



ROGA

**Eine neue Methode der risikoorientierten
Gefahrenanalyse zur Erfüllung der
Anforderungen der Störfall-Verordnung**

Sonderdruck aus TÜ Technische Überwachung,
Ausgaben 10, 11/12 (2006)

Besonders geeignet für die
SIL-Klassifizierung

ROGA – Eine neue Methode der risikoorientierten Gefahrenanalyse zur Erfüllung der Anforderungen der Störfall-Verordnung

Franz-Josef Bock, Klaus Haferkamp, Joachim Mistele, Armond Shahvardian, Köln

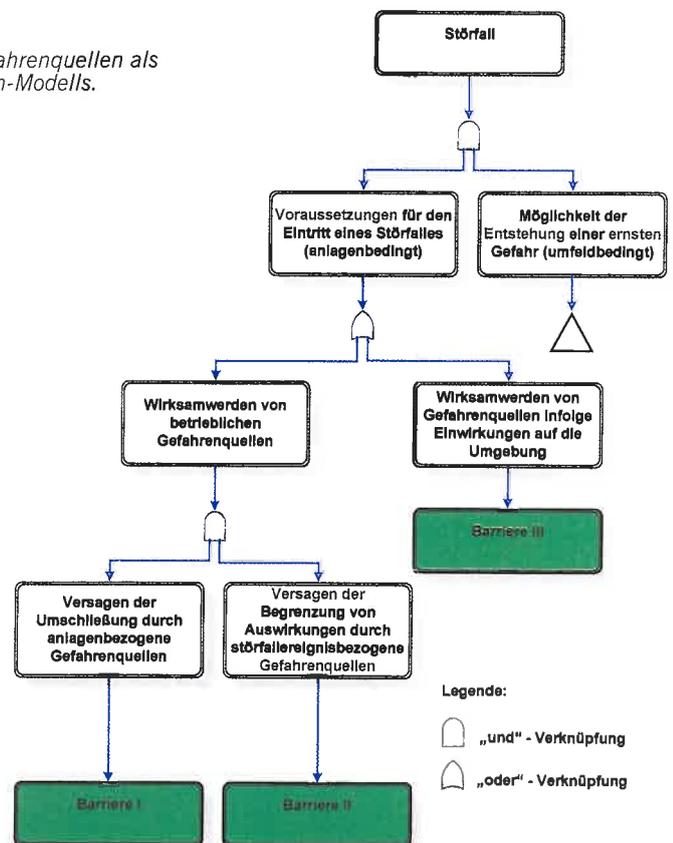
Im Beitrag wird eine semiquantitative Methode zur Ermittlung von Gefahrenquellen in Prozessanlagen, deren Risikobewertung durch Risikoklassen und die aus der Gefahrenanalyse ableitbaren sicherheitstechnischen Maßnahmen vorgestellt. Die Methode wurde von der TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln, entwickelt. Der Beitrag befasst sich zunächst mit der Ermittlung der Gefahrenquellen, die in einer Prozessanlage wirksam werden können, sowie deren Risikobewertung in Form von Risikoklassen. Danach wird die Beurteilung der sicherheitstechnischen Maßnahmen in Form von Zuverlässigkeitsklassen vorgenommen.

Die Störfall-Verordnung [1] verlangt eine systematische Untersuchung der Gefahrenquellen und deren Auswirkungen bei ihrem Wirksamwerden. Gemäß Anhang II, Abschnitt III/1 dieser Verordnung sind die wichtigsten Tätigkeiten und Produkte der sicherheitsrelevanten Teile des Betriebsbereichs, die Gefahrenquellen, die zu Störfällen führen könnten, die Bedingungen, unter denen der jeweilige Störfall eintreten könnte sowie die vorgesehenen Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen zu beschreiben. Das Ziel einer Gefahrenanalyse, resultierend aus den Anforderungen der Störfall-Verordnung, muss demnach sein, die Bereiche und Anlagenteile herauszuarbeiten, die sicherheitsrelevant sind. Bei diesen Anlagenteilen handelt es sich um Prozesskomponenten, die an der Entstehung eines Störfalles aufgrund ihres Stoffinhalts, ihrer Schutzwirkung oder sonstiger Eigenschaften beteiligt sein können. Für die Dokumentation dieser Analyse stellt der Sicherheitsbericht gemäß § 9 der Störfall-Verordnung die notwendige und geeignete Plattform dar.

Bei der Betrachtung von risikobehafteten Vorgängen stellt sich häufig die Frage nach quantifizierbaren Parametern. Dies ist bei der Beurteilung von Chemieanlagen umso schwieriger, da für das in solchen Anlagen verwendete Equipment kaum statistisch signifikante und reproduzierbare Daten bezüglich Ausfall- bzw. Fehlerraten vorliegen.

Die verstärkt zu beobachtende Diskussion hinsichtlich quantitativer Risiko-

Bild 1 Die generellen Gefahrenquellen als Grundlage des 3-Barrieren-Modells.



bewertungen in chemischen Prozessanlagen wurde zum Anlass genommen, eine Methode zu entwickeln, die es erlaubt, mithilfe einer semiquantitativen Vorgehensweise das Wirksamwerden von Gefahrenquellen und die daraus resultierenden Auswirkungen auf Basis einer Risikoeermittlung zu beurteilen. Bei dieser Methode orientieren sich die Risikoparameter an dem Begriff

des Störfalles nach § 2 (3) der Störfall-Verordnung und dem Begriff der ernststen Gefahr nach § 2 (4) der Störfall-Verordnung.

Die Methode – im Folgenden als ROGA-Verfahren bezeichnet – dient der Bewertung des Arbeitsschutzes, der Anlagensicherheit beim Betreiben von Anlagen und des Schutzes der Umgebung der Anlage. Das ROGA-Verfahren gliedert sich in

zwei Teile. Der erste Teil umfasst die Ermittlung der Gefahrenquellen, die in einer Prozessanlage wirksam werden können, sowie deren Risikobewertung in Form von Risikoklassen (RK). Der zweite Teil beinhaltet die Eruiierung der seitens des Betreibers getroffenen technischen und organisatorischen Maßnahmen, die dazu dienen, die Gefahrenquellen zu beherrschen, sowie deren Bewertung mit Zuverlässigkeitsklassen (ZK).

Gefahrenanalyse

Die für das ROGA-Verfahren verwendete Methodik der deduktiven Gefahrenanalyse wurde in mehreren vom Umweltbundesamt und vom Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e. V. geförderten Forschungsvorhaben entwickelt [2 bis 7] und zwar im Kontext der Erstellung von Sicherheitsberichten/Sicherheitsanalysen nach Störfall-Verordnung.

Als Gefahrenquellen im engeren Sinn werden die Zustände oder Ereignisse in einer Anlage bezeichnet, bei denen ein Stoff unmittelbar seine Einschließung verlassen kann. Mithilfe hierarchisch gegliederter Checklisten zu denkbaren betrieblichen Gefahrenquellen werden die für die betrachtete Anlage relevanten Gefahrenquellen ermittelt. Unter Bezugnahme auf diese Gefahrenquellen werden die in der Anlage zu treffenden störfallverhindernden Maßnahmen und diejenigen zur Begrenzung der Auswirkungen von Stofffreisetzungen identifiziert. Die Gesamtheit der zu treffenden störfallverhindernden Maßnahmen werden als Barriere I und die Gesamtheit der Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen als Barriere II bezeichnet (s. Bild 1).

Mithilfe einer weiteren Checkliste zu generell gefährdenden Einwirkungen aus der Umgebung wird die Gesamtheit der Maßnahmen zum Schutz der betrachteten Anlage gegen Einwirkungen aus der Umwelt und gegen Eingriffe Unbefugter, die sog. Barriere III, ermittelt.

Die systematische Eruiierung der Gesamtheit der generellen Gefahrenquellen und deren Verknüpfung mit dem Begriff des Störfalls veranschaulicht das 3-Barrieren-Modell in Bild 1.

Vorgehensweise bei der Gefahrenanalyse

Zur Durchführung der Gefahrenanalyse wird die Anlage in übersichtliche, verfahrenstechnisch sinnvolle Teilanlagen eingeteilt, für die jeweils die Analyse geschlossen durchgeführt wird. Bild 2 zeigt die Vorgehensweise bei der Durchführung der Ge-

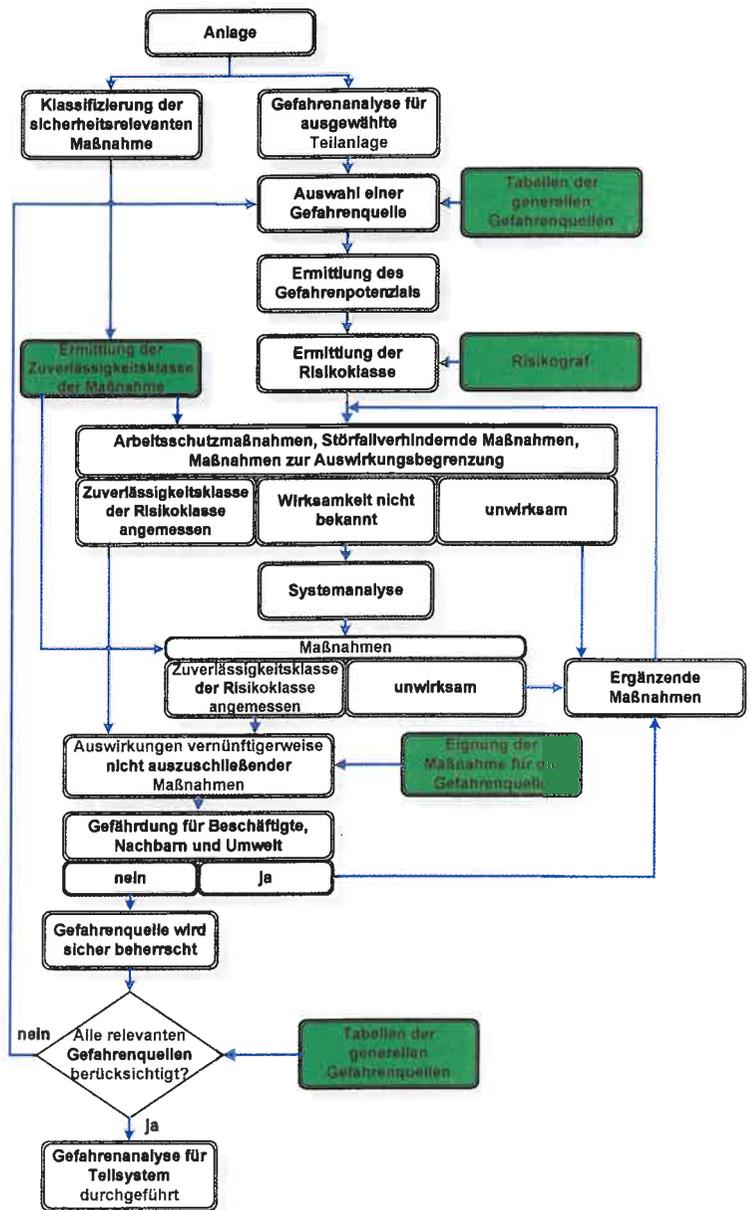


Bild 2 Vorgehensweise bei der Durchführung der Gefahrenanalyse nach dem ROGA-Verfahren.

fahrenanalyse nach dem ROGA-Verfahren. Die Analyse der betrieblichen Gefahrenquellen wird in folgenden Schritten durchgeführt:

- Ermittlung der anlagenspezifischen Störfalleintrittsvoraussetzungen,
- Selektion der Teilsysteme, in denen die Störfalleintrittsvoraussetzungen auftreten können,
- Ermittlung der betrieblichen Gefahrenquellen unter Anwendung der Checklisten [2 bis 7],
- Ermittlung der sicherheitsrelevanten Anlagenteile,
- Ermittlung des mit den Gefahrenquellen verbundenen Gefahrenpotenzials und dessen Bewertung in Form von Risikoklassen (RK),

- Ermittlung der störfallverhindernden und auswirkungsbegrenzenden Maßnahmen und deren Bewertung in Form von Zuverlässigkeitsklassen (ZK).

Die Ergebnisse der anlagenbezogenen Gefahrenanalyse werden in Tabellenform dargestellt. In den Tabellen werden die ermittelten anlagenbezogenen Gefahrenquellen und die anhand der technischen und organisatorischen Ausführung der Anlage relevanten störfallverhindernden Maßnahmen aufgelistet. Die Maßnahmen werden in der Reihenfolge dargestellt, in der sie wirksam werden. Den Gefahrenquellen werden mithilfe eines Risikografen Risikoklassen (RK) zugeordnet, den Maßnahmen werden jeweils nach ihrer Ausführung und Eignung Zuverlässigkeitsklassen

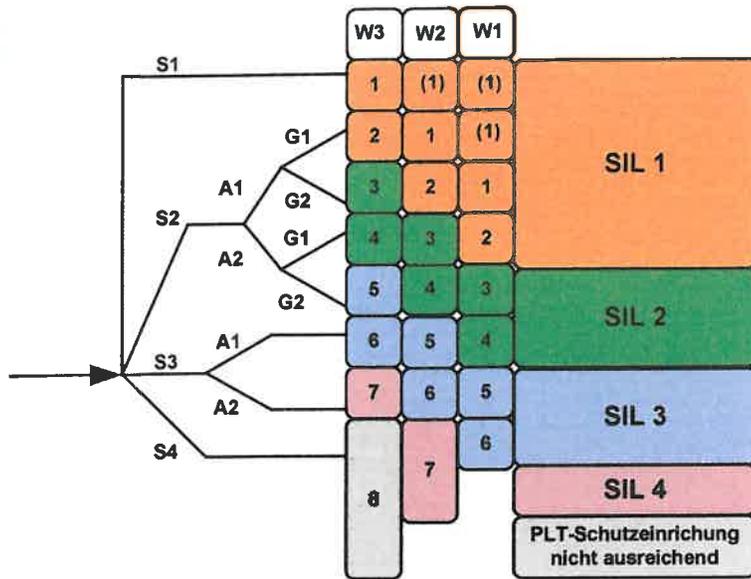


Bild 3 Risikograf zur Bewertung des Gefahrenpotenzials von Gefahrenquellen mit Risikoklassen nach dem ROGA-Verfahren und Zuordnung der Risikoklassen zu SIL-Klassen nach DIN EN 61508 [10].

Tabelle 1 Grenzwerte für den gefährdeten Bereich bei einer stofflichen Leckage.

Ereignis	Bezugswert	Alternative Grenzwerte
Freisetzung toxischer Stoffe	AEGL-2 [11]	Für Stoffe, für die es keine AEGL-2-Werte gibt, wird die Richtlinie des UBA angezogen: ERPG-2 [12], IDLH [13]
Explosion	Explosionsdruck 20 mbar als Grenzwert für die Schädigung des Gehörs	Untere Zündgrenze (UEG)
Brandfall	Wärmestrahlungswert für Verbrennung 1. Grades	Untere Zündgrenze (UEG)
Karzinogene oder mutagene oder teratogene Stoffe	Störfallbezogene Werte gibt es bisher nicht, daher werden für Stoffe mit ausschließlich diesen Eigenschaften Grenzwerte für den bestimmungsgemäßen Betrieb gewählt (TRK, BAT).	

(ZK) zugeordnet. Insgesamt wird gefordert, dass die Summe der Zuverlässigkeitsklassen ZKY_i der Maßnahmen i (Zuverlässigkeitsklasse der Maßnahmenkette) mindestens der für die Gefahrenquelle j ermittelten Risikoklasse RKX_j entspricht (Gl. 1).

$$\sum_i ZKY_i \geq RKX_j \quad (1)$$

Dabei sind Y_i der Zahlenwert der Zuverlässigkeitsklasse ZKY_i der Maßnahme i und X_j der Zahlenwert der Risikoklasse RKX_j der Gefahrenquelle j .

Wenn die Bewertung der Gefahrenquelle zeigt, dass die Risikoklasse durch die Zuverlässigkeitsklassen der angeführten Maßnahmen abgedeckt ist, wird auf eine weitergehende Auflistung von Gegenmaßnahmen verzichtet.

Die Gefahrenanalyse wird anlagen- und komponentenbezogen durchgeführt. Die Gefahrenquellen aus den Wechselwirkungen der Komponenten werden in Tabellen erfasst. Bedingt durch diese Analyse-methode finden auch die Auswirkungen

von Ausfällen der Betriebsmittel (Strom, Steuerluft, Kühlwasser, Dampf, Heizmedien), sofern diese gefahrenrelevant sind, Berücksichtigung als Gefahrenquellen.

Risikobewertung von Gefahrenquellen mithilfe eines Risikografen

Mit dem ROGA-Verfahren wird eine semiquantitative Vorgehensweise vorgestellt, die es dem Ersteller einer Gefahrenanalyse gestattet, mit vertretbarem Aufwand das Risiko des mit dem Wirksamwerden einer Gefahrenquelle verbundenen Gefahrenpotenzials und die Zuverlässigkeit der Gegenmaßnahmen abzuschätzen und so die Sicherheit der Anlage darzustellen. Die Ermittlung und Bewertung des mit einer Gefahrenquelle verbundenen Risikos erfolgt mithilfe eines Risikografen, wie er in der Normung zur Bewertung von MSR-Schutzeinrichtungen [8] eingeführt und prinzipiell von Jochum [9] weiterentwickelt wurde. Mithilfe des Risikografen wird jeder Gefahrenquelle eine Risikoklasse zugeordnet.

Für das ROGA-Verfahren wurde der Risikograf in seiner Form, wie er im Entwurf der VDI/VDE 2180, Blatt 1 [8], dargestellt ist, modifiziert und erweitert (s. Bild 3). Die Modifizierung hat zum Ziel, zum einen die Kriterien hinsichtlich des Schadensausmaßes zu erfüllen, die von der Störfall-Verordnung zur Vermeidung der ernststen Gefahr gefordert werden. Zum anderen können mit dem modifizierten Risikografen sämtliche in einer Anlage getroffenen sicherheitsrelevanten Maßnahmen bewertet werden.

Im Rahmen der Bewertung des Gefahrenpotenzials von Gefahrenquellen nach dem ROGA-Verfahren werden den Auswirkungen, die beim Wirksamwerden von Gefahrenquellen auftreten, Risikoklassen RKX_j gemäß Gl. (2) zugeordnet.

$$RKX_j = RKX_j(S_k, A_k, G_k, W_k) \quad (2)$$

Diese Risikoklassen sind Funktionen folgender Risikoparameter:

- **Schadensausmaß S_k** , das mit dem Wirksamwerden der Gefahrenquelle verbunden ist,
- **Wahrscheinlichkeit A_k** für den Aufenthalt von Menschen im Einflussbereich des mit dem Schadensausmaß verbundenen Gefahrenbereichs,
- **Wahrscheinlichkeit G_k** , mit der die Gefährdung rechtzeitig bemerkt wird und
- **Wahrscheinlichkeit W_k** , mit der das Wirksamwerden der Gefahrenquelle angenommen werden muss.

Die Risikoparameter sind so definiert, dass sie mit einiger Erfahrung für die zu betrachtenden Gefahrenquellen hinreichend schnell ermittelt werden können. Dabei berücksichtigen die Parameter Größen, die zum einen aus der Störfall-Verordnung abgeleitet werden können, zum anderen spiegeln sie das Verhalten der Anlage wider.

Schadensausmaß beim Wirksamwerden einer Gefahrenquelle

Je nach stofflichem Gefahrenpotenzial können die durch einen Brand, eine Explosion und/oder eine Stofffreisetzung hervorgerufenen Auswirkungen mit einer Gefahr für die Anlage, für die Gesundheit oder für das Leben verbunden sein. Um diese Auswirkungen systematisch festlegen zu können, werden für die gehandhabten Stoffe und die unterstellten Ereignisse Nomogramme für die Bestimmung des Schadensausmaßes als Funktion der freigesetzten Stoffmenge erstellt. Als Schadenskriterium wird die Gefährdung der Gesundheit von Menschen zugrunde gelegt. Beispiele hier-

für sind die Toxizität der freigesetzten Stoffe, der Einfluss durch Wärmestrahlung infolge eines Brandes und von Explosionsdruckwellen, hervorgerufen durch eine Explosion.

Die Grenzwerte für das Schadenskriterium des gefährdeten Bereichs sind aus **Tabelle 1** für verschiedene Ereignisse ersichtlich.

Der Freisetzungs-/Öffnungsquerschnitt beim Wirksamwerden einer Gefahrenquelle leitet sich aus der mit der Gefahrenquelle verbundenen Schwachstelle der Umschließung ab. Die Festlegung des Öffnungsquerschnitts ergibt sich dabei aus einer Schwachstellenanalyse bezüglich der Gefahrenquelle für das betrachtete Funktionselement. In **Tabelle 2** sind für die Checklisten-Rubrik „Freisetzung gefährlicher Stoffe durch mechanisches Versagen der Umschließung von Funktionselementen“ Beispiele genannt.

Die Reichweite der freigesetzten Stoffe wird mit einer Ausbreitungsbetrachtung in Abhängigkeit von dem für die Gefahrenquelle angenommenen Zustand der Stoffe in der Umschließung (Aggregatzustand, Druck, Temperatur) und der Größe des Freisetzungsquerschnitts ermittelt. Für den engeren Bereich einer Anlage kann i. d. R. ein Freistrahlen angenommen werden. Auf die Rolle hinsichtlich des Einbauortes des betrachteten Funktionselements sei besonders hingewiesen.

Das Schadensausmaß wird gemäß folgender Kriterien definiert:

● **S1: Schadensausmaß „klein“** bedeutet keine Bedrohung für das Leben oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen für Menschen.

● **S2: Schadensausmaß „mittel“** bedeutet eine Bedrohung des Lebens oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen für die Beschäftigten in der Anlage.

● **S3: Schadensausmaß „groß“** bedeutet eine Bedrohung des Lebens oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen für die Anwesenden im Werk (Betriebsbereich).

● **S4: Schadensausmaß „katastrophal“** bedeutet eine Bedrohung des Lebens oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen für eine große Anzahl von Personen innerhalb und außerhalb des Betriebsbereichs.

Der Bewertung der Toxizität liegt das AEGL-Konzept zugrunde [11; 12]. Bei ausschließlicher Gefährdung von Betriebspersonal wird der AEGL-2-Wert für 10 min angewendet. Können auch betriebsfremde Personen geschädigt werden, so wird der AEGL-2-Wert für 30 min herangezogen.

Das Schadensausmaß S_i beim Wirksamwerden einer ausgewählten Gefahren-

Tabelle 2 Zur Bestimmung des Schadensausmaßes anzunehmende Öffnungsquerschnitte für die Freisetzung gefährlicher Stoffe durch mechanisches Versagen der Umschließung von Funktionselementen.

Nr.	Generelle Gefahrenquellen	Funktionselement	Öffnungsquerschnitt
1.	Freisetzung gefährlicher Stoffe durch mechanisches Versagen der Umschließung von Funktionselementen infolge		
1.1	Konstruktionsfehler (nicht für den Anwendungsfall geeignete Konstruktion, z. B. nicht nach Regelwerk berechneter Druckbehälter)	alle Elemente	je nach angenommenem Fehler bis zum Versagen des betrachteten Elements
1.2	Fertigungsfehler (Fertigung nicht nach den Anforderungen des Regelwerks, nicht unter Berücksichtigung besonderer anlagenbedingter Anforderungen)	alle Elemente	je nach angenommenem Fehler bis zum Versagen des betrachteten Elements
1.3	Fehler bei der Aufstellung (z. B. Zusatzbeanspruchungen durch Aufstellung: Lasten durch Anschlussrohrleitungen, Schwingungsbelastungen)	alle Elemente	falls identifizierbar: Öffnungsquerschnitt nach Zusatzbelastung z. B. Rohrbriss, falls nicht identifizierbar: Versagen des betrachteten Elements
1.4	Unzulässiger Druck	alle Elemente	falls keine identifizierbare Schwachstelle vorhanden: Versagen des betrachteten Elements
1.5	Örtlich unzulässige Temperatur	alle Elemente	bei Temperaturen unterhalb der Versprödungstemperatur: z. B. Rohrquerschnitt, bei Temperaturen oberhalb der relevanten Spannungs-Zeit-Kurve: Riss in Abhängigkeit der zeitlichen Temperaturbelastung
1.6	Schädigung durch Korrosion, Erosion, Verschleiß, Kavitation	alle Elemente – insbesondere Elemente unter höherem Druck	je nach Schädigungsangriff/bei flächiger Korrosion bis zum Versagen des betrachteten Elements
1.7	Schädigung durch Schwingungen	schwingungsfähige Systeme: – Systeme mit externer Anregung (Verdichter, Zentrifugen) – Systeme mit Eigenschwingungen (z. B. strömungsinduzierte Schwingungen)	Versagen von Schwachstellen/falls nicht vorhanden: Versagen des betrachteten Elements, bei Rohren: Versagen von Schwachstellen, Gesamtquerschnitt
1.8	Schwachstellen an Flanschen, Armaturen, Dichtungen, Messstellen, Verschlüssen	Flanschverbindungen: – Armaturen, – Messstellen, Verschlüsse, Stutzen < DN 25	Weichstoffanteil der Dichtung unter Berücksichtigung möglicher Montagefehler, Spaltquerschnitt der Spindeldurchführung, wenn Dichtung nicht vorhanden: Abriss- bzw. Öffnungsquerschnitt
1.9	Lagerversagen	Pumpen mit Wellendurchführung Rührwerke	Spaltquerschnitt der Wellendurchführung, wenn Dichtung nicht vorhanden: wie Pumpen
1.10	Lösen bewegter Komponenten	Hermetikpumpen: z. B. besondere Gefährdung durch Strömung in engen Spalten, Rührwerke, Zerkleinerungsmaschinen, Zentrifugen, mechanisch (z. B. mit Hebelwirkung) betätigte Öffnungs- und Schließmechanismen; Fördereinrichtungen	Versagen der Umschließung je nach Konstruktion Abschätzung des Versagensgrades der Umschließung, Versagen der Umschließung

quelle, wie z. B. die Freisetzung toxischer Stoffe, wird durch Konzentrations-Isoplethen auf Basis der AEGL-2-Werte für den mit der Gefahrenquelle verbundenen Massenstrom festgelegt. Anschließend wird geprüft, welche Bereiche (ständige Arbeitsplätze, Werkstraßen, Betriebe), die vom Menschen betreten werden, innerhalb dieser Isoplethen liegen.

Als Basis für die Beurteilung des Schadensausmaßes dienen folgende Klassen von Aufenthaltsbereichen:

1. Bereich um die Freisetzungsquelle innerhalb dem kein „üblicher Aufenthalt“ stattfindet. Dieser Aufenthalt berücksichtigt alle Tätigkeiten von Menschen, ausgenommen solche der Instandhaltung oder An- und Abfahrvorgänge
=> S1, AEGL-2, 10 min.

2. Bereich um die Freisetzungsquelle innerhalb der zu betrachtenden Anlage, in dem sich Betriebspersonal oder (über anlagenspezifische Gefahren) unterwiesene Personen aufhalten
=> S2, AEGL-2, 10 min.

3. Bereich um die Freisetzungsquelle innerhalb des Betriebsbereichs, in dem sich Personen aufhalten, die über generelle Gefahren informiert sind
=> S3, AEGL-2, 30 min.

4. Bereich um die Freisetzungsquelle bis zur Nachbarschaft des Betriebsbereichs, in dem sich Personen (nicht Werksangehörige) aufhalten, die nicht sicher über Gefahren informiert sind
=> S4, AEGL-2, 30 min.

Bild 4 zeigt ein Beispiel eines für die Beurteilung des Schadensausmaßes verwendeten Nomogramms. In dieser Darstellung sind Konzentrations-Isoplethen in Abhängigkeit von der Lachengröße für eine Emission von 1,2-Propylenoxid (Methyloxiran) aus einer Lache aufgetragen.

Für die o. g. Ereignisse Brand und Explosion werden in ähnlicher Art und Weise Nomogramme für die Bestimmung des Schadensausmaßes als Funktion der freigesetzten Stoffmenge erstellt, mit deren Hilfe die Bewertung des Schadensausmaßes vorgenommen wird.

Wahrscheinlichkeit der Schädigung von Menschen/ Umwelt beim Wirksamwerden einer Gefahrenquelle

Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Gefährdung wird mit folgenden Risikoparametern bewertet:

1. Die Wahrscheinlichkeit, mit der sich Menschen innerhalb eines Gefahrenbereichs aufhalten, innerhalb dessen ein Ereignis mit einem Schadensausmaß **S2**

oder **S3** ermittelt wurde, wird mit den Parametern **A1** und **A2** bewertet:

● **A1:** Menschen halten sich selten im Bereich der Auswirkung auf (gekennzeichnete Arbeitswege),

● **A2:** Menschen halten sich häufig im Bereich der Auswirkung auf (ständiger Arbeitsplatz).

2. Die Wahrscheinlichkeit der Gefahrenabwendung wird mit den Parametern **G1** und **G2** bewertet:

● **G1:** leicht möglich (Geruch; Geräusch;...),

● **G2:** schwer möglich (Explosion; Freisetzung sehr giftiger Gase, Dämpfe;...),

3. Die Wahrscheinlichkeit, mit der die Gefahrenquelle wirksam werden kann, wird mit den Parametern **W1**, **W2** und **W3** beschrieben:

● **W1:** sehr gering (noch nicht in vergleichbaren Betrieben, jedoch in ähnlich gelagerten Fällen eingetreten) – alternativ: die potenzielle Gefährdung kann nur infolge von zwei gleichzeitigen betriebsbedingten Fehlern auftreten,

● **W2:** gering (bereits einmal im Laufe des Betriebs oder vergleichbarer Betriebe eingetreten) – alternativ: die potenzielle Gefährdung kann am Ort der Freisetzung nur infolge eines betriebsbedingten Fehlers auftreten,

● **W3:** relativ hoch (bereits mehrmals im Betrieb oder in vergleichbaren Betrieben eingetreten) – alternativ: die potenzielle Gefährdung – durch das Medium – steht dauernd am Ort der Freisetzung an.

Die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit für das Wirksamwerden einer Gefahrenquelle erfolgt dabei unter Berücksichtigung der Gegebenheiten in der betrachteten Anlage. Das gleichzeitige betriebsbedingte Auftreten von drei Fehlern führt zu einer so geringen Wahrscheinlichkeit für das Wirksamwerden der Gefahrenquelle, dass sie i. d. R. vernachlässigt werden kann.

Tabelle 3 zeigt einen Auszug aus der Gefahrenanalyse nach dem ROGA-Verfahren am Beispiel der Störfalleintrittsvoraussetzung „Brand/Explosion von Kohlenwasserstoffgemischen“ in einer Prozessanlage. In ihr wird als Teilergebnis die Dokumentation der Risikoklassen RK dargestellt.

Die Tabelle enthält die Auflistung der auf die Anlage bezogenen Gefahrenquellen, deren Auswirkungen und die Risikoklasse, die ein Maß für das Schadensausmaß darstellt. Um das Wirksamwerden der Gefahrenquelle zu verhindern, müssen den Risikoklassen Maßnahmen mit adäquaten Zuverlässigkeitsklassen gegenüberstehen.

Technische und organisatorische Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen und ihre Zuordnung zu Zuverlässigkeitsklassen

Durch die Zuordnung der zur Beherrschung der Gefahren getroffenen technischen und organisatorischen Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen (ZK), wird die Erfüllung der Sicherheitsanforderun-

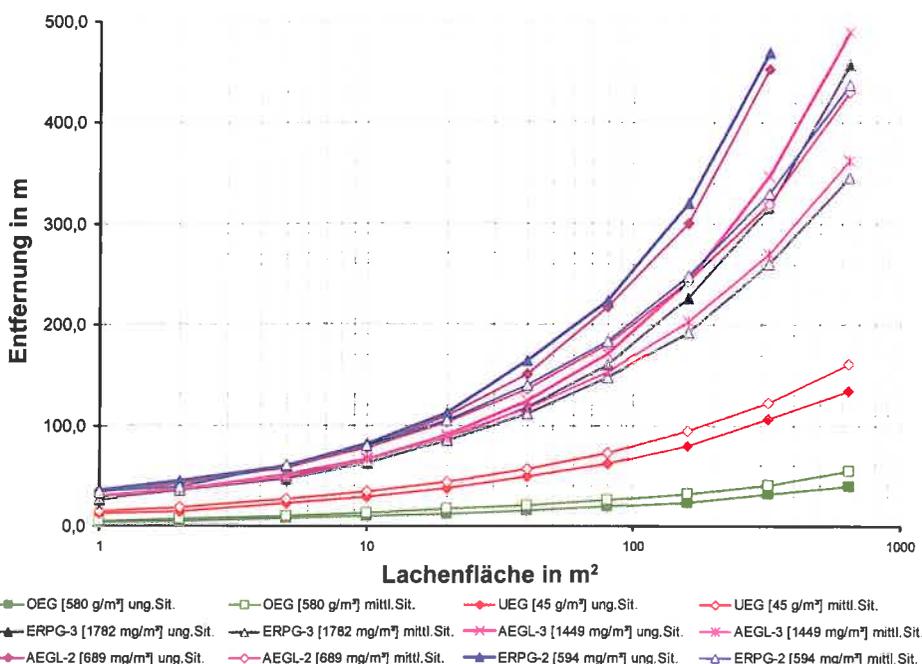


Bild 4 Konzentrations-Isoplethen für die Emission von 1,2-Propylenoxid aus einer Lache.

Tabelle 3 Teilergebnis einer Gefahrenanalyse nach dem ROGA-Verfahren.

Tabelle xx: Gefahrenanalyse, anlagenbezogene Gefahren						
Anlage: Block: Störfalleintrittsvoraussetzung:		Zeichnungs-Nr.: Kolonne C-4, Behälter V-3, V-4, V-6		Blatt:		
Brand/Explosion von Kohlenwasserstoffgemischen (LGO, HGO)						
Generelle Gefahrenquellen	Auf die Anlage bezogenen Gefahrenquellen	Auswirkungen	Risikoklasse RK	Störfallverhindernde Maßnahmen Zuverlässigkeitsklasse ZK		
1. Freisetzung von Stoffen nach Anhang I der Störfall-Verordnung durch mechanisches Versagen der Umschließung von Funktionselementen						
1.4	unzulässiger Druck	Erhöhter Druck in MS E-8A bei geschlossenem Druckregelventil PRC-150 Druckerzeuger: P-11 A/B(max. 25 bar)	Zu hoher Druck auf der Mantelseite des E-8A mit Versagen der Umschließung und Freisetzung von heißem HGO	RK 2 S2 (bei Zündung), A1, G2, W2	Auslegung der Mantelseite des E-8A für 22,1 bar, Niveauregelung LRCA-7 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung, Niveauregelung LRCA-8 an V-3 mit Alarmierung	? ZK ? ZK ? ZK
		Erhöhter Druck in MS E-5A+D, MS E-6 A-C, RS E-3, MS E-33 A/B, MS E-33C als Folge der Überfüllung bei geschlossenem Abgabschieber FRCQ-44 oder geschlossenem PRC-150 (Sumpfweg siehe oben) Druckerzeuger: P-12 A/B (18,5 bar), Arbeitsdruck hinter P-12: 10,7 bar	Zu hoher Druck in den Apparaten mit Versagen der Umschließung und Freisetzung von heißem LGO/HGO	RK 5 S3 (bei Zündung), A1, W2	Druckregelung PRCA-150 hinter E-8A mit Alarmierung, Niveauregelung LRCA-7 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung, Niveauregelung LRCA-8 an V-3 mit Alarmierung nach ausreichender Eingriffszeit des Operators (30 min.), Niveauregelung LRAZ-6 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung und Abschaltung der Einsatzpumpe	? ZK ? ZK ? ZK ? ZK
		Erhöhter Druck in MS E-5A+D, MS E-6 A-C, RS E-3, MS E-33 A/B, MS E-33C bei geschlossenem Abgabschieber LRCA-8 Druckerzeuger: P-12 A/B (18,5 bar), Arbeitsdruck hinter P-12: 10,7 bar	Zu hoher Druck in den Apparaten mit Versagen der Umschließung und Freisetzung von warmen LGO	RK 2 S2 (bei Zündung), A1, G2, W2	Auslegungsdruck (MS E-5 A+D, RS E-3, MSE-33 A/B/C) 14,7 bar, Niveauregelung LRCA-7 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung	? ZK ? ZK
		Erhöhter Druck in C-4 durch Versagen der Heizmittelregelung an E-11	Versagen der Kolonne C-4 oder nachgeschalteter Behälter mit Freisetzung von heißem LGO, HGO	RK 5 S3 (bei Zündung), A1, W2	Auslegung für einen zulässigen Betriebsüberdruck von > 7 bar (höher als maximale Druckerzeugung der C-4 bzw. Betriebsdruck Sumpf C-2)	? ZK
1.5	örtlich unzulässige Temperatur	Erhöhte LGO-Ablauftemperatur zum Tank durch Ausfall des Kühlmediums für E-33 A-C	Temperaturanstieg im Schwimmdach-Tank über 100 °C, Verdampfen von Restwasser mit Zerstörung des Schwimmdaches durch Dampfschlag	RK 5 S3 (bei Zündung), A1, W2	Temperaturüberwachung TRA-307 mit Alarmierung hinter E-33 A/B und TRA 571 hinter E-33 C in der Leitung zum Tank, Temperaturüberwachung TZA 572 in der Einspeiseleitung zum Tank alarmiert und schließt Abgabschieber, Aufstellung des Tanks in Tanktasche, Begrenzung des Zugangs und der Auswirkung	? ZK ? ZK ? ZK

gen an die betrachtete Anlage dokumentiert. Diese Zuordnung der technischen und organisatorischen Maßnahmen in Zuverlässigkeitsklassen muss dem Stand der Sicherheitstechnik nach Störfall-Verordnung, § 2 Nr. 5 und der Betriebserfahrung entsprechen.

Grundsätzlich umfasst eine Zuverlässigkeitsklasse alle erforderlichen Vorgänge, die die Funktion der sicherheitsrelevanten Maßnahmen bei Wirksamwerden einer Gefahrenquelle gewährleisten. Im Prinzip wird die Zuverlässigkeitsklasse durch eine Analyse der typischen Abweichungen von den sicherheitstechnischen Anforderungen an die Maßnahme festgelegt; diese Abweichungen und die sicherheitstechnischen Anforderungen werden in der Planungsphase während der Errichtung bis zum Betrieb ermittelt.

Um die technischen und organisatorischen Maßnahmen verschiedener Kategorien hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit untereinander vergleichen zu können, wird hier eine semiquantitative Vorgehensweise vorgeschlagen. Analog zur Unterteilung des Risikos von Gefahrenpotenzialen in acht Risikoklassen im Risikografen, wurde die Skala für die Zuverlässigkeit ebenfalls in

acht Klassen eingeteilt. Die Ausfallwahrscheinlichkeit P_i einer Maßnahme i wird der Zuverlässigkeitsklasse ZKY_i entsprechend Gl. (3) zugeordnet:

$$ZKY_i = -\log P_i \quad (3)$$

$$P_i = 10^{-Y_i}$$

Das bedeutet, dass durch Zuordnung einer Maßnahme zu einer Zuverlässigkeitsklasse ihre Ausfallwahrscheinlichkeit mit einem Streubereich um den Faktor 10 abgeschätzt wird. Der so definierte Streubereich entspricht z. B. dem Streubereich der Sicherheitsniveaus (SIL) der DIN EN 61508 [10]. Der damit angestrebte Bereich der Ausfallwahrscheinlichkeit einer Maßnahme kann innerhalb eines solchen Streubereichs i. d. R. durch eine angemessene Wahl der Einflussgrößen auf die Zuverlässigkeit erreicht werden. Durch die gewählte Vorgehensweise kann z. B. auch die Zuverlässigkeitsklasse einer Maßnahmenkette als Summe der einzelnen Zuverlässigkeitsklassen voneinander unabhängiger Maßnahmen bewertet werden.

Eine Orientierung für die Zuordnung von Zuverlässigkeitsklassen zu sicherheitsrelevanten Maßnahmen bieten die Bewer-

tungen von MSR-Schutzeinrichtungen nach DIN EN 61508/61511 [10; 14] bzw. VDI/VDE 2180 [8] sowie die Klassifizierung von Druckgeräten nach der Druckgeräteverordnung. In diesen technischen Regelungen sind die Anforderungen an die Prüfungen von Konstruktion, Fertigung und Abnahme von technischen Einrichtungen festgelegt. Bei der Bewertung können in einer verfahrenstechnischen Anlage auch anderen getroffenen technischen und organisatorischen Maßnahmen Zuverlässigkeitsklassen zugeordnet werden.

Technische Maßnahmen sind insbesondere hinsichtlich folgender Aspekte zu bewerten:

- Gefährdungsgerechte Berechnung, Konstruktion, Fertigung, Einbau,
- Aufwand zur Beherrschung typischer Schwachstellen des Elements (Dichtheit),
- Überwachung des Zustands während des Betriebs,
- Einbeziehung in Wartungs- und Instandhaltungsprogramme.

Mögliche Kriterien für die Zuordnung von sicherheitstechnischen Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen sind:

- Sicherheitsbeiwerte bei der Dimensionierung,

Zuverlässigkeitsklasse	Risikoklasse nach VDI 2180	Technische Ausrüstung der MSR-Schutzeinrichtung
ZK 4	I	Steuerung von dem PLS-System unabhängig. Es können aber dieselben Aktoren (Armaturen) verwendet werden, einkanalig, fest verdrahtet, digitaler Grenzwertgeber mit Alarm vor Erreichen des Grenzwertes und Abschaltfunktion (PZA), möglichst mit Fail-safe-Verhalten des Stellgliedes und Rückmeldung bei Erreichen des Sollzustandes. Nach VDI 2180 müssen die Komponenten entweder eine SIL-Klassifizierung oder eine Hersteller- oder Betreibererklärung über die Betriebsbewährung haben.
ZK 6	II	wie ZK 4, jedoch mit Redundanz von Sensoren, Übertragungsweg und/oder Aktoren, je nach Einschätzung der Zuverlässigkeit (üblich 2v3-Schaltung)

Tabelle 4 Zuordnung von MSR-Schutzeinrichtungen nach VDI 2180 zu Zuverlässigkeitsklassen.

Zuverlässigkeitsklasse	Art der Dichtung der Armatur	Gewährleistung der Dichtheit der Armatur
ZK 1	Stopfbuchse mit Packung	Dichtheitsprüfung/ regelmäßige visuelle Prüfung
ZK 2	Stopfbuchse mit Manschette, O-Ring	Dichtheitsprüfung/ regelmäßige Inaugenscheinnahme
ZK 3	Stopfbuchse mit Packung, Stopfbuchse mit Manschette, O-Ring mit Eignungsnachweis; Metallischer Faltenbalg, visuelle Prüfung	Dichtheitsprüfung/ regelmäßige visuelle Prüfung
ZK 4	Metallischer Faltenbalg, abgedichtet mit Eignungsnachweis	Dichtheitsprüfung/ regelmäßige visuelle Prüfung
ZK 5 ZK 6	Stopfbuchsen mit Packungen und Sperrmedium/Absaugung; Metallischer Faltenbalg, beidseitig verschweißt; Bewegungsfreies Metallelement mit Magnetsteuerung des Schließelementes	Dichtheitsprüfung/ regelmäßige visuelle Prüfung

Tabelle 5 Bewertung der Dichtheit von Armaturen mit Zuverlässigkeitsklassen.

- konstruktive Modifikationen,
- Anforderungen an die Überwachung (Selbstüberwachung),
- Anforderungen an die konstruktive Ausbildung bzw. an die Werkstoffqualität,
- redundante/diversitäre Ausbildung sicherheitstechnischer Komponenten,
- Anforderungen an die Qualitätskontrolle,
- Prüftiefe bezüglich Dimensionierung, konstruktiver Durchbildung und plange-rechter Ausführung,
- Häufigkeit und Tiefe wiederkehrender Prüfungen,
- Anforderungen an die Wartung bezüglich Häufigkeit und Umfang,
- Anforderungen an die Betriebsvorschriften bezüglich Umfang und Inhalt,
- Funktionsweise eines Bauteils, die sich durch die konstruktive bzw. technologische Auslegung des Bauteils ergibt – es stellt sich z.B. die Frage, ob ein Gerät mechanisch oder elektrisch betrieben wird.

Organisatorische Maßnahmen sind hinsichtlich folgender Aspekte auf ihre Zuverlässigkeit hin zu bewerten, ob

- ausgebildetes und eingewiesenes Personal eingesetzt wird,
- ausführliche Betriebsanweisungen vorliegen,
- die Tätigkeiten des Betriebspersonal kontrolliert werden,
- ein regelmäßiger Erfahrungsaustausch vorgesehen und durchgeführt wird,
- die Tätigkeiten dokumentiert, ausgewertet und archiviert werden.

Wird die Zuverlässigkeit von sicherheitstechnischen Maßnahmen nicht ausgewie-

sen, empfehlen sich folgende Festlegungen:

- Eine jederzeit aktive Maßnahme hat eine höhere Zuverlässigkeitsklasse als eine Maßnahme, die erst auf Anforderung wirksam wird.
- Eine Maßnahme, die über wenige Aktivierungsstufen wirkt, hat eine höhere Zuverlässigkeitsklasse als eine Maßnahme mit einer langen Übertragungskette zwischen Sensor und Aktor.
- Eine mechanische Umschließung hat eine höhere Zuverlässigkeitsklasse als eine über Steuerungsglieder wirksame Maßnahme.

Die Zuverlässigkeitsklasse einer Maßnahme ist durch den Stand der Sicherheitstechnik nach oben begrenzt.

Zuordnung von technischen Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen

MSR-Schutzeinrichtungen

Die grundsätzliche Gleichbewertung sicherheitstechnischer Anforderungen an MSR-Schutzeinrichtungen nach der Norm DIN EN 61508 mit der der Richtlinie VDI 2180 wird zurzeit hinsichtlich des Ausfallverhaltens von installierten MSR (PLT)-Schutzeinrichtungen in der chemischen Industrie untersucht. In **Tabelle 4** wird die Zuordnung von MSR-Schutzeinrichtungen nach VDI 2180 zu Zuverlässigkeitsklassen dargestellt.

Armaturen

Armaturen sind als Aktoren neben den Sensoren bedeutender Bestandteil der

Tabelle 6 Risikomatrix für Druckgeräte nach Druckgeräterichtlinie, Anhang II, Diagramme 1 bis 4.

PS: maximaler Betriebsdruck in bar, PS·V: Druck·Volumen = Energie in Nm

Druck · Volumen	Gase Gruppe 2 (Gefährdung niedrig)	Gase Gruppe 1 (Gefährdung hoch)
25 < PS · V ≤ 50	–	I ⇔ ZK 4
50 < PS · V ≤ 200	I ⇔ ZK 4	II ⇔ ZK 5
200 < PS · V ≤ 1 000	II ⇔ ZK 5	III ⇔ ZK 6
1 000 < PS · V ≤ 3 000	III ⇔ ZK 6	IV ⇔ ZK 7
3 000 < PS · V	IV ⇔ ZK 7	IV ⇔ ZK 7
Druck	Flüssigkeiten Gruppe 2 (Gefährdung niedrig)	Flüssigkeiten Gruppe 1 (Gefährdung hoch)
0,5 < PS ≤ 10	–	I ⇔ ZK 4
10 < PS ≤ 500	I ⇔ ZK 4	II ⇔ ZK 5
500 < PS	II ⇔ ZK 5	III ⇔ ZK 6

MSR-Kette und sind als solche wichtig für das Trennen eines Anlagenabschnitts von dem benachbarten Abschnitt. Als Teil der Umschließung muss auch für sie die Dichtheit nach außen sichergestellt sein. Diese Sicherheitsfunktion wird durch die Auslegung der Armatur für den maximal auftretenden Betriebsdruck erreicht. Hierbei

stellt die Art der Dichtung der Spindel-durchführung eine Schwachstelle dar.

In **Tabelle 5** werden die Zuverlässigkeitsklassen von Armaturen hinsichtlich ihrer Dichtheit und damit auch die Dichtheit der durch sie begrenzten Umschließung sowie die Art der Dichtheitsgewährleistung beschrieben.

Druckgeräte nach Druckgeräterichtlinie

Nach der Druckgeräteverordnung [15] bzw. der EG-Druckgeräterichtlinie [16] können Druckgeräte und Rohrleitungen nach (Risiko-)Kategorien klassifiziert werden. Die Kriterien der Klassifizierung nach der EG-Druckgeräterichtlinie sind:

Tabelle 7 Zuordnung organisatorischer Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen.

Zuverlässigkeitsklasse	Aktion	Grundlage	Durchführung	Nachweis	Überwachung
ZK 1	regelmäßige Begehung der Anlage Überwachung/Wartung (Pumpen)	ausgebildetes und eingewiesenes Personal, regelmäßiger Erfahrungsaustausch	Betriebsanweisung/ Checkliste	Schichtbuch, Dokumentation der Wartung	Überwachung durch Vorgesetzten
ZK 2	Aktion aufgrund eines Alarms	ausgebildetes und eingewiesenes Personal, regelmäßiger Erfahrungsaustausch, Betriebsanweisung	Checkliste	Schichtbuch, Quittierung und Dokumentation in der Alarmliste	Kontrolle der Ausführung durch Vorgesetzte
ZK 3 ¹⁾	Aktion aufgrund zweier voneinander unabhängiger Alarme	ausgebildetes und eingewiesenes Personal, regelmäßiger Erfahrungsaustausch, Betriebsanweisung, Unterweisung, ständiges Training	alarmorientierte Handlungsanweisung	Schichtbuch, Quittierung und Dokumentation in der Alarmliste	Kontrolle der Ausführung durch Vorgesetzte

¹⁾ Nur in Ausnahmefällen möglich, z. B. wenn menschliche Aktionen aufgrund fehlender Instrumentierung unabdingbar

Tabelle 8 Beispielhafte Darstellung zur tabellarischen Erhebung der Grunddaten für die Zuordnung von Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen für das Funktionselement "Pumpe" in einer verfahrenstechnischen Anlage.

n.a.: nach außen, GLD: Gleitringdichtung, LÜ: Lecküberwachung, VM: Vorlagemedium, SM: Sperrmedium, WD: Wellendichtung

Funktions-element	Bauart	Sicherheitsfunktion/ Schwachstelle	Maßnahme/ Sicherheitsmerkmal	Medium/ Zustand	Leckquer-schnitt	Schadens-reichweite	Abnahmeprüfung/ Überwachung/ Prüfung	Zuverlässigkeitsklasse ZK	
Pumpe	Kreislaspumpe	Dichtheit n.a./Gehäuse	Konstruktion/ Berechnung		Spaltweite, Welle/ Gehäuse			4-6	
		Dichtheit n.a./ Wellendurch-führung	Stopfbuchse					2	
			Einzel-GLD					2-3	
			Einzel-GLD mit LÜ					2-3	
			Mehrfach-GLD mit VM oder SM ohne LÜ					3-4	
			Mehrfach-GLD mit VM oder SM mit LÜ					4-5	
			keine WD					5-6	
			keine WD mit LÜ					6	
		Dichtheit n.a./ Schwingung	Schwingungs- überwachung mit Abschaltung						3
		Dichtheit n.a./ Korrosion	korrosionsbestän- dige Materialien, kathodischer Korrosionsschutz						4
Dichtheit n.a./ Kavitation	Trockenlaufschutz					2			

Maßnahme oder technische Einrichtung	Zuverlässigkeitsklassen							
	ZK 1	ZK 2	ZK 3	ZK 4	ZK 5	ZK 6	ZK 7	ZK 8
Organisatorische Maßnahme mit Gewährleistung	X	X	(X)					
Abschalteinrichtung ¹⁾	(X)	X	X	X				
MSR-Schutzeinrichtung ²⁾	(X)	(X)	X	X	X	X		
Armatur (Umschließung)	X	X	X	X	X	X		
Pumpe (Umschließung) ³⁾	(X)	(X)	X	X	X	X	X	
materielle Schutzeinrichtung ⁴⁾	(X)	X	X	X	X			
Druckbehälter ⁵⁾	(X)	(X)	(X)	X (I)	X (II)	X (III)	X (IV)	
Rohrleitung ⁶⁾	(X)	(X)	X	X	X	X	X	

Tabelle 9 Grenzen der Zuordnung von Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen.

1) selbsttätige Abschalteinrichtung, nicht klassifiziert 2) MSR-Schutzeinrichtung, VDI 2180, Blatt 2 – DIN EN 61508 3) Fördereinrichtung mit bewegtem Element und Antrieb 4) Begrenzung/Auffangen von Stoffen 5) druckfeste Umschließung ortsfester Druckbehälter nach Druckgeräterichtlinie (DGR), Kategorien in Klammern 6) Rohrleitung mit Verbindungseinrichtungen, z. B. Flanschverbindung, und Abstützung

Tabelle 10 Risikoklassen (RK) und Beispiele für die Zuordnung von Maßnahmen mit entsprechenden Zuverlässigkeitsklassen (ZK) zur Beherrschung der Gefahr (ZKY, entspricht AKY, nach DIN V 19250, aufgehoben).

Risikoklasse	Beispielhafte Maßnahmenketten bestehend aus mindestens erforderlichen Maßnahmen	Zugeordnete Zuverlässigkeitsklasse
RK 1	keine (zusätzliche) Maßnahme erforderlich	ZK 1 Grundanforderungen an eine Anlage, die der Störfall-Verordnung unterliegt
RK 2	organisatorische Maßnahmen mit Gewährleistung oder Überwachungseinrichtung mit Betriebsanweisung	ZK 2
RK 3	PLT-Schutzmaßnahme für Risikobereich I nach VDI/VDE 2180 oder Überwachungseinrichtung mit Betriebsanweisung und Einrichtung zur Schadensbegrenzung	ZK 3 PLT-Schutzmaßnahme: ZK 3 (Risikobereich I nach VDI 2180), Überwachungseinrichtung: ZK 1 + Schadensbegrenzung mit ZK 2
RK 4	PLT-Schutzmaßnahme für Risikobereich I nach VDI/VDE 2180 oder Überwachungseinrichtung mit Betriebsanweisung und Einrichtung zur Schadensbegrenzung	ZK 4 PLT-Schutzmaßnahme: ZK 4 (Risikobereich I nach VDI 2180), Überwachungseinrichtung: ZK 1 + Schadensbegrenzung mit ZK 3
RK 5	PLT-Schutzmaßnahme für Risikobereich II nach VDI/VDE 2180 oder PLT-Schutzmaßnahme Risikobereich I nach VDI/VDE 2180 und Einrichtung zur Schadensbegrenzung	ZK 5 PLT-Schutzmaßnahme: ZK 5 (Risikobereich II nach VDI 2180), PLT-Schutzmaßnahme für Risikobereich I (ZK 4) + Schadensbegrenzung: ZK 1
RK 6	PLT-Schutzmaßnahme für Risikobereich II nach VDI/VDE 2180 oder PLT-Schutzmaßnahme Risikobereich I nach VDI/VDE 2180 und Einrichtung zur Schadensbegrenzung	ZK 6 PLT-Schutzmaßnahme: ZK 6 (Risikobereich II nach VDI 2180), PLT-Schutzmaßnahme für Risikobereich I (ZK 4) + Schadensbegrenzung: ZK 2
RK 7	Umschließung, z. B. nach Druckgeräterichtlinie oder technische Schutzmaßnahme und Einrichtung zur Schadensbegrenzung	ZK 7 Druckgerät: Kategorie IV
RK 8	primäre Maßnahmen zur Minderung des Risikos erforderlich	ZK 8: Keine Maßnahmen entsprechender Qualifikation bisher bekannt

Tabelle 11 Endergebnis der Gefahrenanalyse (Auszug) nach dem ROGA-Verfahren.

Tabelle xx: Gefahrenanalyse, anlagenbezogene Gefahren				
Anlage:		Zeichnungs-Nr.:		Blatt:
Block:		Kolonne C-4, Behälter V-3, V-4, V-6		
Störfalleintrittsvoraussetzung:		Brand/Explosion von Kohlenwasserstoffgemischen (LGO, HGO)		
Generelle Gefahrenquellen	Auf die Anlage bezogenen Gefahrenquellen	Auswirkungen	Risikoklasse	Störfallverhindernde Maßnahmen Zuverlässigkeitsklasse
1. Freisetzung von Stoffen nach Anhang I der Störfall-Verordnung durch mechanisches Versagen der Umschließung von Funktionselementen				
1.4 unzulässiger Druck	erhöhter Druck in MS E-8A bei geschlossenem Druckregelventil PRC-150 Druckerzeuger: P-11 A/B(max. 25 bar)	zu hoher Druck auf der Mantelseite des E-8A mit Versagen der Umschließung und Freisetzung von heißem HGO	RK 2 S2 (bei Zündung), A1, G2, W2	Auslegung der Mantelseite des E-8A für 22,1 bar, ZK 6 Niveauregelung LRCA-7 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung, ZK 2 Niveauregelung LRCA-8 an V-3 mit Alarmierung ZK 2
	erhöhter Druck in MS E-5A+D, MS E-6 A-C, RS E-3, MS E-33 A/B, MS E-33C als Folge der Überfüllung bei geschlossenem Abgabeschieber FRCQ-44 oder geschlossenem PRC-150 (Sumpfweg siehe oben) Druckerzeuger: P-12 A/B (18,5 bar), Arbeitsdruck hinter P-12: 10,7 bar	zu hoher Druck in den Apparaten mit Versagen der Umschließung und Freisetzung von heißem LGO/HGO	RK 5 S3 (bei Zündung), A1, W2	Druckregelung PRCA-150 hinter E-8A mit Alarmierung, ZK 2 Niveauregelung LRCA-7 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung, ZK 2 Niveauregelung LRCA-8 an V-3 mit Alarmierung nach ausreichender Eingriffszeit des Operators (30 min.), ZK 2 Niveauregelung LRAZ-6 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung und Abschaltung der Einsatzpumpe ZK 3
	erhöhter Druck in MS E-5A+D, MS E-6 A-C, RS E-3, MS E-33 A/B, MS E-33C bei geschlossenem Abgabeschieber LRCA-8 Druckerzeuger: P-12 A/B (18,5 bar), Arbeitsdruck hinter P-12: 10,7 bar	zu hoher Druck in den Apparaten mit Versagen der Umschließung und Freisetzung von warmen LGO	RK 2 S2 (bei Zündung), A1, G2, W2	Auslegungsdruck (MS E-5 A+D, RS E-3, MSE-33 A/B/C) 14,7 bar, ZK 6 Niveauregelung LRCA-7 im Sumpf der C-4 mit Alarmierung ZK 2
	erhöhter Druck in C-4 durch Versagen der Heizmittelregelung an E-11	Versagen der Kolonne C-4 oder nachgeschalteter Behälter mit Freisetzung von heißem LGO, HGO	RK 5 S3 (bei Zündung), A1, W2	Auslegung für einen zulässigen Betriebsüberdruck von > 7 bar (höher als maximale Druckerzeugung der C-4 bzw. Betriebsdruck Sumpf C-2) ZK 7
1.5 örtlich unzulässige Temperatur	erhöhte LGO-Ablauftemperatur zum Tank durch Ausfall des Kühlmediums für E-33 A-C	Temperaturanstieg im Schwimmdach-Tank über 100 °C, Verdampfen von Restwasser mit Zerstörung des Schwimmdaches durch Dampfschlag	RK 5 S3 (bei Zündung), A1, W2	Temperaturüberwachung TRA-307 mit Alarmierung hinter E-33 A/B und TRA 571 hinter E-33 C in der Leitung zum Tank, ZK 2 Temperaturüberwachung TZA 572 in der Einspeiseleitung zum Tank alarmiert und schließt Abgabeschieber, ZK 3 Aufstellung des Tanks in Tanktasche, Begrenzung des Zugangs und der Auswirkung ZK 3

- die Einteilung der Stoffe in Stoffgruppen nach der Schwere der von den Stoffen ausgehenden Gefahren,
- die Unterscheidung der Stoffe nach dem Aggregatzustand,
- das mechanische Gefahrenpotenzial beim Bersten eines Behälters.

Durch die Einteilung der Druckgeräte und Rohrleitungen in (Risiko-)Kategorien wird in der o. g. Druckgeräterichtlinie der Umfang der Qualitätssicherung bei der Herstellung festgelegt. Dies bedeutet nichts anderes als eine Abstufung des Prüfaufwands für den Nachweis der zuverlässigen Funktion des Druckgeräts.

In **Tabelle 6** ist eine Risikoeinstufung für Druckgeräte nach Druckgeräterichtlinie für Gase entsprechend dem Produkt aus den thermodynamischen Zustandsgrößen Druck und Volumen und für Flüssigkeiten entsprechend des Drucks angeführt. Druckgeräte werden nach den technischen Regeln hergestellt. Daher, das haben auch die Erfahrungen gezeigt, weisen sie in verfahrenstechnischen Anlagen in

Verbindung mit den im Betrieb vorhandenen sicherheitsrelevanten Maßnahmen eine sehr hohe Zuverlässigkeit auf. Deshalb können den nach Druckgeräterichtlinie klassifizierten (mit römischen Ziffern gekennzeichneten) Druckgeräten Zuverlässigkeitsklassen zugeordnet werden. Diese Zuordnung ist aus **Tabelle 6** ersichtlich.

Zuordnung von organisatorischen Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen

Die Zuordnung der organisatorischen Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen zeigt **Tabelle 7**.

Ermittlung der Grunddaten für die Festlegung der Zuverlässigkeitsklassen

In der Praxis und im Rahmen der Vorbereitung zur Durchführung der Gefahrenanalyse ist es oft erforderlich, Daten zu erheben, anhand derer die Zuordnung der im Betrieb getroffenen Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen erfolgt. Die systemati-

sche Durchführung einer solchen Erhebung ist in **Tabelle 8** am Beispiel des Funktionselements „Pumpe“ dargestellt.

Grenzen der Zuordnung von sicherheitstechnischen Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen

Wie schon ausgeführt, ist die Zuordnung einer technischen und insbesondere einer organisatorischen Maßnahme zu einer Zuverlässigkeitsklasse nach oben durch den Stand der Sicherheitstechnik begrenzt. Die Grenzen der Zuordnung von Maßnahmen zu Zuverlässigkeitsklassen sind aus **Tabelle 9** ersichtlich.

Gefahrenanalyse nach dem ROGA-Verfahren

Risikoklassen müssen Maßnahmen mit adäquaten Zuverlässigkeitsklassen gegenüberstehen, d. h. den Risikoklassen darf nicht mit beliebigen niederklassierten Zuverlässigkeitsklassen einer Maßnahmenkette begegnet werden. Diese Problematik wird in **Tabelle 10** dargestellt.

Literaturverzeichnis

- [1] Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (12. BImSchV – Störfall-Verordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. Juni 2005. BGBl. I (2005) Nr. 33 vom 16. Juni 2005, S. 1598.
- [2] Jäger, P.; Haferkamp, K.: A Checklist for the systematic examination of storage and production facilities with high risk potenzial. 7th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. Taormina, Italy 4–8 May 1992.
- [3] Haferkamp, K.; Hein, M.; Rudolph, E.; Wietfeld, P.: Ermittlung des aktuellen Standes der Sicherheitstechnik und der Lücken im Bereich der Sicherheitsvorschriften für Anlagen, die der StörfallV unterliegen. Bd. 1 bis 3, UFOPLAN Nr. 10409212. Berlin 1987.
- [4] VdTÜV-Forschungsbericht Nr. 315: Aufstellen eines Leitfadens zur Erstellung und Prüfung von Sicherheitsanalysen nach § 7 Störfall-Verordnung. Bonn 1990.
- [5] Haferkamp, K.; Meier, M.: Sicherheitstechnische Anforderungsprofile für Funktionseinheiten sicherheitstechnisch bedeutsamer Industrieanlagen. Teil 1 –

- Anlagentyp Gefahrstofflager. UFOPLAN Nr. 10409408/03. Berlin 1993.
- [6] Haferkamp, K.: Weiterentwicklung des Dokumentationssystems zum Stand der Sicherheitstechnik. Teilvorhaben Stückgutlager. UFOPLAN Nr. 20404903/01. Berlin 2001. Teilvorhaben: Möglichkeiten und Grenzen der Einbindung kontinuierlicher verfahrenstechnischer Produktionsanlagen in das Datenbanksystem DOSIS. UFOPLAN Nr. 20404903/05. Berlin 2001.
- [7] Haferkamp, K.; Jäger, P.: Analyse von Gefahrenquellen im Betrieb. TÜ 34 (1993), S. 8-14.
- [8] VDI/VDE 2180 Blätter 1-5 (1998-2000) und VDI/VDE 2180 (Entwurf) Blätter 1-4 (2005-2006): Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT). Berlin: Beuth-Verlag.
- [9] Jochum, C.: Gefahrenanalyse zur Bewertung des Gefahrenpotenzials von prozessbezogenen Anlagen. Fb 895. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 2000.
- [10] DIN EN 61508: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme. Berlin: Beuth-

- Verlag Teil 0: 2005, Teile 1-5: 2002, Teile 6-7: 2003.
- [11] Acute Exposure Guideline Levels (AeGL), www.umweltbundesamt.de.
- [12] SFK-GS-28: Konzept zur Begründung der Konzentrationsleitwerte im Störfall des Arbeitskreises Schadstoffe (Luft) der SFK, Stand 12. Oktober 1999.
- [13] NTIS Publication No. PB-94-195047: Documentation for immediately dangerous to life or health concentrations: NIOSH Chemical listing and documentation of revised IDLH values (as of 3/1/95). www.cdc.gov.
- [14] DIN EN 61511: Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie. Teile 1-3: Berlin: Beuth-Verlag 2005.
- [15] Vierzehnte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung – 14. GPSGV) vom 27. September 2002. BGBl. I Nr. 70 vom 2. Oktober 2002, S. 3777.
- [16] Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte vom 29. Mai 1997. ABl. EG Nr. L 181, S. 1 vom 9. Juli 1997, ABl. EG Nr. L 265, S. 110 vom 27. September 1997.

Tabelle 11 zeigt das Endergebnis der Gefahrenanalyse nach dem ROGA-Verfahren am Beispiel der Störfalleintrittsvoraussetzung „Brand/Explosion von Kohlenwasserstoffgemischen“ in einer Prozessanlage. Diese Tabelle ist identisch mit Tabelle 3 bis zur Bestimmung der Risikoklassen; sie beinhaltet nun auch die Bewertung der sicherheitstechnischen Maßnahmen mit Zuverlässigkeitsklassen.

Damit ist die Vorgehensweise der Erstellung einer Gefahrenanalyse mit dem ROGA-Verfahren dargestellt. Dieses Verfahren zeigt, wie man mit der Ermittlung von Gefahren, der Risikobewertung der Auswirkungen von Ereignissen mit Risikoklassen und mit der Bewertung von Maßnahmen durch Zuverlässigkeitsklassen dem Wirksamwerden von Gefahrenquellen begegnen kann.

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit den geführten Diskussionen im Hinblick auf Denkansätze zu einer risikobasierenden Beurteilung von Auswirkungen beim Wirksamwerden von Gefahrenquellen in Anlagen mit stofflichem Gefahrenpotenzial hat die TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln,

eine semiquantitative Methode zur Ermittlung von Gefahrenquellen und deren Risikobewertung durch Risikoklassen entwickelt. Dabei werden den aus der Gefahrenanalyse ableitbaren sicherheitstechnischen Maßnahmen Zuverlässigkeitsklassen zugeordnet.

Mit dieser Methode, dem sog. ROGA-Verfahren, können die anlagenspezifischen Gefahrenquellen und die Auswirkungen beim Wirksamwerden der Gefahrenquellen ermittelt werden. Diesen Auswirkungen, die auf die Anlage und die Umgebung einwirken, und den damit verbundenen Wahrscheinlichkeiten der Schädigung von Menschen können Risikoklassen zugeordnet werden. Hierfür wurde ein Risikograf in der Form, wie er im Entwurf der Richtlinie VDI/VDE 2180 Blatt 1, dargestellt ist, modifiziert und erweitert.

Je nach stofflichem Gefahrenpotenzial können die Auswirkungen durch einen Brand, eine Explosion und/oder eine Stofffreisetzung hervorgerufen werden und mit einer Gefahr für die Anlage, für die Gesundheit oder für das Leben verbunden sein. Um diese Auswirkungen systematisch festlegen zu können, werden für die gehandhabten Stoffe und die unterstellten Ereignisse Nomogramme für die Bestimmung

des Schadensausmaßes als Funktion der freigesetzten Stoffmenge erstellt.

Aus der Gefahrenanalyse ergeben sich die sicherheitstechnischen Maßnahmen; diesen werden, entsprechend der vorgegebenen Gewährleistung ihrer Funktion, Zuverlässigkeitsklassen zugeordnet. Um die Gefahr zu beherrschen, müssen den Risikoklassen Maßnahmen mit adäquaten Zuverlässigkeitsklassen gegenüberstehen.

Dieses Verfahren zeigt, wie man mit der Ermittlung von Gefahren, der Risikobewertung der Auswirkungen von Ereignissen mit Risikoklassen und mit der Bewertung von Maßnahmen durch Zuverlässigkeitsklassen dem Wirksamwerden von Gefahrenquellen begegnen und die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen an die betrachtete Anlage dokumentieren kann.

Dr. rer. nat. **Franz-Josef Bock**,
Dr.-Ing. **Klaus Haferkamp**,
Dr.-Ing. **Joachim Mistele**,
Dipl.-Ing. (FH) **Armond Shahvardian**,
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH,
Köln, Geschäftsfeld Chemieanlagen.

Tel.: +49 (0) 221-806-2273
E-Mail: franz-josef.bock@de.tuv.com