

ERGEBNISPAPIER

Die Verfügbarkeit von mechanischen Sicherheitseinrichtungen – Sicherheitsventile

ProcessNet-Arbeitsausschuss
„Sicherheitsgerechtes Auslegen von Chemieanlagen“



IMPRESSUM

Herausgeber

ProcessNet-Arbeitsausschuss „Sicherheitsgerechtes Auslegen von Chemieanlagen“

Autoren

| | |
|---------------------------------|--|
| Dr. Levente-Csaba Bodizs | Evonik Technology & Infrastructure GmbH, Marl |
| B. Sc. Monika Christ | consilab Gesellschaft für Anlagensicherheit mbH, Frankfurt am Main |
| Dipl.-Ing. Karsten Chromik | Linde AG, Engineering Division, Dresden |
| Dr.-Ing. Uwe Delfs | VDI e.V., Düsseldorf |
| Dr. Udo Dünger | COV Deutschland AG, Leverkusen |
| Dr. Eva-Maria Felix | DECHEMA e.V., Frankfurt am Main |
| Dr. Thomas Heidermann | Braunschweiger Flammenfilter GmbH, Braunschweig |
| Dr. Dariusz Jablonski | Bayer AG, Leverkusen |
| Dipl.-Ing. Georg Kiese | Linde AG, Engineering Division, Pullach |
| Dipl.-Ing. (FH) Oliver Odenwald | BASF SE, Ludwigshafen |
| Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt | CSE Center of Safety Excellence gGmbH, Pfinztal |
| Dipl.-Ing. Volker Stellmacher | Covestro Deutschland AG, Dormagen |
| Dipl.-Ing. Anton Wellenhofer | Linde AG, Engineering Division, Pullach |
| Dipl.-Ing. Jan Weppelmann | Bayer AG, Leverkusen |
| Dr.-Ing. Frank Westphal | consilab Gesellschaft für Anlagensicherheit mbH, Frankfurt |
| Dipl.-Ing. Stefan Zimmermann | Linde AG, Engineering Division, Dresden |

Verantwortlich im Sinne des Presserechts

DECHEMA e.V.
Dr. Andreas Förster
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Erschienen im Februar 2018

ISBN: 978-3-89746-205-2

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 1 | Motivation | 4 |
| 2 | Begriffe / Anwendungsbereich | 5 |
| 3 | Die sicherheitstechnische Funktion von Sicherheitsventilen | 7 |
| 3.1 | Anforderungen an die fachgerechte Konstruktion | 7 |
| 3.2 | Anforderungen an die fachgerechte Herstellung und Qualitätssicherung | 7 |
| 3.3 | Anforderungen an die fachgerechte Auslegung | 7 |
| 3.4 | Anforderungen an die fachgerechte Auswahl | 8 |
| 3.5 | Anforderungen an die fachgerechte Installation und Montage | 8 |
| 3.6 | Anforderungen zur Erhaltung der sicherheitstechnischen Funktion des Abblasesystems | 8 |
| 4 | Probabilistik bei der Bewertung von Sicherheitsventilen und Abblasesystemen | 9 |
| 5 | Zusammenfassung | 10 |
| ANHANG | | |
| | Anhang 1: Darstellung der Unterschiede zwischen IEC 61508/11 und Anforderungen an Sicherheitsventile | 11 |
| | Anhang 2: Systematische Fehler von Sicherheitsventilen | 12 |
| | Anhang 3: Baumusterprüfung von Sicherheitsventilen | 13 |
| | Anhang 4: Probabilistik nach IEC 61508 und IEC 61511 für den Low Demand Mode – Niedrige Anforderungsrate | 14 |

1 Motivation

Verfahrenstechnische Anlagen werden mit Maßnahmen der Prozessleittechnik und mit mechanischen Sicherheitseinrichtungen zur Vermeidung unerwünschter und gefährdender Betriebszustände ausgerüstet. In der Prozessleittechnik hat sich ein risikobasierter Ansatz zur Bewertung der Zuverlässigkeit der Sicherheitseinrichtung etabliert, Stichwort: IEC 61508 und IEC 61511 – SIL. Mit Blick auf diesen Ansatz werden nun Hersteller, Planer und Betreiber mit Fragestellungen zur risikobasierten Bewertung der Zuverlässigkeit mechanischer Sicherheitseinrichtungen konfrontiert.

Dieses Dokument erläutert den speziell für Sicherheitsventile vorgegebenen rechtlichen und normativen Rahmen im Hinblick auf eine risikobasierte Bewertung der Zuverlässigkeit. Es soll eine Diskussionsgrundlage geliefert und fundierte Hilfestellung bei der Einordnung der Zuverlässigkeit von mechanischen Sicherheitseinrichtungen, speziell den mechanisch einfach ausgeführten und damit robusten Sicherheitsventilen, geboten werden.

Zusammenfassend wird dargestellt, dass ein richtig bemessenes Sicherheitsventil - ohne Redundanz – bei fachgerechter Planung und Anwendung zur Sicherstellung der sicherheitstechnischen Funktion ausreicht und mit welchen Maßnahmen diese sicherheitstechnische Zuverlässigkeit erreicht wird.

Dieses Dokument wurde von Experten einer Projektgruppe aus der ProcessNet-Arbeitsausschuss Sicherheitsgerechtes Auslegen von Chemieanlagen unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Jürgen Schmidt erarbeitet. Die Experten kamen aus verschiedenen Bereichen – Anlagenbau, chemischer Industrie, Herstellern und Beratungsfirmen – erstellt und geprüft. Es wurde vom Arbeitsausschuss verabschiedet.

2 Begriffe / Anwendungsbereich

| Begriff | Definition |
|---|--|
| Mechanische Sicherheitseinrichtungen | Mechanische Sicherheitseinrichtungen im Sinne dieses Dokuments sind folgende mechanische Sicherheitseinrichtungen zur Druckentlastung bzw. zum Druckausgleich: Sicherheitsventile, Niederdruckventile |
| Sicherheitsventile | Federbelastete Sicherheitsventile im Sinne von ISO 4126 Teil 1 Nicht berücksichtigt sind: Pilotgesteuerte und fremdmediumgesteuerte Sicherheitsventile |
| Niederdruckventile | Niederdruckventile sind gewichts- oder federbelastete Ventile zur Druckbegrenzung oder Regelung von Fluiden bei Drücken bis zu 0,5 bar. Das Öffnungs- und Schließverhalten ist abhängig von der Bauart und nicht festgelegt. |
| Die Funktion von Sicherheitsventilen | Sicherheitsventile erfüllen zwei Funktionen: <ul style="list-style-type: none"> » Druckbegrenzung auf 110% des zulässigen Betriebsüberdrucks des zu schützenden Systems oder Bauteils (nach DGRL 2014/68/EU / BetrSichV) » Verhinderung des Austretens von Medien bei normalen Arbeitsdruckbedingungen (nach ISO 4126-1, § 3.1) |
| Die sicherheitstechnische Funktion von Sicherheitsventilen | Die sicherheitstechnische Funktion ist definiert als die Druckbegrenzung auf 110% des zulässigen Betriebsüberdrucks des zu schützenden Systems oder Bauteils nach DGRL 2014/68/EU / BetrSichV |
| Zuerkannter Massenstrom | Der von einem Sicherheitsventil nach Regelwerk mindestens abzuführende Massenstrom |
| Abblasesystem | Das für die Ableitung und die Funktion des Sicherheitsventils relevante System, bestehend aus <ul style="list-style-type: none"> » Zuleitung zum Sicherheitsventil » Sicherheitsventil » Ableitung vom Sicherheitsventil (z. B. einfache Rohrleitung, Rückhaltesystem oder Fackelsystem) |
| Probabilistik: Systematische Fehler | Unter der systematischen Abweichung oder auch systematischem Fehler versteht man diejenige Abweichung vom Sollzustand, die einseitig gerichtet und durch im Prinzip feststellbare Ursachen bedingt ist. In der funktionalen Sicherheit werden systematische Fehler auch als „eingebaute“ Fehler bezeichnet. Systematische Fehler haben eine Ursache und können beim Wissen um die Ursache vermieden werden. |
| Probabilistik: Zufällige Fehler | Die Ursachen von zufälligen Fehlern sind im Prinzip nicht feststellbar. Sie können im Zusammenhang mit Alterung, Herstelltoleranzen oder physikalischen Phänomenen wie Hintergrundstrahlung stehen. Zufällige Fehler sind vor allem für Halbleiterbauteile relevant. |
| PFD | Probability of Failure on Demand, Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Fehlers bei Anforderung, Hier: Wahrscheinlichkeit, dass eine Sicherheitseinrichtung bei Anforderung (= technischer Notwendigkeit) aufgrund aller systematischen und zufälligen, gefahrbringenden Fehler (=Gesamtwahrscheinlichkeit) nicht funktioniert |

| Begriff | Definition | | | | | | | | |
|------------------|---|-----|-----|------------|---|--------------|---|----------------|---|
| PFD (IEC) | In den PFD-Wert nach IEC 61508/11 gehen maßgeblich zufällige, gefährdrohende, unerkannte Fehler ein, eine Teilmenge der Gesamtausfallwahrscheinlichkeit, die zum Versagen der Sicherheitseinrichtung im Anforderungsfall führen. | | | | | | | | |
| SIL | <p>Der Safety Integrity Level (SIL) nach IEC 61508/11 definiert die Anforderung an eine Sicherheitsfunktion.</p> <p>PFD(nach IEC 61508/11)-Werte lassen sich direkt in den SIL-Wert übersetzen:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PFD</th> <th>SIL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1 – 0.01</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.01 – 0.001</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>0.001 – 0.0001</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> <p>Anmerkung: Die IEC fordert für höhere SIL-Anforderungen (spätestens bei einer SIL 3- Anforderung) zwingend eine redundante, mehrkanalige Ausführung der Sicherheitsfunktion.</p> | PFD | SIL | 0.1 – 0.01 | 1 | 0.01 – 0.001 | 2 | 0.001 – 0.0001 | 3 |
| PFD | SIL | | | | | | | | |
| 0.1 – 0.01 | 1 | | | | | | | | |
| 0.01 – 0.001 | 2 | | | | | | | | |
| 0.001 – 0.0001 | 3 | | | | | | | | |
| LOPA | <p>Die Layer Of Protection Analysis (LOPA) beruht auf den Grundgedanken der Ereignisablaufanalyse.</p> <p>Bei einer LOPA werden auslösende Ereignisse und damit verbundene Risiken eines Prozesses betrachtet. Bereits vorhandene Sicherheitseinrichtungen (IPL) und deren Ausfallwahrscheinlichkeiten (PFD) werden berücksichtigt. Mit Hilfe von Risikobeurteilungskriterien (Schadensausmaß x Wahrscheinlichkeit) wird beurteilt, ob das erreichte Risikoniveau akzeptabel ist. Gegebenenfalls werden zusätzliche Maßnahmen (IPLs) festgelegt, um mindestens das akzeptierte Risikoniveau sicherzustellen.</p> <p>Der für eine LOPA maßgebliche PFD-Wert eines IPL ist die Gesamtausfallwahrscheinlichkeit.</p> | | | | | | | | |
| IPL | <p>Ein Independent Protection Layer (IPL) ist eine vom Ereignis unabhängige Schutzbarriere, welche geeignet ist, das Schadensrisiko quantitativ zu reduzieren. Ein IPL mit IPL-Wert 1 reduziert das Schadensrisiko um eine Größenordnung.</p> <p>Schutzbarrieren (IPL) müssen voneinander unabhängig sein. D.h. beispielsweise, dass die Funktion einer Komponente nicht in mehreren Barrieren angesetzt werden darf.</p> <p>Analog der SIL-Bewertung gilt:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PFD</th> <th>IPL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.1 – 0.01</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0.01 – 0.001</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>0.001 – 0.0001</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> | PFD | IPL | 0.1 – 0.01 | 1 | 0.01 – 0.001 | 2 | 0.001 – 0.0001 | 3 |
| PFD | IPL | | | | | | | | |
| 0.1 – 0.01 | 1 | | | | | | | | |
| 0.01 – 0.001 | 2 | | | | | | | | |
| 0.001 – 0.0001 | 3 | | | | | | | | |

3 Die sicherheitstechnische Funktion von Sicherheitsventilen

Ein Sicherheitsventil erfüllt zwei Funktionen:

- » Die **Druckbegrenzung** auf 110 % des zulässigen Betriebsüberdrucks des zu schützenden Systems oder Bauteils (nach DGRL 2014/68/EU / BetrSichV)
- » Die Verhinderung des Austretens von Medium bei normalen Arbeitsdruckbedingungen (nach ISO 4126-1, § 3.1)

Die nachfolgende Bewertung bezieht sich ausschließlich auf die Druckbegrenzungsfunktion. Diese Funktion gilt für die Sicherheitseinrichtung einschließlich der daran angeschlossenen Zuleitung und Abblaseleitung. Zu berücksichtigen sind gegebenenfalls die Bedingungen am Austritt der Einrichtung bzw. der Abblaseleitung. Diese Druckbegrenzungsfunktion wird nachfolgend als **sicherheitstechnische Funktion** bezeichnet.

Es wird davon ausgegangen, dass das Sicherheitsventil

- » fachgerecht konstruiert,
- » fachgerecht hergestellt und geprüft,
- » fachgerecht ausgelegt,
- » fachgerecht ausgewählt,
- » fachgerecht installiert und
- » fachgerecht in Betrieb genommen, gewartet und regelmäßig geprüft

wird.

Sicherheitsventile sind nach DGRL 2014/68/EU Bauteile der Kategorie IV. Die Einhaltung der Produktvorgaben nach DIN EN ISO 4126 wird durch die vorgeschriebene Baumusterprüfung dieser Bauteile mit sicherheitstechnischer Funktion gewährleistet.

3.1 Anforderungen an die fachgerechte Konstruktion

Die Erfüllung der sicherheitstechnischen Funktion von Sicherheitsventilen ergibt sich aus dem Zusammenspiel von druckführendem System, Zuleitung, Sicherheitsventil, Abblaseleitung und den Randbedingungen am Austritt. Im Rahmen der Bauteilprüfung sollen die Vorgaben für das

Sicherheitsventil anhand eines Baumusters geprüft und mit Hilfe von ausreichenden Qualitätskontrollen bei der Herstellung sichergestellt werden (siehe Anhang 3).

Damit die **sicherheitstechnische Funktion eines Sicherheitsventils** im Betrieb erreicht wird, werden das Funktionsverhalten und die Kapazität des Sicherheitsventils im Rahmen einer Baumusterprüfung überprüft (Anhang 3).

3.2 Anforderungen an die fachgerechte Herstellung und Qualitätssicherung

Dem Qualitätsmanagement des Herstellers der Sicherheitsventile kommt eine besondere Bedeutung zu. Das Qualitätsmanagement des Herstellers stellt sicher, dass das neu hergestellte Bauteil die erwünschten Eigenschaften des Baumusters erreicht.

Durch diese Maßnahmen sind zufällige Fehler, die zum Nichtansprechen des Sicherheitsventils im Anforderungsfall führen oder die das Abführen des zuerkannten Massenstroms aus einem druckführenden System verhindern, weitgehend ausgeschlossen.

3.3 Anforderungen an die fachgerechte Auslegung

Bei der Auslegung eines Sicherheitsventils wird das Sicherheitsventil so gewählt, dass der durch das Abblasesystem abführbare Massenstrom größer oder gleich dem mindestens abzuführenden Massenstrom aus dem druckführenden System ist. Der mindestens abzuführende Massenstrom wird durch den Auslegungsfall definiert. Er ist der dimensionierende, also größenbestimmende Auslegungsfall für das Sicherheitsventil.

Dem Qualitätsmanagement des für die Auslegung Verantwortlichen kommt eine besondere Bedeutung zu. Das Qualitätsmanagement stellt die fachgerechte Auslegung sicher.

3.4 Anforderungen an die fachgerechte Auswahl

Bei der Auswahl des Abblasesystems werden die beeinflussende Einsatzumgebung, z. B. Stoffeigenschaften (bzgl. Korrosion, Verkleben und Verkrusten), Temperatur, Umgebungseinflüsse, Verrohrung und Wartung korrekt berücksichtigt (siehe Anhang 2).

Dem Qualitätsmanagement des für die Auswahl Verantwortlichen kommt eine besondere Bedeutung zu. Das Qualitätsmanagement stellt die fachgerechte Auswahl sicher.

3.5 Anforderungen an die fachgerechte Installation und Montage

Bei der Installation des gesamten Abblasesystems werden die Anforderungen gemäß der Auslegung entsprechend dem Stand der Technik berücksichtigt. Dazu gehören die Einhaltung der zulässigen Werte in Bezug auf Eintrittsdruckverlust, Gegendruck, Gefälle (Entwässerung), Lagerung (Reaktionskräfte), schallinduzierte Schwingungen sowie die Vorgaben des Herstellers zum richtigen Einbau, wie z.B. der Einbaulage.

Dem Qualitätsmanagement des für die Installation Verantwortlichen kommt eine besondere Bedeutung zu. Das Qualitätsmanagement stellt die fachgerechte Installation sicher.

3.6 Anforderungen zur Erhaltung der sicherheitstechnischen Funktion des Abblasesystems

Zur Erhaltung der sicherheitstechnischen Funktion des Abblasesystems müssen die Aspekte gemäß Anhang 2 beachtet werden.

Dem Qualitätsmanagement des Betreibers kommt über den Lebenszyklus eine besondere Bedeutung zu. Korrekte Erstinbetriebnahme, wiederkehrende Prüfung, regelmäßige Wartung sowie das Änderungsmanagement stellen die hohe Verfügbarkeit des Abblasesystems während des Anlagenbetriebes sicher.

4 Probabilistik bei der Bewertung von Sicherheitsventilen und Abblasesystemen

Die Unterscheidung von systematischen und zufälligen Fehlern, wie in der funktionalen Sicherheit üblich, ist für mechanische Sicherheitseinrichtungen nicht aussagekräftig.

Für mechanische Sicherheitseinrichtungen ist die Betrachtung des Gesamtfehlers als Maß für die Unverfügbarkeit der sicherheitstechnischen Funktion des Sicherheitsventils wesentlich sinnvoller. Die Betrachtung des Gesamtfehlers geht über die fokussierte Betrachtung des zufälligen Fehlers als Maß der Verfügbarkeit, wie in der funktionalen Sicherheit üblich, weit hinaus.

Zufällige Fehler, die die sicherheitstechnische Funktion beeinträchtigen können, sind nach den Erfahrungen der Arbeitsgruppe nicht signifikant bezogen auf den Gesamtfehler.

Systematische Fehler werden durch die unvollständige Berücksichtigung oder Änderungen der beeinflussenden Einsatzumgebung verursacht und können vermieden werden. Systematische Fehler von Sicherheitsventilen durch individuelle Planung, Konstruktion oder Einsatz in spezifischen Prozessen können nicht der Verfügbarkeit des mechanischen Bauteils Sicherheitsventil zugerechnet werden.

In der Literatur zu Sicherheitsventilen sind Datensätze für mehr als 100 000 mechanische Sicherheitseinrichtungen unterschiedlicher Art und mit verschiedenen Einsatzmedien dokumentiert. Die Gesamt-Fehlerraten liegen statistisch im niedrigem zweistelligen Prozentbereich.

In den Veröffentlichungen wird typischerweise nicht zwischen zufälligen und systematischen Fehlern und nicht zwischen sicheren und gefahrbringenden Fehlern unterschieden. Die Bewertung der Fehler lässt darauf schließen, dass zufällige Fehler sehr selten auftreten.

Die SIL-Einstufung über die Ausfallrate bedingt durch **zufällige, unerkannte, gefährdende Fehler** (IEC 61508/11 und Anhang 4 dieses Dokumentes) ist kein relevantes Beurteilungskriterium für Sicherheitsventile.

Eine Darstellung der Unterschiede zwischen IEC und Sicherheitsventilen findet sich im Anhang 1.

5 Zusammenfassung

- » Die sicherheitstechnische Funktion eines Sicherheitsventils ist die Begrenzung des Drucks auf 110 % des zulässigen Betriebsüberdruckes des zu schützenden Systems oder Bauteils.
- » Die sicherheitstechnische Funktion und damit die Zuverlässigkeit des Sicherheitsventils ist durch die Einstufung in die Kategorie IV der DGRL / Bauteilprüfung und die damit einhergehenden qualitätssichernden Maßnahmen während der Konstruktion und der Fertigung sichergestellt.
- » Niederdruckventile unterliegen nicht der DGRL und eine Bauteilprüfung ist nicht gefordert. Eine Funktions- und Leistungsüberprüfung durch Dritte erfolgt in der Regel nicht. Das Funktionsverhalten variiert und ist von der Bauart abhängig. Diese Varianten spiegeln sich in den vielfältigen Ausführungen wider, ändern aber nichts an der sicherheitstechnischen Funktion: Die Begrenzung des Drucks. Im Kern sind die Aussagen über Sicherheitsventile direkt auf Niederdruckventile übertragbar.
- » Ein Versagen des Sicherheitsventils im Hinblick auf die sicherheitstechnische Funktion wird zumeist durch unvollständige Berücksichtigung oder Änderungen der beeinflussenden Einsatzumgebung verursacht.
- » Zufällige Fehler beeinträchtigen die Verfügbarkeit der sicherheitstechnischen Funktion des Sicherheitsventils nach den derzeitigen Erfahrungen nicht signifikant. In der Regel führen zufällige Fehler zum unerwünschten Öffnen des Sicherheitsventils (Beispiel: Federbruch, d.h. Öffnen ohne sicherheitsrelevante Anforderung) und sind somit als zufällige, sichere Fehler zu bewerten.
- » Der PFD-Wert nach IEC 61508/11 für elektrische/elektronische/programmierbare elektronische Systeme und die damit verbundene SIL-Einstufung basiert ausschließlich auf der Rate der **zufälligen, unerkannten, gefährdrohenden** Fehler (IEC 61511 und Anhang 4 dieses Dokumentes). Diese Fehler sind bei Sicherheitsventilen nicht relevant.
- » Die Bewertung der zufälligen Fehler ist kein geeignetes Beurteilungskriterium für Sicherheitsventile.
- » Eine SIL-Einstufung entsprechend IEC 61508/11 ist für Sicherheitsventile somit nicht sinnvoll.
- » Sicherheitsventile sind robuste, einfache Bauteile. Bei vorausgesetzter korrekter Anwendung der etablierten Maßnahmen zum Sicherstellen der Funktion der Sicherheitsventile ist ein einzelnes, richtig bemessenes Sicherheitsventil (keine Redundanz) zur Erfüllung der sicherheitstechnischen Funktion ausreichend. Sicherheitsventile erfüllen nach Einschätzung des Arbeitskreises ihre Funktion mit einer PFD $< 10^{-3}$, entsprechend IPL 3, und sind ohne Redundanz für die höchste Anforderungsstufe geeignet.

Anhang 1: Darstellung der Unterschiede zwischen IEC 61508/11 und Anforderungen an Sicherheitsventile

| | IEC 61508 /11 | Sicherheitsventile als Sicherheitstechnische Bauteile nach Druckgeräterichtlinie |
|---|--|---|
| Sicherheitstechnische Funktion und Schutzziel | Erfüllen der Schutzziele entsprechend der Anforderung, z.B. das Öffnen oder Schließen eines oder mehrerer Schaltventil(e). | Schutzziel ist das Öffnen des Sicherheitsventils entsprechend den Anforderungen der DGRL. |
| Nachweis der Anforderung, und der grundsätzlichen sicherheitstechnischen Funktion | <p>Mathematischer Nachweis des Erfüllens der Anforderung mit Herstellerangaben zu Ausfallraten maßgeblich der Rate von zufälligen, gefährbringenden, unerkannten Ausfällen λ_{DU}.</p> <p>Das Vorgehen ist bei elektrischen/elektronischen Bauteilen sinnvoll.</p> | <p>Es gelten die Anforderungen aus der DGRL 2014/68/EU. Sicherheitseinrichtungen sind i.d.R. der Kategorie IV zugeordnet. Damit ist zwingend eine Bauteilprüfung und/oder ein unabhängig zertifiziertes Qualitätssicherungssystem des Herstellers vorgeschrieben. Das Auftreten dieser Bauteilfehler kann durch strikte Lieferbedingungen und / oder Anwendung einer unabhängigen, qualifizierten Abnahme- und Erstinbetriebnahmeprozedur weiter reduziert werden, vergleiche Anhang 3.</p> <p>Die sehr seltenen zufälligen Fehler (Bauteilfehler), also Herstellerfehler, werden durch Qualitätssicherungsmaßnahmen auf ein minimales, akzeptiertes Maß reduziert und/oder resultieren in der Regel in zufälligen, sicheren Fehlern, d.h., das Sicherheitsventil öffnet ohne Anforderung.</p> <p>Sicherheitsventile erfüllen nach Einschätzung des Arbeitsausschusses ihre Funktion mit einer PFD $< 10^{-3}$, entsprechend IPL 3, und sind ohne Redundanz für die höchste Anforderungsstufe geeignet.</p> |
| Vermeidung von systematischen Fehler | Die IEC verlangt ein Life Cycle Management zur Vermeidung von systematischen Fehlern. | <p>Systematische Fehler werden durch</p> <ul style="list-style-type: none"> » fachgerechte Konstruktion, » fachgerechte Herstellung und Prüfung, » fachgerechte Auslegung, » fachgerechte Auswahl, » fachgerechte Installation, » fachgerechte Inbetriebnahme und regelmäßige Wartung und Prüfung des Sicherheitsventils vermieden. <p>Dem Qualitätsmanagement des jeweils Verantwortlichen kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.</p> <p>Eine Liste der zu vermeidenden Fehler findet sich in Anhang 2.</p> |

Anhang 2: Systematische Fehler von Sicherheitsventilen

Das Versagen eines Sicherheitsventils (i.d.R. die nicht ausreichende Funktion durch systematische Fehler) wird durch nicht vollständige Berücksichtigung oder Änderungen der beeinflussenden Einsatzumgebung verursacht. Diese können sein (Liste nicht vollständig):

1. Auslegungsfehler

- a) Auswahl eines ungeeigneten Typs der Sicherheitseinrichtung (z.B. ungeeignetes Schließverhalten)
- b) Unzureichende Dimensionierung der Sicherheitseinrichtung
- c) Unzureichende Dimensionierung der zu- bzw. ableitenden (Rohrleitungs-)Systeme (keine Berücksichtigung des maximal zulässigen Druckverlusts in Zuleitung und Abblaseleitung einschließlich Fremdgedruck im Rückhaltesystem)
- d) Ungeeignete Werkstoffpaarung für die Düse / den Ventilsitz
- e) Nichtberücksichtigung der Prozessmedien und -bedingungen sowie der Umgebung (z.B. Notwendigkeit der Spülung der zu- bzw. abführenden Leitungen, Begleitbeheizung und deren Überwachung):
 - I. Korrosion,
 - II. Verkleben und Verkrusten,
 - III. Einfluss der Umgebung wie Kondensationseffekte und Eisbildung

2. Fehler beim Betrieb

- a) Unzureichende Installation und Erstinbetriebnahme
- b) Unzureichende Prüfung und Prüfungsintervalle im Rahmen eines Qualitätsmanagements
- c) Unzureichende Wartung und Instandhaltung im Rahmen eines Qualitätsmanagements
- d) Irrtümlich geschlossene Vor- und/oder Nachabspernungen
- e) Nichtberücksichtigung der zusätzlichen Maßnahmen zum Sicherstellen der Funktion des Sicherheitsventils, die durch den Prozess oder die Umgebung erforderlich sind (z.B. der Spülung der zu- bzw. abführenden Leitungen, Begleitbeheizung)

3. Sonstiges

- a) Prozessänderungen und damit Änderung der betrieblichen Randbedingungen
- b) Schwingungsanregung in der Anlage (falls die Eigenfrequenz des Sicherheitsventils der Eigenfrequenz der Anlage entspricht)
- c) Exzessive schallinduzierte Schwingungen im Ableitungssystem

Anhang 3: Baumusterprüfung von Sicherheitsventilen

Baumusterprüfung nach ISO 4126-1, §7.1.3 (Anforderung aus der DGRL)

Damit die **sicherheitstechnische Funktion eines Sicherheitsventils** im Betrieb erreicht wird, müssen Funktionsverhalten und Kapazität des Sicherheitsventils im Rahmen einer Baumusterprüfung mit Prüfmedien sichergestellt werden.

Der Zweck der Prüfungen ist es, unter den Prüfbedingungen zumindest die folgenden Eigenschaften der Ventile vor dem Öffnen, während des Abblasens und bei Schließen zu ermitteln (nach ISO 4126-1, §7.1.3):

- a) Ansprechdruck
- b) Öffnungsdruckdifferenz
- c) Hub bei Öffnungsdruckdifferenz
- d) Schließdruck
- e) Reproduzierbarkeit der Ventilfunktion
- f) tatsächlicher Massenstrom
- g) mechanische Eigenschaften der Ventile, die durch visuelle oder akustische Prüfung festgestellt werden, z. B.:
 - I. die Fähigkeit, zufriedenstellend zu schließen
 - II. die Abwesenheit von Klappern, Flattern, Festsitzen und/oder gefährlichen Vibrationen

Anhang 4: Probabilistik nach IEC 61508 und IEC 61511 für den Low Demand Mode – Niedrige Anforderungsrate

In die Bewertung nach IEC gehen maßgeblich die **gefährbringenden, unerkannten Ausfälle** ein.

$$PFD = \frac{1}{2} \cdot \lambda_{DU} \cdot T_1 \text{ (vereinfachter Ansatz nach VDI/VDE 2180 Blatt 4)}$$

PFD: Probability of Failure on Demand, Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Fehlers bei Anforderung

λ_{DU} : Rate von zufälligen, gefährbringenden, unerkannten Ausfällen

T_1 : Proof Test Interval: Wiederholungsprüfungsintervall

Zufällige Ausfälle werden nach IEC wie folgt kategorisiert:

$\lambda = \lambda_S + \lambda_D$: Gesamtausfallrate, zufällige Fehler

λ_S : Safe Failures: Rate sicherer Ausfälle – Ausfälle, die das betrachtete System in den sicheren Zustand führen

$\lambda_S = \lambda_{SD} + \lambda_{SU}$ aufgeteilt in die Rate erkannter (detected, λ_{SD}) und unerkannter (undetected λ_{SU}) Ausfälle

und

λ_D : Dangerous Failures: Rate von gefährbringenden, unerkannten Ausfällen

$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU}$ aufgeteilt in die Rate erkannter (detected, λ_{DD}) und unerkannter (undetected λ_{DU}) Ausfälle

PFD-Werte lassen sich direkt in ein Safety Integrity Level (SIL) übersetzen.

| PFD | SIL |
|----------------|-----|
| 0.1 – 0.01 | 1 |
| 0.01 – 0.001 | 2 |
| 0.001 – 0.0001 | 3 |

Die IEC fordert bei höheren SIL-Anforderungen (spätestens bei einer SIL 3- Anforderung) zwingend eine redundante, mehrkanalige Ausführung der Sicherheitsfunktion.

DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik
und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Telefon: 069 7564-0

Telefax: 069 7564-117

E-Mail: info@dechema.de