SIL-Bewertung von Mechanik

Versagenswahrscheinlichkeit mechanischer Komponenten

Die SIL-Bewertung von Schutzeinrichtungen mit nichtelektrischen Komponenten ist oft schwierig, da die EN 61508 nur elektrische Komponenten betrachtet.

Der naheliegende Lösungsansatz, mechanische Komponenten genauso oder sinngemäß so zu behandeln wie elektrische, gelingt nur teilweise. In diesem Beitrag wird gezeigt, dass Mechanik in vielerlei Hinsicht wie Elektronik behandelt werden kann, wobei jedoch die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit hier eine Ausnahme darstellt. Verschleißbedingte Ausfälle können als Zufallsereignis betrachtet werden. Eine Beschreibung mit Hilfe der Weibull-Verteilung und die Bestimmung einer fiktiven konstanten Ausfallrate auf Basis des B10-Werts ist möglich. Wird Mechanik dagegen mit niedriger Anforderungsrate betrieben, kann meist keine aussagekräftige Ausfallrate angegeben werden. Hier muss mit deterministischen Methoden für die nötige Sicherheit gesorgt werden.

SCHLAGWÖRTER EN 61508 / systematische Fehler / zufällige Fehler / B₁₀-Wert / Ausfallrate / Weibull-Verteilung

SIL Assessment of Mechanics– Failure probability of mechanical components

How to treat nonelectrical components is always a tricky question when safety equipment has to be assessed according SIL. As the scope of EN 61508 is limited to electrical components, the answer is still open. An obvious approach is to deal with mechanical components in the same manner as already done with electronical equipment. And, if difficulties occur it is reasonable to apply the requirements of the standard analogously. This approach shows that in most cases no "special treatment" of mechanics is necessary. Only when the failure probability has to be calculated mechanical parts need to be considered separately. A further complication is that in mechanical components, the failure behaviour depends to a very great extent on the mode of operation. When frequently used the main reason for a failure is wear out. Such failures can be considered as random events. Thus, it is possible to describe these events with the Weibull distribution. Based on the B_{10} value a fictitious constant failure rate λ_{10} can be determined as an approximation. If mechanics that is operated in the low demand mode no meaningful failure rate can be specified. Therefore, deterministic methods are necessary to achieve the safety target.

KEYWORDS SIL assessment / EN 61508 / mechanical equipment / E/E/PE systems / systematic failures / random failures / B_{10} value / fictitious constant failure rate / Weibull distribution

ANDREAS HILDEBRANDT, Pepperl+Fuchs

ie behandelt man nichtelektrische Komponenten bei der SIL-Bewertung? Diese Frage kommt bei jedem SIL-Seminar "so sicher wie das Amen in der Kirche". Aber was ist der Grund für diese immer wieder gestellte Frage? Ein Blick in die EN 61508 [1] gibt die Antwort: Der Anwendungsbereich besagter Norm ist beschränkt auf "elektrische, elektronische und programmierbare elektronische Systeme" (E/E/PE-Systeme) (Bild 1). Im Teil 1, Kapitel 7.12.2 heißt es dazu: "Die Spezifikation, um die Anforderungen an die Sicherheitsfunktionen und die Anforderungen an die Sicherheitsintegrität für andere risikomindernde Maßnahmen zu erfüllen, ist nicht Gegenstand dieser Norm". Ist diese Einschränkung wirklich zwingend notwendig oder können nichtelektrische Komponenten und Systeme genauso behandelt werden wie elektrische? Wenn Ja (das heißt, Mechanik kann wie Elektronik behandelt werden), wozu dann diese Einschränkung im Anwendungsbereich der EN 61508? Wenn Nein, wo liegt das Problem?

Zur Beantwortung dieser Fragen muss zunächst geklärt werden, wie bei der SIL-Bewertung von E/E/PE-Systemen vorgegangen wird. Anschließend kann dieses Vorgehen daraufhin untersucht werden, ob – und wenn Ja, wie – eine Anwendung auf mechanische Komponenten in vergleichbarer Weise möglich ist.

1. DREI ELEMENTE ZUR SIL-ERREICHUNG

Grundsätzlich müssen im Rahmen der SIL-Bewertung von Schutzeinrichtungen drei unterschiedliche Aspekte betrachtet werden [2]:

- Maßnahmen gegen systematische Fehler
- Maßnahmen gegen zufällige Fehler
- Maßnahmen zur Fehlertoleranz

Eine Erklärung für die Relevanz der drei genannten Punkte bei der SIL-Bewertung liefert eine genauere Betrachtung der Versagensursachen von Schutzeinrichtungen.

Hier unterscheidet die Norm zwei Fehlerarten. Dies sind systematische Fehler und zufällige Fehler (Bild 2). Diese Unterscheidung ist in zweierlei Hinsicht wichtig: Erstens stellt sich die Frage, in wieweit die jeweiligen Fehler zu vermeiden sind, und zweitens, ob diese quantifiziert werden können. Bezüglich der Vermeidbarkeit ist leicht einzusehen, dass nur systematische Fehler vermieden werden können. Das "Werkzeug" hierzu ist ein spezielles Qualitätsmanagement-System, das Functional Safety Management System (FSM-System).

Was die Quantifizierung der Fehler angeht, muss festgestellt werden, dass dies nur bei den zufälligen Fehlern über eine Wahrscheinlichkeitsaussage möglich ist. Die EN 61508 schreibt hierzu in Teil 4, Kapitel 3.6.5, Anmerkung 2: "... dass Systemausfallraten, die aus zufälligen Hardwareausfällen herrühren, mit vernünftiger Genauigkeit quantifiziert werden können, aber jene, die durch systematische Ausfälle entstehen, statistisch nicht genau quantifiziert werden können, ..." Insgesamt betrachtet führen diese Erkenntnisse zu den drei genannten Elementen der SIL-Erreichung. Der erste Punkt (Maßnahmen gegen systematische Fehler, mit anderen Worten: das FSM-System) entspricht dem linken Zweig in Bild 2, der zweite Punkt (Maßnahmen gegen zufällige Fehler, sprich: PFD-Berechnung) dem rechten Zweig und der dritte Punkt (Maßnahmen zur Fehlertoleranz, bekannt als Hardware-Fehlertoleranz HFT) dem mittleren Zweig.

Alle drei Elemente werden in nahezu identischer Weise von der EN 61511 thematisiert (Bild 3). Kapitel 5 der EN 61511, Teil 1, beschreibt das FSM-System, in Kapitel 9.2.4. Tabelle 3 und 4, sind Grenzwerte für die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Sicherheitsfunktion definiert, und in Kapitel 11, Tabelle 5 und 6, sind Forderungen zur Hardware-Fehlertoleranz zu finden.

2. MECHANIK VERSUS ELEKTRONIK

Die Ausgangsfrage "Kann Mechanik bei der SIL-Bewertung genauso behandelt werden wie Elektronik?" lässt sich anhand des genannten Schemas wenigstens

HAUPTBEITRAG | NAMUR-HAUPTSITZUNG

zum Teil leicht beantworten. Die Vermeidung systematischer Fehler mittels FSM-System ist sowohl bei Elektronik wie auch bei Mechanik in gleicher Weise möglich. Auch hinsichtlich Hardware-Fehlertoleranz können die Forderungen der EN 61511 entsprechend erfüllt werden. Eine Unterscheidung zwischen Elektronik und Mechanik ist in Bezug auf die beiden genannten Aspekte also nicht zwingend notwendig. Einzig bei der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit sind prinzipielle Unterschiede auszumachen, sodass hier die von der Elektronik bekannte Vorgehensweise nicht direkt auf die Mechanik übertragen werden kann.

3. BEDEUTUNG DER AUSFALLRATE

Wie bereits erwähnt, lässt sich die Versagenswahrscheinlichkeit einer Komponente aufgrund zufälliger Fehler mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsaussage quantifizieren. Üblicherweise geschieht dies durch Angabe der Ausfallrate λ . Für elektronische Geräte kann in der Regel unterstellt werden, dass die Ausfallrate λ während eines längeren Zeitraums (Gebrauchsdauer) konstant und deutlich von Null verschieden ist (Badewannenkurve).

Für mechanische Komponenten stellt sich die Situation anders dar. Hier ist zunächst zu klären, ob als Versagensursache zufällige Fehler in Betracht kommen oder ob ausschließlich systematische Fehler als Ursache ausgemacht werden können. Ist letzteres der Fall, so kann für eine mechanische Komponente keine Ausfallrate angegeben werden. Es ist demnach grundsätzlich zu hinterfragen, ob Ausfälle mechanischer Komponenten als Zufallsereignis betrachtet werden können. In Anlehnung an die Definitionen 3.6.5 und 3.6.6 der EN 61508, Teil 4, kann folgende Fragestellung bei der Klassifizierung von Ausfällen hilfreich sein: "War der Fehler zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme bereits vorhanden? Kann der Ausfall prinzipiell reproduziert werden?" Muss wenigstens eine der beiden Fragen bejaht werden, so wurde der Ausfall durch einen systematischen Fehler verursacht. Derartige Fehler können dann nicht mit Hilfe einer Ausfallrate quantifiziert werden (siehe oben). Anderenfalls handelt es sich um einen zufälligen Fehler.

4. AUSFALLVERHALTEN MECHANISCHER KOMPONENTEN

Die Normen zur funktionalen Sicherheit unterscheiden bei sicherheitstechnischen Einrichtungen zwei Betriebsarten: Die Betriebsart mit niedriger Anforderungsrate (engl. Low Demand Mode, kurz LDM) und mit hoher Anforderungsrate (engl. High Demand Mode, kurz HDM). Wird eine Schutzeinrichtung seltener als einmal pro Jahr benötigt, so wird diese mit niedriger Anforderungsrate betrieben, anderenfalls mit hoher Anforderungsrate. Diese Unterscheidung ist bei mechanischen Komponenten von großer Bedeutung, da sich die Art und Weise des Versagens in beiden Fällen völ-

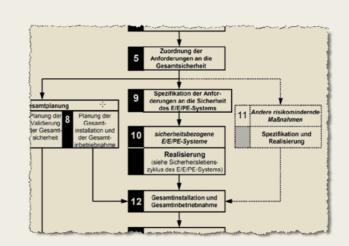


BILD 1: Im Sicherheitslebenszyklus ist die Phase "Spezifikation und Realisierung anderer risikomindernder Maßnahmen" gestrichelt dargestellt, da sie nicht Gegenstand dieser Norm ist.

lig unterschiedlich darstellt. Während eine mit hoher Anforderungsrate betriebene Mechanik vorwiegend verschleißbedingt ausfällt, kann bei niedriger Anforderungsrate ein Versagen nahezu immer auf Alterungseffekte zurückgeführt werden.

Entscheidend für die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit ist die Frage, ob es sich bei den genannten Versagensarten um Zufallsereignisse handelt. Ist dies der Fall, so kann eine Versagenswahrscheinlichkeit angegeben werden. Handelt es sich bei dem betreffenden Ausfall jedoch nicht um ein Zufallsereignis, so ist die Angabe einer entsprechenden Wahrscheinlichkeit unmöglich.

Ausfälle die durch Verschleiß zustande kommen, können meist als Zufallsereignis betrachtet werden, da zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Fehler noch nicht vorlag (es gab noch keinen Verschleiß) und eine Reproduzierbarkeit in der Regel ebenfalls nicht gegeben ist.

Anmerkung: Bezüglich der Reproduzierbarkeit ist es von entscheidender Bedeutung, wie deutlich der Verscheiß ausgeprägt ist und welche Genauigkeit bei den Wiederholversuchen gefordert wird. Üblicherweise ist die Streuung der Lebensdauern verschleißbehafteter Komponenten jedoch so groß, dass Ausfälle als Zufallsereignisse betrachtet werden können. Die mathematische Modellierung von verschleißbedingten (zu-

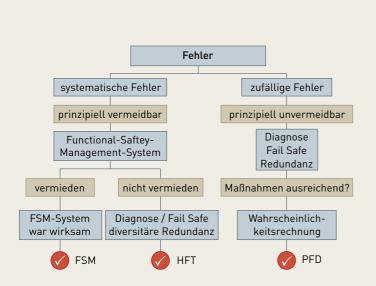


BILD 2: Fehlerarten und deren Behandlung.

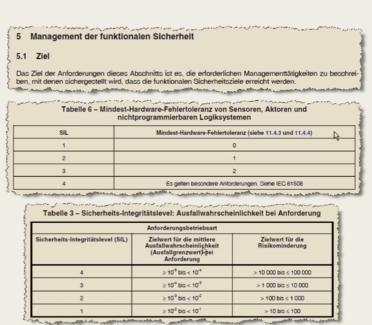


BILD 3: Die EN 61511 fordert ein FSM-System zur Fehlervermeidung, eine vom jeweiligen SIL abhängige HFT zur Fehlerbeherrschung und die Einhaltung SIL-abhängiger Grenzwerte bezüglich der Versagenswahrscheinlichkeit.

fälligen) Ausfällen kann dann mit Hilfe der Weibull-Verteilung erfolgen.

5. MECHANIK MIT NIEDRIGER ANFORDERUNGSRATE

Wird Mechanik mit niedriger Anforderungsrate betrieben, ist eine entsprechende mathematische Modellierung nicht möglich, da die Parameter der Weibull-Verteilung praktisch nicht bestimmbar sind. Auch ist es fraglich, ob Ausfälle aufgrund von Alterungsprozessen überhaupt als zufällig betrachtet werden können. Aus heutiger Sicht scheint es nicht möglich zu sein, für mechanische Komponenten die mit niedriger Anforderungsrate betrieben werden, eine Ausfallrate $\hat{\lambda}$ anzugeben, welche das reale Verhalten der jeweiligen Komponente mit ausreichender Genauigkeit beschreibt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass in diesem Fall ein Versagen der Komponente ausgeschlossen werden kann. Vielmehr sind hier der technische Sachverstand und das Know-how erfahrener Fachleute gefragt, um durch geeignete Maßnahmen (wie Diagnose, regelmäßige Prüfung, Wartung, Redundanz) die erforderliche Sicherheit zu erreichen. Eine Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit auf Basis fragwürdiger Zahlen wäre hier eher kontraproduktiv, da gegebenenfalls ein befriedigendes Berechnungsergebnis eine vermeintliche Sicherheit vorgaukeln könnte, welche in Wirklichkeit so nicht gegeben ist.

6. WEIBULL-VERTEILUNG UND B₁₀-WERT

Für verschleißbedingte Ausfälle ist – wie oben bereits erwähnt – eine Modellierung mit Hilfe der Weibull-Verteilung möglich. In diesem Fall kann eine mechanische Komponente bei der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit einer Schutzeinrichtung berücksichtigt werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Ausfallrate hier nicht – wie bei elektronischen Komponenten üblich – konstant ist, sondern mit der Zeit ansteigt. Dies stellt in gewisser Weise ein Problem dar, da die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit in der Regel mit Hilfe von Formeln geschieht, welche nur für konstante Ausfallraten gültig sind. Dieses Problem kann umgangen werden, indem die Weibull-Verteilung in einem begrenzten Zeitintervall durch eine konstante Ausfallrate angenähert wird (Bild 4).

Die Bestimmung dieser fiktiven konstanten Ausfallrate kann auf Basis des $\rm B_{10}$ -Wertes erfolgen. Der $\rm B_{10}$ -Wert dient häufig als Angabe der zu erwartenden Lebensdauer einer mechanischen Komponente. Hierbei handelt es sich um einen Zahlenwert, welcher angibt, nach welcher Belastung 10 % der Individuen einer Grundgesamtheit ausgefallen sind. Hierbei kann je nach Gegebenheit beziehungsweise Komponentenart die Belastung als reine Zeit, als Anzahl Schaltspiele, als gefahrene Kilometer oder ähnli-

HAUPTBEITRAG | NAMUR-HAUPTSITZUNG

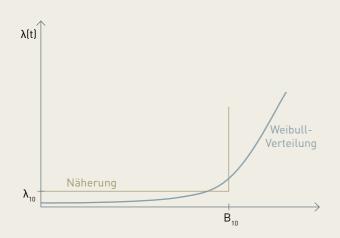


BILD 4: Annäherung der Weibull-Verteilung durch eine konstante Ausfallrate. Die Näherung ist nur innerhalb eines begrenzten Zeitraumes sinnvoll. Für große Zeiten (lange Betriebsdauern) wird die Näherung zunehmend ungenau.

Mechaniker: MTBF = 75,6 years $\rightarrow \lambda \approx 1,3 \cdot 10^{-2}$ p.a. Äquivalente konst. Ausfallrate: $b_{10} = 57,1$ years $\rightarrow \lambda_{10} \approx 1,75 \cdot 10^{-3}$ p.a. Elektroniker: $\lambda \approx 7,7 \cdot 10^{-4}$ p.a. \rightarrow MTBF = 1300 years

"Badewannenkurve" des Menschen (Männer)

BILD 5: Ausfallrate des Menschen (Männer). Die Lebensdauer lässt sich mit Hilfe der Weibull-Verteilung beschreiben, wobei der B₁₀-Wert 57 Jahre beträgt. Bei elektronischen Geräten ist das Hauptaugenmerk auf den Boden der Badewannenkurve gerichtet. Bei mechanischen Komponenten ist vor allem der Verschleißbereich von Interesse.

Lebensalter (Jahre)

ches angegeben werden. Um die Weibull-Verteilung durch eine konstante Ausfallrate anzunähern, bestimmt man eine fiktive, als konstant angenommene Ausfallrate (hier als λ_{10} bezeichnet), welche nach der dem B_{10} -Wert entsprechenden Zeit ebenfalls eine Versagenswahrscheinlichkeit von 10 % ergibt. Liegt der B_{10} -Wert dabei nicht als reine Zeitangabe vor, so muss die betreffende Angabe noch in eine Zeitangabe umgewandelt werden, indem der B_{10} -Wert durch die (applikationsspezifische) Belastung pro Zeiteinheit dividiert wird. Beträgt zum Beispiel der B_{10} -Wert eines Relais 300 000 Schaltspiele und wird das Relais 500 Mal pro Tag betätigt, so erhält man als zeitbezogenen B_{10} -Wert eine Dauer von 600 Tagen (rund 1,6 Jahre). Nach folgender Berechnungsvorschrift kann die fiktive konstante Ausfallrate λ_{0} bestimmt werden:

Gleichung 1: $\lambda_{10} = \frac{0.1}{B_{10}}$ falls B_{10} als Zeit gegeben ist, bzw.

Gleichung 2: $= \frac{0.1}{B_{10}} \cdot f_{Z_{gklav}} \text{ falls B}_{10} \text{ als Zyklenzahl gegeben}$

Für Zeiten, die größer sind als B_{10} (bzw. B_{10} / $f_{\rm Zyklus}$), stellt die fiktive Ausfallrate λ_{10} keine akzeptable Näherung mehr dar. Dies bedeutet, dass die entsprechende Komponente vor Erreichen dieser Zeit ausgetauscht oder gewartet werden muss.

7. BEISPIEL: MENSCH

0.00

Die Bedeutung und Anwendung des B_{10} -Werts und der daraus abgeleiteten Ausfallrate λ_{10} soll anhand eines anschaulichen Beispiels verdeutlicht werden. Hierzu wird die (Weibull-verteilte) Lebensdauer von in Deutschland lebenden Männern betrachtet. Bild 5 zeigt die "Badewannenkurve" für Männer [3], also die Ausfallrate λ (t) über der Zeit t.

Sollen ausgehend von dieser "Badewannenkurve" Aussagen bezüglich der Zuverlässigkeit oder Lebensdauer gemacht werden, so wird man feststellen, dass branchenabhängig verschiedene Betrachtungsweisen zu unterschiedlichen Aussagen führen, da bei Zuverlässigkeitsbetrachtungen Elektroniker und Mechaniker auf unterschiedliche Bereiche der Badewannenkurve fokussieren. Bei elektronischen Geräten ist der Boden der Badewannenkurve von besonderem Interesse, da erstens die Ausfallrate in diesem Bereich in der Regel deutlich von Null verschieden ist und zweitens der Anstieg der Ausfallrate im Verschleißbereich meist wenig ausgeprägt ist. Ein Elektroniker wird daher zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit die Ausfallrate im flachen Teil der Badewannenkurve nennen. Für das Beispiel "Mensch" wäre dies ein Wert von etwa 8·10⁻⁴ pro Jahr. Um die MTBF eines Menschen zu bestimmen, würde ein Elektroniker von der genannten Ausfallrate den Kehrwert bilden (MTBF = $1/\lambda$) und dieses Ergebnis dann als MTBF angeben. Als mittlere Lebensdauer (MTBF) würde er demnach den falschen Wert von 1300 Jahren nennen.

Anders verhält es sich, wenn ein Mechaniker die Zuverlässigkeit beurteilen würde. In der Mechanik ist es üblich, hauptsächlich den Verschleißbereich der Badewannenkurve zu betrachten. Entsprechend wird hier meist der Erwartungswert der Lebensdauer einer Komponente als Zuverlässigkeitskennwert verwendet. Für das Beispiel würde dies bedeuten, dass ein Mechaniker für den Menschen als MTBF den richtigen Wert von 76 Jahren nennen würde. Wird aus diesem Wert auf die Ausfallrate geschlossen, indem nach obiger Manier der Kehrwert der MTBF berechnet wird, erhält man einen deutlich zu großen Wert (hier 1,3·10-² pro Jahr anstelle des korrekten Werts von 8·10-⁴ pro Jahr).

Um beides, sowohl die Lebensdauer als auch die Ausfallrate eines verschleißbehafteten Systems mit nur einem Wert näherungsweise beschreiben zu können, bedient man sich des B₁₀-Wertes. Im Falle des Menschen beträgt dieser 57 Jahre. Berechnet man nach Gleichung 1 daraus die fiktive Ausfallrate λ_{10} , so erhält man 1,7·10⁻³ pro Jahr, also einen Wert, welcher lediglich rund doppelt so groß ist wie der "genaue" Wert von $8\cdot 10^{-4}$ pro Jahr. (Hinweis: Die PFD ist in Abhängigkeit des SIL logarithmisch skaliert. Eine Verdoppelung oder Halbierung der Ausfallrate ist daher von geringer Bedeutung. Entscheidend ist die Größenordnung; Nachkommastellen dürfen getrost auf eine signifikante Stelle gerundet werden.) Mit Hilfe des B₁₀-Wertes ist es demnach möglich, die wichtigsten Zuverlässigkeitskenngrößen (Lebensdauer und Ausfallrate) aus einem einzigen Wert abzuleiten. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass die so ermittelte fiktive Ausfallrate An nur für Zeiten eine akzeptable Näherung darstellt, die kleiner sind als B_{10} (im Beispiel also für t < 57 Jahre).

FAZIT

Abgesehen von der PFD/PFH-Berechnung können mechanische Komponenten bei der SIL-Bewertung genauso behandelt werden wie elektronische Komponenten. Die Notwendigkeit der Unterscheidung ergibt sich erst bei der Betrachtung des Ausfallverhaltens aufgrund zufälliger Fehler. Hier spielt insbesondere bei der Mechanik die Betriebsart eine entscheidende Rolle. Wird Mechanik im High Demand Mode betrieben, so fällt diese in der Regel verschleißbedingt aus. Derartige Ausfälle können weitgehend als Zufallsereignis angesehen werden und mit Hilfe der Weibull-Verteilung beschrieben werden. Eine Annäherung dieser Verteilung durch eine (zeitlich begrenzte) fiktive konstante Ausfallrate 🛵 ermöglicht es in diesem Fall, die mechanische Komponente in die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Schutzfunktion mit einzubeziehen. Basis für die besagte Approximation der Weibull-Verteilung ist der B_{10} -Wert, welcher häufig auch zur Angabe der zu erwartenden Lebensdauer herangezogen wird.

Für mechanische Komponenten, die im Low Demand Mode betrieben werden, kann in der Regel keine Ausfallrate angegeben werden, welche eine realitätsnahe Beschreibung des Ausfallverhaltens darstellt. Ausfälle sind hier in der Regel systematisch bedingt und stellen somit kein Zufallsereignis dar. Für die PFD-Berechnung stehen dann keine aussagekräftigen und belastbaren Werte zur Verfügung. Umso wichtiger ist es, in diesen Fällen mögliche Ausfälle kritisch zu beleuchten und durch entsprechende Maßnahmen (wie Diagnose, Hardware-Fehlertoleranz, Wartung und Instandhaltung) für die nötige Sicherheit zu sorgen. Technischer Sachverstand, praktische Erfahrung, sorgfältiges Arbeiten und verantwortungsbewusstes Handeln sind der Schlüssel zu sicheren Anlagen – nicht die PFD-Berechnung.

MANUSKRIPTEINGANG 14.12.2010

Im Peer-Review-Verfahren hegutachtet

REFERENZEN

- [1] EN 61508 Teil 1-6, "Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme", November 2002
- [2] Dirk Hablawetz, Norbert Matalla und Gerhard Adam, "IEC 61511 in der Praxis - Erfahrungen eines Anlagenbetreibers", atp 10/2007
- [3] Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Sterbetafeln 2004
- [4] VDI/VDE 2180, "Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT)", 2009
- [5] EN 61511; "Funktionale Sicherheit Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie – Teil 1-3", Mai 2005

AUTOR



DR. ANDREAS HILDEBRANDT

(geb. 1959) arbeitet seit 2006 als Leiter der Gruppe "Schulung und Gremienarbeit" der Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim. Seine Arbeitsschwerpunkte sind unter anderem der Explosionsschutz und die funktionale

Sicherheit. Daneben leitet er die ZVEI-Arbeitsgruppe "EMV" und ist Mitglied im DKE GK 914, im DKE K 767.0.4 und im FA 6.13 der Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) des VDI/VDE.

Pepperl+Fuchs GmbH, Lilienthalstr. 200, D-68307 Mannheim, Tel. +49 (0) 621 776 14 54, E-Mail: ahildebrandt@de.pepperl-fuchs.com