

Sicherheitsbauteile: Maschinenrichtlinie vs. EN ISO 13849-1

„Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“ =
„Sicherheitsbauteile“?

Hersteller von sicherheitsgerichteten Maschinensteuerungen greifen regelmäßig auf Komponenten anderer Hersteller (im Folgenden Bauteilhersteller) zurück, die als Sicherheitsbauteile nach der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (MRL) auf dem Markt bereitgestellt werden (z.B. Sicherheits-SPS). Dabei erzeugen sie ggf. wiederum Sicherheitsbauteile, siehe [„Der Schaltschrank unter dem Dach der Maschinenrichtlinie“](#)). Teilweise greifen sie aber auch auf andere Bauteile zurück, wie unvollständige Maschinen (z.B. [bestimmte Ventile](#)), die nach Maschinenrichtlinie nur eine Einbauerklärung erhalten, oder sie nutzen Komponenten (z.B. einfache Schaltgeräte), die für sich genommen nicht unter die MRL fallen.

Gleichzeitig stellt die nach der MRL harmonisierte Norm EN ISO 13849-1:2015 Anforderungen an sicherheitsgerichtete Steuerungen und in diesem Zusammenhang auch Anforderungen an Bauteile, die diese erfüllen müssen, um als „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“ (SRP/CS) in Sicherheitsfunktionen eingesetzt werden zu können. Wie hängt das zusammen? Gibt die Steuerungsnorm evtl. sogar Auskunft darüber, wann ein bestimmtes Bauteil ein Sicherheitsbauteil ist? Diese Anforderungen werden zum Teil durch die ebenfalls harmonisierte Norm EN ISO 13849-2:2012 konkretisiert.

Sicherheitsbauteile
oder nur Bauteile
mit Sicherheitsfunktion?

Die Hersteller von Steuerungsbauteilen für Maschinen stehen häufig vor der Frage: „Sind meine Bauteile Sicherheitsbauteile nach der MRL?“. Eine Frage, die gerne und schnell mit „Nein“ beantwortet wird. Zwar werden „Sicherheitskennwerte“ angegeben, aber ein Sicherheitsbauteil soll es dann doch lieber nicht sein. Der Kunde, der solche Bauteile für seine Steuerung kauft, erhält damit den „Schwarzen Peter“. Setzt er solche Bauteile in eine sicherheitsgerichtete Steuerung ein, trägt er die Verantwortung. Nur ist das so richtig? Kann sich der Bauteilhersteller einfach so seiner Verantwortung entziehen? Diese Artikel soll auf Basis der EN ISO 13849 Reihe Antworten finden auf die Frage, wann ein solches Bauteil automatisch als Sicherheitsbauteil einzustufen ist.

Inhaltsverzeichnis	
Aufbau des Fachartikels.....	4
Pflicht oder Kür?.....	4
Sicherheitsbauteil nach Maschinenrichtlinie	5
Definition Sicherheitsbauteil.....	5
Erfüllung der Definition	6
„Übliches Bauteil“ nach Maschinenrichtlinie.....	7
Sicherheits-bezogene Teile von Steuerungen nach 13849-1	8
Vergleich der Anforderungen aus MRL und 13849-1.....	10
Allgemeines.....	10
Grundlegende Sicherheitsprinzipien.....	10
Bewährte Sicherheitsprinzipien.....	12
Betriebsbewährte Bauteile	12
Bewährte Bauteile	13
Mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall	15
Fazit	17
Anhang: Einschätzung der grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien	19



Dipl.-Ing. Hans-J. Ostermann

www.maschinenrichtlinie.de

Stand:14. September 2018



15. MASCHINENBAUTAGE KÖLN 2018



Die Woche rund um die Maschinenrichtlinie



16. Oktober MASCHINENRECHTSTAG

Komprimiertes Wissen rund um das Maschinenrecht.

Compliance im Bau, Handel, Umbau und Betrieb von Maschinen und Anlagen.

Von Juristen für Juristen, Geschäftsführer, ...

17. – 18. Oktober MASCHINENRICHTLINIE

Die Konferenz rund um die Maschinenrichtlinie.

Maschinen und Anlagen herstellen, handeln, umbauen.

Praktische Lösungen für den Hersteller im europäischen Binnenmarkt.

19. Oktober WORKSHOPS

- CE-konforme Beschaffung von Maschinen und Anlagen
- EN ISO 13849-1 in der Praxis
- Safety and Security: Hacker-Workshop



Vom 16. bis 18. Oktober werden die Vorträge simultan ins Englische / Deutsche übersetzt.

Weitere Informationen auf www.maschinenbautage.eu



Aufbau des Fachartikels

Eingangs wird der Stellenwert der Normenreihe EN ISO 13849 im europäischen Rechtssystem erläutert.

Danach wird die Definition eines Sicherheitsbauteils nach MRL betrachtet und es wird herausgestellt, warum der Begriff „übliches Bauteil“ von zentraler Bedeutung für die o.a. Fragestellung ist.

Im Anschluss wird der Begriff „übliches Bauteil“ konkretisiert.

Danach werden die Anforderungen an sicherheitsbezogene Steuerungen aus Sicht der EN ISO 13849-1 und 2 herausgestellt, die ebenfalls von zentraler Bedeutung für die o.a. Fragen sind.

Diese Anforderungen werden dann in den darauffolgenden Kapiteln einzeln betrachtet und am

Begriff „übliches Bauteil“ gemessen.

Am Ende erfolgt das Fazit.

Im nachfolgenden Anhang wird dem Leser Unterstützung für die Einschätzung „übliches Bauteil“ gegeben.

Pflicht oder Kür?

Verpflichtend sind für den Steuerungshersteller die Anforderungen der MRL. Diese bestimmt, was ein Sicherheitsbauteil ist.

Die Anwendung harmonisierter Normen, wie die EN ISO 13849-1 und 2 ist dagegen freiwillig. Sie bietet rechtssystematisch nur den Vorteil einer „Konformitätsvermutung“. Dennoch kommt der Hersteller einer „Sicherheitssteuerung“ rein faktisch kaum hieran vorbei. Es sei denn er weist auf andere Weise nach, dass er den von der MRL verlangten Stand der Technik

eingehalten hat. Dieser in der Regel wohl eher theoretisch mögliche Weg soll hier aber nicht weiterverfolgt werden.

Die Frage, die sich stellt ist, ob ein Rückschluss von diesen Normen auf die MRL zulässig ist:

- Sind Bauteile, für die ein Hersteller die Einhaltung der Anforderungen der EN ISO 13849-1:2015 und EN ISO 13849-2:2012 an „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“ garantiert, damit automatisch „Sicherheitsbauteile“ nach der MRL?

bzw.

- Können diese Bauteile auch dann noch als „unvollständige Maschinen“ bzw. „Komponenten“ bereitgestellt werden?

Die Aussagen in diesem Fachartikel beziehen sich, wo nicht anders erwähnt, auf die EN ISO 13849-1:2015 (13849-1) und die EN ISO 13849-2:2012 (13849-2).

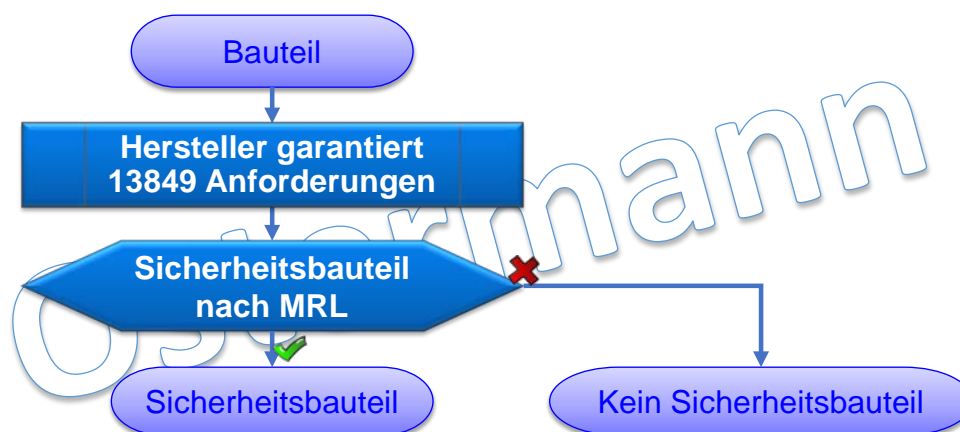


Abbildung 1: Fragestellung

Sicherheitsbauteil nach Maschinen- richtlinie

Definition

Sicherheitsbauteil

Nach Artikel 2 c) der MRL ist ein

„Sicherheitsbauteil ein Bauteil,

- *das zur Gewährleistung einer Sicherheitsfunktion dient,*
- *gesondert in Verkehr gebracht wird,*
- *dessen Ausfall und/oder Fehlfunktion die Sicherheit von Personen gefährdet und*
- *das für das Funktionieren der Maschine nicht erforderlich ist oder durch für das Funktionieren der Maschine übliche Bauteile ersetzt werden kann. [...]*“

Die einzelnen Kriterien bedeuten dabei:

1. Gewährleistung einer Sicherheitsfunktion

Der wesentliche Punkt in den Listensätzen dieser Definition ist die Frage, ob ein „Bauteil“ der Gewährleistung einer „Sicherheitsfunktion“ dient. Zu diesem Thema siehe ausführlich die Erläuterungen auf maschinenrichtlinie.de:

[Gewährleistung einer Sicherheitsfunktion](#)

Kurz gefasst bedeutet „Sicherheitsfunktion“ die

Erfüllung einer Schutzmaßnahme, um ein Risiko an einer Maschine / Anlage zu verringern. Siehe hierzu auch [§ 42 des EU-Leitfadens zur Maschinenrichtlinie](#).

Bauteile, die bestimmungsgemäß im Rahmen eines SRP/CS (Safety-Related Parts of a Control System) nach 13849-1 eingesetzt werden sollen (Bauteil), müssen in diesem Sinne eine Sicherheitsfunktion gewährleisten.

2. Gesondert in Verkehr bringen

Nach der Fragestellung werden in diesem Fachartikel Bauteile betrachtet, die der Hersteller der Maschinensteuerung zukaufft. Der Sonderfall „Eigenherstellung“ muss hier somit nicht weiter betrachtet werden.

Diese Bauteile werden damit vom Bauteilhersteller „gesondert in den Verkehr gebracht“. Hierbei ist es unerheblich, ob es sich um Serienprodukte oder Einzelfertigungen handelt.

Der Sonderfall „verlängerte Werkbank“ soll hier nicht weiter betrachtet werden. Er wird ausführlich beschrieben unter

[Verlängerte Werkbank](#)

3. Ausfall und/oder Fehlfunktion gefährdet die Sicherheit von Personen

Werden die „Bauteile“ in einem SRP/CS eingesetzt, gefährdet deren Ausfall die Sicherheit von Personen (siehe 1.).

4.1 Für das Funktionieren der Maschine nicht erforderlich ist ...

Soweit ein „Bauteil“, das bestimmungsgemäß eine „Sicherheitsfunktion“ an einer Maschine / Anlage übernehmen soll, für das Funktionieren der Maschine nicht erforderlich ist, ist es damit nur für deren Sicherheit konzipiert. Dieses „Bauteil“ muss damit, soweit die Bedingungen von 1., 2. und 3. ebenfalls zutreffen, zwangsläufig als Sicherheitsbauteil in Verkehr gebracht werden. Eine eindeutige und aus sich heraus verständliche Regelung, so dass sich eine weitere Betrachtung hier erübrigt.

4.2 ... oder durch für das Funktionieren der Maschine übliche Bauteile ersetzt werden kann.

Handelt es sich um Bauteile, die auch für das Funktionieren der Maschine / Anlage erforderlich sind, ist

zu untersuchen, ob diese Bauteile durch „übliche

Bauteile“ ersetzt werden können oder anders

ausgedrückt, mehr als „übliche Bauteile“ sind.

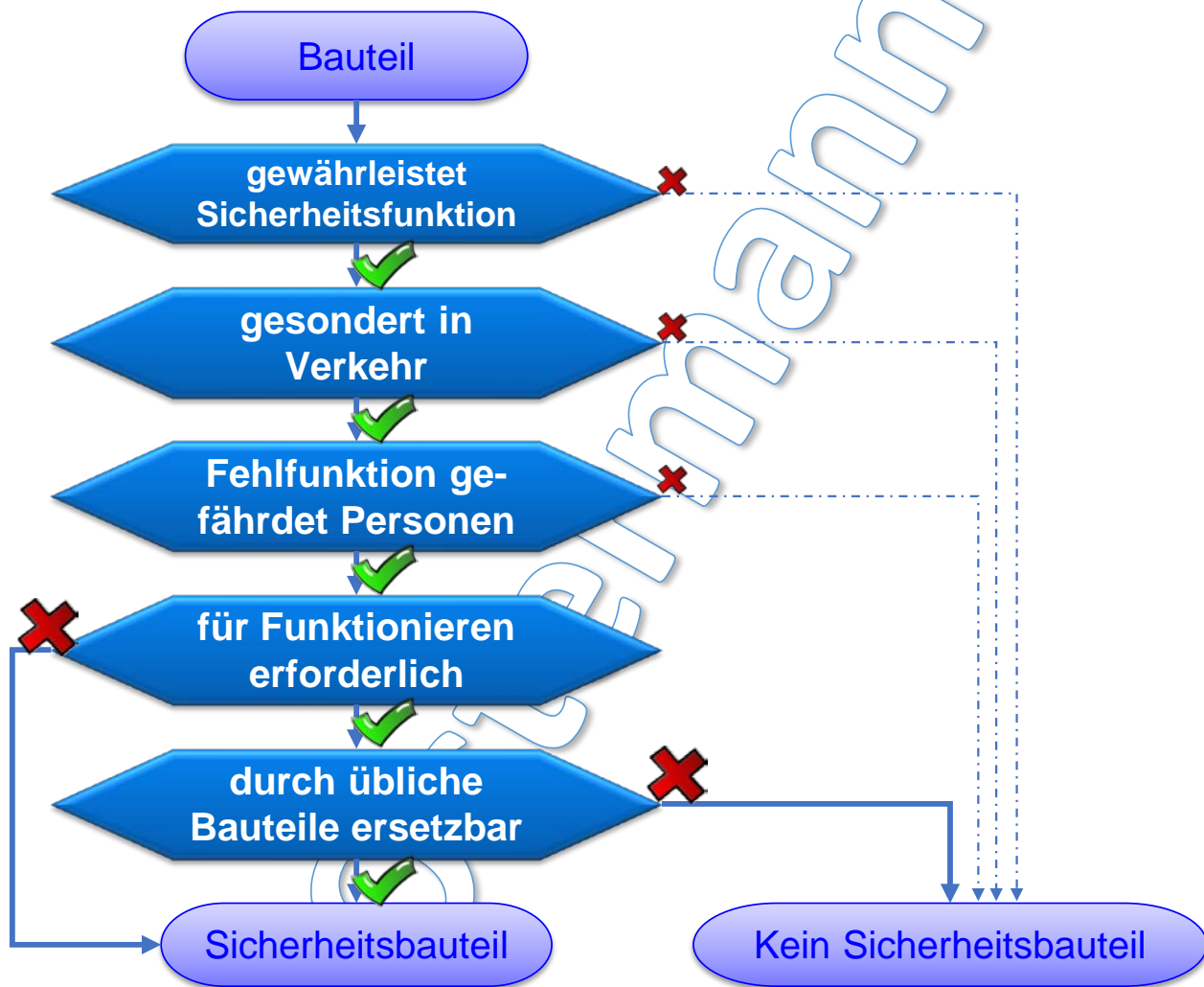


Abbildung 2: Entscheidungsbaum nach MRL

Erfüllung der Definition

Die ersten drei Kriterien der Definition „Sicherheitsbauteil“ treffen auf die hier betrachteten Bauteile immer zu und müssen deshalb nicht weiter untersucht werden. Daraus folgt, dass nur noch das letzte Kriterium untersucht werden muss. Ein solches Bauteil zum Einbau in ein SRP/CS ist immer dann ein Sicherheitsbauteil, wenn

es über die Kriterien 1 bis 3 hinaus

- keine Prozessfunktion übernehmen kann, oder
 - eine Sicherheitsfunktion **und** eine Prozessfunktion übernimmt, dabei aber mehr ist als ein für die Prozessfunktion „übliches Bauteil“.
- In diesem Fall könnte es nämlich durch ein

„übliches Bauteil“ ersetzt werden.

Somit reduziert sich die gestellte Frage auf:

- Sind Bauteile, für die ein Hersteller die Einhaltung der Anforderungen der 13849-1 und 13849-2 an „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“ garantiert, mehr als ein „übliches Bauteil“ im Sinne der MRL?

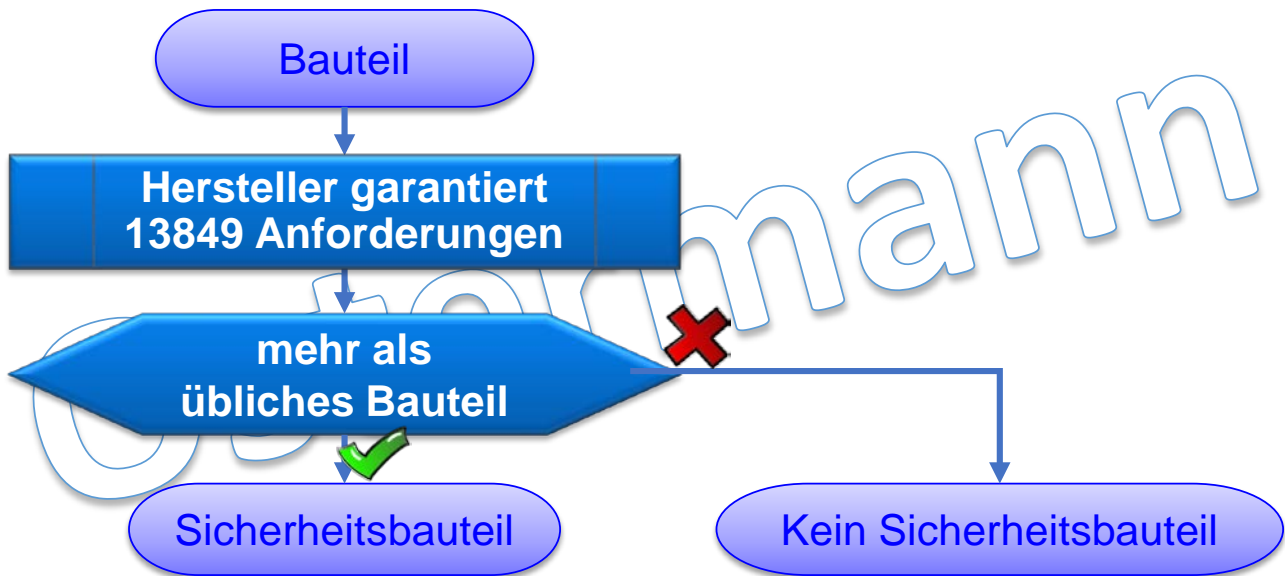


Abbildung 3: Fragestellung nach MRL

„Übliches Bauteil“ nach Maschinenrichtlinie

Zum Thema „übliches Bauteil“ siehe die ausführlichen Erläuterungen auf maschinenrichtlinie.de:

Was ist unter einem „üblichen Bauteil“ zu verstehen?

Das Fazit hieraus ist: „Übliche Bauteile“ im Zusammenhang mit der Definition eines Sicherheitsbauteils sind Bauteile, die ein Hersteller üblicherweise wählen würde, um die reine Prozessfunktion einer Maschine zu ermöglichen, wenn er keine „Sicherheit“ gewährleisten muss.

Der EU Leitfaden zur Maschinenrichtlinie erläutert hierzu in seinem [§ 42](#):

„[...] Gesondert in Verkehr gebrachte Bauteile, die vom Bauteilehersteller für Funktionen vorgesehen sind, die sowohl Sicherheits- als auch Betriebsfunktionen abdecken, oder die vom Bauteilehersteller entweder für Sicherheits- oder für Betriebsfunktionen der Maschine vorgesehen sind, gelten als Sicherheitsbauteile. Zum Beispiel ist ein Hydraulikventil, dazu konstruiert und spezifiziert um in der Lage zu sein eine Sicherheitsfunktion wie auch eine Prozessfunktion zu erfüllen, ein Sicherheitsbauteil, soweit die anderen Teile der Definition erfüllt werden. Ein ähnliches Ventil, das der Hersteller für den normalen Prozessgebrauch vertreibt, wird jedoch nicht als Sicherheitsbauteil angesehen. [...]“ (Übersetzung von Satz 2 und 3 durch den Autor)

Eine konkrete Einschätzung gibt der Leitfaden in seinem [§ 389](#) in Nummer 8 an:

„[...] Die Überlastsicherung und Bewegungsbegrenzung an Maschinen zum Heben von Lasten erfolgt im Allgemeinen durch ein aus mehreren Bauteilen bestehendes System, das unter anderem eine elektronische Steuereinheit (ECU), Sensoren, hydraulische Stellelemente usw. umfasst.

Von entscheidender Bedeutung für die Sicherheitsfunktion ist die ECU, in die entsprechende Software eingebettet ist. Eine ECU mit der entsprechend eingebetteten Software gilt daher als Sicherheitsbauteil, egal ob sie gesondert oder als Teil eines Überwachungssystems geliefert wird. Ein vollständiges Überwachungssystem ist

ebenfalls als Sicherheitsbauteil zu betrachten.“

Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen nach 13849-1

Harmonisierte Normen sollen den Anwender der MRL dabei unterstützen, die Bestimmungen der MRL in Bezug auf Sicherheit und Gesundheitsschutz umzusetzen. Auch wenn damit die Interpretation des sog. verfügenden Teils der MRL nicht Aufgabe harmonisierter Normen ist, liegt die Frage auf der Hand: Können die 13849-1 und 13849-2 dabei helfen, „übliche Bauteile“ von „Sicherheitsbauteilen“ zu unterscheiden?

Nach 13849-1 ist der sicherheitsbezogene Teil einer Steuerung (SRP/CS) der Teil, der „auf sicherheitsbezogene Eingangssignale reagiert und

sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt“. Gleichzeitig beschreibt die Norm, dass die Kombination von SRP/CS dort beginnt, wo sicherheitsbezogene Signale erzeugt werden und erst an den Ausgängen der Leistungssteuerungselemente endet.

Ein SRP/CS ist damit sowohl die gesamte Sicherheitskette einer Steuerung als auch jedes einzelne Bauteil der Kette selbst.

Aus der Architektur eines SRP/CS (einkanalig/ mit Testung/ zweikanalig) ergibt sich, welcher Kategorie diese Verknüpfung aus Bauteilen maximal zugeordnet werden kann. Für die einzelnen Kategorien (B, 1, 2, 3, 4) legt die 13849-1 in ihrem Abschnitt 6.2 zusätzlich zur Architektur verschiedene Bedingungen für Bauteile fest, die für die gegebene Frage nach einem „üblichen

Bauteil im Sinne der MRL“ wichtig sind.

Für alle Kategorien gibt die 13849-1 vor, dass „die grundlegenden Sicherheitsprinzipien für die bestimmte Anwendung“ genutzt werden müssen.

Für die Kategorie 1 wird in Abschnitt 6.2.4 zusätzlich gefordert, dass die gesamte SRP/CS „unter Verwendung bewährter Bauteile **und** bewährter Sicherheitsprinzipien gestaltet und gebaut werden“ muss.

Für die Kategorien 2 bis 4 müssen für SRP/CS zusätzlich zu den „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ die „bewährten Sicherheitsprinzipien“ befolgt werden.

Es ergibt sich somit folgende Übersicht:

Tabelle 1: Anforderungen an Bauteile durch Kategorien des SRP/CS

Kategorie	grundlegende Sicherheitsprinzipien	bewährte Sicherheitsprinzipien	bewährte Bauteile
B	x		
1	x	x	x
2	x	x	
3	x	x	
4	x	x	

Anmerkung:

Eine Gesamtübersicht aller Anforderungen an die einzelnen Kategorien ist in Tabelle 2 der 13849-2 gegeben.

Um die für Kategorien 2, 3 und 4 geforderte Vermeidung von Ausfällen des SRP/CS durch Fehler gemeinsamer Ursache (CCF) nachzuweisen, empfiehlt die Norm in ihrer Tabelle F.1 als eine Teilmaßnahme ebenfalls den Einsatz von „bewährten Bauteilen“.

Weiterhin ist es in der Regel nötig, dass der Bauteilhersteller dessen „mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall“ (MTTF_D) nach Abschnitt 4.5.2 der 13849-1 angibt. Falls der MTTF_D Wert nicht angegeben werden kann,

bietet die 13849-1 in Abschnitt 4.5.5 auch ein alternatives Verfahren für mechanische, hydraulische oder pneumatische Bauteile an. Die hierin festgelegten erweiterten Anforderungen sind in folgender Übersicht dargestellt:

Tabelle 2: Anforderungen an Bauteile durch Kategorien des SRP/CS, wenn MTTF_D unbekannt ist

Max PL	Kategorie	grundlegende Sicherheitsprinzipien	bewährte Sicherheitsprinzipien	bewährte Bauteile	bewährte oder betriebsbewährte Bauteile
b	B	x			
c	1	x	x	x	
c	2	x	x		x
d	3	x	x		x
e	4	x	x		x

Soll also ein zugekauftes Bauteil in einem SRP/CS problemlos eingesetzt werden, muss der Bauteilhersteller angegeben haben, dass bei dessen Herstellung die „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ eingehalten wurden und ggf., dass zusätzlich „bewährte Sicherheitsprinzipien“ eingehalten wurden, sowie ggf., dass es sich um ein „bewährtes Bauteil“ oder „betriebsbewährtes Bauteil“ handelt.

Somit muss die gestellte Frage aufgeteilt werden auf:

- Sind Bauteile, für die der Hersteller die Einhaltung „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ der 13849-1 und 13849-2 garantiert, mehr als ein „übliches Bauteil“ im Sinne der MRL?
- Sind Bauteile, für die der Hersteller die Einhaltung „bewährten Sicherheitsprinzipien“ der 13849-1 und 13849-2 garantiert, mehr als ein „übliches Bauteil“ im Sinne der MRL?

- Sind „Betriebsbewährte Bauteile“ nach 13849-1 und 13849-2, mehr als ein „übliches Bauteil“ im Sinne der MRL?
- Sind „Bewährte Bauteile“ nach 13849-1 und 13849-2, mehr als ein „übliches Bauteil“ im Sinne der MRL?
- Sind Bauteile, für die ein Hersteller die „Mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall“ nach 13849-1 und 13849-2 angibt, mehr als ein „übliches Bauteil“ im Sinne der MRL?

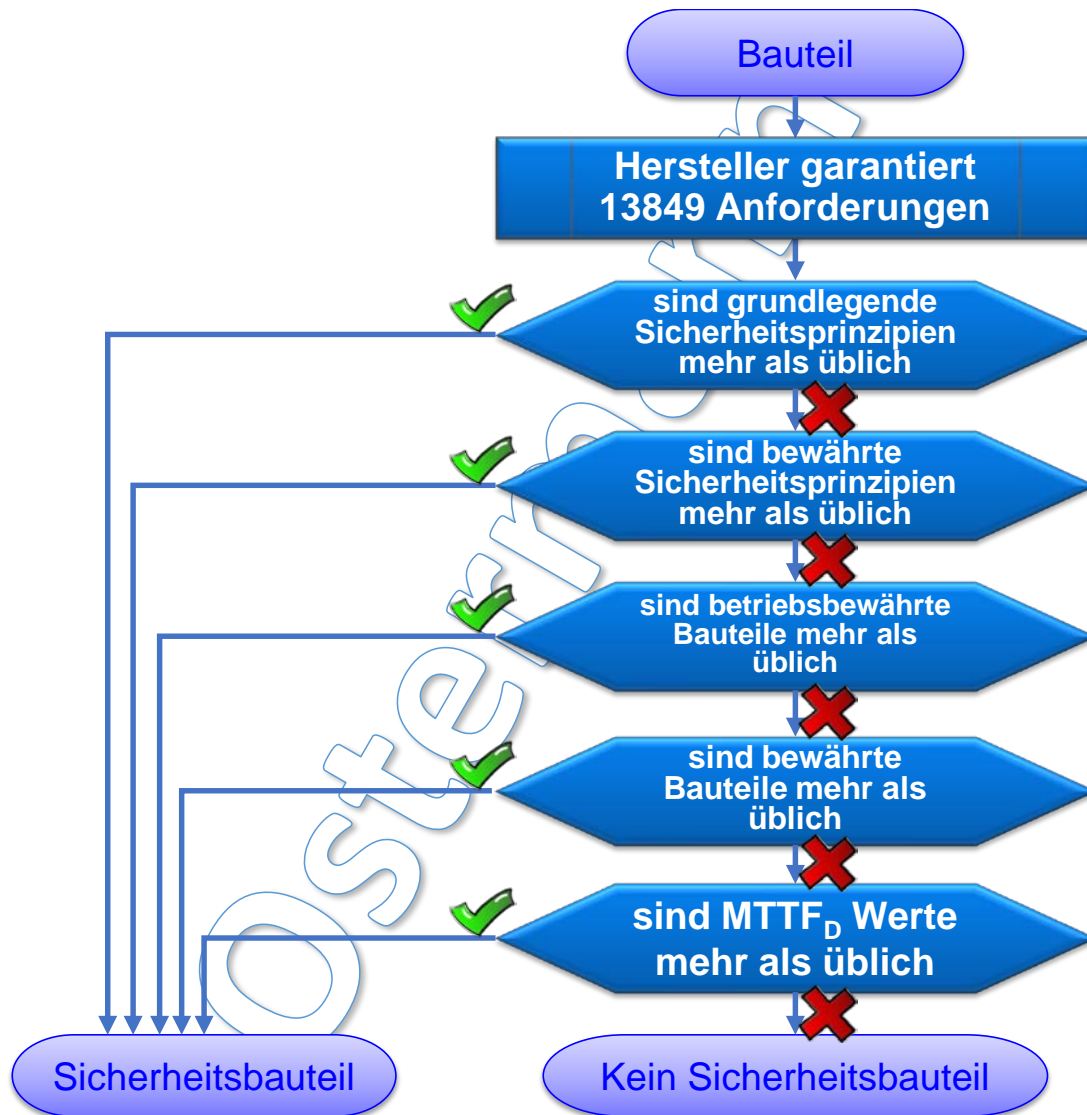


Abbildung 4:Fragestellung nach MRL und 13849

Vergleich der Anforderungen aus MRL und 13849-1

Allgemeines

Wie oben dargestellt, darf ein Bauteil dann in Sicherheitsfunktionen nach 13849-1 eingesetzt werden, wenn der Bauteilhersteller ihm bestimmte Eigenschaften zuordnet.

Um festzustellen, ob diese vom Bauteilhersteller zugesicherten Eigenschaften das Bauteil zum Sicherheitsbauteil machen, muss, soweit dieses Bauteil auch Prozessfunktionen übernimmt, geprüft werden, ob und wie weit diese zugesicherten Eigenschaften über die Eigenschaften eines „üblichen“ (Prozess-)Bauteils hinausgehen. Dies soll nachfolgend im Einzelnen überprüft werden.

Grundlegende Sicherheitsprinzipien
 Die „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ werden von der 13849-1 selbst nicht definiert. Sie verweist hierzu in ihrem informativen Anhang C auf die Tabellen A.1, B.1, C.1 und D.1 der 13849-2.

Die in Tabelle A.1 der 13849-2 gelisteten „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“

beinhalten neben der Forderung nach „Anwendung des Prinzips der Energietrennung“ und „Trennung“ nur grundlegende Anforderungen aus der Maschinenrichtlinie, die nicht spezifisch für Sicherheitsbauteile sind, sowie Vorgaben die gute Ingenieurpraxis sind.

In den Tabellen B.1 und C.1 der 13849-2 finden sich jeweils zusätzlich die Anforderungen „Druckbegrenzung“ und „Schutz gegen unerwarteten Anlauf“. In der Tabelle D.1 der 13849-2 findet sich neben dem „Schutz gegen unerwarteten Anlauf“ auch die Forderung, „aufeinander folgendes Schalten bei Stromkreisen mit Reihenanschlüssen redundanter Signale“ zu beachten.

Auf Basis dieser Anforderungen lässt sich die Frage

- Sind Bauteile, für die ein Hersteller die Einhaltung „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ der 13849-1 und 13849-2 garantiert, mehr als ein „übliches Bauteil“?

wie folgt beantwortet:

Die Einhaltung von grundlegenden Anforderungen aus der

Maschinenrichtlinie, die nicht spezifisch für Sicherheitsbauteile sind, sowie Vorgaben die gute Ingenieurpraxis sind, liefern kein Unterscheidungskriterium zwischen „üblichen Bauteilen“ und „Sicherheitsbauteilen“. Verschiedene Anforderungen der „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ gehen aber über die Eigenschaften der in der MRL genannten „üblichen Bauteile“ hinaus. Allerdings werden diese Anforderungen nicht immer durch den Bauteilhersteller, sondern teilweise erst durch den Hersteller der Maschinensteuerung erfüllt:

- Die „Anwendung des Prinzips der Energietrennung“ bedeutet, dass der sichere Zustand des Systems erreicht wird, wenn die Energie freigeschaltet¹ wird. Dies hängt in der Regel nicht vom Bauteil selbst ab, sondern von seiner Verwendung in der Maschinensteuerung.
- Die Forderung nach „Trennung“ bedeutet, dass Sicherheitsfunktionen von Prozessfunktionen getrennt sind. Dies kann

im Bauteil selbst erfolgen, wie z.B. bei einer Sicherheits-SPS. Andere Bauteile bringen diese Eigenschaft aber nicht mit und diese Funktion wird erst durch den Aufbau der kompletten Maschinensteuerung gewährleistet.

- Die „Druckbegrenzung“ im System wird in der Regel nicht durch das hier behandelte Bauteil selbst, sondern durch andere spezielle Komponenten (Druckbegrenzungsventile, Druckminder-/Druckregelventile) im Rahmen des Gesamtsicherheitssystems der Maschine gewährleistet.
- Auch für den „Schutz gegen unerwarteten Anlauf“ gilt, dass dies durch das Bauteil selbst oder die Maschinensteuerung geleistet werden kann.
- Die Forderung nach „aufeinander folgendes Schalten bei Stromkreisen mit Reihenanschlüssen redundanter Signale“ bedeutet, dass Kontakte nicht gleichzeitig schalten, so dass ein Kontakt stets stromlos schaltet und so das Risiko stark reduziert ist, dass beide gleichzeitig verschweißen können. Auch diese Forderung kann durch den Bauteilhersteller selbst oder erst durch den Hersteller der Maschinensteuerung erfüllt werden. Diese

¹ Als "Freischalten" bezeichnet man das allpolige und allseitige Trennen einer elektrischen Anlage von spannungsführenden Teilen.
Quelle:
https://de.wikipedia.org/wiki/F%C3%BCnf_Sicherheitsregeln#Freischalten
(23.08.18)

Forderung sollte grundsätzlich für alle entsprechenden Bauteile als gute Ingenieurpraxis gelten, die Erfahrung zeigt aber, dass dies noch nicht allgemein „üblich“ ist.

Sollte der Bauteilhersteller eine der oben genannten Eigenschaften als zugesicherte Eigenschaft angeben, so handelt es sich bei dem Bauteil um mehr als ein „übliches“ (Prozess-) Bauteil und damit folglich auch um ein „Sicherheitsbauteil“ nach MRL.

Bewährte Sicherheitsprinzipien

Die „bewährten Sicherheitsprinzipien“ werden von der 13849-1 selbst nicht definiert. Sie verweist hierzu in ihrem Abschnitt 6.2.4 generell auf die 13849-2 und in ihrem informativen Anhang C auf die Tabellen A.2, B.2 und D.2 der 13849-2. Auch in Tabelle C.2 der 13849-2 finden sich „bewährte Sicherheitsprinzipien“.

Aus diesen Anforderungen lässt sich die Frage

- Sind Bauteile, für die ein Hersteller die Einhaltung „bewährten Sicherheitsprinzipien“ der 13849-1 und 13849-2 garantiert, mehr als ein „übliches Bauteil“?

wie folgt beantwortet:

Die nachfolgenden Anforderungen aus den Tabellen A.2, B.2, C.2 und D.2 können auch der guten Ingenieurpraxis zugeordnet werden:

- Anwendung sorgfältig ausgewählter Werkstoffe und Herstellungsverfahren
- Sorgfältige(r) Auswahl, Kombination, Anordnung, Zusammenbau und Einbau von Bauteilen/Systemen für die jeweilige Anwendung
- Abstände zwischen elektrischen Leitern

Der „Zwangsläufige Betätigungsmodus“ aus Tabelle D.2 kann sich eventuell auch aus der Form des Bauteils ergeben, wodurch hier auch ein „übliches Bauteil“ (reines Prozessbauteil) vorliegen würde.

Einige der restlichen Forderungen beziehen sich auf die Überdimensionierung der Bauteile. Die Erfüllung der Forderung erfolgt in der Regel auch durch den Hersteller der Maschinensteuerung, wenn er ein solches „übliches Bauteil“ auswählt.

Die Erfüllung anderer Forderungen, z.B. die nach „Anwendung bewährter Federn“, bedeutet

regelmäßig, dass es andere „übliche Bauteile“ gibt, die zwar die gleiche Funktion aber nicht die entsprechende Sicherheit haben. Damit handelt es sich dann bei Bauteilen, die solche Forderungen erfüllen um mehr als ein „übliches“ (Prozess-) Bauteil und damit folglich auch um ein „Sicherheitsbauteil“ nach MRL.

Betriebsbewährte Bauteile

Die betriebsbewährten Bauteile sind mit der aktuellen Ausgabe 13849-1 neu in die Norm aufgenommen worden. Aus diesem Grund sind sie in der aktuellen, aber älteren 13849-2 nicht weiter definiert.

Nach Definition der 13849-1 hat ein betriebsbewährtes Bauteil den

„Nachweis, basierend auf einer Analyse der betrieblichen Erfahrung für eine spezielle Konfiguration eines Elements, dass die Wahrscheinlichkeit gefährbringender systematischer Fehler niedrig genug ist, damit jede Sicherheitsfunktion, die das Element verwendet, ihren erforderlichen Performance Level (PLr) erreicht“

Weitere Angaben zur Betriebsbewährtheit von Bauteilen macht die 13849-1

nicht. Sie gibt aber an, dass die Definition der EN 61508-4:2010 entstammt. Die Anforderungen an „betriebsbewährte Bauteile“ finden sich im Abschnitt 7.4.10 der EN 61508-2:2010.

Aus diesen Anforderungen lässt sich die Frage

- Sind „Betriebsbewährte Bauteile“ nach 13849-1 und 13849-2, mehr als ein „übliches Bauteil“?

wie folgt beantworten:

Der Hersteller der Maschinensteuerung kann zumindest theoretisch fast alle Anforderungen an „Betriebsbewährte Bauteile“ selbst erfüllen. Er kann aber nicht garantieren, dass ein bestimmtes zugekauftes Bauteil in der Vergangenheit immer gleich gebaut wurde und seine Analyse der Bauteilhistorie damit stimmig ist. Auch kann der Hersteller der Maschinensteuerung für seine Serienfertigung nicht selbst feststellen, ob Modifikationen des Bauteils in der Zukunft Abschnitt 7.4.10.7 bzw. 7.8 der EN 61508-2 entsprechen, die hierfür das notwendige Vorgehen beschreiben. Er wäre auf die Mitarbeit des Bauteilherstellers angewiesen.

Die Anforderungen aus der EN 61508-2:2010 beziehen sich aber lediglich auf durchzuführende Tests und Dokumentationen des Bauteils. Bauliche Anpassungen sind nicht gefordert. Wenn es sich also vorher um ein „übliches Bauteil“ gehandelt hat, ändert sich dies nicht durch die Tests und Nachweise.

Somit kann man davon ausgehen, dass ein Bauteil alleine durch die zugesicherte Eigenschaft „betriebsbewährt“ nicht mehr ist als ein „übliches Bauteil“.

Bewährte Bauteile

Die 13849-1 erläutert in ihrem Abschnitt 6.2.4, welchen Voraussetzungen für ein „bewährtes Bauteil“ gelten:

„SRP/CS der Kategorie 1 müssen unter Verwendung bewährter Bauteile und bewährter Sicherheitsprinzipien gestaltet und gebaut werden (siehe ISO 13849-2). Ein „bewährtes Bauteil“ für eine sicherheitsbezogene Anwendung ist ein Bauteil, das entweder:

- a) in der Vergangenheit weit verbreitet mit erfolgreichen Ergebnissen in ähnlichen Anwendungen verwendet worden ist, oder*
- b) unter Anwendung von Prinzipien hergestellt und*

verifiziert wurde, die seine Eignung und Zuverlässigkeit für sicherheitsbezogene Anwendungen zeigen.

Neu entwickelte Bauteile und Sicherheitsprinzipien können als gleichwertig „bewährt“ betrachtet werden, wenn sie die in b) genannten Bedingungen erfüllen.

Die Entscheidung, ein bestimmtes Bauteil als „bewährt“ zu akzeptieren, hängt von der Anwendung ab.“

Die 13849-1 verweist in diesem Abschnitt auf die 13849-2. Hier finden sich Aussagen zu bewährten Bauteilen in den Anhängen A bis D und zusätzlich in den Tabellen A.3 und D.3 jeweils eine Liste von „bewährten Bauteilen“.

Die 13849-2 weist in ihrem Anhang A bis D jeweils auf Folgendes hin:

„Ein für bestimmte Anwendungen bewährtes Bauteil kann für andere ungeeignet sein.“

In den Anhängen B und C formuliert die 13849-2:

„Der Status „bewährt“ ist in erster Linie anwendungsbezogen zu sehen. Bauteile können als „bewährt“ beschrieben werden, falls diese ISO 13849-1:2006, 6.2.2 [Anm. des Verfassers: gemeint ist 6.2.4], und ISO 4414:2010

[Anm. des Verfassers: in Anhang C ist ISO 4413:2010 gemeint], Abschnitte 5 bis 7, entsprechen.“

Der Absatz 6.2.4 der ISO 13849-1:2006 entspricht in seinem Absatz „bewährtes Bauteil“ dem oben zitierten Text der EN ISO 13849-1:2015.

Hiermit lässt sich die Frage

- Sind „Bewährte Bauteile“ nach 13849-1 und 13849-2, mehr als ein „übliches Bauteil“ nach MRL?

aufteilen auf die Fragen:

- Sind „Bewährte Bauteile“ nach 13849-1 Abschnitt 6.2.4 a), mehr als ein „übliches Bauteil“ nach MRL?
- Sind „Bewährte Bauteile“ nach 13849-1 Abschnitt 6.2.4 b) und 13849-2, mehr als ein „übliches Bauteil“ nach MRL?

Die Bedingung in 13849-1 Abschnitt 6.2.4 a) für ein „bewährtes Bauteil“ ist von der Definition eines „betriebsbewährten Bauteils“ (s.o.) nicht zu unterscheiden. Folglich muss auch die Klassifizierung des „bewährten Bauteils“ in diesem Fall der im Kapitel „betriebsbewährtes Bauteil“ folgen. D.h. kein Sicherheitsbauteil.

Somit muss noch die zweite Frage beantwortet werden:

Der Nachweis, dass das Bauteil unter „Anwendung von Prinzipien hergestellt und verifiziert wurde, die seine Eignung und Zuverlässigkeit für sicherheitsbezogene Anwendungen zeigen“ muss durch den Bauteilhersteller nach 13849-2 geführt werden.

Die in Tabelle A.3 und D.3 genannten „bewährten Bauteile“ sind teilweise eindeutig „Sicherheitsbauteile“ (z.B. „Not-Aus[sic]-Einrichtungen“) und teilweise eindeutig „übliche Bauteile“ (z.B. „elektromagnetisches Ventil“, das ohne Einschränkung genannt ist). Somit muss der Bauteilhersteller hier an anderen Eigenschaften festmachen, ob es sich um Sicherheitsbauteile nach MRL handelt.

Für Bauteile nach Anhang B und C der 13849-2 (Hydraulik-/Pneumatikbauteile) sind die hierzu „verlinkten“ Normen zu untersuchen. Die in den nach MRL harmonisierten Normen EN ISO 4413:2010 und EN ISO 4414:2010 beschriebenen allgemeinen Regeln und sicherheitstechnischen Anforderungen (siehe oben: geforderte „Prinzipien“)

richten sich hauptsächlich an den Hersteller der gesamten Maschine bzw. der Maschinensteuerung. Die Anforderungen an einzelne Bauteile beziehen sich in der Regel auf deren richtige Auswahl.

Somit wird ein „bewährtes“ Hydraulik-/Pneumatikbauteil in der Regel nicht alleine durch die Anwendung der EN ISO 4413:2010 bzw. EN ISO 4414:2010 zum Sicherheitsbauteil, da die Anforderungen hieraus nicht unbedingt über die Anforderungen an „übliche“ Bauteile hinausgehen. Nur dort, wo die Norm höhere Anforderungen als an „übliche Bauteile“ stellt, handelt es sich um Sicherheitsbauteile nach MRL.

Fordert die 13849-2 die EN ISO 4413:2010 bzw. EN ISO 4414:2010 für die beschriebenen Bauteile selbst den Einsatz von Sicherheitsbauteilen (z.B. bewährte Federn nach Tabelle A.2 der 13849-2) so existieren in der Regel wieder „übliche Bauteile“, die hierauf verzichten und ein möglicher unsicherer Ersatz sind. Bauteile, die damit über das „übliche“ hinausgehen, sind dann wieder

Sicherheitsbauteile nach
MRL.

Mittlere Zeit bis zum gefährbringenden Ausfall

Die mittlere Zeit bis zum gefährbringenden Ausfall (MTTF_D) ist laut Einleitung der 13849-1 ein Aspekt der Zuverlässigkeit von Bauteilen. Sie beschreibt laut Definition den entsprechenden Erwartungswert für den Ausfall. Da es sich um einen statistischen Wert handelt, kann ein konkretes Bauteil aber früher oder auch später ausfallen.

Als Teil der auf die Zuverlässigkeit bezogenen Parameter des Bauteils ist die MTTF_D laut Kapitel 10 der 13849-1 Teil der technischen Dokumentation des Bauteils.

Für die Ermittlung des MTTF_D Wertes gibt die 13849-1 im Abschnitt 4.5.2 die folgende Reihenfolge vor:

- a) „Verwendung von Herstellerdaten;
- b) Verwendung der Verfahren in den Anhängen C und D;
- c) Wählen von zehn Jahren.“

Der Anhang C der Norm beschreibt informativ die „Berechnung oder Abschätzung von MTTF_D-Werten für einzelne Bauteile“ durch den Hersteller der Maschinensteuerung. Hierbei

wird davon ausgegangen, dass der Bauteilhersteller keine Werte liefert oder nur die Anzahl von Zyklen angibt, bis 10 % der Komponenten gefährlich ausgefallen sind (B_{10D} Wert). Die beschriebenen Verfahren basieren alle darauf, dass der Bauteilhersteller angibt, die grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien eingehalten zu haben. Ferner muss der Bauteilhersteller die geeignete Anwendung und die Betriebsbedingungen festlegen. In diesem Fall darf der Hersteller der Maschinensteuerung die typischen Bauteilwerte aus Tabelle C.1 der Norm nutzen.

Die 13849-1 erwähnt in ihrem Abschnitt C.4.2 beispielhaft die Normen IEC 60957-5-1, ISO 19973, IEC 61810 zur Bestimmung des B_{10D} Wertes von Bauteilen durch den Hersteller.

Der oben erwähnte Anhang D der 13849-1 wiederum beschäftigt sich nicht mit dem Bauteil selbst sondern mit der Kombination von Bauteilen. Er wird von daher für diesen Fachartikel nicht benötigt.

In Abschnitt 9.3 der 13849-2 finden sich zum MTTF_D Wert

und dem zugehörigen B_{10D} Wert Anmerkungen:

„Für die Ermittlung des B_{10D}-Wertes siehe z. B. IEC 60947-4-1:2010, Anhang K.“
und

„Für die Berechnung der MTTF_D-Werte elektronischer Bauteile wird eine Umgebungstemperatur von +40 °C als Grundlage angenommen. Während der Validierung ist es wichtig sicherzustellen, dass die als Grundlage angenommenen Umgebungs- und Funktionsbedingungen (besonders die Temperatur) für MTTF_D-Werte erfüllt werden. Wenn eine Baugruppe oder ein Bauteil deutlich über der festgelegten Temperatur von +40 °C betrieben wird (z. B. mehr als 15 °C Abweichung), wird es notwendig, MTTF_D-Werte für die abweichende Umgebungstemperatur zu verwenden.“

Somit muss die Frage:

- Sind Bauteile, für die ein Hersteller die „Mittlere Zeit bis zum gefährbringenden Ausfall“ nach 13849-1 und 13849-2 angibt, mehr als ein „übliches Bauteil“ nach MRL?

differenziert werden in:

- Sind Bauteile, für die der Bauteilhersteller die „Mittlere Zeit bis zum gefährbringenden Ausfall“

- nach 13849-1 und 13849-2 angibt, mehr als ein „übliches Bauteil“ nach MRL?
- Sind Bauteile, für die der Bauteilhersteller die „Verwendung der Verfahren im Anhang C“ der 13849-1 ermöglicht, mehr als ein „übliches Bauteil“ nach MRL?
 - Sind Bauteile, für die der Bauteilhersteller eine $MTTF_D$ von „10 Jahren“ nach Abschnitt 4.5.2 der 13849-1 wählt, mehr als ein „übliches Bauteil“ nach MRL?

Die erste Frage lässt sich wie folgt beantworten:

Für die Ermittlung des $MTTF_D$ Wertes sollte der Bauteilhersteller weitere Normen heranziehen. Die in der 13849-1 und 13849-2 aufgeführten weiterführenden Normen beziehen sich zwar auf die Ermittlung des B_{10D} Wertes, aber auch dieser ist ein vom Bauteilhersteller vorgegebener Zuverlässigkeitswert. Er kann insofern für die Fragestellung gleichgesetzt werden.

Zur Bestimmung des B_{10D} Wertes von Bauteilen führt die 13849-1 in ihrem Abschnitt C.4.2 beispielhaft die Normen IEC 60957-5-1, ISO 19973, IEC 61810 auf. Sofern diese Normen vom

Bauteilhersteller nur genutzt werden, um allgemeine Verfügbarkeitswerte „üblicher Bauteile“ zu berechnen, kann hieraus nicht abgeleitet werden, dass nur durch Vorliegen solcher Kennzahlen solche Bauteile mehr als „übliche Bauteile“ sind. So gibt die Norm ISO 19973-3 in ihrem Vorwort an:

“Knowing the reliability characteristic of the component, the producers can model the system and make decisions on service intervals, spare parts’ inventory and areas for future improvements.”

Übersetzung durch den Verfasser des Fachartikels:
„Durch das Kennen der Zuverlässigkeitswerte der Komponenten kann der Hersteller das System modellieren und Entscheidungen zu Wartungsintervallen, Ersatzteillagerung und zukünftigen Verbesserungsmöglichkeiten treffen.“

Diese Norm ist also klar auch auf „übliche Bauteile“ ausgerichtet.

Die IEC 61810-1 hingegen trägt den Titel *„Elektromechanische Elementarrelais - Teil 1: Allgemeine und Sicherheitsanforderungen“*. Müssen aus der Norm auch

Teile angewandt werden, die über das Übliche hinausgehen, handelt es sich wieder **nicht** um „übliche Bauteile“. Hierbei ist zu beachten, ob dies die in dieser Norm beschriebenen Tests betrifft oder den Aufbau des Bauteils. Der Aufbau ist durch die entsprechende Bewertung der „grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien“ (s.o.) abgedeckt.

Die Antwort auf die zweite Frage lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Gefordert sind vom Bauteilhersteller die Bestätigung der Einhaltung der „grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien“. Diese Punkte sind bereits in diesem Fachartikel behandelt (s.o.). Zusätzlich muss der Bauteilhersteller die geeignete Anwendung und die Betriebsbedingungen festlegen. Diese Vorgabe ist aber für alle Bauteile notwendig, damit der Hersteller der Maschinensteuerung weiß, ob sie in der vorgesehenen Umgebung zu Verfügbarkeitsproblemen führen. Eine Dokumentation der Vorgaben durch den Bauteilhersteller geht also

nicht über „übliche Bauteile“ hinaus.

Gibt der Bauteilhersteller für seine Bauteile zusätzlich die Werte nach der Tabelle C.1 an, erspart er seinem Kunden lediglich die eigene Suche in der Norm selbst. Diese Werte gelten für alle „üblichen Bauteile“, die die o.a. Vorgaben einhalten. Somit führt diese Einteilung nicht zur Einstufung des Bauteils als „Sicherheitsbauteil nach MRL“.

Die Antwort zur dritten Frage ist:

Die vorgegebenen 10 Jahre gelten für alle Bauteile, ob „üblich“ oder nicht. Somit ist hieraus die Einstufung als „Sicherheitsbauteil nach MRL“ nicht möglich.

Fazit

Die Frage, ob ein Bauteil ein Sicherheitsbauteil ist, weil der Hersteller bestimmte Eigenschaften nach 13849-1 zusichert, ist nicht einfach mit Ja oder Nein zu beantworten. Sie kann aber auf die wesentlichen sicherheitsrelevanten

Eigenschaften des Bauteils reduziert werden.

Keine Rolle in Bezug auf die Einstufung eines Bauteils als Sicherheitsbauteil sollte in der Regel die Angabe „betriebsbewährtes Bauteil“ und „MTTF_D“ bzw. „B_{10D}“ durch den Bauteilhersteller spielen. Dies sind dem Bauteil innewohnende Eigenschaften, die auch „übliche Bauteile“ aufweisen und die lediglich dokumentiert werden.

Die Klassifizierung als „bewährte Bauteile“ reicht von einfachen „üblichen Bauteilen“ bis zu eindeutigen „Sicherheitsbauteilen“. Hier muss der Bauteilhersteller entscheiden, ob sich sein Bauteil von „üblichen Bauteilen“ abhebt oder ob alle vergleichbaren Bauteile auch anderer Hersteller aufgrund konstruktiver Eigenschaften immer „bewährte Bauteile“ sind.

Die vorgenannten konstruktiven Eigenschaften hängen in der Regel mit den „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ und

„bewährten Sicherheitsprinzipien“ zusammen. **Zu beachten hat der Bauteilhersteller somit hauptsächlich, ob er bei der Anwendung der „grundlegenden Sicherheitsprinzipien“ und vor allem der „bewährten Sicherheitsprinzipien“ über das Maß der „üblichen Bauteile“ hinausgeht. Wenn er seinem Kunden die Einhaltung dieser Sicherheitsprinzipien zusichert, kann dies je nach Bauteil dazu führen, dass es ein „Sicherheitsbauteil“ ist.**

Zum Beispiel ist das vom Leitfaden zur Maschinenrichtlinie beschriebene Hydraulikventil, das das grundlegende Sicherheitsprinzip „Schutz gegen unerwarteten Anlauf“ (bzw. unerwartetes Schalten) von alleine umsetzt, oder dass das bewährte Sicherheitsprinzip „gesicherte Position“ umsetzt, mehr als ein „übliches Bauteil“ und damit ein „Sicherheitsbauteil“.

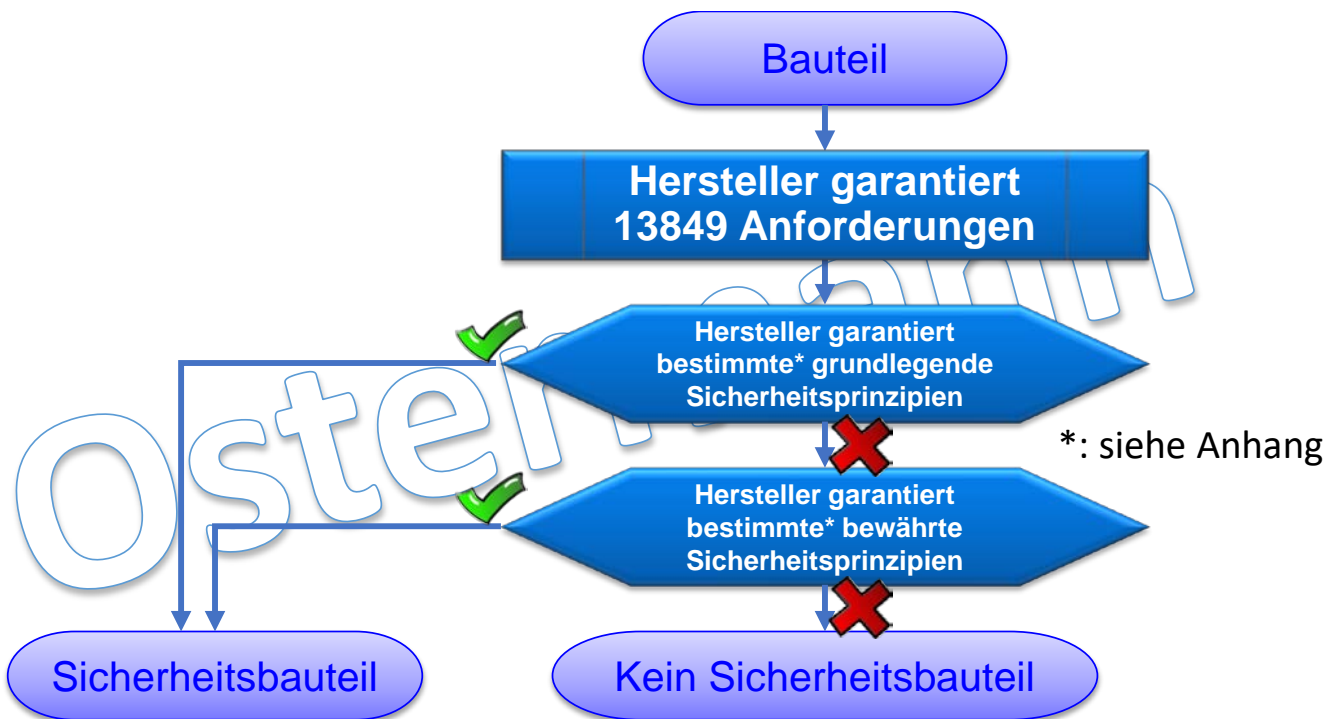


Abbildung 5: Fragestellung, gekürzt auf das Wesentliche

Anhang: Einschätzung der grundlegenden und bewährten Sicherheitsprinzipien

Welche vom Bauteilhersteller als eingehalten angegebenen Sicherheitsprinzipien mehr als „üblich“ für ein solches Bauteil sind, ist vom Bauteil und ggf. auch von den Einsatzbedingungen abhängig.

Die folgenden Tabellen sollen einen ersten Überblick und eine Tendenz aufzeigen, wann Eigenschaften eines Produktes ggf. über dessen übliche Eigenschaften für den Prozessgebrauch hinausgehen.

Sie fassen gleiche Inhalte der Tabellen A.1 B.1 C.1 und D.1 (grundlegende Sicherheitsprinzipien) und A.2 B.2 C.2 und D.2 (bewährte Sicherheitsprinzipien) zusammen.

Tabelle 3: Einschätzung des Autors - mehr als „übliche“ grundlegende Sicherheitsprinzipien nach 13849-2

Tabelle [Anhang ... 1]	Grundlegendes Sicherheitsprinzip	mehr als „üblich“
A	Begrenzung der Erzeugung und/oder Übertragung der Kraft und ähnlicher Parameter	Ja
A, B, C	Trennung	Ja
A, B, C, D	Anwendung des Prinzips der Energietrennung	Ja
A, B, C, D	Schutz gegen unerwarteten Anlauf	Ja
B, C	Druckbegrenzung	Ja
D	sichere Befestigung der Eingabegeräte	Ja
D	aufeinander folgendes Schalten bei Stromkreisen mit Reihenanschlüssen redundanter Signale	Ja
D	richtige Schutzleiterverbindung	Ja
D	Isolationsüberwachung	Ja
A	geeignete Schmierung	Nein
A	geeigneter Schutz gegen Eindringen von Flüssigkeiten und Staub	Nein
A, B, C	geeignete Befestigung	Nein
A, B, C	Begrenzung / Verringerung der Geschwindigkeit (und ähnlicher Parameter)	Nein
A, B, C	geeignete Reaktionszeit / geeigneter Schaltzeitbereich / Verringerung der Ansprechzeit	Nein
A, B, C	Vereinfachung	Nein
A, B, C, D	Anwendung geeigneter Werkstoffe und (angemessener) Herstellungsverfahren	Nein
A, B, C, D	ordnungsgemäße / richtige Dimensionierung und Formgebung	Nein
A, B, C, D	geeignete Auswahl, Kombination, Anordnungen, Zusammenbau und Einbau der Bauteile/des Systems	Nein
A, B, C, D	Begrenzung des Bereichs der Umgebungsparameter / Beständigkeit gegen Umgebungsbedingungen / geeigneter Temperaturbereich	Nein
B, C	ausreichende Maßnahmen zur Vermeidung von Verunreinigung des Fluids	Nein

Tabelle [Anhang ... 1]	Grundlegendes Sicherheitsprinzip	mehr als „üblich“
D	Unterdrückung von Spannungsspitzen	Nein
D	Schutz des Steuerstromkreises	Nein
D	Verträglichkeit	Nein

Tabelle 4: Einschätzung des Autors - mehr als „übliche“ bewährte Sicherheitsprinzipien nach 13849-2

Tabelle [Anhang ... 2]	Bewährtes Sicherheitsprinzip	mehr als „üblich“
A	reduzierter Bereich der Geschwindigkeit und ähnlicher Parameter	Ja
A, B, C	Gesicherte Position	Ja
A, B, C	Vervielfachung von Teilen	Ja
A, B, C	Anwendung bewährter Federn	Ja
A, B, C, D	(positive) mechanisch zwangsläufige Wirkung / mechanisch zwangsläufig verbundene Kontakte / Zwangsläufiger Betätigungsmodus	Ja
B, C	Begrenzung/Verringerung der Kraft	Ja
D	Zustandsausrichtung bei Ausfällen	Ja
D	Begrenzung elektrischer Parameter	Ja
D	Vermeidung undefinierter Zustände	Ja
D	Fehlervermeidung in Kabeln	Ja
D	Verringerung von Fehlermöglichkeiten	Ja
A	sorgfältige Auswahl der Befestigungsart für die jeweilige Anwendung	ggf.
A	reduzierter Bereich der Kraft und ähnlicher Parameter	ggf.
A, B, C	erhöhte AUS-Kraft	ggf.
A, D	Anwendung von Bauteilen mit festgelegtem Ausfallverhalten / gerichteter Ausfall	ggf.
B, C	durch den Lastdruck schließendes Ventil	ggf.
B, C	ausreichend große positive Überdeckung in (Kolben-) Schieberventilen	ggf.
A	Anwendung sorgfältig ausgewählter Werkstoffe und Herstellungsverfahren	Nein
A	Sorgfältige(r) Auswahl, Kombination, Anordnung, Zusammenbau und Einbau von Bauteilen/Systemen für die jeweilige Anwendung	Nein
A	reduzierter Bereich der Reaktionszeit, Hysteresebegrenzung	Nein
A, B, C	reduzierter Bereich der Umgebungsparameter / geeigneter Bereich für die Betriebsbedingungen	Nein
A, B, C, D	Überdimensionierung/Sicherheitsfaktor	Nein
B, C	Begrenzung/Verringerung der Geschwindigkeit durch einen Widerstand zum Erreichen eines festgelegten Volumenstroms	Nein
B, C	geeignetes Vermeiden einer Verunreinigung des Fluids / Überwachung des Zustands des Fluids	Nein

Tabelle [Anhang ... 2]	Bewährtes Sicherheitsprinzip	mehr als „üblich“
B, C	Hysteresebegrenzung	Nein
D	Energiebegrenzung	Nein
D	Abstände zwischen elektrischen Leitern	Nein
D	Gleichgewicht zwischen Komplexität/ Vereinfachung	Nein