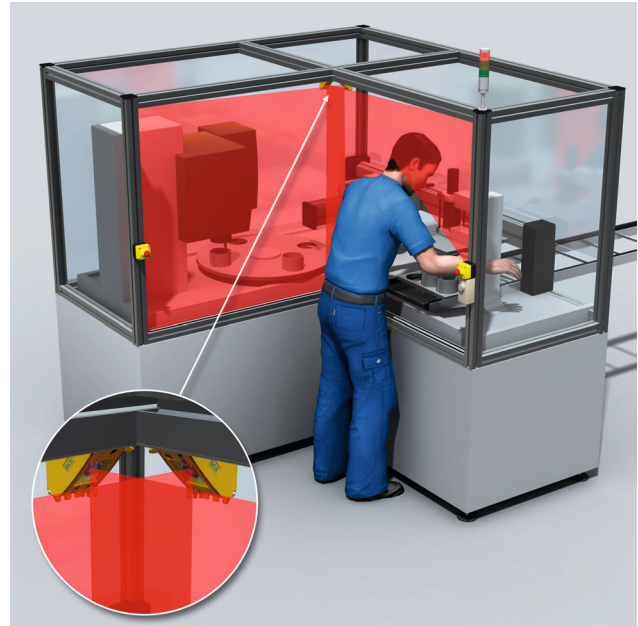


Abbildung 94: In dieser Anordnung ist es nicht möglich, sich im Gefahrenbereich aufzuhalten ohne durch die Schutzeinrichtung erkannt zu werden. Deshalb ist ein separates Rücksetzen der Schutzeinrichtung (Reset) nicht erforderlich.

Integrieren der Schutzeinrichtungen in die Steuerung

Neben den mechanischen Aspekten ist eine Schutzeinrichtung auch steuerungstechnisch zu integrieren.



HINWEIS






„Steuerungen sind funktionelle Baugruppen des Informationssystems einer Maschine und realisieren logische Funktionen. Sie koordinieren die Stoff- und Energieflüsse im Wirkbereich des Werkzeugs und Werkstücksystems im Sinne der Arbeitsaufgabe. [...] Steuerungen unterscheiden sich nach der angewendeten Technologie, d. h. nach den Trägern der Information, in fluidische, elektrische und elektronische Steuerungen.“

Aus: Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-642-33889-2 (5. Auflage 2013)

Der allgemeine Begriff **Steuerung** beschreibt die gesamte Kette eines Steuerungssystems. Die Steuerung besteht aus Eingangselementen, Logikeinheiten, leistungsteuernden Elementen, sowie Antriebs- bzw. Arbeitselementen.

Sicherheitsbezogene Teile der Steuerung sollen Sicherheitsfunktionen ausführen. Daher werden an ihre Zuverlässigkeit und ihre Widerstandsfähigkeit gegen Fehler besondere Anforderungen gestellt. Sie zeichnen sich durch fehlerbeherrschende und fehlervermeidende Prinzipien aus.

Tabelle 47: Sicherheitstechnische Aspekte von Steuerungen mit verschiedenen Wirkprinzipien. Aus: Alfred Neudörfer: Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte, Springer-Verlag, Berlin u. a., ISBN 978-3-642-33889-2 (5. Auflage 2013)

Steuerung		Sicherheitstechnische Aspekte		
Wirkprinzip der Steuerung		Typische Bauteile	Störeinflüsse	Erläuterungen
Fluidisch	Pneumatisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrwegventile • Entlüftungsventile • Handabsperrentile • Filter mit Wasserabscheider • Schläuche 	<ul style="list-style-type: none"> • Energieänderungen • Reinheit und Wassergehalt der Druckluft 	Meistens als elektropneumatische Steuerung ausgeführt. Wartungseinheit zur Aufbereitung der Druckluft notwendig.
	Hydraulisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Druckspeicher • Druckbegrenzer • Mehrwegventile • Filter • Niveauanzeiger • Temperaturanzeiger • Schläuche und Leitungen • Verschraubung 	<ul style="list-style-type: none"> • Reinheit • Viskosität • Temperatur der Druckflüssigkeit 	Meistens als elektrohydraulische Steuerung ausgeführt. Maßnahmen zur Druck- und Temperaturbegrenzung im System und zur Filtration des Mediums notwendig.
Elektrisch	Elektromechanisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Befehlsgeräte: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Positionsschalter ◦ Wahlschalter ◦ Taster • Schaltgeräte: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Steuerschütze ◦ Relais ◦ Leistungsschütze 	<ul style="list-style-type: none"> • Schutzklasse der Geräte • Auswahl, Dimensionierung und Anordnung der Bauteile und Geräte • Ausführung und Verlegung der Leitungen 	Teile sind aufgrund ihrer Bauart und eindeutiger Schaltstellungen bei richtiger Auswahl unempfindlich gegen Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen und elektromagnetische Störungen.
	Elektronisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelbauteile, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Transistoren ◦ Widerstände ◦ Kondensatoren ◦ Spulen • Hochintegrierte Bausteine, z. B. integrierte Schaltkreise (IC) 	Wie unter „Elektromechanisch“. Zusätzlich: <ul style="list-style-type: none"> • Temperaturschwankungen • Über Leitungen oder Felder eingekoppelte elektromagnetische Störungen 	Fehlerausschlüsse sind nicht möglich. Zuverlässige Wirkung ist nur durch Steuerungskonzepte realisierbar, nicht durch die Auswahl der Bauteile.
	Mikroprozessorgesteuert 	<ul style="list-style-type: none"> • Mikroprozessoren • Software 	<ul style="list-style-type: none"> • Installationsfehler in der Hardware • Systematische Fehler einschließlich Fehler gemeinsamer Ursache (common-cause) • Programmierfehler • Handhabungsfehler • Bedienungsfehler • Manipulationen • Malware 	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen zur Fehlervermeidung: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Strukturierter Entwurf ◦ Programmanalyse ◦ Simulation ◦ • Maßnahmen zur Fehlerbeherrschung: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Redundante Hard- und Software ◦ RAM-/ROM-Test ◦ CPU-Test

Die sicherheitsbezogenen Eingangselemente sind mit der Sicherheitssensorik (Schutzeinrichtungen) bereits beschrieben. Daher werden nachfolgend nur die Logikeinheit und die leistungssteuernden Elemente behandelt.

Fehler und Versagen von Antriebs- bzw. Arbeitselementen werden üblicherweise ausgeschlossen.

Fluidische Steuerungen werden häufig als elektropneumatische bzw. elektrohydraulische Steuerungen ausgeführt. D. h., die elektrischen Signale werden durch Ventile in fluidische Energie umgesetzt, um damit Zylinder und andere leistungssteuernde Elemente zu bewegen.



HINWEIS

Schaltungsbeispiele zur Integration von Schutzeinrichtungen finden Sie unter www.sick.com.

Logikeinheiten

In einer Logikeinheit werden unterschiedliche Eingangssignale zu Ausgangssignalen verknüpft. Häufig werden elektromechanische, elektronische oder programmierbare elektronische Komponenten verwendet.



WICHTIG

Abhängig von der notwendigen Zuverlässigkeit, dürfen die Signale der Schutzeinrichtungen nicht allein von Standardsteuerungen verarbeitet werden. Es müssen ggf. zusätzlich parallele Abschaltpfade vorhanden sein.

Logikeinheit: Prinzipaufbau mit Hilfsschützen

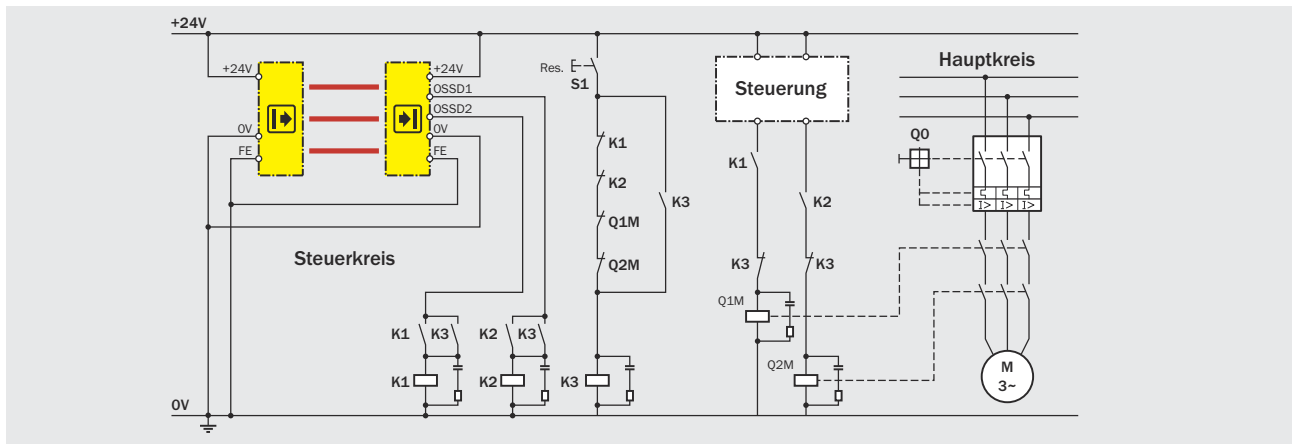


Abbildung 95: Schaltungsaufbau einer sicherheitsrelevanten Logikeinheit mit Schützen

Aus einzelnen Hilfsschützen mit zwangsgeführten Kontakten lassen sich Steuerungsfunktionen beinahe beliebiger Komplexität aufbauen. Redundanz und Überwachung durch zwangsgeführte Kontakte kennzeichnen dieses Sicherheitsprinzip. Die logische Verknüpfung wird durch die Verdrahtung realisiert.

Wirkungsweise: Bei Ruhelage der Schütze K1 und K2 wird durch Betätigung von S1 das Schütz K3 eingeschaltet und hält sich selbst. Wenn kein Gegenstand im aktiven Schutzfeld detektiert wird, führen die Ausgänge OSSD1 und OSSD2 Spannung. Die Schütze K1 und K2 werden über die Schließerkontakte von K3 eingeschaltet und halten sich selbst. K3 wird beim Loslassen des Tasters S1 abgeschaltet. Erst dann werden die Ausgangskreise geschlossen. Bei Detektion eines Gegenstands im aktiven Schutzfeld werden die Schütze K1 und K2 durch die Ausgänge OSSD1 und OSSD2 ausgeschaltet.

Logikeinheit als Sicherheitsschaltgerät (Sicherheits-Relais-Kombination)

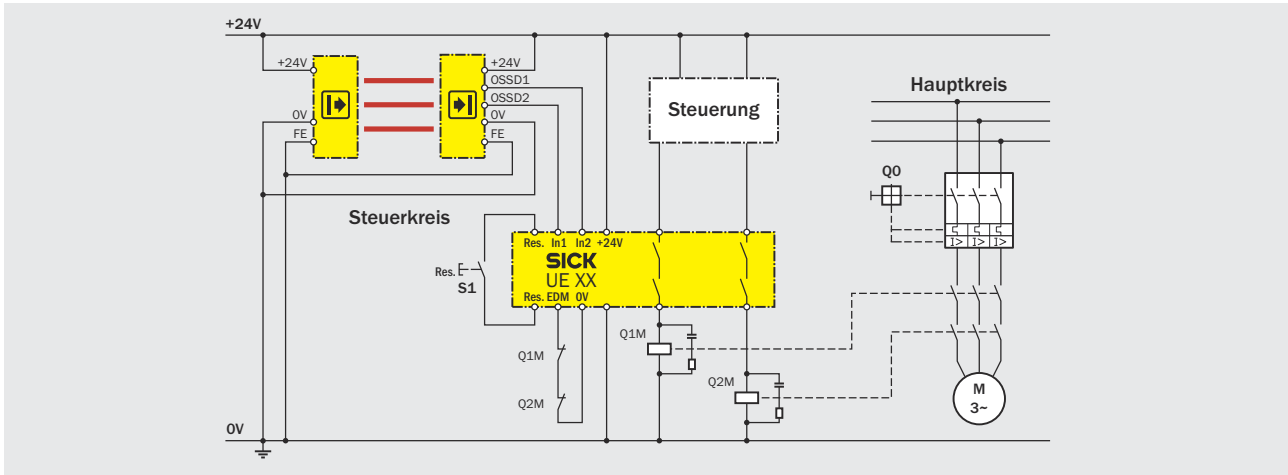


Abbildung 96: Schaltungsaufbau einer sicherheitsrelevanten Logikeinheit mit Sicherheitsschaltgerät

Sicherheitsschaltgeräte fassen in einem Gehäuse eine oder mehrere Sicherheitsfunktionen zusammen. Sie beinhalten in der Regel auch Selbstüberwachungsfunktionen. Die Abschaltpfade können kontaktbehaftet oder mit Halbleitern ausgeführt sein. Sie können zusätzlich Meldekontakte beinhalten.

Der Aufbau von komplexeren Sicherheitsanwendungen wird durch die Integration von mehreren Funktionen in einem Gerät vereinfacht. Das zertifizierte Sicherheitsschaltgerät verringert zusätzlich den Aufwand für die Validierung von Sicherheitsfunktionen. Anstelle von Relais können Halbleiterbauelemente die Aufgabe der elektromechanischen Schaltelemente übernehmen. Durch Fehlererkennungsmaßnahmen, wie die Auswertung dynamischer Signale, oder Fehlerbeherrschungsmaßnahmen, wie die mehrkanalige Signalverarbeitung, können rein elektronische Steuerungen den erforderlichen Grad an Zuverlässigkeit erreichen.

Logikeinheit mit softwarebasierten Komponenten

Analog zur Automatisierungstechnik hat sich die Sicherheitstechnik von verdrahteten Hilfsschützen über Sicherheitsschaltgeräte, teilweise mit parametrierbaren und konfigurierbaren Sicherheitslogiken, bis hin zu komplexen fehlersicheren SPS weiterentwickelt. Das Konzept von „bewährten Bauteilen“ und „bewährten Sicherheitsprinzipien“ muss auf die elektrischen und programmierbaren elektronischen Systeme übertragen werden.

Die logische Verknüpfung für die Sicherheitsfunktion wird dabei durch Software realisiert. Software ist zu unterscheiden nach Firmware – entwickelt und zertifiziert vom Hersteller der Steuerung – und der eigentlichen Sicherheitsanwendung. Diese entwickelt der Maschinenhersteller mit dem von der Firmware bereitgestellten Funktionsumfang.

Parametrierung

Auswahl von Eigenschaften aus einem vorgegebenen Vorrat von Funktionalitäten durch Wahlschalter bzw. Softwareparameter zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme.

Merkmale: geringe Logiktiefe, UND-/ODER-Logik

Konfiguration

Flexible Verknüpfung von vorgegebenen Funktionsblöcken in zertifizierter Logik mit einer softwaregestützten Konfigurationsoberfläche, Parametrierung von z. B. Zeiten und Konfiguration der Ein- und Ausgänge der Steuerung.

Merkmale: beliebige Logiktiefe, binäre Logik

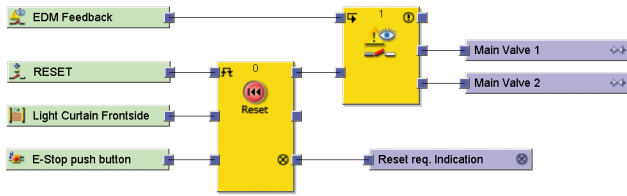


Abbildung 97: Beispiel einer Verknüpfung von Funktionsblöcken einer softwaregestützten Logikeinheit

Programmierung

Freie Gestaltung der Logik mit einem von der vorgegebenen Programmiersprache abhängigen Funktionsumfang, meist unter Nutzung zertifizierter Funktionsblöcke.

Merkmale: beliebige Logiktiefe, Wortverarbeitung

Network 4: Emergency stop: Safety light curtain/emergency stop/T4000C

Comment:

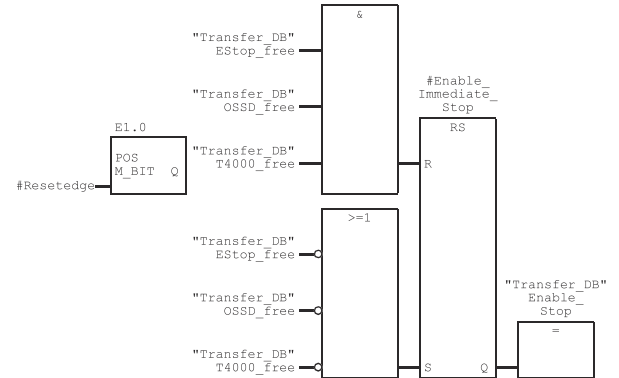


Abbildung 98: Beispiel einer Verknüpfung von Logikbausteinen und Funktionsblöcken zur Programmierung einer Funktion

Zuverlässige Datenübertragung

Bussysteme werden einerseits angewendet, um Signale zwischen dem Steuerungssystem und Sensoren oder leistungssteuernden Elementen an der Maschine zu übermitteln. Bussysteme sind andererseits für die Übertragung von Zuständen zwischen verschiedenen Teilen von Steuerungen verantwortlich. Ein Bussystem erleichtert die Verdrahtung und reduziert damit mögliche Fehler. Es ist sinnvoll, für sicherheitsbezogene Anwendungen etablierte Bussysteme zu verwenden.

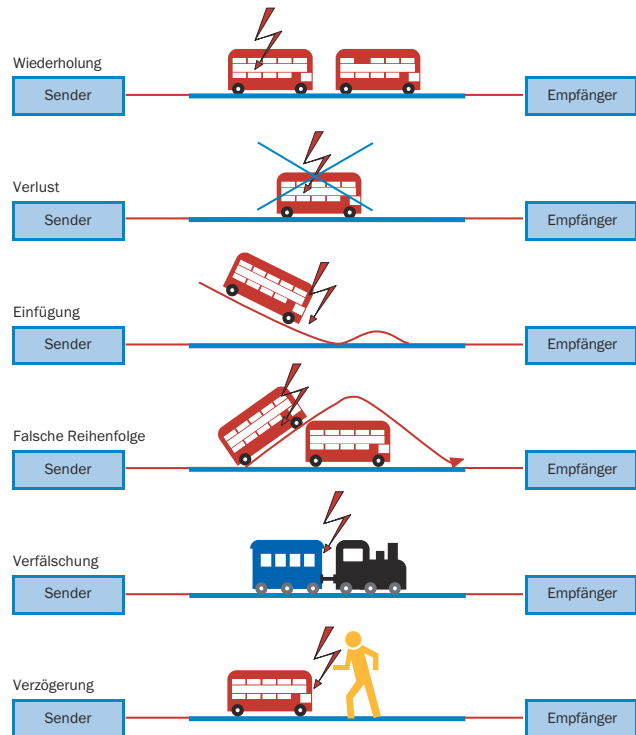
Die Untersuchung der auftretenden Fehler von Hard- und Software in Übertragungssystemen zeigt, dass diese Fehler zu folgenden Übertragungsfehlern in Bussystemen führen:

- Wiederholung
- Verlust
- Einfügung
- falsche Abfolge
- Verfälschung
- Verzögerung von Daten

Übertragungsfehler kann man durch verschiedene Maßnahmen in der übergeordneten Steuerung vermeiden, z. B. durch fortlaufende Nummerierung der sicherheitsbezogenen Telegramme oder eine Zeiterwartung für ankommende Telegramme mit Quittierung. Protokollerweiterungen auf Basis des eingesetzten Feldbusses beinhalten solche Maßnahmen.

Sie wirken nach dem ISO-/OSI-Schichtenmodell oberhalb der Transportschicht und nutzen somit den Feldbus unverändert mit all seinen Komponenten als „Black channel“. Als sichere Bussysteme haben sich z. B. etabliert:

- AS-i Safety at Work
- DeviceNet Safety
- PROFIsafe



Quelle: Sicherheitsgerechtes Konstruieren von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Elektrische Ausrüstung und Steuerungen; BG Druck- und Papierverarbeitung; Auflage 06/2004; Seite 79

Abbildung 99: Übertragungsfehler von Bussystemen. Quelle: Sicherheitsgerechtes Konstruieren von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen – Elektrische Ausrüstung und Steuerungen; BG Druck- und Papierverarbeitung; Auflage 06/2004; Seite 79

Auswahlkriterien

Kriterien für die Auswahl einer Steuerungsfamilie sind zunächst die Anzahl der zu realisierenden Sicherheitsfunktionen sowie der Umfang der logischen Verknüpfungen zwischen Eingangssignalen.

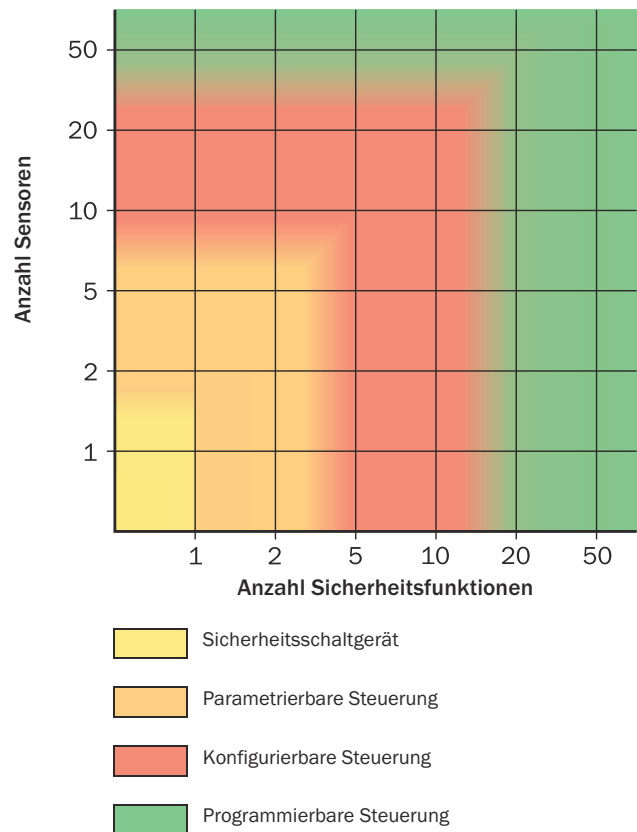


Abbildung 100: Darstellung der bevorzugten Einsatzbereiche von sicheren Steuerungstechnologien von Abhängigkeit von der Anzahl der Sensoren und der Sicherheitsfunktionen

Die Funktionalität der benötigten Verknüpfungslogik – z. B. einfaches UND, Flipflop oder Spezialfunktionen wie Muting – beeinflusst die Auswahl zusätzlich.

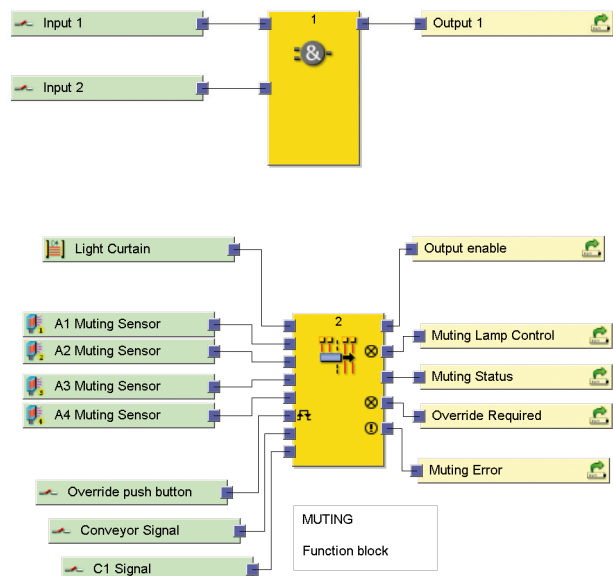


Abbildung 101: Beispiel eines sicheren Software-Funktionsbausteins für Muting mit Ein- und Ausgängen

Softwarespezifikation

Um das Auftreten eines Gefahr bringenden Zustands zu vermeiden, müssen insbesondere softwarebasierte Logikeinheiten so entworfen werden, dass Fehler in der Logik zuverlässig vermieden werden. Um systematische Fehler zu erkennen, sollte eine systematische Prüfung durch eine andere Person als den Entwickler erfolgen und damit das Vier-Augen-Prinzip angewendet werden.

Eine einfache Realisierungsmöglichkeit dieser Spezifikation stellt die sogenannte **Designmatrix** dar. Hierbei werden bestimmte Kombinationen von sicherheitsrelevanten Eingangssignalen zu gesonderten Fällen (z. B. „Position verloren“ oder „Roboter links“) zusammengefasst. Diese Fälle sollen nach Vorgabe der Sicherheitsfunktion über die sicherheitsrelevanten Ausgänge auf die Maschinenfunktionen wirken. Diese einfache Methode wird auch von SICK bei der Projektierung von Anwendungssoftware verwendet.

Eine Überprüfung mit allen Projektbeteiligten ist sinnvoll.

Bei schlecht dokumentierten und unstrukturierten Programmen entstehen die Fehler bei späteren Modifikationen. Insbesondere besteht die Gefahr von unerkannten Abhängigkeiten, sogenannten Seiteneffekten. Bei fremdentwickelter Software haben gute Spezifikationen und Programmdokumentationen eine besonders starke fehlervermeidende Wirkung.

Designmatrix

- 0 = Logisch 0 oder AUS
- S = Freigabe (Restart)
- I = Logisch 1 oder EIN
- = Zustand egal

		Sicherheitsgerichtete Ausgänge				
		Roboter	Tisch links	Tisch rechts
Sicherheitsgerichtete Eingänge	Fall	Roboter	Tisch links	Tisch rechts
	Position verloren	0	-	-		
	Roboter links	S	-	-		
	Roboter rechts	S	-	-		
	Roboter Mitte	S	-	-		
	Zugang links	S	I	-		
	Zugang rechts	-	-	I		
	Not-Halt	0	0	0		
...						

Abbildung 102: Beispiel einer Designmatrix als Hilfsmittel bei der Entwicklung von Sicherheitsfunktionen

Leistungssteuernde Elemente

Die von den Schutzeinrichtungen und der Logikeinheit ausgelöste Sicherheitsfunktion muss eine Gefahr bringende Bewegung stoppen. Hierfür werden üblicherweise die Antriebs- oder Arbeitselemente durch leistungssteuernde Elemente abgeschaltet.



HINWEIS

→ Prinzip des Ausschaltens bzw. der Energieabschaltung: ISO 13849-2 (Typ-B-Norm)

Schütze

Die meistverwendete Art leistungssteuernder Elemente sind elektromechanische Schütze. Durch spezielle Auswahlkriterien, Beschaltungen und Maßnahmen können ein oder mehrere Schütze ein Teilsystem der Sicherheitsfunktion sein. Durch Schutz der Kontakte gegen Überstrom und Kurzschlüsse, Überdimensionierung (üblicherweise Faktor 2) und andere Maßnahmen wird ein Schütz als bewährtes Bauteil angesehen. Um Schütze für Sicherheitsfunktionen diagnostizieren zu können, ist eine eindeutige Rückmeldung des Schaltzustands nötig (EDM). Dies ist durch ein Schütz mit zwangsgeführten Kontakten möglich. Zwangsführung ist dann gegeben, wenn die Kontakte in einem Kontaktsatz mechanisch so miteinander verbunden sind, dass über die gesamte Lebensdauer hinweg niemals Schließer und Öffner gleichzeitig geschlossen sein können.

Der Begriff der „zwangsgeführten Kontakte“ bezieht sich zunächst auf Hilfsschütze und Hilfskontakte. Es muss auch im gestörten Zustand (ein Schließerkontakt verschweißt) ein definierter Kontaktabstand von mindestens 0,5 mm am Öffner gewährleistet sein. Da bei Leistungsschützen für kleine Schaltleistungen (< 4 kW) kein wesentlicher Unterschied zwischen den Hauptschaltgliedern und den Hilfsschaltgliedern besteht, kann man bei kleinen Leistungsschützen ebenfalls von „zwangsgeführten Kontakten“ sprechen.

Für größere Leistungsschütze kommen sogenannte „Spiegelkontakte“ zum Einsatz: Während ein Hauptkontakt eines Schützes geschlossen ist, darf kein Spiegelkontakt (Hilfsöffner) geschlossen sein. Eine typische Anwendung für Spiegelkontakte ist die hochzuverlässige Überwachung des Schaltzustands eines Schützes in Steuerstromkreisen von Maschinen.

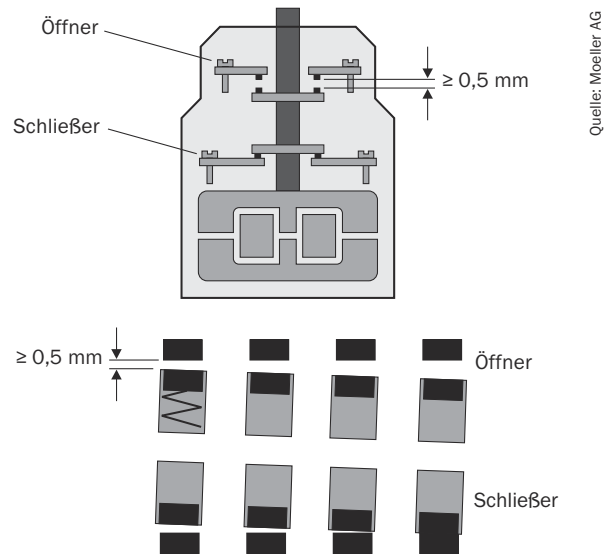


Abbildung 103: Kontaktsystem eines Schützes mit zwangsgeführten Kontakten. Ein Schließer ist verschweißt.

Schutzbeschaltung

Induktivitäten, wie Spulen von Ventilen oder Schützen, müssen zur Begrenzung von transienten Überspannungen beim Abschalten mit einer Schutzbeschaltung versehen werden. Damit werden die schaltenden Elemente vor Überbeanspruchung geschützt, insbesondere die gegen Überspannung besonders empfindlichen Halbleiter. In der Regel haben solche Beschaltungen einen Einfluss auf die Abfallverzögerung und daher auf den erforderlichen Mindestabstand der Schutzeinrichtung (siehe „Lösungsansätze zur Berechnung des Mindestabstands“, Seite 105). Eine einfache Diode zur Funkenlöschung kann eine bis zu 14-fache Abschaltzeit zur Folge haben.

Tabelle 48: Beispiel für Schutzbeschaltungen von Dioden zur Begrenzung transienter Überspannungen

Schutzbeschaltung (über Induktivität)	Diode	Diodenkombination	Varistor	RC-Glied
Schutz gegen Überspannung	Sehr hoch	Hoch	Begrenzt	Hoch ¹⁾
Abfallverzögerung	Sehr lang (sicherheitsrelevant)	Kurz (ist aber zu berücksichtigen)	Sehr kurz (nicht sicherheitsrelevant)	Sehr kurz ¹⁾ (nicht sicherheitsrelevant)

1) Es ist erforderlich, das Element exakt auf die Induktivität abzustimmen!

Antriebstechnik

Antriebe stellen bei der Betrachtung von Sicherheitsfunktionen eine zentrale Teilfunktion dar, da u. a. von ihnen die Gefahr einer ungewollten Bewegung ausgeht.

Die Sicherheitsfunktion erstreckt sich vom Sensor bis zum leistungssteuernden Element.

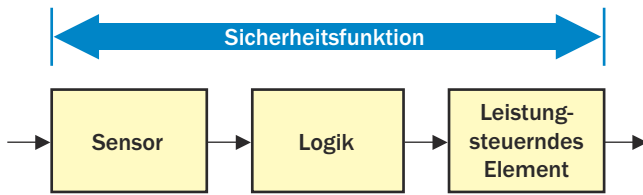


Abbildung 104: Elemente einer Sicherheitsfunktion

Das leistungssteuernde Element kann dabei mehrere Komponenten (Schütz, Antriebsregler, Feedback) umfassen, je nach technischer Ausführung und Sicherheitsfunktion. Brems- und Haltesysteme sind bei schwerkraftbelasteten Achsen ebenfalls zu berücksichtigen.

Der eigentliche Antrieb (Motor) ist nicht Gegenstand der Betrachtung.

Servo- und Frequenzumrichter

In der Antriebstechnik haben Drehstrommotoren mit Frequenzumrichtern die Gleichstromantriebe weitgehend ersetzt. Dabei erzeugt der Umrichter aus dem starren Drehstromnetz eine in Frequenz und Amplitude variable Ausgangsspannung. Je nach Ausführung können geregelte Gleichrichter die beim Abbremsen vom Zwischenkreis aufgenommene Energie in das Netz zurückspeisen.

Der Gleichrichter wandelt die aus dem Netz zugeführte elektrische Energie und führt sie dem Gleichspannungszwischenkreis zu. Der Wechselrichter formt daraus durch Pulsweitenmodulation mit Halbleiterschaltern ein geeignetes Drehfeld im Motor, um die gewünschten Regelfunktionen auszuführen. Übliche Schaltfrequenzen hierfür liegen zwischen 4 kHz und 12 kHz.

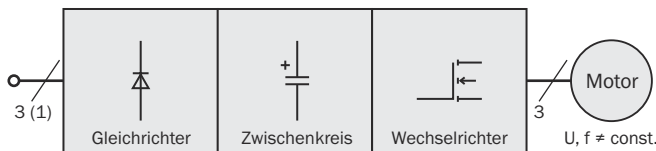


Abbildung 105: Aufbau von Stromkreisen mit Servo- und Frequenzumrichtern

Zur Begrenzung transienter Überspannungen durch das Schalten von Lasten in Gleich- und Wechselstromkreisen sind Entstörbauerelemente einzusetzen, insbesondere bei Einsatz von sensiblen elektronischen Baugruppen im gleichen Schaltschrank.

Checkliste

- Netzeingangsfiler am Frequenzumrichter eingebaut?
- Ausgangskreis des Umrichters mit Sinusfilter versehen?
- Verbindungsleitungen möglichst kurz und geschirmt?
- Komponenten und Schirme großflächig mit Erde bzw. PE verbunden?
- Kommutierungsdrossel zur Spitzenstrombegrenzung vorgeschaltet?

Sicherheitsfunktionen bei Servo- und Frequenzumrichter

Zur Umsetzung der Sicherheitsfunktion sind hierbei unterschiedliche Abschaltpfade möglich:

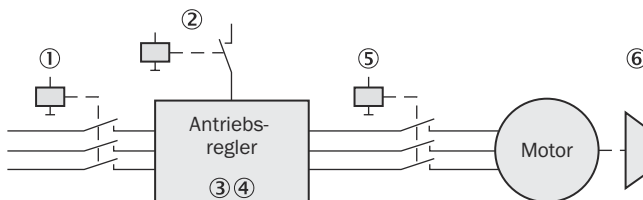


Abbildung 106: Sicherheitsrelevante Elemente und Funktionen bei Stromkreisen mit Servo- und Frequenzumrichtern

- ① Netzschütz – ungünstig wegen langer Wiedereinschaltzeit, hoher Verschleiß wegen Anlaufstrom
- ② Reglerfreigabe – nicht sicherheitsgerichtet
- ③ Impulssperre „Sichere Wiederanlaufsperr (Halt)

- ④ Sollwert – nicht sicherheitsgerichtet
- ⑤ Motorschütz – nicht bei allen Umrichtern erlaubt
- ⑥ Haltebremse – üblicherweise keine Arbeitsbremse

Der Beitrag des Antriebsreglers zur Sicherheitsfunktion kann auf verschiedene Arten realisiert werden:

- Durch Trennen der Energiezufuhr, z. B. durch ein Netzschütz ① oder ein Motorschütz ⑤
- Durch überwachende externe Anschaltungen, z. B. durch Monitoring eines Drehgebers
- Durch direkt im Antriebsregler integrierte Sicherheits-Teilfunktionen („Im Antriebsregler integrierte Sicherheits-Teilfunktionen“, Seite 126)

Trennen der Energiezufuhr

Bei Verwendung von Umrichtern ist die in den Zwischenkreiskapazitäten gespeicherte Energie bzw. die durch einen generatorischen Bremsprozess erzeugte Energie bei der Risikobewertung zu berücksichtigen.

Bei der Betrachtung des Restwegs ist davon auszugehen, dass die Bewegungssteuerung keine Bremsrampe einleitet. Der Antrieb läuft nach Abschaltung je nach Reibung mehr oder weniger schnell aus (Stopp-Kategorie 0). Die Ansteuerung einer Bremsrampe über Beeinflussung von Sollwert und/oder Reglerfreigabe und anschließendes Abschalten der Schütze oder der Impulssperre (Stopp-Kategorie 1) kann den Bremsweg verringern.

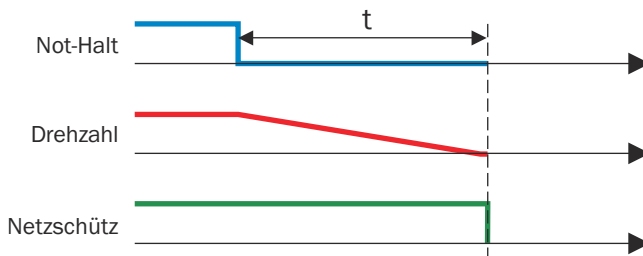


Abbildung 107: Trennen der Energiezufuhr durch das Netzschütz nach Not-Halt und Einleiten einer Bremsrampe

Drehzahlerfassung bei externen Überwachungseinheiten

Externe Überwachungseinheiten benötigen zur Überwachung des Antriebs verschiedene Signale, die die aktuellen Bewegungsparameter melden. Die Signalquellen sind in diesem Fall Sensoren und Encoder. Diese müssen je nach erforderlichem PL oder SIL entweder als sichere Sensoren oder redundant ausgeführt werden.

Eine Stillstandsüberwachung kann alternativ auch durch das Rücklesen der vom auslaufenden Motor induzierten Spannung realisiert werden. Dies funktioniert auch bei drehzahlgeregelten Antrieben.

Im Antriebsregler integrierte Sicherheits-Teilfunktionen

Sicherheitsfunktionen werden von sicherheitsbezogenen Teilen von Steuerungen (SRP/CS) ausgeführt. Sie umfassen die Teilfunktionen Erfassen (Sensor), Verarbeiten (Logikeinheit) und Schalten oder Einwirken (leistungssteuerndes Element). In diesem Kontext sind im Antriebsregler integrierte sicherheitsgerichtete Funktionen als Sicherheits-Teilfunktionen sicher zu betrachten.

Sie werden generell in zwei Gruppen unterteilt:

- Sicherheitsbezogene Stopp- und Bremsfunktionen: Sie dienen dem sicheren Stillsetzen des Antriebs (z. B. sicherer Stopp),
- Sichere Überwachungsfunktionen: Sie dienen der sicheren Überwachung des Antriebs während des Betriebs (z. B. sicher reduzierte Geschwindigkeit).

Generell hängt die notwendige Antriebsüberwachungsfunktion von der Anwendung ab. Randbedingungen sind u. a. Parameter wie der benötigte Bremsweg, das Vorhandensein von kinetischer Energie.

Die Abschaltreaktion ist je nach gewählter Sicherheits-Teilfunktion eine andere. So führt z. B. das sicher abgeschaltete Drehmoment (STO) bei Stoppanforderung zum unkontrollierten Austrudeln der Bewegung. Beim sicheren Stopp (SS1 oder SS2) wird ein kontrolliertes Verzögern eingeleitet. Eventuell ist auch eine Kombination von Elementfunktionen als geeignete Maßnahme einzusetzen.

Mögliche Schnittstellen zur Ansteuerung von direkt im Antrieb integrierten sicheren Teilfunktionen sind:

- Diskrete 24-V-Signale
- Führungskommunikation (Kanal 1)/24 V diskret (Kanal 2)
- Sichere Kommunikationssysteme (Feldbussysteme/Netzwerkschnittstelle)

Bei der Führungskommunikation wird eine Sollwertvorgabe für Drehzahl oder Lage von der Standardsteuerung an den Antrieb übermittelt; und zwar über einen nicht sicherheitsgerichteten Feldbus oder ein Netzwerk.

Die Mehrzahl der heute verfügbaren Sicherheits-Teilfunktionen für drehzahlveränderliche Antriebe sind in der harmonisierten Norm IEC 61800-5-2 „Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl“, Teil 5-2 „Anforderungen an die Sicherheit – Funktionale Sicherheit“ spezifiziert. Antriebsregler, die diese Norm erfüllen, können als sicherheitsrelevante Teile eines Steuerungssystems nach ISO 13849-1 bzw. IEC 62061 eingesetzt werden.

Antriebssicherheitsfunktionen nach EN 61800-5-2

Tabelle 49: Antriebssicherheitsfunktionen nach EN 61800-5-2. Quelle: Bosch Rexroth AG

	<p>Sicher abgeschaltetes Drehmoment (STO)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entspricht Stopp-Kategorie 0 nach IEC 60204-1 • Ungesteuertes Stillsetzen durch sofortige Unterbrechung der Energiezufuhr zu den Antriebselementen • Sichere Wiederanlaufsperrung: verhindert unerwartetes Anlaufen des Motors 		<p>Sichere maximale Geschwindigkeit (SMS) ¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sichere Überwachung der Maximalgeschwindigkeit unabhängig von der Betriebsart
	<p>Sicherer Stopp 1 (SS1) ²</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entspricht Stopp-Kategorie 1 nach IEC 60204-1 • Gesteuertes Stillsetzen unter Beibehaltung der Energiezufuhr zu den Antriebselementen • Nach Stillsetzen oder unterhalb einer Geschwindigkeitsgrenze: Aktivierung der Funktion STO • Optional: Überwachung einer Bremsrampe 		<p>Sicheres Brems- und Haltesystem (SBS) ¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das sichere Brems- und Haltesystem steuert und überwacht zwei unabhängige Bremsen.
	<p>Sicherer Stopp 2/sicherer Betriebshalt (SS2, SOS) ²</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entspricht Stopp-Kategorie 2 nach IEC 60204-1 • Gesteuertes Stillsetzen unter Beibehaltung der Energiezufuhr zu den Antriebselementen • Nach Stillstand: sichere Überwachung der Antriebswellenposition in definiertem Bereich 		<p>Sichere Schutzürzuhaltung (SDL) ¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nur wenn alle Antriebe eines geschützten Bereichs im sicheren Zustand sind, wird die Schutzürzuhaltung entriegelt.
	<p>Sicher begrenzte Geschwindigkeit (SLS)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei gegebener Zustimmung wird im Sonderbetrieb eine sicher reduzierte Geschwindigkeit überwacht. • Bei Überschreitung der Geschwindigkeit wird eine der sicheren Stopp-Funktionen ausgelöst. 		<p>Sicher begrenztes Schrittmaß (SLI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei gegebener Zustimmung wird im Sonderbetrieb ein sicher begrenztes Schrittmaß überwacht. • Danach wird der Antrieb sicher gestoppt und verharrt an dieser Stelle.
	<p>Sichere Bewegungsrichtung (SDI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlich zur sicheren Bewegung wird eine sichere Drehrichtung (rechts/links) überwacht. 		<p>Sicher überwachte Verzögerung (SMD) ¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sichere Überwachung der Verzögerung beim Stillsetzen mit vorausschauendem Verhalten

	<p>Sicher überwachte Position (SLP)¹</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlich zur sicheren Bewegung wird ein sicherer Absolutlagebereich überwacht. • Bei Verletzung der Grenzwerte wird der Antrieb über eine der Stopp-Funktionen stillgesetzt (Nachlauf beachten). 		<p>Sicher begrenzte Position (SPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überwachung von sicheren Software-schaltern
--	---	--	--

¹ Nicht definiert in IEC 61800-5-2.

² Nicht sicheres Abbremsen: Wenn keine Bremsrampe definiert wurde, dann wird eine Motorbeschleunigung während der Zeitverzögerung nicht erkannt



HINWEIS

→ Funktionale Sicherheit bei Leistungsantrieben IEC 61800-5-2 (Typ-B-Norm)

Fluidtechnische Steuerungen

Ventile

In allen Ventilen befinden sich bewegliche Schaltelemente (Kolbenschieber, Stößel, Sitze usw.), die aufgrund ihrer Funktion mechanischem Verschleiß unterliegen.

Die häufigsten Ursachen, die zum sicherheitsrelevanten Versagen von Ventilen führen, sind:

- Versagen von Funktionselementen des Ventils (Rückstellfunktion, Schaltfunktion, Dichtfunktion)
- Verunreinigung des Fluids

Verunreinigungen stellen eine nicht bestimmungsgemäße Verwendung dar und führen im Allgemeinen zu Funktionsstörungen. Generell gilt für alle Ventile, dass Verunreinigungen zum frühzeitigen Verschleiß führen. Damit sind die Grundlagen für die erfolgte Auslegung nach einer definierten Ausfallwahrscheinlichkeit nicht mehr gegeben.

Die bei monostabilen Ventilen verwendeten mechanischen Federn der Rückstellfunktion sind im Allgemeinen dauerfest ausgelegt und können entsprechend ISO 13849-2 als bewährt angesehen werden. Ein Fehlerausschluss für das Brechen der Feder hingegen kann nicht getätigt werden.

Wichtiges Unterscheidungsmerkmal der Ventile ist die Ausführung des beweglichen Schaltelements innerhalb des Ventils.

Die jeweilige Ausfallrichtung der Ventile wird durch deren konstruktiven Aufbau wesentlich bestimmt. Während bei Sitzventilen mit Leckage zu rechnen ist, kann es bei Kolbenschieberventilen zur Blockade des Kolbenschiebers kommen.

Beim Sitzventil wird die Schaltfunktion durch das bewegliche Schaltelement (Ventilteller) gebildet, welches seine Lage relativ zu einem im Gehäuse eingearbeiteten Sitz verändert. Diese Ausführung ermöglicht es, mit kurzen Schalthüben große Querschnitte freizugeben. Durch eine entsprechende Gestaltung kann Leckagefreiheit erreicht werden.

Bei Kolbenventilen schließt oder öffnet der Ventilkörper durch Überfahren einer Bohrung bzw. Umfangsnut den Durchflussweg. Die Querschnittsänderungen des Kolbenschiebers relativ zu den Querschnittsänderungen im Gehäuse beeinflussen den Volumenstrom und werden als Steuerkanten bezeichnet. Ein zu beachtendes wesentliches Merkmal dieser Ventilkonstruktion ist die sogenannte Überdeckung (engl. lap). Sie bezeichnet den Abstand in Längsrichtung zwischen den feststehenden und den beweglichen Steuerkanten des Schieberventils. Der bei harddichtenden Ventilen für die Funktion erforderliche Spalt zwischen Kolben und Gehäusebohrung führt zu einer Leckage bei anliegender Druckdifferenz.

Sicherheitstechnische Gestaltungsprinzipien

Beim sicherheitsbezogenen Einsatz von Ventilen kann eine Rückmeldung der Ventilstellung erforderlich sein.

Hierzu sind unterschiedliche Verfahren im Einsatz:

- Reedschalter, die von einem in den beweglichen Ventilkörper eingelassenen Magneten betätigt werden
- induktive Näherungsschalter, die von dem beweglichen Schaltelement des Ventils direkt betätigt werden

- analoge Wegerfassung des beweglichen Schaltelements des Ventils
- Druckmessung hinter dem Ventil

Bei elektromagnetisch betätigten Ventilen ist analog zu einem Schütz eine Schutzbeschaltung der Magnetspule erforderlich. Die sicherheitstechnische Betrachtung der Aktorik (leistungssteuerndes Element) im Sinne der ISO 13849 bezieht sich auf die Ventile als leistungssteuernde Elemente. Das Versagen von Antrieben bzw. Arbeitselementen muss entsprechend der möglichen Auswirkungen ebenfalls betrachtet werden.



Abbildung 108: Ventil mit Stellungsüberwachung

Filterkonzept

Die überwiegende Mehrzahl von Ausfällen fluidtechnischer Steuerungen lassen sich auf Störungen im Zusammenhang mit der Verschmutzung des jeweiligen Fluids zurückführen. Die zwei wesentlichen Ursachen sind:

- bei der Montage anfallende Verunreinigungen = Montageschmutz (z. B. Späne, Formsand, Putzlappenfasern, Grundverschmutzung)
- im Betrieb anfallende Verunreinigungen = Betriebsschmutz (z. B. Umgebungsschmutz, Komponentenabrieb)

Diese Verunreinigungen müssen mithilfe von Filtern auf ein akzeptables Maß reduziert werden.

Hierfür muss ein Filterkonzept entwickelt werden, das das Filterprinzip und dessen Einbauort definiert. Das Filterkonzept muss so ausgelegt sein, dass es in der Lage ist, den zum gesamten System neu hinzukommenden Schmutz im Filter zurückzuhalten, um dadurch die geforderte Reinheit während der gesamten Gebrauchsdauer einzuhalten.

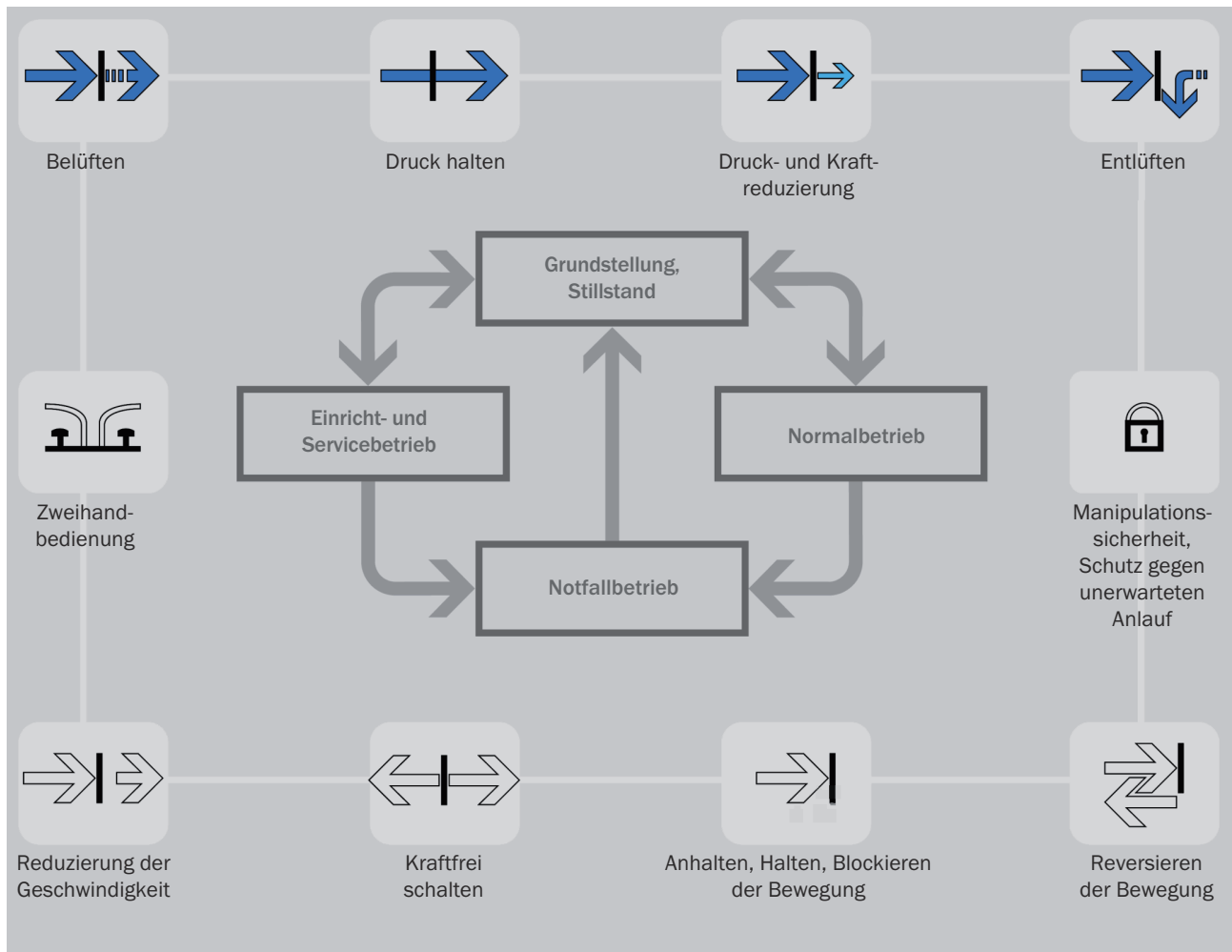


HINWEIS

- Bewährte Sicherheitsprinzipien: ISO 13849-2 (Typ-B-Norm)
- Sicherheitstechnische Anforderungen an hydraulische/pneumatische Anlagen: ISO 4413, ISO 4414
- Alterungsprozess von hydraulischen Ventilen: BIA-Report 6/2004 ISBN 3-88383-672-9

Sicherheitsgerichtete Pneumatik

Elektropneumatische Steuerungen realisieren Sicherheitsfunktionen, indem die von einer Logikeinheit bereitgestellten elektrischen Signale über eine Kombination von mehreren Ventilen als leistungssteuernde Elemente die Antriebs- bzw. Arbeitselemente beeinflussen. Typische sicherheitsrelevante Funktionen lassen sich als Sicherheits-Teilfunktionen den Betriebsarten einer Maschine zuordnen. Neben den elektropneumatischen Steuerungen existieren auch rein pneumatische Steuerungen. Der Vorteil dieser Lösungen besteht darin, dass aufgrund des deterministischen Verhaltens der Pneumatik auf relativ einfache Art und Weise Sicherheits-Teilfunktionen rein pneumatisch ausgeführt werden können.



- ➔ Direkte pneumatische Wirkung auf die Bewegung
- ⇒ Indirekte pneumatische Wirkung auf die Bewegung

Quelle: Festo SE & Co. KG – Leitfaden Sicherheitstechnik

Abbildung 109: Steuerkreis mit pneumatischen Sicherheits-Teilfunktionen

Produktübersicht Sicherheitstechnik

Tabelle 50: Produkte für die Funktionale Sicherheit von SICK

Sensoren		Logik	Leistungssteuernde Elemente	
Sicherheitslichtvorhänge		 Sicherheitsschaltgeräte	 Elektrische Antriebsregler mit Elementsicherheitsfunktionen ¹⁾	
Sichere Kamerasysteme				
Mehrstrahl-Sicherheitslichtschranken				 Sicherheitspneumatikventile ²⁾
Einstrahl-Sicherheitslichtschranken				
Sicherheitslaserscanner		 Sicherheitssteuerungen und Motion Control		
Sichere Mehrstrahlscanner				 Schütze ³⁾
Verriegelungseinrichtungen				
Mit separatem Betätiger				 Frequenzumrichter ⁴⁾
Mit Betätiger für Zuhaltungen				
Für Schaltnocke, Schaltlineal			 Bremsen ²⁾	
Magnetisch codiert		 Sichere Sensorkaskade		
RFID-codiert				 Pneumatische Ventile ¹⁾
induktiv				
Not-Halt-Taster Zustimmeschalter				
Motor-Feedback-Systeme, Encoder			 Hydraulische Ventile ¹⁾	
Lichtschranken, magnetische und induktive Sensoren				

Serviceleistungen von SICK

Mit freundlicher Genehmigung von: 1) Bosch Rexroth AG, 2) FESTO SE & Co. KG, 3) Eaton Industries GmbH, 4) SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG.



HINWEIS

→ Die Produkte und Servicelösungen von SICK finden Sie online im Produktfinder unter www.sick.com.

Zusammenfassung: Entwerfen der Sicherheitsfunktion

Grundsätzliches

- Entwickeln Sie ein Konzept für die erforderlichen Sicherheitsfunktionen. Berücksichtigen Sie beim Konzept die Merkmale von Maschine, Design, Umgebung, Schutzeinrichtung, und berücksichtigen Sie außerdem die menschlichen Eigenschaften.
- Entwerfen Sie entsprechend dem erforderlichen Sicherheitsniveau die Sicherheitsfunktionen. Sicherheitsfunktionen werden aus den Teilsystemen Sensor, Logik und leistungssteuerndes Element gebildet.
- Ermitteln Sie aus den sicherheitstechnischen Aspekten (Struktur, Zuverlässigkeit, Diagnose, Resistenz, Prozessbedingungen) für jedes Teilsystem das Sicherheitsniveau.

Eigenschaften und Anwendung von Schutzeinrichtungen

- Ermitteln Sie die notwendigen Eigenschaften für Ihre Schutzeinrichtung. Benötigen Sie z. B. eine oder mehrere berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS), trennende Schutzeinrichtungen, bewegliche trennende Schutzeinrichtungen oder ortsbindende Schutzeinrichtungen?
- Ermitteln Sie die korrekte Positionierung und Dimension für jede Schutzeinrichtung, insbesondere den Sicherheits- bzw. Mindestabstand und die notwendige Schutzfeldgröße bzw. -höhe der jeweiligen Schutzeinrichtung.
- Integrieren Sie die Schutzeinrichtungen, wie es in der Betriebsanleitung angegeben und für das Sicherheitsniveau erforderlich ist.

Logikeinheiten

- Wählen Sie die passende Logikeinheit in Abhängigkeit von der Anzahl der Sicherheitsfunktionen und der Logiktiefe aus.
- Nutzen Sie zertifizierte Funktionsbausteine und halten Sie Ihr Design überschaubar.
- Lassen Sie den Entwurf und die Dokumentation gründlich prüfen (Vier-Augen-Prinzip).

3d – Verifizieren der Sicherheitsfunktion

Bei der Verifizierung wird durch Analyse und/oder Prüfung dargelegt, dass die Sicherheitsfunktion in jeder Hinsicht die Ziele und Anforderungen der Spezifikation erfüllt.

Die Verifizierung besteht im Wesentlichen aus Folgendem:

- Verifizierung von trennenden Schutzeinrichtungen
- Verifizierung der funktionalen Sicherheit
- Verifizierung der Ausführung von nicht trennenden Schutzeinrichtungen

Verifizieren von trennenden Schutzeinrichtungen

Bei trennenden Schutzeinrichtungen ist die Ausführung zu prüfen, ob sie die Anforderungen hinsichtlich der Trennung oder Distanzierung zu den Gefahrstellen bzw. die Anforderungen hinsichtlich der Zurückhaltung von herausgeschleuderten Teilen oder Strahlungen erfüllen. Insbesondere sollte auf die Erfüllung der ergonomischen Anforderungen geachtet werden.

Hierbei soll sichergestellt werden, dass die Schutzeinrichtung den Schutz bietet, der den Anforderungen entspricht.

Trennende und/oder distanzierende Wirkung

- ausreichender Sicherheitsabstand und Dimensionierung (Übergreifen, Untergreifen etc.)
- geeignete Maschenweite oder Gitterabstände bei Zaunelementen
- ausreichende Festigkeit und geeignete Befestigung
- Auswahl der geeigneten Werkstoffe
- sichere Gestaltung
- Alterungsbeständigkeit
- Gestaltung der Schutzeinrichtung, sodass ein Klettern an der Schutzeinrichtung nicht möglich ist

Zurückhalten von herausgeschleuderten Teilen und/oder von Strahlung

- ausreichende Festigkeit, Stoß-, Bruchfestigkeit (Rückhaltevermögen)
- ausreichendes Rückhaltevermögen für die infrage kommende Strahlungsart, insbesondere bei thermischen Gefährdungen (Hitze, Kälte)
- geeignete Maschenweite oder Gitterabstände bei Zaunelementen
- ausreichende Festigkeit und geeignete Befestigung
- Auswahl der geeigneten Werkstoffe
- sichere Gestaltung
- Alterungsbeständigkeit

Ergonomische Anforderungen

- Durchsichtfähigkeit oder Transparenz (Beobachtung des Maschinenbetriebs)
- Gestaltung, Farbe, Ästhetik
- Handhabung (Gewicht, Betätigung etc.)

Verifizierung von nicht trennenden Schutzeinrichtungen

Je nach Art der nicht trennenden Schutzeinrichtung (Sicherheitslichtvorhänge, Schalmatten, ...), sind unterschiedliche systematische Eigenschaften zu verifizieren.

Die Prüfung der Wirksamkeit einer nicht trennenden Schutzeinrichtung kann anhand einer Checkliste durchgeführt werden.

Tabelle 51: Beispiel einer Checkliste für den Hersteller bzw. Ausrüster zur Installation von nicht trennenden Schutzeinrichtungen (z. B. einer BWS)

Checkliste			
1	Ist der Zugang bzw. Zugriff zu Gefahrbereichen oder Gefahrstellen ausreichend verhindert oder nur durch abgesicherte Bereiche (BWS, Schutztüren mit Verriegelungseinrichtung) möglich?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
2	Sind Maßnahmen getroffen worden, die bei Gefahrbereichs- oder Gefahrstellenabsicherung einen unerkannten Aufenthalt im Gefahrbereich verhindern (mechanischer Hintertretschutz) oder einen Aufenthalt erkennen (Schutzeinrichtungen), und sind diese gegen Entfernen gesichert oder verriegelt?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
3	Entsprechen die Schutzeinrichtungen dem geforderten Zuverlässigkeitsniveau (PL oder SIL) für die entsprechenden Sicherheitsfunktionen?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
4	Wurde der maximale Nachlauf (Anhaltezeit) der jeweiligen Gefahr bringenden Maschinenfunktionen nachgemessen und sind diese Zeiten angegeben und dokumentiert (entweder an der Maschine oder in der Betriebsanleitung)?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
5	Werden die erforderlichen Sicherheits- oder Mindestabstände von Schutzeinrichtungen zu den nächstliegenden Gefahrstellen eingehalten?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
6	Wird das Untergreifen, Übergreifen, Untersteigen, Übersteigen oder Umgreifen der Schutzeinrichtungen wirksam verhindert?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
7	Sind die Schutzeinrichtungen bzw. die Schalter ordnungsgemäß befestigt und nach erfolgter Justage gegen Verschieben gesichert?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
8	Sind die erforderlichen Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag wirksam (Schutzklasse)?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
9	Sind die Befehlsgeräte zum Rücksetzen von Schutzeinrichtung vorhanden und so angebracht, dass sie nicht von innerhalb der Gefahrbereiche betätigt werden können?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
10	Sind die für die Schutzeinrichtungen verwendeten Komponenten entsprechend den Herstellerangaben eingebunden?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
11	Sind bei jeder Einstellung des Betriebsartenwahlschalters die angegebenen Schutzfunktionen wirksam?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
12	Sind die Schutzeinrichtungen während der gesamten Zeit, in der die abzusichernden Gefahr bringenden Maschinenfunktionen stattfinden, wirksam?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
13	Werden bei Aus- bzw. Abschalten der Schutzeinrichtungen sowie beim Umschalten der Betriebsarten oder beim Umschalten auf eine andere Schutzeinrichtung die Gefahr bringenden Maschinenfunktionen angehalten?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
14	Sind die Hinweise für den Bediener, die der Schutzeinrichtung beiliegen, gut sichtbar angebracht?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>

Verifizieren der funktionalen Sicherheit

Maschinenspezifische Typ-C-Normen und manche Typ-B-Normen fordern ein Soll-Niveau für Sicherheitsfunktionen. Zur Ermittlung des erreichten Sicherheitsniveaus gibt es zwei unterschiedliche Methoden:

- Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL) gemäß ISO 13849-1
- Bestimmen des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL) gemäß IEC 62061

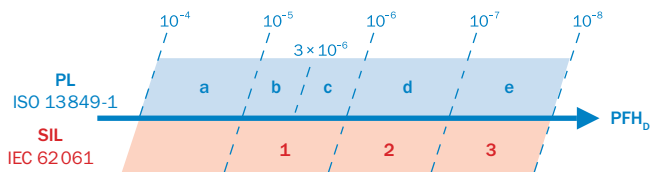


Abbildung 110: Darstellung der Beziehung von Performance Level und Sicherheits-Integritätslevel

Mit beiden Methoden lässt sich überprüfen, ob das erforderliche Sicherheitsniveau erreicht wird. Als quantitative Kenngröße wird hierfür der PFD_D-Wert ermittelt.

In den beiden Beispielen (siehe [Abbildung 113](#) und) sind die Daten von Sensor und Logik vorhanden, die des leistungssteuernden Elements nicht.



HINWEIS

- Performance Level (PL): Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen, eine Sicherheitsfunktion unter vorhersehbaren Bedingungen auszuführen, um die erwartete Risikominderung zu erfüllen
- PFH_D: Wahrscheinlichkeit eines Gefahr bringenden Ausfalls pro Stunde
- SIL: Diskrete Stufe zur Feststellung der Integrität der Sicherheitsfunktion.

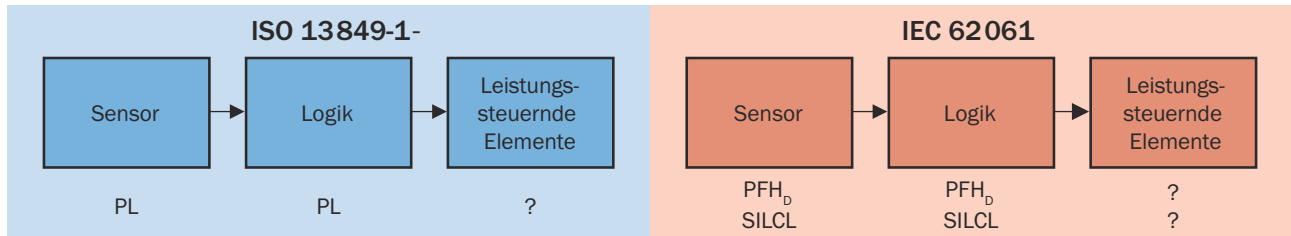


Abbildung 111: Teilsysteme einer Sicherheitsfunktion und Parameter zur Bestimmung des Sicherheitsniveaus nach ISO 13849-1 und IEC 62061

Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL)

Teilsysteme

Eine Sicherheitsfunktion, die mithilfe steuerungstechnischer Maßnahmen realisiert wird, besteht in der Regel aus Sensor, Logik und leistungssteuernden Elementen. Eine solche Kette kann diskrete Elemente wie Schutztürverriegelungen oder Ventile enthalten, aber auch komplexe Sicherheitssteuerungen. Daher werden die Sicherheitsfunktionen oft in Teilsysteme unterteilt, um die Komplexität zu reduzieren.

In der Praxis werden für Sicherheitsfunktionen vielfach vorzertifizierte Teilsysteme verwendet. Für diese Teilsysteme werden PL bzw. PFH_D-Werte vom Hersteller bereit gestellt, z. B. bei einem Sicherheitslichtvorhang oder einer Sicherheitssteuerung.

Diese Werte gelten nur innerhalb einer vom Hersteller anzugebenden Gebrauchsdauer. Neben den quantifizierbaren Aspekten müssen auch die Maßnahmen gegen systematische Ausfälle verifiziert werden.

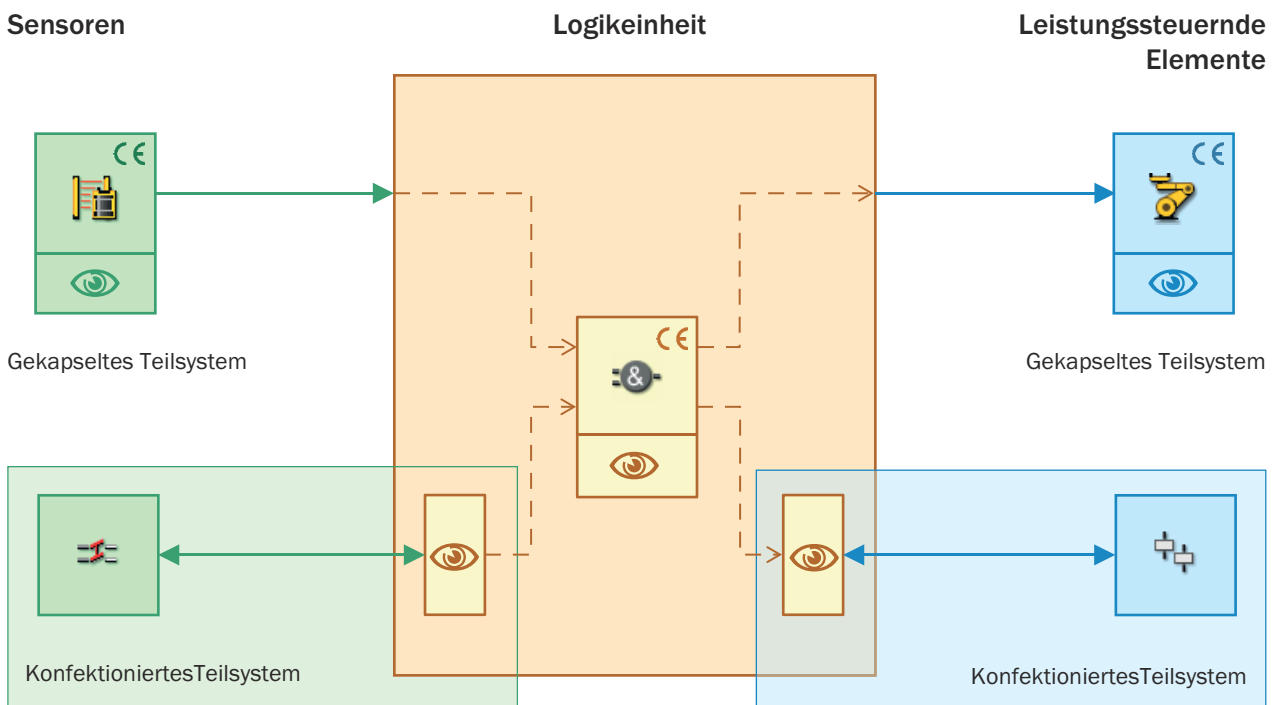



Abbildung 112: Gekapselte und konfektionierte Teilsysteme einer Sicherheitsfunktion

BWS	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung
PDS(SR)	Regelbares elektrisches Antriebssystem (PDS) für sicherheitsgerichtete Anwendungen
	Diagnose

Die ISO 13849-1 sieht zwei Verfahren zum Bestimmen des Performance Levels vor:

- **Vereinfachtes Verfahren** (siehe „Vereinfachtes Verfahren gemäß ISO 13849-1“, Seite 136): Tabellarische Bestimmung des Performance Levels anhand der Performance Level jedes Teilsystems
- **Detailliertes Verfahren** (siehe „Detailliertes Verfahren gemäß ISO 13849-1“, Seite 137): Berechnung des Performance Levels anhand der PFH_D-Werte der Teilsysteme. (Dieses Verfahren ist in der Norm nur indirekt beschrieben.)

Mit dem detaillierten Verfahren können oft realistischere Performance Levels errechnet werden, als es mit dem vereinfachten Verfahren möglich ist. Für beide Verfahren sind zusätzlich zu den quantitativen Bewertungen auch strukturelle und systematische Aspekte zur Erreichung des Performance Levels zu berücksichtigen.

- HINWEIS**
- Weitere Angaben hinsichtlich der Validierung: ISO 13849-2
 - Eine Vielzahl von Informationen zur Verifizierung mit ISO 13849-1 finden Sie unter www.dguv.de/ifa/13849

Vereinfachtes Verfahren gemäß ISO 13849-1

Dieses Verfahren erlaubt auch ohne Kenntnis einzelner PFH_D-Werte für viele Anwendungen eine hinreichend genaue Abschätzung des Gesamt-PL. Wenn der PL aller Teilsysteme bekannt ist, kann mithilfe der nachfolgenden Tabelle der erreichte Gesamt-PL einer Sicherheitsfunktion bestimmt werden.

Dieses Verfahren basiert auf mittleren Werten innerhalb der PFH_D-Wertebereiche für die verschiedenen PL. Daher kann die Anwendung des detaillierten Verfahrens (siehe nächster Abschnitt) genauere Ergebnisse liefern.

Tabelle 52: Tabelle aus ISO 13849-1 zur Ermittlung des Gesamt-PL nach dem vereinfachten Verfahren

PL (low)	n (low)		PL
(niedrigster PL eines Teilsystems)	(Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL)		(Maximal erreichbarer PL)
a	> 3	→	-
	≤ 3	→	a
b	> 2	→	a
	≤ 2	→	b
c	> 2	→	b
	≤ 2	→	c
d	> 3	→	c
	≤ 3	→	d
e	> 3	→	d
	≤ 3	→	e

Vorgehensweise

- Ermitteln Sie den PL des Teilsystems bzw. der Teilsysteme mit dem niedrigsten PL in einer Sicherheitsfunktion: **PL (low)**
- Bestimmen Sie die Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL (low): **n (low)**

Beispiel 1:

- Alle Teilsysteme erreichen den PL „e“, der niedrigste PL (low) ist also „e“.
- Die Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL ist 3 (also ≤ 3). Daher ist der erreichte Gesamt-PL „e“.
- Das Hinzufügen eines weiteren Teilsystems mit dem PL „e“ würde nach diesem Verfahren den Gesamt-PL auf „d“ reduzieren.

Beispiel 2:

- Ein Teilsystem erreicht den PL „d“, zwei Teilsysteme den PL „c“. Der niedrigste PL (low) ist also „c“.
- Die Anzahl der Teilsysteme mit diesem PL ist 2 (also ≤ 2). Daher ist der erreichte Gesamt-PL „c“.

Dieses Verfahren basiert auf mittleren Werten innerhalb der PFH_D-Wertebereiche für die verschiedenen PL. Daher kann die Anwendung des detaillierten Verfahrens (siehe nächster Abschnitt) genauere Ergebnisse liefern.



HINWEIS

→ Wenn der PL nicht für alle Teilsysteme bekannt ist, kann deren Sicherheitsniveau ermittelt werden (siehe „Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems“, Seite 137).

Detailliertes Verfahren gemäß ISO 13849-1

Ein wesentliches, jedoch nicht ausschließliches Kriterium zur Bestimmung des PL ist die „Wahrscheinlichkeit eines Gefahr bringenden Ausfalls pro Stunde (PFH_D)“ der Sicherheitskomponenten. Der resultierende PFH_D-Wert setzt sich aus der Summe der Einzel-PFH_D-Werte zusammen.

Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems

Wenn der PFH_D-Wert nicht für alle Teilsysteme bekannt ist, dann kann deren Sicherheitsniveau ermittelt werden. Teilsysteme können aus mehreren Komponenten, auch unterschiedlicher Hersteller, bestehen. Beispiele für Komponenten in Teilsystemen:

- eingangsseitig: zwei Sicherheitsschalter an einer trennenden Schutzeinrichtung
- ausgangsseitig: ein Schütz und ein Frequenzumrichter zum Stoppen einer Gefahr bringenden Bewegung

Für diese Teilsysteme mit mehreren Komponenten muss der PL gesondert ermittelt werden.

Der erreichte Performance Level für ein Teilsystem setzt sich aus den nachfolgenden Parametern zusammen:

- Struktur sowie Verhalten der Sicherheitsfunktion unter Fehlerbedingungen („[Struktur und Kategorie der sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen](#)“, Seite 138)
- MTTF_D-Werte einzelner Bauteile („[Mittlere Zeit bis zu einem Gefahr bringenden Ausfall \(MTTF_D\)](#)“, Seite 139)
- Diagnosedeckungsgrad („[Diagnosedeckungsgrad \(DC\)](#)“, Seite 140)
- Fehler aufgrund gemeinsamer Ursache („[Ausfall infolge gemeinsamer Ursache \(CCF\)](#)“, Seite 141)
- sicherheitsrelevante Softwareaspekte
- systematische Ausfälle

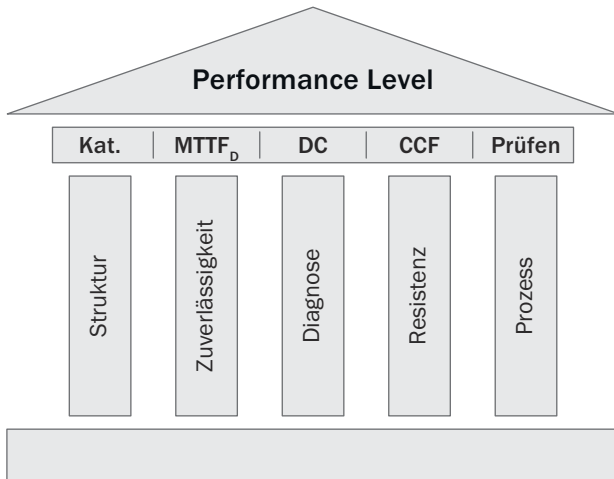


Abbildung 113: Aspekte zur Bestimmung des Performance Level eines Teilsystems

Struktur und Kategorie der sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen

Teilsysteme sind in der Regel einkanalig oder zweikanalig aufgebaut. Einkanalige Systeme reagieren ohne weitere Maßnahmen auf Fehler mit einem Gefahr bringenden Ausfall. Durch zusätzliche testende Komponenten oder zweikanalige Systeme, die sich gegenseitig prüfen, lassen sich Fehler erkennen. Die Klassifizierung der Struktur erfolgt in der ISO 13849-1 durch Kategorien:

Tabelle 53: Beschreibung der Kategorien nach ISO 13849-1

Kategorie	Kurzfassung der Anforderungen	Systemverhalten	Prinzipien zum Erreichen der Sicherheit
B	Die sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen und/oder ihre Schutzeinrichtungen sowie ihre Bauteile müssen in Übereinstimmung mit den zutreffenden Normen so gestaltet, gebaut, ausgewählt, zusammengestellt und kombiniert werden, dass sie den zu erwartenden Einflüssen standhalten können.	<ul style="list-style-type: none"> • Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. 	Überwiegend durch Auswahl von Bauteilen charakterisiert
1	Die Anforderungen von Kategorie B müssen erfüllt sein. Bewährte Bauteile und bewährte Sicherheitsprinzipien müssen angewendet werden.	<ul style="list-style-type: none"> • Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen, aber die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ist geringer als bei Kategorie B. 	

Kategorie	Kurzfassung der Anforderungen	Systemverhalten	Prinzipien zum Erreichen der Sicherheit
2	Die Anforderungen von Kategorie B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Die Sicherheitsfunktion muss in geeigneten Zeitabständen durch die Maschinensteuerung geprüft werden (Testrate 100-mal höher als Anforderungsrate).	<ul style="list-style-type: none"> Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion zwischen den Prüfungen führen. Der Verlust der Sicherheitsfunktion wird durch die Prüfung erkannt. 	Überwiegend durch die Struktur charakterisiert
3	Die Anforderungen von Kategorie B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, dass: <ul style="list-style-type: none"> ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt, und wann immer in angemessener Weise machbar, der einzelne Fehler erkannt wird. 	<ul style="list-style-type: none"> Wenn der einzelne Fehler auftritt, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. Einige, aber nicht alle Fehler werden erkannt. Eine Anhäufung unerkannter Fehler kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. 	
4	Die Anforderungen von Kategorie B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, dass: <p>ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und</p> <p>der einzelne Fehler bei oder vor der nächsten Anforderung an die Sicherheitsfunktion erkannt wird oder</p> <p>wenn dies nicht möglich ist, eine Anhäufung von Fehlern nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Wenn Fehler auftreten, dann bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. Die Fehler werden rechtzeitig erkannt, um einen Verlust der Sicherheitsfunktion zu verhindern. 	

Mittlere Zeit bis zu einem Gefahr bringenden Ausfall (MTTF_D)

MTTF ist die Abkürzung für „mittlere Zeit bis zum Ausfall“ (englisch: Mean Time To Failure). Für die Betrachtung gemäß ISO 13849-1 sind nur die Gefahr bringenden Ausfälle zu betrachten (daher „D“ bei MTTF_D, englisch für „Dangerous“).

Dieser Wert stellt eine theoretische Kenngröße dar und drückt aus, wie wahrscheinlich ein Gefahr bringender Ausfall einer Komponente (nicht des gesamten Teilsystems) innerhalb der Lebensdauer der Komponente ist. Die eigentliche Lebensdauer des Teilsystems ist immer kürzer.

Der MTTF-Wert lässt sich aus den Ausfallraten ableiten. Dabei gilt:

- Der B_{10} -Werte gilt für elektromechanische oder pneumatische Komponenten. Ihre maximale Einsatzdauer hängt vom Verschleiß und der Schalthäufigkeit ab. B_{10} gibt daher die Anzahl der Schaltzyklen an, bis 10 % der Komponenten ausfallen.
- Bei dem B_{10D} -Wert geht es um den Gefahr bringenden Ausfall von Komponenten (das "D" bei B_{10D} , steht für englisch "Dangerous"). Der Wert gibt die Anzahl der Schaltzyklen an, bis 10 % der Komponenten Gefahr bringend ausfallen. Ist der B_{10D} - Wert nicht angegeben, kann man pauschal annehmen: $B_{10D} = 2 \times B_{10}$
- Die Ausfallrate λ gilt für elektronische Komponenten. Oft wird die Ausfallrate in FIT (Failures In Time) angegeben. FIT=1 bedeutet, ein Ausfall je 10^9 Stunden.

Die ISO 13849-1 fasst die $MTTF_D$ -Werte in Bereiche zusammen:

Tabelle 54: Bereiche des $MTTF_D$ -Werts nach ISO 13849-1

Bezeichnung	Bereich
Niedrig	$3 \text{ Jahre} \leq MTTF_D < 10 \text{ Jahre}$
Mittel	$10 \text{ Jahre} \leq MTTF_D < 30 \text{ Jahre}$
Hoch	$30 \text{ Jahre} \leq MTTF_D < 100 \text{ Jahre}$

Aus den Komponentenangaben lässt sich für das Gesamtsystem die mittlere Zeit bis zu dem Gefahr bringenden Ausfall in Jahren ($MTTF_D$) errechnen.

Um den Einfluss der Zuverlässigkeit nicht überzubewerten, wurde der nutzbare Höchstwert des $MTTF_D$ auf 100 Jahre begrenzt.

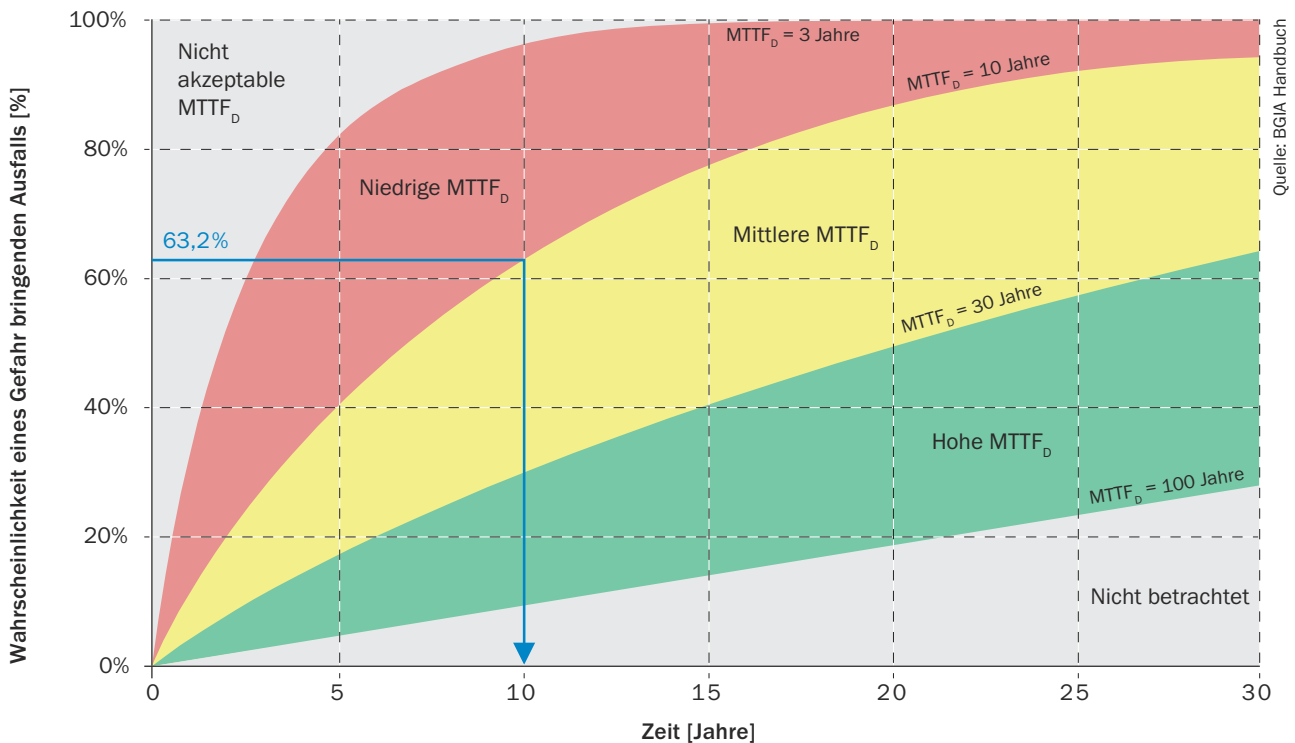


Abbildung 114: Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls in Abhängigkeit von der Gebrauchsdauer

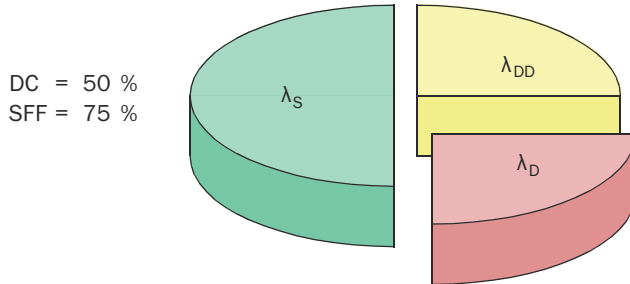
Diagnosedeckungsgrad (DC)

Das Sicherheitsniveau lässt sich erhöhen, wenn im Teilsystem eine Fehlererkennung implementiert wird. Der Diagnosedeckungsgrad (DC – Diagnostic Coverage) ist ein Maß für die Fähigkeit, gefährliche Fehler aufzudecken. Schlechte Diagnose deckt nur wenige, gute Diagnose deckt viele oder sogar alle Fehler auf.

Anstelle der genauen Analyse (FMEA) enthält die Norm ISO 13849-1 verschiedene quantifizierte Maßnahmen. Der DC ist in verschiedene Bereiche eingeteilt:

Tabelle 55: CCF-Maßnahmen mit den maximal erreichbaren Werten nach ISO 13849-1

Bezeichnung	Bereich
Kein	$DC < 60\%$
Niedrig	$60\% \leq DC < 90\%$
Mittel	$90\% \leq DC < 99\%$
Hoch	$99\% \leq DC$



Ausfall infolge gemeinsamer Ursache (CCF)

Durch externe Einflüsse (z. B. Spannungspegel, Übertemperatur) können mehrere gleiche Komponenten gleichzeitig unbrauchbar werden und zwar unabhängig davon wie selten sie sonst ausfallen oder wie gut sie getestet wurden. Zum besseren Verständnis: Wenn das Licht ausfällt, können Sie weder einäugig noch mit beiden Augen die Zeitung lesen, weil es dunkel ist. Solche Ausfälle mit gemeinsamer Ursache müssen verhindert werden (CCF - Common Cause Failure).

Anhang F von ISO 13849-1 bietet eine vereinfachte Methode, um Maßnahmen die gegen CCF getroffen werden zu bewerten. Für jede Maßnahme ist die maximale Anzahl der Punkte definiert. Für angewendete Maßnahmen werden die entsprechenden Punkte vergeben. Werden insgesamt mindestens 65 Punkte erreicht, dann können die CCF-Maßnahmen als ausreichend angesehen werden.

Anforderung		Punkte	Mindestanforderung
Trennung	Trennung der Signalkreise, getrennte Verlegung, Isolierung, Luftstrecken etc.	15	Gesamtpunktzahl ≥ 65
Diversität	Verschiedene Technologien, Komponenten, Wirkungsweisen, Designs	20	
Entwurf, Anwendung, Erfahrung	Schutz gegen Überlast, Überspannung, Überdruck etc. (je nach Technologie)	15	
	Verwendung von über Jahre bewährten Komponenten und Verfahren	5	
Analyse, Beurteilung	Verwendung einer Fehleranalyse zur Vermeidung von Ausfällen infolge gemeinsamer Ursache	5	
Kompetenz, Ausbildung	Schulung der Designer, um Ursachen und Folgen von CCF zu verstehen und zu vermeiden	5	
Umwelteinfluss	Für elektrische/elektronische Systeme, Verhindern von Verunreinigungen und elektromagnetischen Störungen (EMV) zum Schutz vor Ausfällen infolge gemeinsamer Ursache entsprechend den einschlägigen Normen (z. B. IEC 61326-3-1) Fluidische Systeme: Filtrierung des Druckmediums, Verhinderung von Schmutzeintrag, Entwässerung von Druckluft, z. B. in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Herstellers für die Reinheit des Druckmediums. 📘 HINWEIS Bei kombinierten fluidischen und elektrischen Systemen sollten beide Aspekte berücksichtigt werden.	25	
	Berücksichtigung der Anforderungen hinsichtlich Unempfindlichkeit gegenüber allen relevanten Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Schock, Vibration, Feuchte (z. B. wie in den zutreffenden Normen festgelegt)	10	

Prozess

Um sicherzustellen, dass die vorangegangenen Aspekte richtig in der Hardware und Software umgesetzt und ausführlich getestet werden (Vier-Augen-Prinzip) und eine umfassende Dokumentation Auskunft über Versions- und Änderungsstände gibt, sind verschiedene Hilfestellungen in der Norm zu berücksichtigen. Dazu gehören die Maßnahmen zur Fehlervermeidung und Fehlerbeherrschung:

- Organisation und Kompetenz (Verantwortlichkeiten, Qualifikation der Mitarbeiter, Abläufe, Systematik der Qualitätsmanagement-Prozesse)
- Designregeln (z.B. Spezifikationsvorlagen, Kodierungsrichtlinien)
- Prüfkonzepte und Prüfkriterien
- Dokumentation und Konfigurationsmanagement

Der Prozess der richtigen Umsetzung sicherheitsrelevanter Themen ist Führungs- und Managementaufgabe und umfasst ein geeignetes Qualitätsmanagement.

Ermitteln des PL eines Teilsystems

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen dem $MTTF_D$ -Wert (je Kanal), dem DC sowie der Kategorie der sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen.

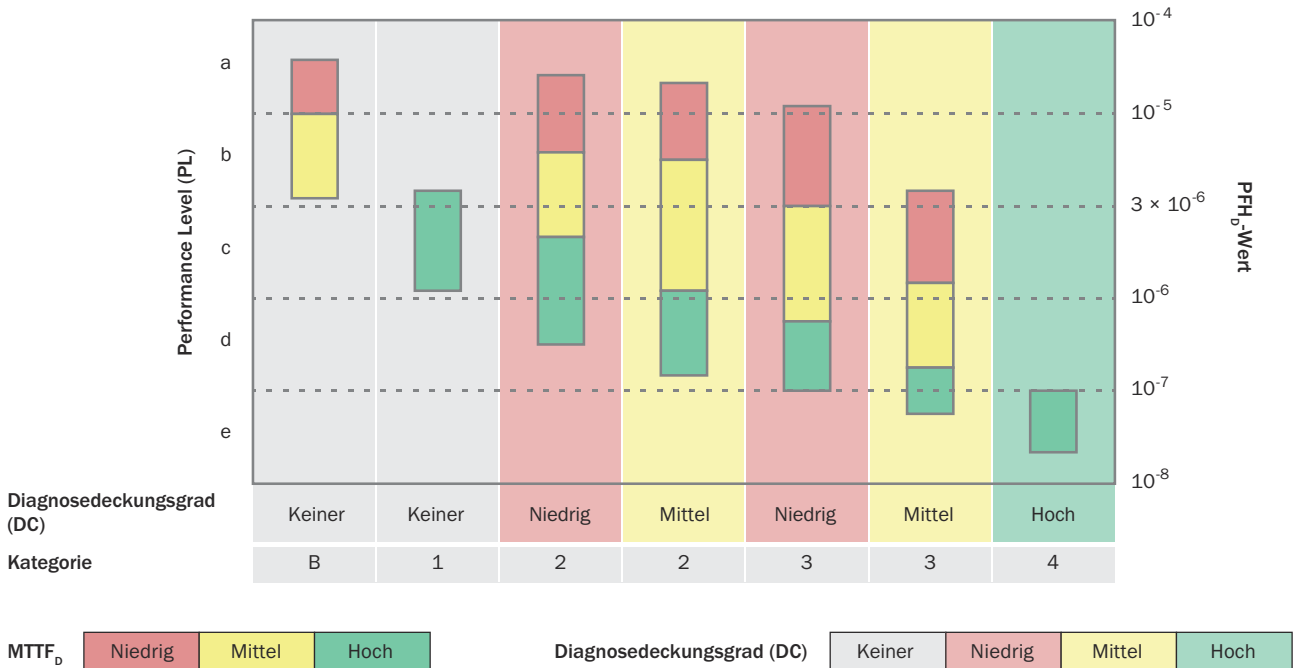


Abbildung 115: Beziehung zwischen den Kategorien DC, MTTFD jedes Kanals und PL nach ISO 13849-1

Ein Performance Level „d“ kann z. B. mit einer zweikanaligen Steuerung (Kategorie 3) realisiert werden. Dies kann entweder mit einer guten Bauteilqualität (MTTF_D= mittel) erreicht werden, wenn fast alle Fehler erkannt werden (DC = mittel), oder es wird mit sehr guter Bauteilqualität (MTTF_D = hoch) erreicht, wenn viele Fehler erkannt werden (DC = niedrig).

Hinter dieser Vorgehensweise verbirgt sich ein komplexes mathematisches Modell. Um den pragmatischen Ansatz zu gewährleisten, sind die Parameter Kategorie, MTTFD und DC vordefiniert.

Beispiel: Ermittlung des PL des Teilsystems „Leistungssteuernde Elemente“

1) Definition des Teilsystems „Leistungssteuerndes Element“
 Das Teilsystem „Leistungssteuerndes Element“ besteht aus zwei Schützen mit "Rückführung". Durch die gegebene Zwangsführung der Schützkontakte ist es möglich, ein sicherheitsrelevantes Versagen der Schütze zu erkennen (EDM).
 Die Logikeinheit UE410 selbst gehört nicht zum Teilsystem „Leistungssteuerndes Element“, wird aber für Diagnosezwecke verwendet.

2) Festlegung der Kategorie
 Aufgrund der Ein-Fehler-Sicherheit (mit Fehlererkennung) ergibt sich die **Eignung für Kategorie 3 oder 4**.
Hinweis: Die endgültige Bestimmung der Kategorie erfolgt nach Festlegung des DC-Wertes.

```

                graph LR
                I1 -- "Eingangssignal" --> L1
                L1 -- "Ausgangssignal" --> O1
                O1 -- "Überwachung" --> L1
                I2 -- "Eingangssignal" --> L2
                L2 -- "Ausgangssignal" --> O2
                O2 -- "Überwachung" --> L2
                L1 <--> |"Kreuzvergleich"| L2
                
```

Beispiel: Ermittlung des PL des Teilsystems „Leistungssteuernde Elemente“											
<p>3) Bestimmung der MTTF_D je Kanal</p> <p>Da es sich bei Schützen um verschleißbehaftete Komponenten handelt, muss mittels des B_{10D}-Wertes und der geschätzten Schalthäufigkeit (nop) die MTTF_D ermittelt werden. Es gilt die nebenstehende Formel:</p> <p>Die Anzahl der Schalthäufigkeit setzt sich zusammen aus Betriebsstunden/Tag [hop], Werktage/Jahr [dop] sowie der Schalthäufigkeit je Stunde [C]:</p> <p>Randbedingungen laut Hersteller:</p> <ul style="list-style-type: none"> • B_{10D} = 2600000 • C = 1/h (Annahme) • d_{op} = 220 d/a • h_{op} = 16 h/d <p>Unter diesen Randbedingungen ergibt sich dann eine MTTF_D von 7386 Jahren je Kanal, welche als "hoch" interpretiert wird.</p>	$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \times n_{op}}$ $MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \times d_{op} \times h_{op} \times C}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>MTTF_D</th> <th>Bereich</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Niedrig</td> <td>3 Jahre ≤ MTTF_D < 10 Jahre</td> </tr> <tr> <td>Mittel</td> <td>10 Jahre ≤ MTTF_D < 30 Jahre</td> </tr> <tr> <td>Hoch</td> <td>30 Jahre ≤ MTTF_D < 100 Jahre</td> </tr> </tbody> </table>	MTTF _D	Bereich	Niedrig	3 Jahre ≤ MTTF _D < 10 Jahre	Mittel	10 Jahre ≤ MTTF _D < 30 Jahre	Hoch	30 Jahre ≤ MTTF _D < 100 Jahre		
MTTF _D	Bereich										
Niedrig	3 Jahre ≤ MTTF _D < 10 Jahre										
Mittel	10 Jahre ≤ MTTF _D < 30 Jahre										
Hoch	30 Jahre ≤ MTTF _D < 100 Jahre										
<p>4) Bestimmung des DC</p> <p>Aufgrund der zwangsgeführten Kontakte kann gemäß der Maßnahmentabelle aus EN ISO 13849-1 ein hoher DC (99 %) abgeleitet werden.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DC</th> <th>Bereich</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kein</td> <td>DC < 60 %</td> </tr> <tr> <td>Niedrig</td> <td>60 % ≤ DC < 90 %</td> </tr> <tr> <td>Mittel</td> <td>90 % ≤ DC < 99 %</td> </tr> <tr> <td>Hoch</td> <td>99 % ≤ DC</td> </tr> </tbody> </table>	DC	Bereich	Kein	DC < 60 %	Niedrig	60 % ≤ DC < 90 %	Mittel	90 % ≤ DC < 99 %	Hoch	99 % ≤ DC
DC	Bereich										
Kein	DC < 60 %										
Niedrig	60 % ≤ DC < 90 %										
Mittel	90 % ≤ DC < 99 %										
Hoch	99 % ≤ DC										

Beispiel: Ermittlung des PL des Teilsystems „Leistungssteuernde Elemente“																					
<p>5) Bewertung der Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfällen gemeinsamer Ursache</p> <p>Bei mehrkanaligen Systemen sind Maßnahmen zur Vermeidung des Common-Cause-Effekts umgesetzt. Die Bewertung der Maßnahmen erreicht die Punktzahl von 75 . Die Mindestanforderung ist somit erfüllt.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Anforderung</th> <th>Punkte</th> <th>Mindestanforderung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Trennung</td> <td>15</td> <td rowspan="7" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Gesamtpunkte 75 ≥ 65</td> </tr> <tr> <td>Diversität</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Entwurf, Anwendung, Erfahrung</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Analyse, Beurteilung</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Kompetenz/Ausbildung</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Umwelteinfluss</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Summe</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Anforderung	Punkte	Mindestanforderung	Trennung	15	Gesamtpunkte 75 ≥ 65	Diversität	20	Entwurf, Anwendung, Erfahrung	20	Analyse, Beurteilung	5	Kompetenz/Ausbildung	5	Umwelteinfluss	35	Summe	75		
Anforderung	Punkte	Mindestanforderung																			
Trennung	15	Gesamtpunkte 75 ≥ 65																			
Diversität	20																				
Entwurf, Anwendung, Erfahrung	20																				
Analyse, Beurteilung	5																				
Kompetenz/Ausbildung	5																				
Umwelteinfluss	35																				
Summe	75																				
<p>6) Bewertung der Prozessmaßnahmen</p> <p>Ebenso müssen systematische Aspekte zur Fehlervermeidung und -beherrschung berücksichtigt werden. Beispielsweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation und Kompetenz • Designregeln (z. B. Spezifikationsvorlagen, Codierungsrichtlinien) • Prüfkonzept und Prüfkriterien • Dokumentation und Konfigurationsmanagement 	Erfüllt																				
<p>7) Ergebnis</p> <p>Aus der Abbildung zur Bestimmung des PL für das Teilsystem (siehe „Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL)“, Seite 135) kann der PL für das Teilsystem bestimmt werden. In diesem Fall wird der PL „e“ erreicht .</p> <p>Der sich ergebende PFH_D-Wert von 2,47 × 10⁻⁸ für dieses Teilsystem kann aus einer detaillierten Tabelle der ISO 13849-1 entnommen werden. Durch den hohen DC ergibt sich, dass die zweikanalige Struktur die Anforderungen der Kategorie 4 erfüllt.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DC Kategorie</th> <th>Keiner (B)</th> <th>Keiner (1)</th> <th>Niedrig (2)</th> <th>Mittel (2)</th> <th>Niedrig (3)</th> <th>Mittel (3)</th> <th>Hoch (4)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Performance Level (PL)</td> <td>10⁻⁴</td> <td>10⁻⁵</td> <td>10⁻⁶</td> <td>10⁻⁷</td> <td>10⁻⁸</td> <td>10⁻⁸</td> <td>10⁻⁸</td> </tr> </tbody> </table>			DC Kategorie	Keiner (B)	Keiner (1)	Niedrig (2)	Mittel (2)	Niedrig (3)	Mittel (3)	Hoch (4)	Performance Level (PL)	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸		
DC Kategorie	Keiner (B)	Keiner (1)	Niedrig (2)	Mittel (2)	Niedrig (3)	Mittel (3)	Hoch (4)														
Performance Level (PL)	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸														

**HINWEIS**

Mit den resultierenden Daten für das Teilsystem kann nun der erreichte Performance Level für die gesamte Sicherheitsfunktion ermittelt werden (siehe „Bestimmen des erreichten Performance Levels (PL)“, Seite 135).

Alternative: Bestimmung des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL)

Die Bestimmung des erreichten Sicherheits-Integritätslevels (SIL) gemäß IEC 62061 erfolgt auf Basis folgender Kriterien:

- der Sicherheitsintegrität der Hardware
 - strukturelle Einschränkungen (SIL-Anspruchsgrenze)
 - Wahrscheinlichkeit Gefahr bringender zufälliger Hardwareausfälle (PFH_D)
- der Anforderungen zur systematischen Sicherheitsintegrität
 - Vermeidung von Ausfällen
 - Beherrschung systematischer Fehler

Hierbei wird – ähnlich wie bei der ISO 13849-1 – zur Bestimmung des PL die Sicherheitsfunktion zunächst in Funktionsblöcke zerlegt und anschließend in Teilsysteme überführt.



Abbildung 116: Teilsysteme in der Sicherheitskette: Sicherheitslichtvorhang, Logikeinheit, Schütze

Sicherheitsintegrität der Hardware

Bei der Betrachtung der gesamten Sicherheitsfunktion wird die Sicherheitsintegrität der Hardware dadurch bestimmt, dass ...

- der niedrigste SIL eines Teilsystems den maximal erreichbaren SIL des Gesamtsystems einschränkt.
- der PFH_D der gesamten Steuerung aus der Summe der einzelnen PFH_D die Werte in der Abbildung [siehe Abbildung 112](#) „Verifizieren der funktionalen Sicherheit“ nicht überschreitet.

Beispiel

In obiger Abbildung erfüllen alle Teilsysteme den SIL3. Die Addition der PFH_D -Werte ist kleiner als 1×10^{-7} . Die relevanten Maßnahmen zur systematischen Sicherheitsintegrität sind umgesetzt. Daher erfüllt die Sicherheitsfunktion SIL3.

Systematische Sicherheitsintegrität

Wenn verschiedene Teilsysteme miteinander zu einer Steuerung verbunden werden, dann müssen zusätzlich Maßnahmen zur systematischen Sicherheitsintegrität getroffen werden, um systematische Fehler zu vermeiden.

Zu den Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Hardwarefehler zählen u. A. die folgenden Maßnahmen:

- Entwurf in Übereinstimmung mit dem Plan der funktionalen Sicherheit
- richtige Auswahl, Kombination, Anordnungen, Zusammenbau und Installation von Teilsystemen, einschließlich Verkabelung, Verdrahtung und anderer Verbindungen
- Verwendung innerhalb der Spezifikation des Herstellers

- Beachtung der Anwendungshinweise des Herstellers, z. B. Katalogangaben, Installationsanweisungen und Anwendung bewährter Konstruktionspraxis
- Berücksichtigung der Anforderungen hinsichtlich der elektrischen Ausrüstung gemäß IEC 60204-1

Darüber hinaus muss die Beherrschung systematischer Fehler durch die folgenden Maßnahmen berücksichtigt werden:

- Nutzung von Energieabschaltung zur Einleitung eines sicheren Zustands
- Maßnahmen zur Beherrschung der Auswirkungen von Fehlern und anderer Effekte, die von einem beteiligten Datenkommunikationsprozess herrühren, einschließlich Übertragungsfehlern, Wiederholungen, Verlust, Einfügung, falscher Abfolge, Verfälschung, Verzögerung etc.

Ermitteln des Sicherheitsniveaus eines Teilsystems gemäß IEC 62061

Auch mit der IEC 62061 ist die Ermittlung des Sicherheitsniveaus von Teilsystemen, die aus der Verschaltung einzelner Komponenten bestehen, möglich.

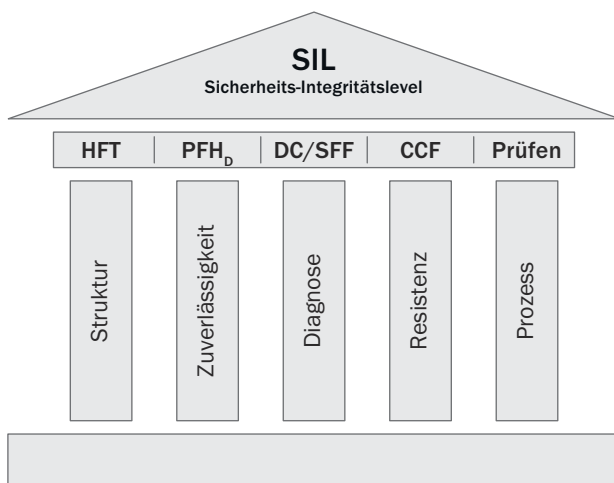


Abbildung 117: Aspekte zur Bestimmung des Sicherheits-Integritätslevel eines Teilsystems

Der erreichte Sicherheits-Integritätslevel (SIL) für ein Teilsystem setzt sich aus den nachfolgenden Parametern zusammen:

- Hardwarefehlertoleranz (HFT)
- PFH_D-Wert
- Anteil sicherer Ausfälle (SFF)
- Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache (CCF)
- sicherheitsrelevante Softwareaspekte
- systematische Ausfälle

Hardwarefehlertoleranz (HFT)

In der IEC 62061 wird die Struktur über Teilsystemtypen und die Hardwarefehlertoleranz (HFT) bestimmt.

HFT 0 bedeutet, dass mit einem einzelnen Fehler in der Hardware die Schutzwirkung aufgehoben sein kann (einkanlige Systeme). HFT 1 bedeutet, dass trotz eines einzelnen Fehlers in der Hardware die Schutzwirkung erhalten bleibt (zweikanalige Systeme).

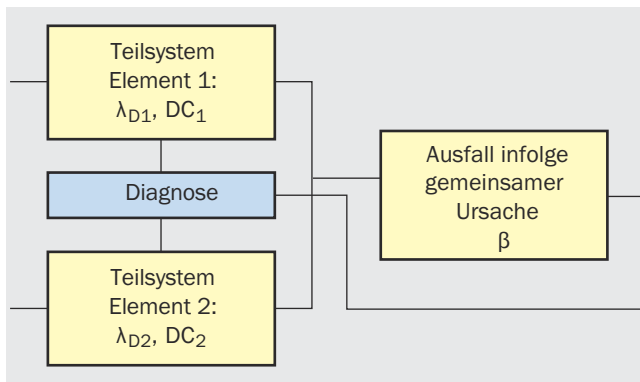


Abbildung 118: Logische Darstellung eines Teilsystems

Wahrscheinlichkeit Gefahr bringender zufälliger Hardwareausfälle (PFH_D)

Neben den strukturellen Einschränkungen muss für jedes Teilsystem auch die „Wahrscheinlichkeit Gefahr bringender zufälliger Hardwareausfälle“ berücksichtigt werden. Für jedes Teilsystem existiert eine Formel zur Beschreibung des mathematischen Modells, um den PFH_D-Wert zu berechnen. In die Berechnung gehen folgende Parameter ein:

- Diagnosedeckungsgrad
- Gebrauchsdauer
- Diagnosetestintervall
- Ausfallraten der Komponenten (λ_D)
- Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache (Common-Cause-Faktor β)

HFT = 1

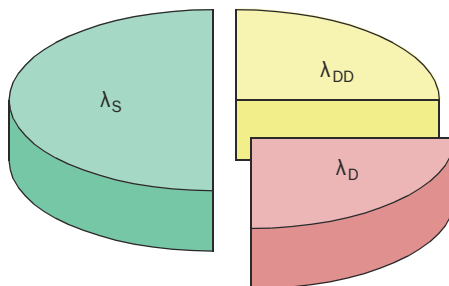
Diagnose mit DC_1 and DC_2

$$PFH_D = (1 - \beta)^2 \times \left\{ \frac{\lambda_{D1} \times \lambda_{D2} \times (DC_1 + DC_2) \times T_D}{2} + \frac{\lambda_{D1} \times \lambda_{D2} \times (2 - DC_1 - DC_2) \times T_P}{2} + \beta \times \frac{\lambda_{D1} + \lambda_{D2}}{2} \right\}$$

$$PFH_D \approx \beta \times \frac{\lambda_{D1} + \lambda_{D2}}{2}$$

Anteil sicherer Ausfälle (DC/SFF)

DC = 50 %
SFF = 75 %



- λ_S Rate sicherer Ausfälle
- λ_{DD} Rate entdeckter gefahrbringender Ausfälle
- λ_D Rate unentdeckter gefahrbringender Ausfälle

Ergänzend zum Diagnosedeckungsgrad DC („Diagnosedeckungsgrad (DC)“, Seite 140) gibt der "Anteil sicherer Ausfälle" SFF (safe failure fraction) den Anteil der Gesamtausfallrate an, der nicht zu einem gefahrbringenden Ausfall führt.

$$SFF = \frac{\sum \lambda_S + \sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_S + \sum \lambda_D}$$

Ausfall aufgrund gemeinsamer Ursache (CCF) Resistenz

Auch die IEC 62061 verlangt eine Reihe von Betrachtungen bezüglich der Resistenz gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache. Abhängig von der Anzahl der positiven Umsetzungen ergibt sich ein Common-Cause-Faktor (β).

Tabelle 56: Kriterien mit Punkten zur Bestimmung des CCF nach IEC 62061

Anforderung		Punkte
Trennung	Trennung der Signalkreise, getrennte Verlegung, Isolierung, Luftstrecken etc.	15
Diversität	Verschiedene Technologien, Komponenten, Wirkungsweisen, Designs	20
Entwurf, Anwendung, Erfahrung	Schutz gegen Überlast, Überspannung, Überdruck etc. (je nach Technologie)	15
	Verwendung von über Jahre bewährten Komponenten und Verfahren	5
Analyse, Beurteilung	Verwendung einer Fehleranalyse zur Vermeidung von Fehlern gemeinsamer Ursache	5
Kompetenz, Ausbildung	Schulung der Designer, um Ursachen und Folgen von CCFs zu verstehen und zu vermeiden	5
Umwelteinfluss	Test des Systems auf Beeinflussung durch EMV	25
	Test des Systems auf Beeinflussung durch Temperatur, Schock, Vibration etc	10

Tabelle 57: Abschätzung des CCF-Faktors (Beta) nach IEC 62061

Punkte	CCF-Faktor (β)
≤ 35	10 %
36 bis 65	5 %
66 bis 85	2 %
86 bis 100	1 %

Prozess

Aufgrund der starken Ausrichtung der IEC 62061 auf programmierbare elektrische Systeme finden sich darin – zusätzlich zu den vorangegangenen beschriebenen Aspekten (V-Modell, Qualitätsmanagement etc.) – noch zahlreiche detailliertere Hinweise und Anforderungen zum richtigen Vorgehen bei der Softwareentwicklung sicherheitsbezogener Systeme.

Ergebnis - Bestimmen des SIL für das Teilsystem

Für jedes Teilsystem wird zunächst separat die Sicherheitsintegrität der Hardware bestimmt:

Wenn es sich bei den Teilsystemen um bereits entwickelte Teilsysteme handelt – wie es z. B. bei Sicherheitslichtvorhängen der Fall ist – liefert der Hersteller des Teilsystems die entsprechenden Kenndaten im Rahmen seiner technischen Spezifikation mit. Ein solches Teilsystem ist in der Regel durch die Angabe von SIL, PFH_D und Gebrauchsdauer ausreichend beschrieben.

Für Teilsysteme, die aus Teilsystemelementen bestehen, wie z. B. Verriegelungseinrichtungen bei Schutztüren oder Schützen, muss die Sicherheitsintegrität dagegen ermittelt werden.

SIL-Anspruchsgrenze

Nachdem die Hardwarefehlertoleranz (Architektur) festgelegt wurde, lässt sich der maximal erreichbare SIL (SIL-Anspruchsgrenze) für das Teilsystem ermitteln.

Anteil sicherer Ausfälle (SFF)	Hardwarefehlertoleranz	
	0	1
< 60 %	-	SIL1
60 bis < 90 %	SIL1	SIL2
90 bis < 99 %	SIL2	SIL3
≥ 99 %	SIL3	SIL3

Ein zweikanaliges System mit HFT 1 und einer SFF von 90 % kann SIL3 erreichen.

Beispiel: Ermittlung von SIL und PFH_D des Teilsystems „Leistungssteuernde Elemente“

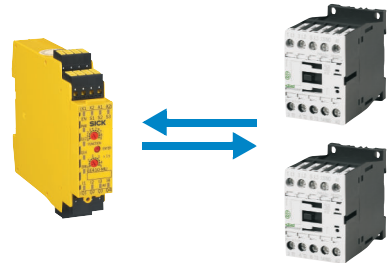
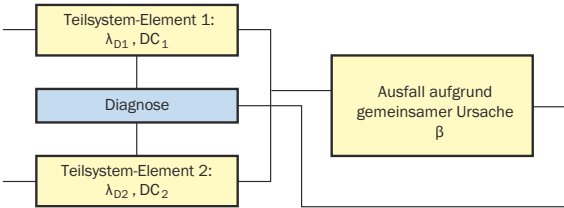
1) Definition des Teilsystems „Leistungssteuernde Elemente“
 Das Teilsystem „Leistungssteuernde Elemente“ besteht aus zwei Schützen mit „Rückführung“. Durch die gegebene Zwangsführung der Schütze ist es möglich, ein sicherheitsrelevantes Versagen der Schütze zu erkennen (EDM).
 Die Logikeinheit UE410 selbst gehört nicht zum Teilsystem „Leistungssteuernde Elemente“, wird aber für Diagnosezwecke verwendet.

2) Festlegung der Hardwarefehlertoleranz (HFT)
 Aufgrund der Ein-Fehler-Sicherheit mit Fehlererkennung ergibt sich eine HFT = 1.

3) Bestimmung der PFH_D
a) Anhand der Fehlerrate λ_D
 Da es sich bei Schützen um verschleißbehaftete Komponenten handelt, muss mittels des B_{10D}-Wertes und der geschätzten Schalzhäufigkeit die Schalzhäufigkeit je Stunde [C] ermittelt werden. Die IEC 62061 macht keine Aussage zum Verhalten mechanischer Bauteile. Deshalb wird die Fehlerrate λ_D in Anlehnung an ISO 13849-1 ermittelt. Es wird angenommen, dass die Fehlerrate während der Einsatzdauer konstant bleibt.
 Randbedingungen laut Hersteller:

- B_{10D} = 2600000
- C = 1/h (Annahme)

 Unter diesen Randbedingungen ergibt sich dann ein λ_D von 3,8 × 10⁻⁸ 1/h.
b) Anhand des CCF-Faktors (β)
 Bei mehrkanaligen Systemen sind Maßnahmen zur Vermeidung des Common-Cause-Effekts notwendig. Der Einfluss wird anhand von Maßnahmen gemäß den Vorgaben aus IEC 62061 ermittelt. Im Beispiel ist der Faktor 5 % (siehe: „5) Bewertung der Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern gemeinsamer Ursache“ in dieser Tabelle) PFH_D ≈ 1,9 × 10⁻⁹.

$$\lambda_D = \frac{1}{MTTF_D} = \frac{0,1 \times C}{B_{10D}}$$

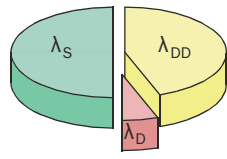
Wert	CCF-Faktor (β)
≤ 35	10 %
36 bis 65	5 %
66 bis 85	2 %
86 bis 100	1 %

$$PFH_D \approx \beta \times (\lambda_{D1} + \lambda_{D2}) \times \frac{1}{2}$$

$$\approx \beta \times \lambda_D$$

$$\approx 0,05 \times 0,1 \times \frac{C}{B_{10D}}$$

PFH_D ≈ 1,9 × 10⁻⁹

Beispiel: Ermittlung von SIL und PFH _D des Teilsystems „Leistungssteuernde Elemente“																			
<p>4) Bestimmung des SFF über DC Aufgrund der zwangsgeführten Kontakte wird ein „hoher“ DC (99 %) abgeleitet. D. h. von 70 % Gefahr bringenden Fehlern λ_D für Schütze werden 99 % erkannt. Demzufolge ist der SFF = 30 % + 69.3 % = 99.3 %.</p>	<p>DC = 99 % SFF = 99.3 %</p>																		
<p>5) Bewertung der Maßnahmen zur Vermeidung von Ausfall infolge gemeinsamer Ursache Bei mehrkanaligen Systemen sind Maßnahmen zur Vermeidung des Common-Cause-Effekts notwendig. Die Bewertung der Maßnahmen gemäß IEC 62061 ergibt in diesem Beispiel einen CCF-Faktor (β) von 5 %.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Wert</th> <th>CCF-Faktor (β)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 35</td> <td>10 %</td> </tr> <tr> <td>36 bis 65</td> <td>5 %</td> </tr> <tr> <td>66 bis 85</td> <td>2 %</td> </tr> <tr> <td>86 bis 100</td> <td>1 %</td> </tr> </tbody> </table>		Wert	CCF-Faktor (β)	≤ 35	10 %	36 bis 65	5 %	66 bis 85	2 %	86 bis 100	1 %							
Wert	CCF-Faktor (β)																		
≤ 35	10 %																		
36 bis 65	5 %																		
66 bis 85	2 %																		
86 bis 100	1 %																		
<p>6) Bewertung der Prozessmaßnahmen Ebenso müssen systematische Aspekte zur Fehlervermeidung und -beherrschung berücksichtigt werden. Beispielsweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation und Kompetenz • Designregeln (z. B. Spezifikationsvorlagen, Codierungsrichtlinien) • Prüfkonzept und Prüfkriterien • Dokumentation und Konfigurationsmanagement 	<p style="text-align: center;">Erfüllt</p>																		
<p>Ergebnis Im letzten Schritt sind die strukturellen Einschränkungen zu berücksichtigen. Aufgrund der vorhandenen Redundanz (Hardwarefehlertoleranz 1) und des SFF > 99 % folgt daraus eine SIL-Anspruchsgrenze SIL3 für dieses Teilsystem.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Anteil sicherer Ausfälle (SFF)</th> <th colspan="2">Hardwarefehlertoleranz</th> </tr> <tr> <th>0</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 60 %</td> <td>-</td> <td>SIL1</td> </tr> <tr> <td>60 bis < 90 %</td> <td>SIL1</td> <td>SIL2</td> </tr> <tr> <td>90 bis < 99 %</td> <td>SIL2</td> <td>SIL3</td> </tr> <tr> <td>≥ 99 %</td> <td>SIL3</td> <td>SIL3</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">PFH_D ≈ 1,9 × 10⁻⁹</p>		Anteil sicherer Ausfälle (SFF)	Hardwarefehlertoleranz		0	1	< 60 %	-	SIL1	60 bis < 90 %	SIL1	SIL2	90 bis < 99 %	SIL2	SIL3	≥ 99 %	SIL3	SIL3
Anteil sicherer Ausfälle (SFF)	Hardwarefehlertoleranz																		
	0	1																	
< 60 %	-	SIL1																	
60 bis < 90 %	SIL1	SIL2																	
90 bis < 99 %	SIL2	SIL3																	
≥ 99 %	SIL3	SIL3																	

Hilfreiche Unterstützung

Die beschriebenen Verifizierungsmethoden erfordern Know-how und Erfahrung im Umgang mit Performance Level (PL) und Sicherheits-Integritätslevel (SIL). Dieses Know-how und die Praxiserfahrung stehen Ihnen mit dem Dienstleistungs- und Trainingsportfolio von SICK zur Verfügung (siehe „Wie SICK Sie unterstützt“, Seite 170).

Eine effektive Methode zur Berechnung des Performance Levels bietet der Softwareassistent SISTEMA, der von der IFA in Deutschland entwickelt wurde und kostenlos verfügbar ist. SICK bietet hierfür eine Bibliothek zertifizierter Sicherheitsprodukte an.

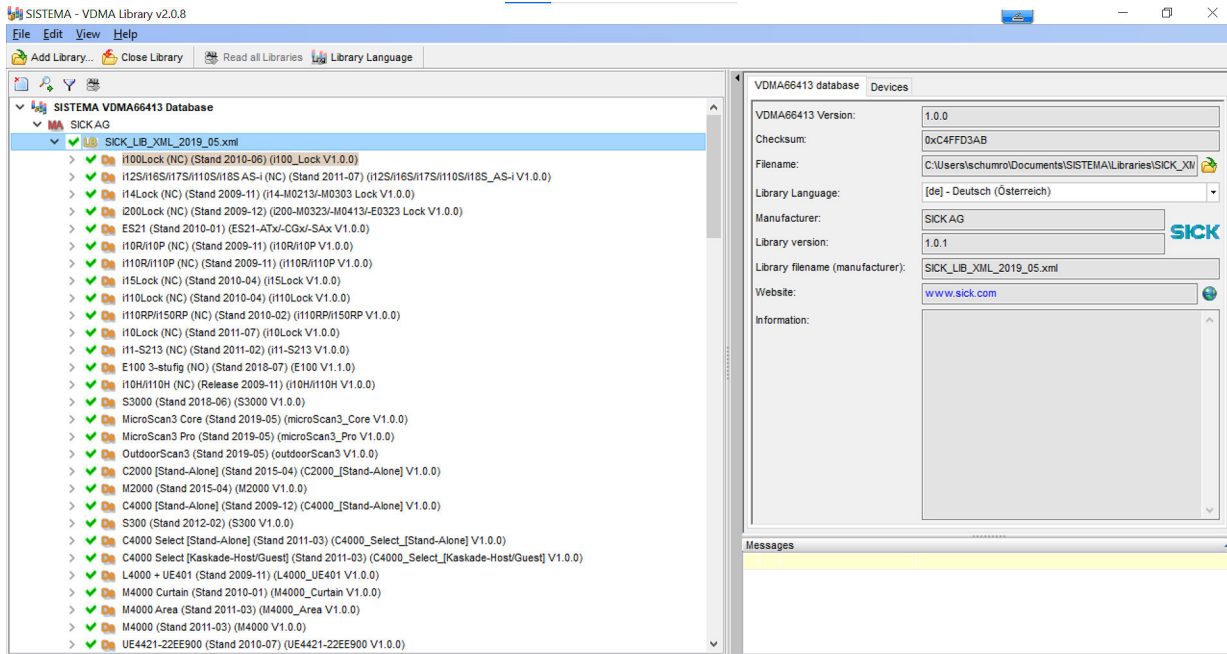


Abbildung 119: Bibliothek zertifizierter Sicherheitsprodukte von SICK im Softwaretool SISTEMA zur Bestimmung des Performance Level



HINWEIS

SICK-Komponentenbibliothek für SISTEMA finden Sie online unter Projektplanungssoftware [Library for functional safety](#).

Zusammenfassung: Verifizieren der Sicherheitsfunktion

Grundsätzliches

- Verifizieren Sie, ob die geplanten Sicherheitsfunktionen das benötigte Sicherheitsniveau erfüllen. Verifizieren Sie dazu die mechanische und die funktionale Sicherheit.

Methoden

- Bestimmen Sie das resultierende Sicherheitsniveau gemäß ISO 13849-1 (PL). Verfügbare Verfahren:
 - Vereinfachtes Verfahren (anhand der PL)
 - Detailliertes Verfahren (anhand der PFH_D-Werte)
- Wenn für ein Teilsystem (z. B. für das leistungssteuernde Element) kein PL oder kein PFH_D-Wert bekannt ist, ermitteln Sie das Sicherheitsniveau des Teilsystems aus den Aspekten "Struktur, Zuverlässigkeit, Diagnose, Resistenz und Prozess".
- Alternativ bestimmen Sie das resultierende Sicherheitsniveau gemäß IEC 62061 (SIL). Auch hier besteht die Möglichkeit, das Sicherheitsniveau eines nicht zertifizierten Teilsystems selbst zu bestimmen.

Hilfen

Nutzen Sie die empfohlenen Tools und lassen Sie sich beraten.

3e – Validieren aller Sicherheitsfunktionen

Validierung ist die Prüfung einer These, eines Plans oder Lösungsansatzes in Bezug auf ein zu lösendes Problem. Im Gegensatz zur Verifikation – bei der lediglich die korrekte Umsetzung einer Lösung gemäß der Spezifikation bewertet wird – handelt es sich daher bei der Validierung um die abschließende Bewertung, ob die Lösungen generell für die notwendige Risikominderung geeignet sind.



Abbildung 120: Service-Mitarbeiter bei der Inspektion einer Schutzeinrichtung

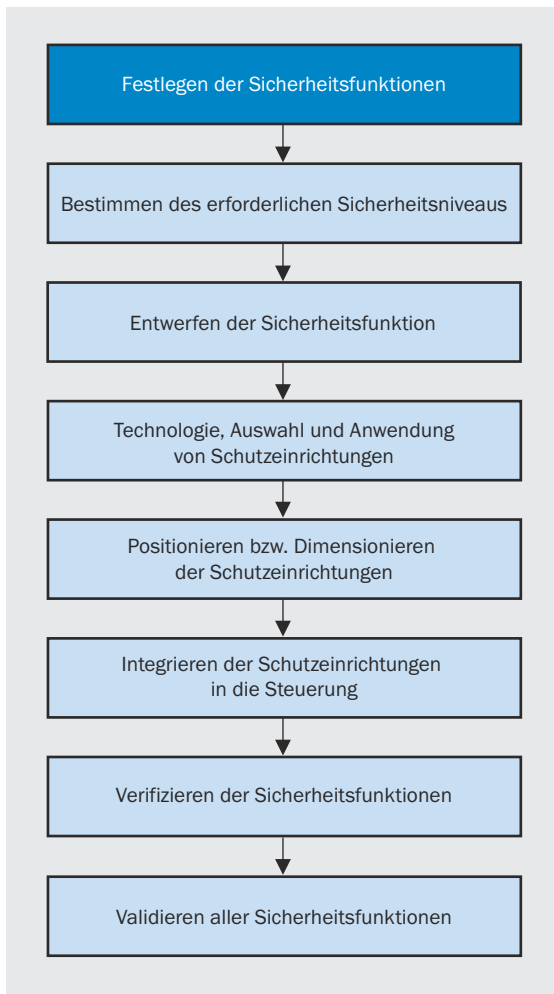


Abbildung 121: Von der Festlegung bis zu Validierung der Sicherheitsfunktionen

Der Zweck des Validierungsverfahrens ist es, die Spezifikation und die Konformität der Gestaltung der an der Sicherheitsfunktion beteiligten Komponenten an der Maschine zu überprüfen. Die Validierung muss aufzeigen, dass sicherheitsbezogene Teile der Steuerungsfunktion die Anforderungen der ISO 13849-2 erfüllen, insbesondere bei den Anforderungen für das festgelegte Sicherheitsniveau.

Die Validierung sollte, soweit sinnvoll, von Personen ausgeführt werden, die an der Gestaltung der sicherheitsbezogenen Teile der Steuerungen nicht beteiligt waren. Im Validierungsprozess ist es wichtig, Fehler und insbesondere Auslassungen in der formulierten Spezifikation zu überprüfen. Der kritische Teil der Gestaltung einer sicherheitsgerichteten Steuerungsfunktion ist in der Regel die Spezifikation.

Hierzu ein Beispiel: Der Zugang einer Roboterzelle soll durch einen Lichtvorhang abgesichert werden. Die Sicherheitsfunktion ist daher folgendermaßen spezifiziert:

„Bei Unterbrechung des Schutzfelds eines Lichtvorhangs müssen alle Gefahr bringenden Bewegungen schnellstmöglich stillgesetzt werden.“

Darüber hinaus hätte der Konstrukteur jedoch auch den Wiederanlauf bei frei werdendem, insbesondere bei hintertretbarem Schutzfeld berücksichtigen müssen. Der Validierungsprozess muss solche Aspekte aufdecken. Im Rahmen eines Validierungsprozesses werden in der Regel mehrere Verfahren angewendet, die sich gegenseitig ergänzen.

Hierzu zählen folgende Verfahren:

- technische Prüfung der Positionierung und Wirksamkeit der Schutzeinrichtungen
- praktische Überprüfung der Fehlerreaktion hinsichtlich der zu erwartenden Ergebnisse durch Simulationen

- Validierung der Umgebungsanforderungen durch Funktionstests:
 - ausreichender Schutz gegen umweltbedingte Einflüsse, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Schock, Schwing- und Schockbelastung etc.
 - ausreichende Störfestigkeit gegen elektromagnetische Beeinflussung

3f – Funktionale Sicherheit und Cybersicherheit

Die steigenden Anforderungen nach Verknüpfung von Anlagen und Maschinen von Fertigungsstätten und der dafür notwendige Datenaustausch über geöffnete Schnittstellen bringen mit sich, dass ein gewollter oder ein ungewollter Zugriff auf Sicherheitsparameter und produktionstechnische Daten möglich ist. Neue Herausforderungen für die Informationssicherheit (Security) entstehen und müssen beachtet werden, um Schäden an Personen, Maschinen und Anlagen oder für die Umwelt zu vermeiden.

Es ergibt sich notwendigerweise eine Gesamtbetrachtung von Maschinensicherheits- und Informationssicherheits-Aspekten für Komponentenhersteller, Maschinenhersteller, Systemintegratoren und Anlagenbetreiber. Die Gesamtbetrachtung startet immer mit der Definition der Grenzen der Maschine (Verwendungsgrenzen und räumliche Grenzen). Zu den Grenzen gehören auch die für die Cybersicherheit relevanten Kommunikationsschnittstellen, sowohl zwischen Mensch und Maschine, als auch zwischen Maschine und dem Leitsystem und zwischen Maschinen. Aufbauend auf den Grenzen erfolgt die Risikobeurteilung bzw. die Gefährdungsbeurteilung. Basierend auf der Risikoanalyse werden alle Gefahrenquellen analysiert und entsprechende Maßnahmen getroffen. Durch Cybersicherheits-Attacken entstehen keine neuen Gefährdungen im Sinne der Maschinensicherheit, aber die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen kann negativ beeinflusst werden oder aussetzen. Beispielsweise könnten bei einer Sicherheitsanforderung Anlagenteile nicht stoppen oder Geschwindigkeiten nicht auf das notwendige Maß reduziert werden, wodurch Gefährdungen entstehen.

Cybersicherheits-Betrachtungen sind für folgende Maschinen relevant:

- Maschinen mit programmierbaren Steuerungen mit elektronischen Schnittstellen
- Maschinen mit programmierbaren Steuerungen mit Netzwerkverbindung

Maschinen mit ausschließlich kontaktbehafteten Steuerungen oder Maschinen mit elektronischen, aber nicht programmierbaren Steuerungen sind für Cybersicherheits-Betrachtungen nicht direkt relevant. Wenn elektronisch parametrierbare Komponenten integriert sind, können wiederum über die Schnittstelle zum Parametriergerät Gefährdungen entstehen.

Welche Maßnahmen sind notwendig, um die Cybersicherheits-Aspekte für die Maschinensicherheit abzudecken?

Schutzmaßnahmen, die aus der Bürokommunikation oder im Privatbereich bekannt sind (Firewall, Virenschanner), sind für das industrielle Umfeld nicht ausreichend. Eine systematische Herangehensweise ist notwendig. Generell gilt für alle in der Wertschöpfungskette agierenden Teilnehmer, dass

- die Unternehmenskultur und damit das Bewusstsein im Unternehmen für das Thema Cybersicherheit ausreichend entwickelt sein muss.
- ein entsprechendes Sicherheitsmanagement installiert ist.
- das Wissen auf dem aktuellen Stand der Technik sein muss.
- die notwendigen Technologien mit entsprechendem IT-Sicherheitsniveau zur Verfügung stehen.



Abbildung 122: Überprüfung des Sicherheitsmanagements in einer Produktionsanlage

In der folgenden Tabelle sind Aspekte zur Vermeidung von Cybersicherheits-Angriffen für Maschinenhersteller, Anlagenhersteller, Systemintegratoren, Service-Dienstleister, Anlagen- und Maschinenbetreiber im Zusammenhang mit der Maschinensicherheit zusammengestellt:

Tabelle 58: Aspekte zur Vermeidung von Cybersicherheits-Angriffen im Zusammenhang mit der Maschinensicherheit für Maschinenhersteller, Anlagenhersteller, Systemintegratoren, Service-Dienstleister, Anlagen- / Maschinenbetreiber

Maschinenhersteller	Anlagenhersteller, Systemintegrator, Service-Dienstleister	Anlagen- / Maschinenbetreiber
Security-Risikobeurteilung z. B. nach IEC TR63074. Identifizierung schutzbedürftiger Komponenten und Informationen und Bewertung der Relevanz	Security-Risikobeurteilung z. B. nach IEC TR63074. Identifizierung schutzbedürftiger, Komponenten, Anlagenteile und Informationen und Bewertung der Relevanz	Security-Gefährdungsbeurteilung für vernünftigerweise vorhersehbare nicht autorisierte Aktionen
Zoneneinteilung Schutzbedarf der Maschine festlegen. Zusammenfassung von Komponenten und Informationen ähnlichen Schutzbedarfs in Zonen	Zoneneinteilung Zusammenfassung von Komponenten, Maschinen und Informationen ähnlichen Schutzbedarfs in Zonen	Zoneneinteilung Zusammenfassung von Maschinen und Informationen ähnlichen Schutzbedarfs in Zonen
Authentisierung und Autorisierung Strukturierung und Zuteilung von Rechten, Festlegung von Zugriffs- und Übertragungsmechanismen	Authentisierung und Autorisierung Strukturierung von Rechten, Festlegung von Zugriffs- und Übertragungsmechanismen	Authentisierung und Autorisierung Zuteilung von Rechten
Monitoring implementieren sicherheitsrelevante Informationen (Logfile) schreibgeschützt archivieren oder Einbindung in übergeordnete Systeme	Monitoring implementieren sicherheitsrelevante Informationen (Logfile) schreibgeschützt archivieren oder Einbindung in übergeordnete Systeme	Monitoring nutzen Auswertung von Logs zur Erkennung von Angriffen oder nicht authentisierten Zugriffsversuchen

Maschinenhersteller	Anlagenhersteller, Systemintegrator, Service-Dienstleister	Anlagen- / Maschinenbetreiber
Backup-Mechanismen vorsehen	Backup-Mechanismen vorsehen	Backup durchführen Wiederherstellung von Daten und Informationen
Organisation Security-Konzept, Festlegung von Verantwortlichkeiten, Sicherstellung Stand der Technik, Berücksichtigung der dynamischen Entwicklung von Cyber-Attacken	Organisation Security-Konzept, Festlegung von Verantwortlichkeiten, Sicherstellung Stand der Technik, Berücksichtigung der dynamischen Entwicklung von Cyber-Attacken	Organisation Security-Konzept, Festlegung von Verantwortlichkeiten, Richtlinien, Durchführung eines Schwachstellenmanagements, Berücksichtigung der dynamischen Entwicklung von Cyber-Attacken
Betriebsanleitung Beachtung der Cybersicherheits-Informationen der Komponentenhersteller und Formulierung der Cybersicherheits-Hinweise für den Anwender	Betriebsanleitung Beachtung der Cybersicherheits-Hinweise der Komponenten- und Maschinenhersteller und Formulierung der Cybersicherheits-Hinweise für den Anwender	Betriebsanleitung Beachtung der Cybersicherheits-Hinweise der Maschinen- und Anlagenhersteller
Komponentenauswahl Unterstützung des Security-Konzepts	Komponenten- und Maschinenauswahl Unterstützung des Security-Konzepts	Maschinen- und Anlagenauswahl Unterstützung des Security-Konzepts
Notfallmodus Überführung der Maschine in einen sicheren Betriebszustand, für den Fall, dass kritische Sicherheitsfunktionen durch eine Cybersicherheits-Attacke eingeschränkt bzw. unwirksam werden sollten	Notfallmodus Überführung der Anlage in einen sicheren Betriebszustand, für den Fall, dass kritische Sicherheitsfunktionen durch eine Cybersicherheits-Attacke eingeschränkt bzw. unwirksam werden sollten	Notfallmodus Integration der Maschinen und Anlagen in das Anlagen-Management bei Cybersicherheits-Attacken

Hilfestellungen und Informationsquellen zur Cybersicherheit:

- Checkliste für Betreiber von Firmennetzwerken und Beispiel-Beurteilung vorhandener Systeme, siehe Fachbereich AKTUELL FBHM-102 "Safety und Security in der vernetzten Produktion" vom DGUV, Fachbereich Holz und Metall vom 01.10.2018
- ISO/TR 22100-4 "Sicherheit von Maschinen - Zusammenhang mit ISO 12100 - Teil 4: Leitlinien für Maschinenhersteller zur Berücksichtigung der damit verbundenen IT-Sicherheitsaspekte (Cybersicherheit)"
- IEC 62443 Normenreihe "Industrial communication networks - Network and system security"
- IEC 61508 Normenreihe "Funktionale Sicherheit elektrischer/elektronischer/programmierbarer Elektronische Systeme"
- IEC 61511 Normenreihe "Funktionale Sicherheit - Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie"

4 – Benutzerinformation

Wenn die sichere Konstruktion oder die technischen Schutzmaßnahmen nicht vollständig wirken, dann muss der Benutzer zusätzlich vor bestehenden Restrisiken gewarnt und über die Notwendigkeit der Anwendung weiterer Schutzmaßnahmen, insbesondere persönlicher Schutzausrüstung, informiert werden.

Zu den Benutzerinformationen gehören z. B.:

- akustische und optische Warneinrichtungen
- Informationen und Warnhinweise an der Maschine
- Betriebsanleitung einschließlich deren Warn- und Sicherheitshinweise
- Arbeitsanweisungen, Ausbildungsanforderungen oder Einarbeitung von Benutzern
- Hinweise zur Benutzung von persönlicher Schutzausrüstung



HINWEIS

Benutzerinformationen dürfen kein Ersatz für andere Maßnahmen sein!



HINWEIS

→ Sichere Gestaltung, Risikobeurteilung und Risikominderung Typ-A-Norm: ISO 12100

→ Gestaltungsgrundsätze für Benutzerinformation: EN ISO 20607, EN IEC/IEEE 82079-1

Akustische und optische Warneinrichtungen

Wenn der Betrieb einer Maschine nicht überwacht wird, muss die Maschine mit Warneinrichtungen versehen sein, die Gefährdungen durch Funktionsstörungen melden. Warneinrichtungen müssen eindeutig zu verstehen, leicht wahrnehmbar und durch das Bedienpersonal auf ständige Funktionsbereitschaft überprüfbar sein. Bestehen weiterhin Restrisiken, muss der Hersteller darauf hinweisen.



Abbildung 123: Fahrerloses Fahrzeug mit Sicherheitslaser-scanner als Schutzeinrichtung und akustischer und optischer Warneinrichtung

Informationen und Warnhinweise an der Maschine

Informationen und Warnhinweise an Maschinen sollten vorzugsweise Symbole oder Piktogramme sein. Sie müssen in der Amtssprache des Landes, in dem die Maschine in Verkehr gebracht wird, abgefasst sein. Zusätzliche Warnungen in anderen Sprachen sind möglich. Sicherheitsrelevante Informationen müssen eindeutig, leicht verständlich, knapp und präzise formuliert sein. Interaktive Kommunikationsmittel müssen leicht verständlich und intuitiv bedienbar sein.



Abbildung 124: Beispiele für Informationen und Warnhinweise an Maschinen

Sicherheitsrelevante Informationen in der Betriebsanleitung

Die Betriebsanleitung muss alle sicherheitsrelevanten Informationen über die Maschine enthalten. Insbesondere folgende Informationen sind anzugeben:

- Sicherheitshinweise, die zum sicheren Umgang mit der Maschine anleiten, sowie Warnhinweise, die in einem bestimmten Handlungskontext erforderlich sind
- Beschreibung der bestimmungsgemäßen Verwendung und Warnhinweise, in Bezug auf vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendungen der Maschine
- Hinweise zur Inbetriebnahme, zum Betrieb der Maschine sowie zur erforderlichen Ausbildung bzw. Einarbeitung des Bedienpersonals
- Angaben zu Restrisiken, einschließlich Warnhinweise, die trotz der Maßnahmen zur Integration der Sicherheit bei der Konstruktion und Anwendung von Schutzeinrichtungen und ergänzenden Schutzmaßnahmen noch verbleiben
- Anleitung für die vom Benutzer zu treffenden Schutzmaßnahmen und die erforderliche persönliche Schutzausrüstung
- Bedingungen, unter denen die Anforderungen an die Standsicherheit in den verschiedenen Lebensphasen der Maschine erfüllt werden
- Sicherheitshinweise zu Transport, Handhabung und Lagerung
- Anweisungen zum erforderlichen Vorgehen bei Unfällen und zur sicheren Störungsbeseitigung
- Anweisungen zum sicheren Einrichten und Warten und die dafür erforderlichen Schutzmaßnahmen
- Spezifikation der zu verwendenden Ersatzteile, die sich auf Sicherheit und Gesundheit des Bedienpersonals auswirken können

Dokumentation



HINWEIS

Mithilfe der Software Safexpert® der Firma ibf („[Risikobeurteilung mit Safexpert®](#)“, Seite 28) lassen sich auch die Anforderungen an die technische Dokumentation komfortabel umsetzen. So kann der Anwender zum Beispiel Benutzerhinweise von der Risikobeurteilung direkt in die Betriebsanleitung integrieren.

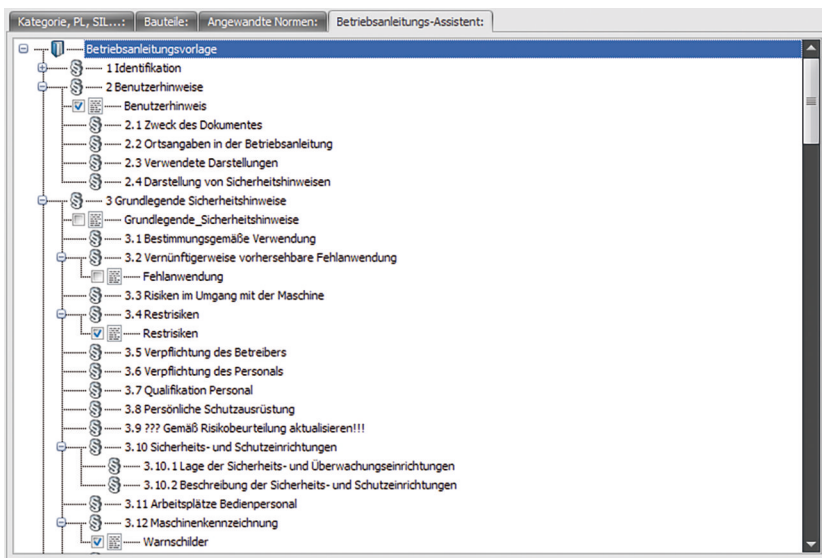
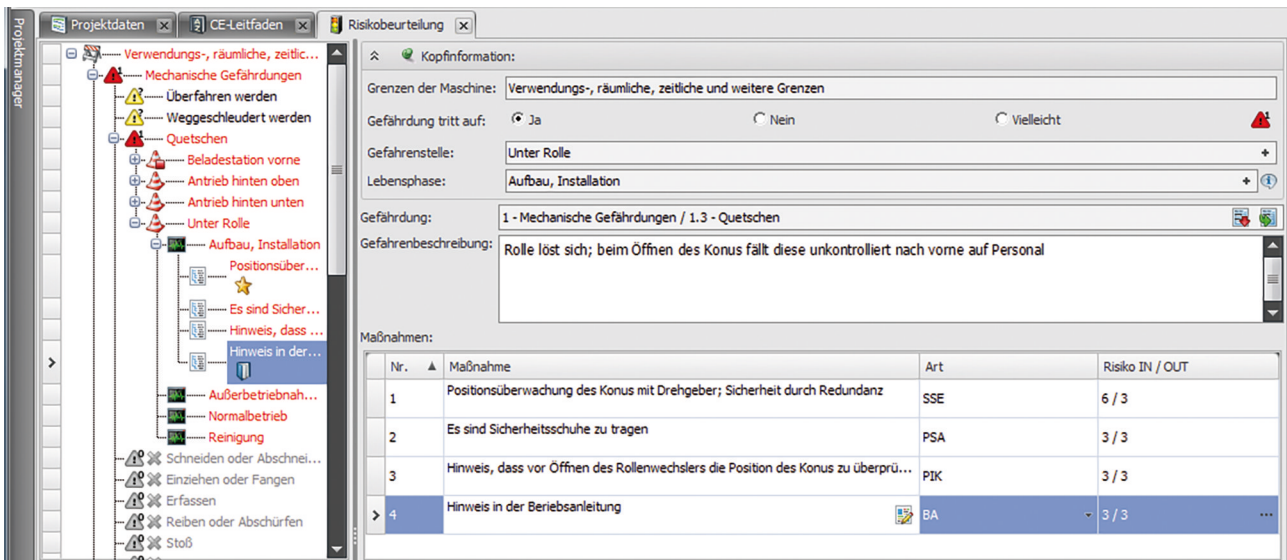


Abbildung 125: Safexpert®-Betriebsanleitungsassistent

Zusammenfassung der Schritte 2, 3 und 4 zur Risikominderung

Grundsätzliches

Zur Risikominderung der analysierten Gefährdung gehen Sie nach der 3-Stufen-Methode vor:

- 1 Gestalten Sie die Maschine so, dass das Risiko so gut wie möglich beseitigt wird.
- 2 Definieren, gestalten und überprüfen Sie notwendige Schutzmaßnahmen.
- 3 Definieren Sie, wie verbleibende Restrisiken reduziert werden können, und stellen Sie diese Information dem Benutzer zur Verfügung.

Technische Schutzmaßnahmen

- Bezüglich der funktionalen Sicherheit helfen Ihnen alternativ zwei Normen: ISO 13849-1 (PL) oder IEC 62061 (SIL).
- Definieren Sie die Sicherheitsfunktionen und bestimmen Sie für jede das erforderliche Sicherheitsniveau.

- Entwerfen Sie das Sicherheitskonzept. Entscheiden Sie über die wirksamsten Schutzeinrichtungen sowie deren Montage und Integration in die Steuerung.
- Stellen Sie sicher, dass die Schutzmaßnahmen wirksam umgesetzt sind und dass das Sicherheitsniveau erreicht wurde.

5 – Gesamtvalidierung

Da die funktionale Sicherheit lediglich einen Teil bei der Risikominderung darstellt, ist es erforderlich, im Rahmen einer Gesamtvalidierung alle Maßnahmen – also konstruktive, technische und organisatorische Maßnahmen – im Zusammenhang zu bewerten.



Abbildung 126: Service-Mitarbeiter von SICK bei der Gesamtvalidierung einer Maschine

In der Praxis kann es daher vorkommen, dass mit einer einzelnen technischen Maßnahme die Risikominderung nicht erreicht wird, jedoch in der Gesamtbetrachtung ein hinreichendes Ergebnis erzielt werden kann. Eine hinreichende Risikominderung kann als erreicht angesehen werden, wenn alle folgenden Fragen positiv beantwortet werden können:

- Wurden alle Betriebsbedingungen in allen Lebensphasen der Maschine berücksichtigt?
- Wurde die 3-Stufen-Methode angewendet?
- Wurden die Gefährdungen beseitigt oder die Risiken der Gefährdungen so weit vermindert, wie dies praktisch umsetzbar ist?
- Ist sichergestellt, dass die durchgeführten Maßnahmen nicht zu neuen Gefährdungen führen?
- Sind die Benutzer hinsichtlich der Restrisiken ausreichend informiert und gewarnt?
- Ist sichergestellt, dass die Arbeitsbedingungen des Bedienpersonals durch die ergriffenen Schutzmaßnahmen nicht beeinträchtigt werden?
- Sind die durchgeführten Schutzmaßnahmen miteinander vereinbar?
- Wurden die Folgen ausreichend berücksichtigt, die durch den Gebrauch der Maschine im nicht gewerblichen bzw. nicht industriellen Bereich entstehen können?
- Ist sichergestellt, dass die durchgeführten Maßnahmen die bestimmungsgemäße Funktion der Maschine nicht übermäßig beeinträchtigen?
- Wurde das Risiko angemessen reduziert?

**HINWEIS**

SICK bietet Ihnen Im Rahmen einer sicherheitstechnischen Inspektion eine Überprüfung der gesamten Maschine hinsichtlich wesentlicher Gefährdungen. Diese Dienstleistung wird von Sicherheitsspezialisten von SICK ausgeführt.

6 – Inverkehrbringen

Nachdem die Konformität, ggf. unter Einbeziehung einer Prüfstelle, im Rahmen der Gesamtvalidierung festgestellt wurde, kann im Zuge der Fertigstellung der technischen Dokumentation die Konformitätserklärung ausgestellt und das CE-Kennzeichen an der Maschine angebracht werden. Die Konformitätserklärung muss alle auf die Maschine zutreffenden europäischen Richtlinien berücksichtigen.

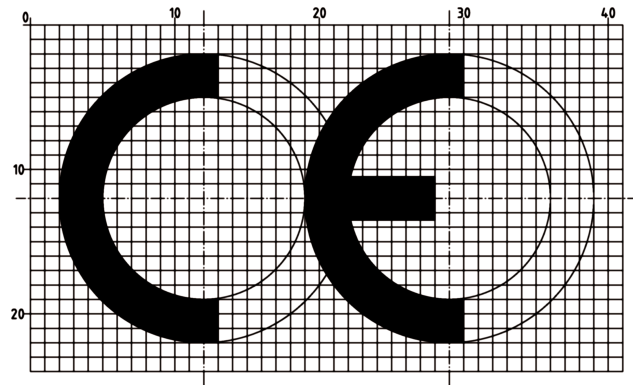


Abbildung 127: Schriftbild der CE-Kennzeichnung nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Technische Unterlagen

Der Umfang der technischen Unterlagen ist im Anhang VII, Abschnitt A der Maschinenrichtlinie beschrieben. Für unvollständige Maschinen gelten die besonderen Anforderungen des Anhang VII, Abschnitt B der Maschinenrichtlinie.

Anhand der technischen Unterlagen muss es möglich sein, die Übereinstimmung der Maschine mit den Anforderungen der Maschinenrichtlinie zu beurteilen. Die technischen Unterlagen müssen, soweit es für die Beurteilung erforderlich ist, die Themen Konstruktion, den Bau und die Funktionsweise der Maschine enthalten.

Diese Unterlagen müssen in einer oder mehreren Amtssprachen der Europäischen Gemeinschaft abgefasst sein. Hiervon ausgenommen ist die Betriebsanleitung der Maschine, für die die besonderen Bestimmungen des Anhangs I, Nummer 1.7.4.1 gelten.

Aufbewahrungsdauer und Fristen

Die technischen Unterlagen sind für die zuständigen Behörden der Mitgliedsstaaten wie folgt bereitzuhalten:

- Ab dem Tag der Herstellung der Maschine
- Für mindestens 10 Jahre nach der Fertigstellung der letzten Einheit
- Die technischen Unterlagen müssen sich nicht im Gebiet der Europäischen Gemeinschaft befinden und auch nicht ständig körperlich vorhanden sein (z. B. ist die digitale Aufbewahrung zulässig). Sie müssen jedoch von der in der EG-Konformitätserklärung benannten Person innerhalb angemessener Frist zur Verfügung gestellt werden können.

HINWEIS
Achtung: Werden die technischen Unterlagen den zuständigen einzelstaatlichen Behörden auf begründetes Verlangen nicht vorgelegt, kann dies Zweifel auslösen! Es mag die Frage aufkommen: Entspricht die betreffende Maschine überhaupt den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen?

HINWEIS
→ Siehe auch Abschnitt „Ausstellen der Konformitätserklärung“, Seite 14.
→ Siehe auch Abschnitt „Das EG-Konformitätsbewertungsverfahren für Maschinen und Sicherheitsbauteile“, Seite 16.

Umfang der technischen Unterlagen

- Allgemeine Beschreibung der Maschine:

- Übersichtszeichnung der Maschine, Schaltpläne der Steuerkreise sowie Beschreibungen und Erläuterungen, die zum Verständnis der Funktionsweise der Maschine erforderlich sind
- Vollständige Detailzeichnungen, eventuell mit Berechnungen, Versuchsergebnissen, Bescheinigungen usw., die für die Überprüfung der Übereinstimmung der Maschine mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erforderlich sind
- Liste der angewandten Normen und sonstigen technischen Spezifikationen unter Angabe der von diesen Normen erfassten grundlegenden Sicherheits und Gesundheitsschutzanforderungen
- Unterlagen über die Risikobeurteilung („1 – Risikobeurteilung“, Seite 22), aus denen hervorgeht, welches Verfahren angewandt wurde:
 - Liste der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen, die für die Maschine gelten
 - Beschreibung der zur Abwendung ermittelter Gefährdungen oder zur Risikominderung ergriffenen Schutzmaßnahmen und gegebenenfalls eine Angabe der von der Maschine ausgehenden Restrisiken
- Alle technischen Berichte mit den Ergebnissen der Prüfungen, die vom Hersteller selbst oder von einer Stelle nach Wahl des Herstellers oder seines Bevollmächtigten durchgeführt wurden
- Betriebsanleitung der Maschine
- Kopie der EG-Konformitätserklärung
- Ggf. Kopien der EG-Konformitätserklärungen der in die Maschine eingebauten anderen Maschinen oder Produkte
- Ggf. Einbauerklärung und Montageanleitung für unvollständige Maschinen

Betriebsanleitung

Der Inverkehrbringer der Maschine (Hersteller oder sein Bevollmächtigter) muss mit der Maschine eine Betriebsanleitung in einer der EU-Amtssprachen des Mitgliedstaats, in welches die Maschine in Verkehr gebracht wird, mitliefern. Diese mitgelieferte Betriebsanleitung muss entweder eine „Originalbetriebsanleitung“ sein, oder eine „Übersetzung der Originalbetriebsanleitung“. Im letzteren Fall ist zusätzlich die Originalbetriebsanleitung zu liefern (Als „Originalbetriebsanleitung“ gelten alle Betriebsanleitungen, für die der Hersteller die Verantwortung übernimmt). Weitere Informationen [siehe „4 – Benutzerinformation“, Seite 158](#).

Verantwortung des Betreibers

Der Arbeitgeber ist für die Sicherheit seiner Angestellten verantwortlich. Maschinen müssen ergonomisch und der Qualifikation des Bedieners entsprechend betrieben werden können und dabei sicher sein.

Neben sicherheitstechnischen Abnahmen und Inspektionen bei der Lieferung ist die ordentliche Spezifikation der sicherheitstechnischen Anforderungen der Maschine schon beim Einkauf zu berücksichtigen.

Wie sollten Maschinen eingekauft werden?

Für ein erfolgreiches Projekt zum Aufbau oder zur Modernisierung einer Produktion, werden die entscheidenden Weichen bereits beim Beschaffungsprozess gestellt. Beachten Sie z. B. folgende Punkte:

- Bestimmen Sie bei komplexen Maschinenanlagen einen „Bauleiter“ gemäß der Maschinenrichtlinie.
- Klären Sie im Vorfeld, wie mit beigestellten (Teil-)Maschinen verfahren wird.
- Legen Sie vertraglich fest, welche zusätzliche Dokumentation zu liefern ist (z. B. Risikobeurteilung), damit spätere Änderungen einfacher umgesetzt werden können.
- Legen Sie – soweit sinnvoll – die Verwendung von wichtigen Normen zugrunde (harmonisierte Normen in der EU).
- Vereinbaren Sie die Vorgehensweise bei Abweichungen von harmonisierten Normen.

Sicherheitsinspektionen

In der Praxis zeigt sich, dass die Maschinensicherheit nur bedingt gegeben ist. Oft werden Schutzeinrichtungen vom Maschinenbediener manipuliert, um ungehindert arbeiten zu können. Weitere Fehlerquellen sind die falsche Positionierung von Schutzeinrichtungen sowie die fehlerhafte Einbindung in die Steuerung.

Der sicherheitstechnische Zustand der Arbeitsmittel und Anlagen im Betrieb ist nach der EU-Richtlinie 2009/104/EG („Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie“) geregelt und ist nach den jeweils geltenden nationalen Gesetzen zu prüfen. Speziell Artikel 4a der Richtlinie definiert die Prüfung von Arbeitsmitteln. Technische Regeln, Normen oder bestimmte Vorschriften können als Orientierung dienen, wie die Prüfung durchgeführt werden soll. Der Betreiber der jeweiligen Anlagen muss eine Gefährdungsbeurteilung machen und ist dafür verantwortlich, dass die Prüfung erfolgt und die Arbeitssicherheit sichergestellt ist.

Er hat dabei darauf zu achten, dass die Prüfung von Arbeitsmitteln gemäß der jeweiligen nationalen Umsetzung zur Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie organisiert wird.

Dabei müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- 1 Prüffart
- 2 Prüfungsumfang
- 3 Prüftiefe
- 4 Prüfzeiten
- 5 Befähigungsgrad des Prüfers

Mit einer Sicherheitsinspektion von SICK erhalten Sie einen schnellen Überblick über den Sicherheitsstatus Ihrer Maschinen.

Teile der SICK-Vertriebsorganisation wurden bereits als Inspektionsstelle akkreditiert.

Mit der Akkreditierung wird von unabhängiger Stelle bestätigt, dass SICK in der Lage ist, die im Akkreditierungsumfang festgelegten Tätigkeiten mit hoher Zuverlässigkeit und Qualität auszuführen.

Zusammen mit Ihnen erörtern wir Verbesserungspotenziale und setzen sie in die Praxis um.



HINWEIS

Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie, Artikel 4a Überprüfung der Arbeitsmittel

- 1 Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass die Arbeitsmittel, deren Sicherheit von den Montagebedingungen abhängt, durch im Sinne der einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken hierzu befähigte Personen nach der Montage und vor der ersten Inbetriebnahme einer Erstüberprüfung und nach jeder Montage auf einer neuen Baustelle oder an einem neuen Standort einer Überprüfung unterzogen werden, um sich von der korrekten Montage und vom korrekten Funktionieren dieser Arbeitsmittel zu überzeugen.
- 2 Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass die Arbeitsmittel, die Schäden verursachenden Einflüssen unterliegen, welche zu gefährlichen Situationen führen können,
 - durch im Sinne der einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken hierzu befähigte Personen regelmäßig überprüft und gegebenenfalls erprobt werden und
 - durch im Sinne der einzelstaatlichen Rechtsvorschriften und/oder Praktiken hierzu befähigte Personen jedes Mal einer außerordentlichen Überprüfung unterzogen werden, wenn außergewöhnliche Ereignisse stattgefunden haben, die schädigende Auswirkungen auf die Sicherheit des Arbeitsmittels haben können, beispielsweise Veränderungen, Unfälle, Naturereignisse, längere Zeiträume, in denen das Arbeitsmittel nicht benutzt wurde, damit die Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften eingehalten und diese Schäden rechtzeitig entdeckt und behoben werden können.
- 3 Die Ergebnisse der Überprüfungen müssen schriftlich festgehalten werden und den zuständigen Behörden zur Verfügung stehen. Sie werden während eines angemessenen Zeitraums aufbewahrt. Werden die betreffenden Arbeitsmittel außerhalb des Unternehmens eingesetzt, ist ihnen ein Nachweis über die Durchführung der letzten Überprüfung beizufügen.
- 4 Die Mitgliedstaaten legen die Modalitäten dieser Überprüfungen fest.

Wesentliche Veränderung von Maschinen

Maschinen haben in der Regel eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten. Die Weiterentwicklung der Technologien und die Anforderungen des Markts führen zu einer kontinuierlichen Verbesserung von Maschinen und Produktionssystemen. In vielen Fällen werden Maschinen auch modifiziert, um sie an bestehende Produktionslinien und -systeme anzupassen. Solche Modifikationen können Merkmale und Funktionen umfassen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Sicherheit der Maschine oder Produktionslinie haben können.

Nationale Regularien können spezifische Anforderungen für die Modifizierung bestehender Maschinen stellen, während andere sich auf allgemeine Pflichtklauseln für den Benutzer (Arbeitgeber) beschränken. Die europäische Maschinenrichtlinie verlangt auch die Einhaltung der grundlegenden Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen für Maschinen, die wesentlich geändert wurden. Die Maschinenrichtlinie stellt aber nicht klar, was als wesentliche Veränderung zu betrachten ist. Den nationalen europäischen Arbeitsschutzbehörden wird die Freiheit gegeben, die Kriterien für eine wesentliche Veränderung festzulegen.

Die folgende Methodik wurde gemeinsam von der Industrie und den Arbeitsschutzbehörden in Deutschland entwickelt und wird seit 2010 angewendet.

Allgemeine Anforderungen

Wenn eine Maschine modifiziert wird, muss das unter dem Kapitel Methodik beschriebene Verfahren durchgeführt werden, um festzustellen, ob die Modifikation(en) wesentlich ist (sind).

Rechtlicher Hinweis: Die Beschränkung der Risikobeurteilung und -reduzierung auf die geänderten Teile und/oder Zonen der Maschine reicht möglicherweise nicht aus, um die nationalen gesetzlichen Bestimmungen einzuhalten.

Methodik

Die folgenden Schritte sind in der angegebenen Reihenfolge durchzuführen ([siehe Abbildung 130, Seite 169](#)):

Tabelle 59: Schritte der Methodik zur Bewertung von wesentlichen Veränderungen von Maschinen

Schritt	Beschreibung
Schritt 1	Es ist zu bestimmen, ob die Änderungen zum Auftreten neuer Gefährdungen führen. Wenn neu identifizierte Gefährdungen zu signifikanten Risiken führen, ist Schritt 3 zu befolgen, andernfalls werden die Änderungen als nicht substanziell betrachtet.

Schritt	Beschreibung
Schritt 2	Wenn keine neuen Gefährdungen identifiziert wurden und bei den bestehenden Gefährdungen durch die Änderungen keines der bereits bestehenden Risiken erhöht wird, werden die Änderungen als nicht substantiell betrachtet. Wenn bereits bestehende Risiken durch die Änderungen erhöht werden, ist Schritt 3 zu befolgen.
Schritt 3	Die Änderungen werden als nicht wesentlich betrachtet, wenn die bestehenden Maßnahmen zur Risikominderung die Risiken, die sich aus den neuen Gefährdungen (Schritt 1) oder aus den erhöhten Risiken (Schritt 2) ergeben, angemessen reduzieren. Andernfalls ist Schritt 4 zu befolgen.
Schritt 4	Wenn die neuen Gefährdungen durch einfache Schutzeinrichtungen oder durch einfache Integration zusätzlicher Schutzeinrichtungen beseitigt werden oder das erhöhte Risiko angemessen reduziert wird, gelten die Veränderungen nicht als wesentlich. Andernfalls gilt die Veränderung als wesentlich.

Wenn eine Veränderung als wesentlich betrachtet wird, ist eine Risikobeurteilung und -minderung nach ISO 12100:2010 durchzuführen, kann aber auf die Teile und/oder Zonen beschränkt werden, die der Veränderung unterliegen.

Einfache Schutzeinrichtungen sind:

- Feststehende trennende Schutzeinrichtungen oder
- Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen, oder nicht trennende Schutzeinrichtungen, die nicht erheblich in die bestehende sicherheitstechnische Steuerung der Maschine eingreifen.

Die **einfache Integration zusätzlicher Schutzeinrichtungen** ist auf solche beschränkt, die auch in die bereits vorhandenen sicherheitsbezogenen Teile der Steuerungssysteme (SRP/CS) der Maschine nicht wesentlich eingreifen:

- Es werden die Signale der neuen Schutzeinrichtungen in der bereits vorhandenen Ausführung des SRP/CS verarbeitet.
- Unabhängig von der vorhandenen Sicherheitssteuerung wird ausschließlich das sichere Stillsetzen der gefahrbringenden Maschinenfunktion bewirkt.

Als nicht wesentliche Veränderung gelten:

- Der Austausch von Bauteilen einer Maschine durch identische Bauteile oder Bauteile mit identischer Funktion und identischem Sicherheitsniveau.
- Der Einbau von Sicherheitsvorrichtungen, die zu einer Erhöhung des Sicherheitsniveaus der Maschine führen und keinen erweiterten Features oder Funktionen ermöglichen.

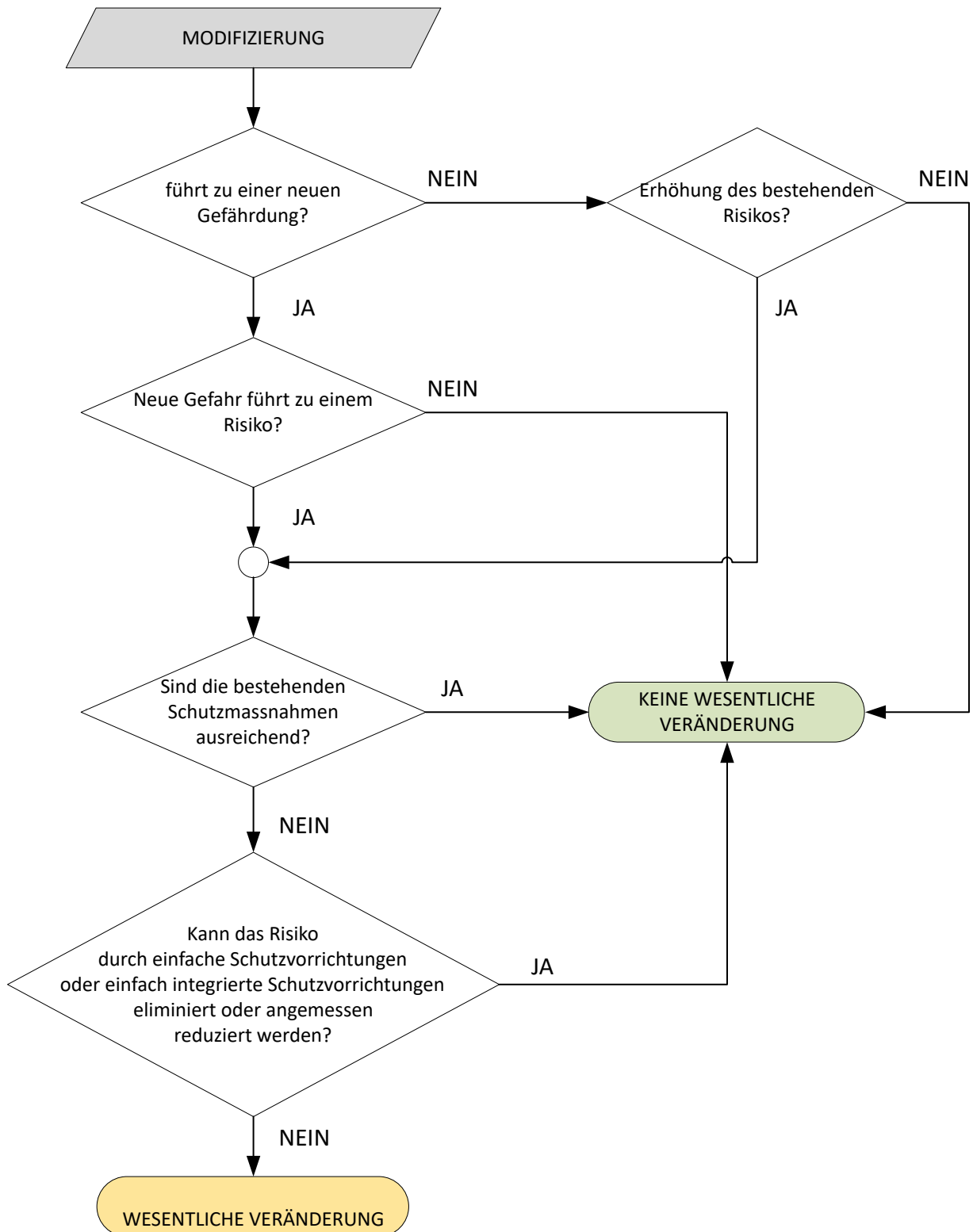


Abbildung 128: Entscheidungsschritte für die Feststellung einer wesentlichen Veränderung (Quelle: Interpretationspapier zum Thema "Wesentliche Veränderung von Maschinen", BMAS Deutschland 2015)

Anhang

Wie SICK Sie unterstützt

Eine Sicherheitsfunktion in eine Maschine oder in ein Maschinenkonzept zu integrieren, erfordert ein hohes Maß an sicherheitstechnischer Kompetenz. Um diese Kompetenz zu erreichen, sind nicht nur die praktischen Erfahrungen, die Aktualität und der Umfang des sicherheitstechnischen Wissens notwendig, sondern auch die Expertise in der Anwendung geeigneter Prozesse.

Mit mehr als 70 Jahren Erfahrung in der Maschinensicherheit ist SICK Ihr Safety-Partner mit sicherheitstechnischer Kompetenz.

Maßgeschneiderte Dienstleistungen bieten Ihnen die Expertise, die für die richtlinienkonforme Umsetzung Ihrer Maschinensicherheit erforderlich ist.

SICK leistet damit einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Sicherheitskultur in Ihrem Unternehmen mit den folgenden Zielen:

- der Verbesserung der Sicherheit bei bestehenden Maschinen und Anlagen
- der integralen Sicherheit bei der Beschaffung von neuen Maschinen und Anlagen
- der Unterstützung der Konstrukteure bei der Anwendung des CE-Verfahrens und bei der Anwendung konstruktiver Maßnahmen zur Risikominimierung

SICK als Ihr Partner für die Maschinensicherheit bietet:

- Erfahrung über Jahrzehnte
- innovative Lösungsideen auf dem neusten Stand der Technik
- internationale Präsenz mit Experten

Durch die Einbindung von SICK-Experten in einer frühen Phase wird Folgendes erreicht:


- wird Sicherheit als integraler Teil eines Projekts geplant.
- werden potenzielle Schwachpunkte frühzeitig identifiziert.
- wird Überdimensionierung vermieden.
- wird Effektivität und Wettbewerbsfähigkeit sichergestellt.

Dienstleistungen von SICK schaffen höhere Sicherheit und einen wirtschaftlichen Mehrwert.

Der SICK-Prozess zu den Dienstleistungen für Konformität und Konzeption sicherer Maschinen und Anlagen

SICK-Dienstleistungen im Bereich „Beratung und Design für Maschinensicherheit“ werden gemäß dem nachfolgend abgebildeten Prozess realisiert. Im Prozess sind die zu jeder Phase gehörenden Dienstleistungsprodukte von SICK zu erkennen. Diese können Sie einzeln oder als eine umfassende Leistung im Rahmen eines CE-Kennzeichnungsprozesses bestellen.

Tabelle 60: Dienstleistungen von SICK für Konformität und Konzeption von sicheren Maschinen und Anlagen

<p>Phase A</p>	<p>Spezifikation und Auftrag</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung der Maschinenfunktion und ihrer Grenzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentmanagementsystem (Traceability) • Umfassende Qualitätssicherung • Projektmanagementsystem 
<p>Phase B</p>	<p>Risikobeurteilung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risikobeurteilung als Basis für die Spezifikation der Sicherheitsanforderungen 	
<p>Phase C</p>	<p>Sicherheitskonzept</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitskonzept: Sicherheitsfunktionen mit dem erforderlichen Sicherheitsniveau 	
<p>Phase D</p>	<p>Systementwurf</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitshardwaredesign: Auswahl und Engineering der HW-Komponenten des Sicherheitssystems • Sicherheitssoftwaredesign: Design der SRP-/CS-Logik auf der Basis des Sicherheitskonzepts 	
<p>Phase E</p>	<p>Installation und Inbetriebnahme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Installation: Installation und Konfiguration der Schutzeinrichtungen • Inbetriebnahme und Validierung aller Sicherheitsfunktionen 	

Trainings und Workshops



Abbildung 129: Präsenztraining bei SICK

Praxiswissen für Anwender

Je mehr Erfahrung Sie haben, umso sicherer können Sie in der Regel mit Applikationen umgehen. Erfahrung zu vermitteln und dadurch Applikationen zu optimieren, ist ein wichtiger Bestandteil der Schulungen und Workshops von SICK. Diese sind daher besonders praxisorientiert.

Maßgeschneiderte Trainings

Je nach Bedarf unserer Teilnehmer und den zu vermittelnden Inhalten wählen wir die passenden Maßnahmen zur Wissensvermittlung und Transfersicherung:

- Safety-Training
- Normen- und Richtlinien-Training
- Workshops
- E-Learning
- modulare Schulungskonzepte
- Updateschulungen
- Web-Based Training



HINWEIS

Auf Wunsch führen wir unsere Trainings und Workshops auch bei Ihnen vor Ort durch. Sprechen Sie uns einfach an!

Normen- und Richtlinien-Training

Im Laufe der Zeit ändern sich gesetzliche Sachverhalte und Normen. Der Technologiewandel erfordert, sich auf Neuerungen einzustellen. In unseren modularen Schulungen zu sicherheitstechnischen Grundlagen vermitteln wir aktuelles Know-how zu folgenden Schwerpunktthemen:

- normengerechte Auswahl der passenden Schutzeinrichtung
- Integration der Schutzeinrichtung in die Gesamtsteuerung
- richtige Beurteilung von Schutzmaßnahmen basierend auf den gültigen Richtlinien, Normen und Verordnungen

Produkt-, System- und Softwaretraining

Bei diesen Schulungen lernen Sie unsere Produkte noch besser kennen, um sie effizient, zuverlässig und sicher in die geplante Applikation zu integrieren.

Der generelle Aufbau unserer Schulungen umfasst die unterschiedlichen Phasen, die während der Auswahl und Integration eines Produkts entstehen:

- Auswahl
 - Sicherheitsaspekte
 - Produkteigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten
- Integration
 - Anbau an die Anwendung (Montage) und Verdrahtung
 - Programmierung
 - Inbetriebnahme
- Sicherer Betrieb
 - Fehlerdiagnose und -behebung

Auf Wunsch erarbeitet SICK ein auf Ihre Anwendung zugeschnittenes Qualifizierungskonzept. Ein Angebot, das dazu beiträgt, die Arbeitsqualität zu optimieren und den sicherheitstechnischen Wissenstransfer zu beschleunigen.


Up to date bleiben

Damit Sie auf dem Laufenden und mit Ihrem Wissen am Puls der Zeit bleiben, bieten wir Ihnen spezielle Weiterbildungsmaßnahmen – abgestimmt auf Ihren Wissensstand.

Werden Sie zertifizierter Experte oder Techniker für funktionale Sicherheit. SICK bietet gemeinsam mit dem SGS-TÜV Saar ein spezielles mehrtägiges Training zu funktionaler Sicherheit an. Mit dem positiv abgeschlossenen Examen dürfen Sie den Titel "Certified Functional Safety Application Expert (CFSAE)" oder "Certified Functional Safety Application Technician (CFSAT)" z. B. auf Ihrer Visitenkarte verwenden.

CFSAE
by SGS-TÜV Saar

CFSAT
by SGS-TÜV Saar

-  **HINWEIS** Aktuelle Detailinformationen erhalten Sie im Internet unter www.sick.com/training oder in unserem Seminarprogramm.
- Für Trainings in Ihrem Land wenden Sie sich bitte an Ihre SICK-Vertretung oder besuchen Sie uns unter www.sick.com.

SICK – wir begleiten Ihre Anlage über den gesamten Produktlebenszyklus

Mit zertifizierten sicherheitstechnischen Produkten und individuell auf Ihre Aufgaben zugeschnittenen Leistungen bietet Ihnen SICK Unterstützung über den gesamten Lebenszyklus Ihrer Maschine. Von der Planung über die Inbetriebnahme bis zur Instandhaltung und Modernisierung.

Dienstleistungen von SICK	In sechs Schritten zur sicheren Maschine				
	§ Gesetze, Richtlinien, Normen	Schritt 1 Risikobeurteilung	Schritt 2 bis 4 Risikominderung: Die 3-Stufen-Methode	Schritt 5 bis 6 Gesamtvalidierung und Inverkehrbringen	Verantwortung des Betreibers 
Beratung und Design					
• Risikobeurteilung		✓			
• Sicherheitskonzept			✓		
• Sicherheitshardwaredesign			✓		
• Sicherheitssoftwaredesign			✓		
• Installation			✓		
• Inbetriebnahme			✓		
• Maschinensicherheitsbewertung					✓
Verifikation und Optimierung					
• Inspektion vor erstmaliger Inbetriebnahme				✓	✓
• Regelmäßige Inspektion					✓
• Maschinensicherheitsinspektion				✓	✓
• Überprüfung der elektrischen Ausrüstung				✓	✓
• Unfalluntersuchung					✓
• Nachlaufmessung				✓	✓
Training und Weiterbildung					
• Seminare	✓	✓	✓	✓	✓
• Anwenderschulungen					✓
• WebTraining	✓	✓	✓	✓	✓
Modernisierung und Nachrüstung					
• Ablösekits					✓
Produkt- und System-Support					
• Inbetriebnahme-Check					✓
• Helpline-Support					✓
• Vor-Ort-Troubleshooting					✓
• Tauschgeräte					✓
• Ersatzteile					✓
• Werkstattreparaturen					✓



Komponenten (Produkte)

Die Anwendung von zertifizierten Produkten erleichtert dem Maschinenhersteller den Nachweis der Konformität mit den Anforderungen der Maschinenrichtlinie und der verschiedenen Normen. SICK bietet den Maschinenherstellern eine breite Palette von Produkten, von der einfachen einstrahligen Sicherheitslichtschranke über Sicherheitslichtvorhänge, Sicherheitslaserscanner, sichere Kamerasysteme und Sicherheitsschalter bis hin zu modularen und netzwerkfähigen Sicherheitssteuerungen und Softwarelösungen für die Konformität von Maschinen.

Beratung: Unser Wissen – Ihr Anwendervorteil

SICK ist weltweit vertreten und hat in ca. 100 Industrieländern weltweit Tochtergesellschaften oder Vertretungen. In diesen erhalten Sie die benötigte fachliche Beratung durch unsere kompetenten Mitarbeiter. Diese unterstützen Sie nicht nur mit produkttechnischem Fachwissen, sondern auch mit ihrer Kenntnis des Marktes sowie der nationalen Gesetzgebung und Normung.



HINWEIS

- Produktübersicht Sicherheitstechnik, [Seite 131](#)
- Alle Produkte finden Sie online im Produktfinder unter www.sick.com
- Um mehr über das Dienstleistungsangebot in Ihrem Land zu erfahren, wenden Sie sich bitte an die SICK-Vertretung in Ihrem Land oder besuchen Sie uns unter [Functional Safety](#)

Eine Übersicht relevanter Normen

Tabelle 61: Relevante Typ-A, -B und -C Sicherheitsnormen, wie in diesem Leitfaden referenziert

Typ	Internationale Norm ISO/IEC	Europäische Norm EN	Titel bzw. Hinweis
A	ISO 12100	EN ISO 12100	Sicherheit von Maschinen – allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risiko-bewertung und Risikominderung

Typ	Internationale Norm ISO/IEC	Europäische Norm EN	Titel bzw. Hinweis
B	ISO 4413	EN ISO 4413	
	ISO 4414	EN ISO 4414	
	ISO 11161	EN ISO 11161	
	ISO 13849-1	EN ISO 13849-1	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen <ul style="list-style-type: none"> Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
	ISO 13849-2	EN ISO 13849-2	<ul style="list-style-type: none"> Teil 2: Validierung
	ISO 13850	EN ISO 13850	Not-Halt – Gestaltungsleitsätze
	ISO 13851	EN ISO 13851	Zweihandschaltungen – funktionelle Aspekte – Gestaltungsleitsätze
	ISO 13854	EN ISO 13854	Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen
	ISO 13855	EN ISO 13855	Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen
	ISO 13857	EN ISO 13857	Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen
	ISO 14118	EN ISO 14118	Vermeidung von unerwartetem Anlauf
	ISO 14119	EN ISO 14119	Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen – Leitsätze für Gestaltung und Auswahl
	ISO 14120	EN ISO 14120	Trennende Schutzeinrichtungen – allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau (wird zurzeit überarbeitet und zukünftig als EN ISO 14120 herausgegeben)
	ISO 14122-1	EN ISO 14122-1	
	ISO 14122-2	EN ISO 14122-2	
	ISO 14122-3	EN ISO 14122-3	
	ISO 14122-4	EN ISO 14122-4	
	ISO 14123-1	EN ISO 14123-1	
	ISO 14123-2	EN ISO 14123-2	
	ISO 14159	EN ISO 14159	
	ISO 19353	EN ISO 19353	
	ISO 20607	EN ISO 20607	Sicherheit von Maschinen – Betriebsanleitung – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze
	IEC 60204	EN 60204-1	Elektrische Ausrüstung von Maschinen <ul style="list-style-type: none"> Teil 1: Allgemeine Anforderungen
	IEC 61496-1	EN 61496-1	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen <ul style="list-style-type: none"> Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen
	IEC 61496-2	EN IEC 61496-2	<ul style="list-style-type: none"> Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, die nach dem aktiven optoelektronischen Prinzip arbeiten
	IEC 61496-3	EN IEC 61496-3	<ul style="list-style-type: none"> Teil 3: Besondere Anforderungen an diffuse Reflexion nutzende, aktive optoelektronische Schutzeinrichtungen (AOPDDR)
	IEC 61496-3	EN IEC 61496-3	<ul style="list-style-type: none"> Teil 3: Besondere Anforderungen an diffuse Reflexion nutzende, aktive optoelektronische Schutzeinrichtungen (AOPDDR)
IEC 62061	EN 62061	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme	
IEC 62046	EN IEC 62046	Anwendung von Schutzausrüstungen zur Anwesenheitserkennung von Personen	

Typ	Internationale Norm ISO/IEC	Europäische Norm EN	Titel bzw. Hinweis
C	-	EN 201	Gummi- und Kunststoffmaschinen; Spritzgießmaschinen – Sicherheitsanforderungen
	-	EN 289	Gummi- und Kunststoffmaschinen; Formpressen und Spritzpressen; sicherheitstechnische Anforderungen für die Gestaltung
	-	EN 415-X	Verpackungsmaschinen (*: Nur die Teile -1, -3 und -5 bis -9 dieser Norm sind harmonisiert)
	-	EN 422	Gummi- und Kunststoffmaschinen; Sicherheit – Blasformmaschinen zur Herstellung von Hohlkörpern – Anforderungen für Konzipierung und Bau
	-	EN 528	Regalbediengeräte – Sicherheit
	-	EN 710	Sicherheitsanforderungen an Gießereimaschinen und -anlagen der Form- und Kernherstellung und dazugehörige Einrichtungen
	-	EN 869	Sicherheitsanforderungen für Metall-Druckgießanlagen
	ISO 1010-X	EN ISO 1010-X	Druck- und Papierverarbeitungsanlagen
	-	EN 1114-1	Gummi- und Kunststoffmaschinen – Extruder und Extrusionsanlagen Teil 1: Sicherheitsanforderungen für Extruder
	-	EN 1459	Sicherheit von Maschinen – Stapler mit veränderlicher Reichweite
	-	EN 1526	Sicherheit von Flurförderzeugen – zusätzliche Anforderungen für automatische Funktionen von Flurförderzeugen
	-	EN 1612	Gummi- und Kunststoffmaschinen – Reaktionsgießmaschinen • Teil 1: Sicherheitsanforderungen an Misch- und Dosiereinheiten
	-	EN 1672-1	Nahrungsmittelmaschinen – Sicherheits- und Hygieneanforderungen – allgemeine Gestaltungsleitsätze
	ISO 3691-4	EN ISO 3691-4	Sicherheit von Flurförderzeugen – fahrerlose Flurförderzeuge und ihre Systeme
	ISO 10218-1	EN ISO 10218-1	Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen • Teil 1: Roboter
	ISO 10218-2	EN ISO 10218-2	• Teil 2: Industrierobotersystem und Integration
	ISO 11111-1	EN ISO 11111-1	Textilmaschinen – Sicherheitsanforderungen • Teil 1: Gemeinsame Anforderungen
	ISO 12622	EN 12622	Hydraulische Gesenkbiegepressen
	-	EN ISO 16092-1 in Verbindung mit EN ISO 16092-2 (ersetzt EN 692)	Werkzeugmaschinen Sicherheit - Pressen - Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen Werkzeugmaschinen - Sicherheit von Pressen - Teil 2: Mechanische Pressen
	-	EN ISO 16092-1 in Verbindung mit EN ISO 16092-3 (ersetzt EN 693)	Werkzeugmaschinen Sicherheit - Pressen - Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen Werkzeugmaschinen Sicherheit - Pressen - Teil 3: Sicherheitsanforderungen für hydraulische Pressen
-	EN ISO 16092-1 in Verbindung mit EN ISO 16092-4 (ersetzt EN 13736)	Werkzeugmaschinen Sicherheit - Pressen - Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen Werkzeugmaschinen - Sicherheit von Pressen - Teil 4: Pneumatische Pressen	
ISO 20430	EN ISO 20430	Kunststoff- und Gummimaschinen - Spritzgießmaschinen - Sicherheitsanforderungen	

Nützliche Links

Tabelle 62: Liste relevanter Links

Wo finde ich ...?	
Richtlinientexte (EU)	Vollständige Texte der Richtlinien unter anderem im Rechtsinformationssystem EUR-Lex der Europäischen Union: eur-lex.europa.eu
Normenlisten	Europäische Kommission, harmonised standards www.baua.de www.vdma.org Europäische Kommission: www.ec.europa.eu/growth/index_en.htm Beuth Verlag GmbH: www.beuth.de
Normenherausgeber, international	CEN: www.cen.eu/cenorm/homepage.htm CENELEC: www.cenelec.eu ISO: www.iso.org/iso/home.htm IEC: www.iec.ch
Normenherausgeber, deutschsprachig	Deutschland (DIN): www.din.de Österreich (ON): www.as-institute.at Schweiz (SNV): www.snv.ch
Normenherausgeber, europäisch	Belgien (NBN): www.nbn.be Bulgarien (BDS): www.bds-bg.org Dänemark (DS): www.ds.dk Estland (EVS): www.evs.ee Finnland (SFS): www.sfs.fi Frankreich (AFNOR): www.afnor.org Griechenland (ELOT): www.elot.gr Großbritannien (BSI): www.bsigroup.com Irland (NSAI): www.nsai.ie Island (IST): www.stadlar.is Italien (UNI): www.uni.com/it Lettland (LVS): www.lvs.lv Litauen (LST): www.lsd.lt Luxemburg (SEE): www.see.lu Malta (MSA): www.msa.org.mt Niederlande (NEN): www2.nen.nl Norwegen (SN): www.standard.no Polen (PKN): www.pkn.pl Portugal (IPQ): www.ipq.pt Rumänien (ASRO): www.asro.ro Schweden (SIS): www.sis.se Slovenien (SIST): www.sist.si Slowakien (SUTN): www.sutn.sk Spanien (AENOR): www.aenor.es Tschechien (CNI): www.unmz.cz/urad/unmz Ungarn (MSZT): www.mszt.hu Zypern (CYS): www.cys.org.cy
Notifizierte Zertifizierungsstellen Deutschland	Europäische Kommission, Notified Bodies Germany
Notifizierte Zertifizierungsstellen Österreich	Europäische Kommission, Notified Bodies Austria
Notifizierte Zertifizierungsstellen Schweiz	Europäische Kommission, Notified Bodies Switzerland
Liste der berufsgenossenschaftlichen Fachausschüsse (Deutschland)	Fachbereiche der DGUV

Wo finde ich ...?	
Unfallversicherungsträger	Deutschland: Berufsgenossenschaften/Unfallkassen Österreich: Allgemeine Unfallversicherung: www.auva.at Schweiz: Schweizerische Unfallverhütungsanstalt: www.suva.ch

Co-Autoren und Danksagung

Die SICK AG und das Redaktionsteam bedanken sich herzlich bei allen Co-Autoren, die an diesem Leitfaden mitgewirkt haben, sei es durch Hinweise auf notwendige Korrekturen, Foto- oder Textbeiträge. Auch zahlreiche Leser der vorhergehenden Ausgabe dieses Leitfadens haben durch ihre hohe Sachkenntnis und die Rückmeldungen aus der Praxis zum Gelingen dieser Aktualisierung beigetragen. Danke für diese Unterstützung!

Insbesondere danken wir (Nennung in alphabetischer Reihenfolge):

- Dr. Tilmann Bork, Festo SE & Co. KG
- Pablo Ruiz, Festo SE & Co. KG
- SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG

SICK AUF EINEN BLICK

SICK ist einer der führenden Hersteller von intelligenten Sensoren und Sensorlösungen für industrielle Anwendungen. Mit über 10.000 Mitarbeitern und mehr als 50 Tochtergesellschaften und Beteiligungen sowie zahlreichen Vertretungen weltweit ist SICK immer in der Nähe seiner Kunden. Ein einzigartiges Produkt- und Dienstleistungsspektrum schafft die perfekte Basis für sicheres und effizientes Steuern von Prozessen, für den Schutz von Menschen vor Unfällen und für die Vermeidung von Umweltschäden.

SICK verfügt über umfassende Erfahrung in vielfältigen Branchen und kennt ihre Prozesse und Anforderungen. Mit intelligenten Sensoren liefert SICK genau das, was die Kunden brauchen. In Applikationszentren in Europa, Asien und Nordamerika werden Systemlösungen kundenspezifisch getestet und optimiert. Das alles macht SICK zu einem zuverlässigen Lieferanten und Entwicklungspartner.

Umfassende Dienstleistungen runden das Angebot ab: SICK LifeTime Services unterstützen während des gesamten Maschinenlebenszyklus und sorgen für Sicherheit und Produktivität.

Das ist „Sensor Intelligence.“

Weltweit in Ihrer Nähe:

Australien, Belgien, Brasilien, Chile, China, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Hongkong, Indien, Israel, Italien, Japan, Kanada, Malaysia, Mexiko, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Rumänien, Russland, Schweden, Schweiz, Singapur, Slowakei, Slowenien, Spanien, Südafrika, Südkorea, Taiwan, Thailand, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, USA, Vereinigte Arabische Emirate, Vietnam.

Ansprechpartner und weitere Standorte → www.sick.com

