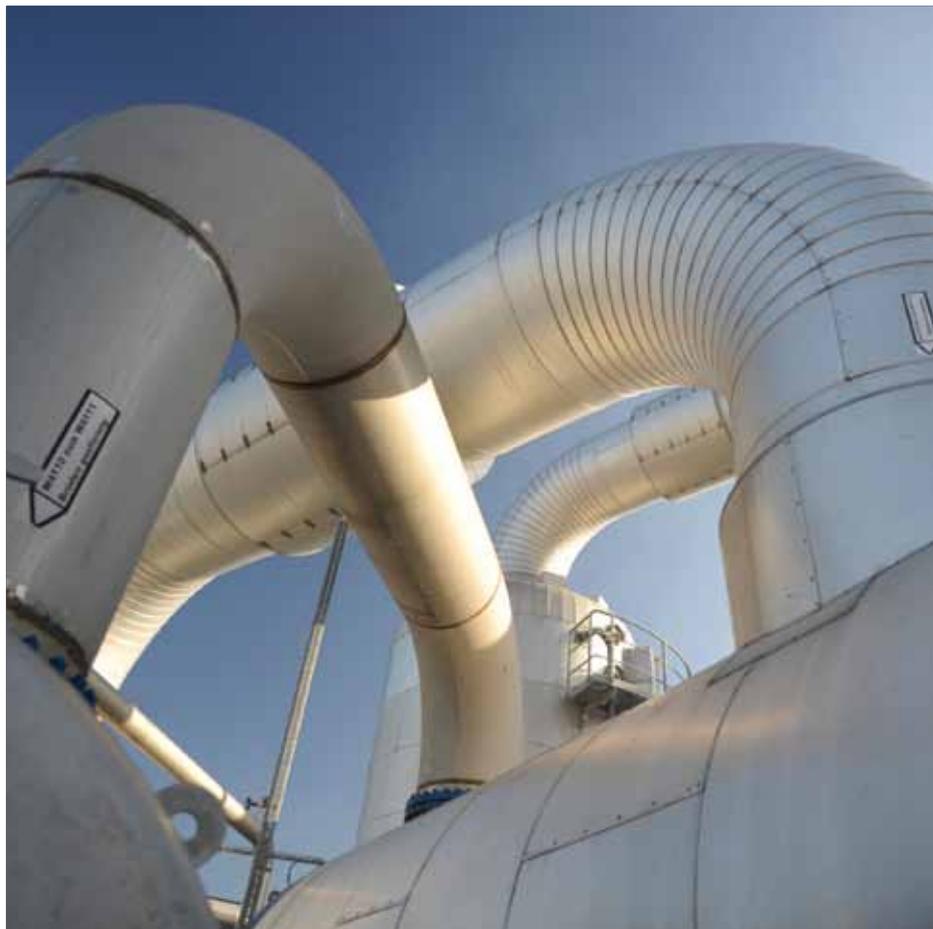


Gefahrenermittlung und Gefahrenbewertung in der Anlagensicherheit

Praxisbewährte Methoden



issa

INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT | IVSS

Sektion für Prävention in der chemischen Industrie



Die Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) ist die wichtigste internationale Institution im Bereich der sozialen Sicherheit, in der sich mehr als 340 Träger und Organisationen der sozialen Sicherheit aus mehr als 145 Ländern der Welt zusammengefunden haben. Ziel der IVSS ist die Förderung einer dynamischen sozialen Sicherheit in einer sich globalisierenden Welt durch effektive Unterstützung auf dem Weg zu einem hohen Standard in allen Bereichen sozialer Sicherheit. Die Vereinigung wurde 1927 gegründet, das Sekretariat der IVSS hat seinen Sitz bei der International Labour Organisation (ILO) in Genf.

Die IVSS Sektion Chemie ist eine unabhängige internationale Organisation. Seit ihrer Gründung am 17. Juni 1970 engagiert sie sich weltweit für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen und verwandten Industrie. Den Betrieben und deren Mitarbeitern bieten unsere Broschüren, Publikationen und internationalen Vortragsveranstaltungen eine Orientierung und Hilfe für ein sicherheitsbewusstes Arbeiten. Die IVSS Sektion Chemie spricht insbesondere Vertreter der folgenden Industriebranchen an:

- Kunststoffindustrie
- Gummiindustrie
- Pharmaindustrie
- Lackindustrie
- Farbenindustrie
- Sprengstoff- und Mineralölindustrie

IVSS Sektion Chemie

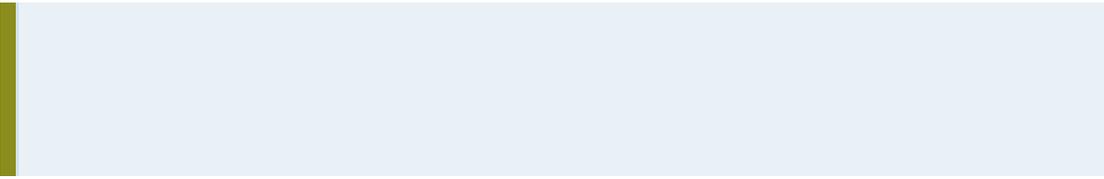
c/o BG RCI (Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie)
Kurfürsten-Anlage 62
D-69115 Heidelberg/Germany
T.: +49 6221-5108-0

www.issa.int/prevention-chemistry



Gefahrenermittlung und Gefahren- bewertung in der Anlagensicherheit

Praxisbewährte Methoden



Vorwort

Die Sektion Chemie der IVSS beschäftigt sich seit 1978 mit der Risikothematik. Sie hat mit der Veröffentlichung des PAAG-Verfahrens einen wesentlichen Beitrag geleistet, um diese systematische Methode zur Identifizierung von Gefährdungen im deutschsprachigen Raum einzuführen. 1997 wurde zusätzlich die Broschüre „Gefahrenermittlung/ Gefahrenbewertung“ aufgelegt, eine kompakte Zusammenstellung weiterer systematischer Vorgehensweisen zur Ermittlung und Bewertung von Gefahren und Risiken, die von verfahrenstechnischen Anlagen ausgehen können.

In den letzten Jahren wurden die Methoden der Risikoanalyse um neue Ansätze ergänzt und unternehmensspezifisch weiterentwickelt. Die vorliegende Broschüre stellt Methoden, Varianten oder Kombinationen vor, die in der Praxis eingesetzt werden oder zukünftig an Bedeutung gewinnen können. Ziel ist es, eine praxisorientierte Hilfestellung für die Auswahl und die Durchführung systematischer Methoden zu geben.

Die einzelnen Abschnitte der vorliegenden Broschüre wurden von Fachleuten bearbeitet, die selbst viele Jahre mit der entsprechenden Methode gearbeitet bzw. diese selbst entwickelt haben.



INHALT

Gefahrenermittlung und Gefahren- bewertung in der Anlagensicherheit – Praxisbewährte Methoden

VORWORT	5
AUTOREN, CO-AUTOREN, INSTITUTIONEN UND FIRMEN	7
1 EINLEITUNG	8
2 GEMEINSAME ASPEKTE ALLER METHODEN	10
3 SCREENING-METHODEN	14
3.1 WACKER-Plausibilitäts-Check	15
3.2 Checklisten	22
4 GEFAHRENERMITTLUNG	26
4.1 WACKER-Analyse	27
4.2 BASF-SGU Stufe 1	38
4.3 TÜV Nord-Methode	44
5 GEFAHRENBEWERTUNG	50
5.1 Zurich Hazard Analysis (ZHA)	52
5.2 FMEA (Prozess-FMEA)	58
5.3 Risikographen	66
5.4 Layers of Protection Analysis (LOPA)	81
5.5 DOW Fire & Explosion-Index	87
5.6 Fehlerbaum	92
6 QUANTITATIVE RISIKOBESCHREIBUNG	100
GLOSSAR	104
ABKÜRZUNGEN	108

INHALT

Autoren, Co-Autoren, Institutionen und Firmen

Dipl.-Ing. Rudolf Kappelmaier, Burghausen

Dipl.-Ing. Erika Moch, Essen

Dipl.-Ing. Robert Piringer, Wien

Dr. Joachim Sommer, Heidelberg

Dipl.-Ing. Thomas Stephan, Essen

Dr. Gerd Uhlmann, Maikammer

Dipl.-Ing. Michael Arend, Regensburg

Dipl.-Ing. Wolfgang Bronner, Penzberg

Dr. Heinz Koinig, Maria Enzersdorf

Dr. Clemens Meeßen, Frankfurt

Dipl.-Ing. Sven Rust, Böhlen

Gerhard Salzmann, Nenzing

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien (A)

BASF SE, Ludwigshafen (D)

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische
Industrie (BG RCI), Heidelberg (D)

DOW Olefinverbund GmbH, Böhlen (D)

Hydro Aluminium Nenzing GmbH, Nenzing (A)

Infraserv GmbH & Co. Höchst KG, Frankfurt (D)

QMB-MA, Regensburg (D)

Roche Diagnostics GmbH, Penzberg (D)

Technisches Büro für technische Physik,
Maria Enzersdorf (A)

TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG, Essen (D)

WACKER CHEMIE AG, Burghausen (D)

Fotos: BASF SE, Ludwigshafen; istockphoto

Gestaltung und Satz: .puntodesign, Weinheim

Druck: bonndruck, Bonn



1 EINLEITUNG

EINLEITUNG

Der Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen kann

- durch technisches Versagen,
 - durch Bedienungsfehler sowie
 - durch natur- oder umgebungsbedingte Faktoren
- derart gestört werden, dass es zu sicherheitsrelevanten Auswirkungen auf Mitarbeiter, Umwelt und Nachbarschaft kommen kann.

Historie

Für die Sicherheit einer Anlage ist insbesondere ihre Auslegung und ihre Fehlertoleranz entscheidend. Deshalb müssen über den gesamten Lebenszyklus konzeptionelle Fehler, technische Ausfälle und menschliche Fehlhandlungen berücksichtigt werden. Entsprechende systematische Gefahrenanalysen werden seit den 1950er Jahren insbesondere bei kerntechnischen Anlagen, in der Luft- und Raumfahrt sowie der Offshore-Erdölgewinnung durchgeführt. Mit Einführung der HAZOP-Methodik in den 1970er Jahren wurden die Anwendung systematischer Analysen auch auf verfahrenstechnische Anlagen der chemischen und petrochemischen Industrie ausgeweitet. Die Übertragung von HAZOP in den deutschsprachigen Raum erfolgte ab 1980 unter dem Namen PAAG.

Wird eine neue Anlage gebaut, ein neues Verfahren eingeführt oder eine bestehende Anlage wesentlich geändert, so werden in der Regel in einem Kreis von Fachleuten Gespräche über die Sicherheit der Anlage geführt. Hierzu haben viele Unternehmen entsprechende Vorgehensweisen für Sicherheitsbetrachtungen etabliert. Die wesentlichen Bestandteile dabei sind

- die systematische, präventive Gefahrenermittlung,
- die Gefahrenbewertung und
- die Festlegung von Schutzmaßnahmen.



Die Anwendung der Methoden umfasst in der Praxis oft nicht nur den Aspekt der Sicherheit von Mensch und Umwelt, sondern auch Sachschäden, Produktqualität und sonstige Vermögensschäden (z. B. Imageverlust).

Im Folgenden wird eine Auswahl formalisierter Methoden dargestellt, die in der Praxis in verschiedenen Bereichen (z. B. Chemie, Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Kerntechnik) und mit unterschiedlichen Schwerpunkten angewandt werden. Entsprechend dem Einsatz zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenslauf einer Anlage werden die Methoden hierbei – teilweise mit fließenden Übergängen – differenziert in

- Screeningmethoden,
- Methoden der Gefahrenermittlung,
- Methoden der Gefahrenbewertung.

Da die Methoden in sich geschlossen dargestellt werden, bleibt es nicht aus, dass Teilaspekte oder einzelne Betrachtungselemente sich wiederholen.

Ziel der Broschüre

Ziel der Broschüre ist es, praxisbewährte Methoden aus unterschiedlichen Unternehmen vorzustellen und Denkanstöße für die Weiterentwicklung vorhandener Methoden zu geben. Es wird bewusst darauf verzichtet, eine Methode als besonders empfehlenswert darzustellen oder eine Rangfolge zu propagieren. Jede Methode ist in ihren eigenen Rahmenbedingungen optimiert und auf Organisationsformen angepasst. Dargestellt werden soll, wie vielfältig literaturbekannte „Urformen“ modifiziert werden können, um ein Maximum an Effektivität zu gewinnen.

Letztlich steht und fällt jede Methode mit der Erfahrung und Kompetenz des Moderators/der Moderatorin.



2 GEMEINSAME ASPEKTE ALLER METHODEN

GEMEINSAME ASPEKTE

Trotz aller Unterschiede bei den beschriebenen Methoden gibt es auch Aspekte, die für jede der aufgezeigten Vorgehensweisen gemeinsam gültig sind.

Abgestuftes Vorgehen

Der Einsatz der Methode/n zur Gefahrenanalyse muss im Zusammenhang mit dem Projektablauf optimal geplant werden, d. h. es muss ein Einklang hergestellt werden zwischen den im Planungsablauf verfügbaren Daten und einer möglichst frühzeitigen Beurteilung der Gefahrenpotenziale, um Änderungen so früh wie möglich und damit kostengünstig berücksichtigen zu können.

Vor jeder Analyse muss feststehen, was betrachtet werden soll (z. B. eine komplette Anlage, eine Produktionseinheit oder nur ein als risikoreich eingestufte Teilprozess). Neben Umfang bzw. Abgrenzung der Analyse muss auch deren Zweck bekannt sein. Die gleichen Auswirkungen können nämlich verschieden bewertet werden, je nachdem ob eine Bedrohung für Menschen, für die Umwelt oder für Sachwerte beurteilt werden soll.

Beispielhaft sei an dieser Stelle das fünfstufige Sicherheitskonzept der BASF genannt. Dieses Konzept zur Betrachtung von Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz (SGU) deckt alle Stadien im Lebenslauf eines Prozesses ab:

Stufe 0 entspricht einer Screening-Methode,

Stufe 1 dient einer umfangreichen Gefahrenermittlung,

Stufe 2 dient der Risikobewertung und der Erarbeitung des Sicherheitskonzeptes,

Stufen 3 und 4 dienen der Qualitätssicherung.

SGU-Betrachtung Stufe 0

- Identifizierung der Hauptgefährdungspotenziale, die mit den Stoffen und dem Verfahren bzw. der Anlage verbunden sind.
- Optionen für inhärente Sicherheit.
- Vorentscheidung über Verfahrenstechnologie und Standortalternativen.
- Erfordernisse an Standort, brandschutztechnische Infrastruktur, Logistik und Umweltschutz sowie Vorschattierung behördlicher Genehmigungsfragen.

SGU-Betrachtung Stufe 1

- Präzisierung der Gefährdungspotenziale, die mit den Stoffen und dem Verfahren bzw. der Anlage verbunden sind.
- Überprüfung des sicherheitstechnischen Grundkonzeptes.
- Bestätigung und ggf. Ergänzung der Lösungsstrategie sowie Darlegung und Entscheidung, dass das gewählte Verfahren an dem vorgesehenen Standort aus sicherheitstechnischer Sicht durchgeführt werden kann.
- Überprüfung des Umweltschutzkonzeptes und der Strategie zum Erhalt der behördlichen Genehmigungen.

SGU-Betrachtung Stufe 2

- Verabschiedung und Dokumentation des Sicherheits-, des Gesundheitsschutz- und des Umweltschutzkonzeptes. Dieses muss für betriebserfahrene Fachleute auch ohne projektspezifische Kenntnisse verständlich sein.
- Überprüfung der Planungsunterlagen auf Einhaltung des sicherheitstechnischen Grundkonzeptes sowie allgemeiner sicherheitstechnischer Anforderungen.

SGU-Betrachtung Stufe 3

- Detaillierte Überprüfung der Planungsunterlagen auf Einhaltung des Anlagensicherheitskonzeptes sowie allgemeiner sicherheitstechnischer Anforderungen im Sinne einer sicherheitstechnischen Selbstkontrolle nach einem formalisierten und durch entsprechende Dokumentation nachvollziehbaren PAAG-/HAZOP-Verfahren.

SGU-Betrachtung Stufe 4

- Überprüfung der Umsetzung des Sicherheits-, Gesundheits- und Umweltschutzkonzeptes beim Bau der Anlage vor der Inbetriebnahme.



2 GEMEINSAME ASPEKTE ALLER METHODEN

Das Team

Die ideale Teamgröße liegt bei 4 bis 7 Fachleuten plus Moderator. Ein kleineres Team wird häufig von einer Person dominiert. Ein zu großes Team erschwert die Konsensfindung. Personen verschiedener Hierarchiestufen sind möglich. Auf die Teilnahme von Meister oder Schichtführer kann in der Regel nicht verzichtet werden.

Das Team zur Durchführung einer Sicherheitsbetrachtung setzt sich üblicherweise zusammen aus Experten der Fachbereiche

- Produktion,
- Ingenieurtechnik,
- Mess- und Regeltechnik,
- Sicherheit und Umweltschutz.

Wesentliches Ziel ist, Gefahrenpotenziale in einer Anlage zu erkennen, diese zu bewerten, vorhandene Sicherheitsmaßnahmen zu überprüfen und ggf. zusätzliche Maßnahmen verbindlich festzulegen. Bei bestehenden Anlagen ist eine Begehung sinnvoll, denn dabei werden in der Regel weitere Gefahrenquellen entdeckt.

Bei allen Methoden ist ein Ziel der ökonomische Einsatz der Spezialisten bei größtmöglicher Diskussionstiefe und die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Hierzu dienen:

- sorgfältige Vorbereitung,
- nachvollziehbare Dokumentation,
- Interdisziplinäre Teamzusammensetzung,
- Information und Training des Teams,
- festgelegter Zeitplan,
- möglichst unabhängige Moderation.

Die Dokumentation

Je präziser Ursache und Auswirkung beschrieben sind, um so einfacher fällt es später, geeignete Maßnahmen zu formulieren. Außerdem sollte man die Szenarien in einer Sprache schildern, die auch für Außenstehende verständlich ist. Die Dokumentation bietet so eine fundierte Wissensbasis und zeigt, dass der Betreiber seiner Sorgfaltspflicht hinsichtlich einer Gefährdungsbeurteilung nachgekommen ist.



Abbildung 1:
Vorbereitung
einer Sicherheits-
betrachtung



3 SCREENING-METHODEN

SCREENING- METHODEN

Mit Screening-Methoden können grundsätzliche Gefahrenschwerpunkte in verfahrenstechnischen Anlagen ermittelt werden. Sie sind in der Regel der Einstieg in tiefergehende Untersuchungen der Anlagen- und Prozesssicherheit mit den Schritten systematische Ermittlung der Gefahren und deren Bewertung.

Im Folgenden werden in diesem Kapitel Screening-Methoden vorgestellt, die in unterschiedlichen Unternehmen zum Einsatz kommen.

3.1 WACKER-PLAUSIBILITÄTS-CHECK

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Verfahrenstechnische Anlagen der chemischen und petrochemischen Industrie

Ziel der Untersuchung

- Aufzeigen grundsätzlicher Gefahrenszenarien verfahrenstechnischer Systeme
- Überprüfung des Schutzkonzeptes von Teilanlagen zur Beherrschung der gehandhabten Energiepotenziale auf Plausibilität

Anwendungszeitpunkt

- Während der Vorplanung einer Anlage
- Sicherheitstechnische Überprüfung des Schutzkonzeptes bestehender Anlagen
- Umbau von bzw. Änderungen in bereits untersuchten Anlagen

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- Verfahrensfließbild mit Grundinformationen

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres Team, in der Methode erfahrener Moderator
- Strukturiertes Arbeitsblatt

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte, bei Identifikation von Gefahrenschwerpunkten Anschluss einer detaillierteren Methode

Grundlagen des Verfahrens

Mit dem WACKER-Plausibilitätscheck kann bereits zu einem frühen Planungszeitpunkt das Schutzkonzept verfahrenstechnischer (Teil-) Anlagen zur Beherrschung der gehandhabten Energiepotenziale auf Plausibilität hinterfragt werden. Dazu werden systematisch die Szenarien ermittelt, die zu unerwünschten Ereignissen führen können. Basis des Verfahrens ist ein logischer Ansatz, der auf technisch/naturwissenschaftlichen Grundlagen beruht. Im Fokus der Betrachtungen steht das Aufplatzen von Wandungen, also das spontane Versagen von Behältern und Rohrleitungen. Als Auslöser für dieses unerwünschte Ereignis wird die im Prozess vorhandene Energie (Druck und/oder Wärme) untersucht, die durch technische oder menschliche Fehler freigesetzt werden kann.

Das spontane Versagen von Apparaten kann dabei auf drei prinzipielle Ursachen zurückgeführt werden:

- physikalisch bedingter Druck- oder Temperaturanstieg,
- durchgehende chemische Reaktion oder
- Explosion in der Gasphase.

Für die Beschreibung der entsprechenden Szenarien geht der WACKER-Plausibilitätscheck nicht von Einzelfehlern aus, sondern setzt an möglichen Ereignissen an und eröffnet so einen deduktiven Ansatz zur Untersuchung des betrachteten Systems. Betrachtet man genauer, wie es zu solchen Ereignissen kommen kann, erkennt man drei grundsätzliche Auslöser:

- Energieeintrag von außen,
- Energieansammlung im Inneren oder
- Aktivierung vorhandener Energiepotenziale.

3 SCREENING-METHODEN

Diese Überlegungen bilden die Basis für die relativ detaillierte Arbeitsliste des WACKER-Plausibilitätschecks. In dieser Liste ist die Grundstruktur weiter aufgegliedert und ergänzt um

- Fragen nach der Relevanz,
- mögliche Standardantworten bzw. die Möglichkeit zur individuellen Formulierung einer Begründung und
- Spalten für die Kurzdarstellung des gewählten Schutzkonzepts, aufgegliedert in verhindernde und begrenzende Maßnahmen.

Im abschließenden Schritt erfolgt eine Bewertung der beschriebenen Situation. Dabei geht es nicht darum, jedes Detail zu hinterfragen, sondern zu bewerten, ob das festgelegte Schutzkonzept in Bezug auf die erkannten Gefahrenmomente plausibel ist.

Der besondere Nutzen des WACKER-Plausibilitätschecks besteht darin, dass die untersuchten Anlagenteile mit einer deduktiven Vorgehensweise betrachtet werden. Die Methode geht, anders als dies bei systematischen Sicherheitsbetrachtungen mit ihrer Suche nach möglichen ereignisauslösenden Einzelfehlern der Fall ist, vom zu verhindernden Ereignis (z. B. Explosion) aus. Dies verbessert die Betrachtungstiefe und rechtfertigt damit den erhöhten Aufwand, wenn der Plausibilitätscheck im Vorfeld zu einer systematischen Sicherheitsbetrachtung eingesetzt wird.

Teilnehmer

Der WACKER-Plausibilitätscheck wird durch ein Team durchgeführt, in der Regel bestehend aus

- Betriebsleiter,
- Betriebsingenieur Verfahrenstechnik,
- Betriebsingenieur Elektro-, Mess- und Regeltechnik,
- Verfahrenskemiker und
- Sicherheitsingenieur.

Entscheidungen werden unter Einbeziehung aller beteiligten Fachfunktionen im Team getroffen. Dabei geht es vorrangig um eine gemeinsame Beurteilung, also um eine

Einschätzung auf Basis der vorhandenen Daten, nicht um einen vollständigen sicherheitstechnischen Nachweis.

Aufbau des Formblattes

Das benutzte Formblatt ist fünfteilig aufgebaut:

- **Kopfteil:**
Beschreibung der Grundlagen für die Auslegung und Konstruktion des betrachteten Anlagenteils, insbesondere Werkstoffauswahl und berücksichtigte Belastungen des bestimmungsgemäßen Betriebs.
- **Systemteil (Spalten 1–3):**
Dokumentation der Art der möglichen Ereignisse sowie Art und Hintergrund der auslösenden Effekte. Diese Aufteilung bildet die zu Grunde liegende logische Struktur ab und erleichtert so das Gesamtverständnis. Zusätzlich werden die Gefahrenfelder aufgezeigt, die für das jeweilige Anlagenteil berücksichtigt werden müssen. Diese Aufzählung deckt alle grundsätzlich möglichen Auslöser für gefährliche Energiezustände ab.
- **Relevanzteil (Spalten 4–6):**
Hier wird die Relevanz des betrachteten Aspekts wiedergegeben und eine nachvollziehbare Begründung geliefert, wenn ein Gesichtspunkt nicht zutrifft. Zur Arbeitserleichterung sind jeweils einige Standardbegründungen vorgegeben.
- **Analyseteil (Spalten 7, 8):**
Stichpunktartige Darstellung aller relevanten Aspekte des Schutzkonzepts. Dieses besteht aus Maßnahmen zur Verhinderung des Eintritts gefährlicher Energiezustände und aus Maßnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen, wenn es dennoch zu gefährlichen Energiezuständen kommen sollte.
- **Bewertungsteil (Spalte 9):**
In der letzten Spalte wird die gemeinsam getroffene Bewertung dokumentiert. Gegebenenfalls sind danach weitere Maßnahmen oder Untersuchungen erforderlich.

Arbeiten mit dem Formblatt

Am Beginn der Betrachtung steht die Darstellung des Verfahrens mit den zu untersuchenden Anlagenteilen. Üblicherweise erfolgt diese Beschreibung mittels Verfahrensfließbild und Angaben zu Stoffeigenschaften und Verfahrensparametern.

Im nächsten Schritt wird bewertet, welche der drei grundsätzlichen Ereignisarten relevant sind. Anschließend arbeitet sich das Team zeilenweise durch das Formblatt. Dabei kann entweder auf die Standardantworten zurückgegriffen oder diese mit Freitext ergänzt bzw. geändert werden. So gibt das Formblatt einerseits eine klare Struktur vor und erlaubt andererseits flexible Anpassungen an die konkreten Gegebenheiten, womit es für alle verfahrenstechnischen Anlagen einsetzbar ist.

Zur Dokumentation der Ergebnisse haben sich PC und Beamer bewährt, so dass jedes Teammitglied sofort sieht, worüber gerade diskutiert wird und was aktuell festgehalten wurde.

Der Zeitbedarf für eine Studie liegt bei einfachen Systemen (z. B. Lagerbehälter) bei ca. 30 Minuten, bei komplexen Systemen können auch zwei bis drei Stunden erforderlich sein. Vieles hängt dabei von der Erfahrung des Teams und insbesondere des Moderators ab.

ANWENDUNGSSCHWERPUNKTE

Neu- oder Änderungsprojekte

Mit dem Plausibilitätscheck werden bei WACKER aufgrund des geringen Zeitbedarfs alle – nicht nur ausgewählte sicherheitsrelevante – Anlagenteile erfasst. Die Methode eignet sich in besonderer Weise dafür, festgelegte Schutzkonzepte für Anlagenteile zu einem relativ frühen Zeitpunkt systematisch zu untersuchen, da keine Detailkenntnisse über einzelne Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind. Es geht vielmehr darum, festzustellen, ob das grundsätzliche Schutzkonzept plausibel ist. Die konkrete Ausgestaltung der Anlage mit einzelnen Sicherheitsmaßnahmen erfolgt dann im Zuge der weiteren Planungsaktivitäten.

Bestehende Anlagen

Der WACKER-Plausibilitätscheck kann auch zur Untersuchung bestehender Anlagen eingesetzt werden. Es können damit bestehende Schutzkonzepte hinterfragt und bewertet werden. Da in diesem Fall alle Detailunterlagen bereits vorhanden sind, können in der Regel alle Fragen direkt beantwortet werden.



PLAUSIBILITÄTSCHECK, APPARATEBELASTUNGEN, GRUNDLEGENDE SICHERHEITSKONZEPTE

Art	Gefährliche Energiezustände (gEz.)			Schutzkonzept				
	Art	Auslöser	Relevanz	Begründung für Relevanz „nein“ (Beispiele evtl. ergänzen)	Eintritt der gEz. verhindert durch (Beispiele evtl. ergänzen)	Schutzkonzept gegen eingetretene gEz.	Schutzkonzept plausibel?	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Durchgehende Reaktion <input type="checkbox"/> relevant → weiter mit Sp. 3 <input type="checkbox"/> nicht relevant → Ende	Energieansammlung	Ansammlung entstehender Gasemengen Wärmerücklauf	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7 <input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine gasbildenden Reaktionen <input type="checkbox"/> komplett offene Betriebsweise <input type="checkbox"/> keine exothermen Reaktionen <input type="checkbox"/> kein Temperaturanstieg über die Auslegungsgrenzen der Anlage hinaus möglich	<input type="checkbox"/> gesicherte offene Entspannungseleitung <input type="checkbox"/> gesicherte Kühlung <input type="checkbox"/> Nachkühlung durch Sieden des Lösemittels <input type="checkbox"/> Rührung/ Durchmischung mittels Verriegelung sichergestellt	<input type="checkbox"/> Druckentlastung an sicherer Stelle dockt alle möglichen Störungsszenarien ab <input type="checkbox"/> Stoppsystem fängt durchgehende Reaktion sicher ab <input type="checkbox"/> Ah-; Abfahren durch Checkliste oder PLS-basiertes Prozedere unterstützt <input type="checkbox"/> Kein Handeingriff in Schutzebene	<input type="checkbox"/> ja → Ende <input type="checkbox"/> nein → <input type="checkbox"/> WACKER-Analyse <input type="checkbox"/> Untersuchung Reaktions-sicherheit <input type="checkbox"/> Einstufung Schul-einrichtungen (Riskograph) <input type="checkbox"/> rechnerischer Nachweis der Druckentlastungs-einrichtungen <input type="checkbox"/> Sonderprüfung
		Akkumulation reaktiver Stoffe lokale Temperaturerhöhung	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7 <input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine reaktiven Stoffe <input type="checkbox"/> ausschließlich spontan verlaufende Reaktionen <input type="checkbox"/> keine exothermen Reaktionen <input type="checkbox"/> wegen niedriger Viskosität stets ausreichende Turbulenz/ Vermischung	<input type="checkbox"/> Rührung/ Durchmischung mittels Verriegelung sichergestellt <input type="checkbox"/> Verwendung wirksamer Initiatoren <input type="checkbox"/> gesteuerte Zugabe reaktiver Stoffe <input type="checkbox"/> Rührung/ Durchmischung mittels Verriegelung sichergestellt	<input type="checkbox"/> Rührung/ Durchmischung mittels Verriegelung sichergestellt <input type="checkbox"/> Begrenzung der Betriebstemperatur ($T_{bet} + 100K < T_{max}$) <input type="checkbox"/> Vermischung mit reaktionsauslösenden Stoffen sicher verhindert <input type="checkbox"/> gesicherte Kühlung	<input type="checkbox"/> Lagerung reaktiver Stoffe mit Inhibitoren <input type="checkbox"/> Begrenzung der Betriebstemperatur ($T_{bet} + 100K < T_{max}$) <input type="checkbox"/> Vermischung mit reaktionsauslösenden Stoffen sicher verhindert
Aktivieren gespeicherter Energiepotenziale	Durchgehen der planmäßigen Reaktion un erwarteter Start bekannter Reaktionen	Durchgehen der planmäßigen Reaktion	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7 <input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine exothermen Reaktionen <input type="checkbox"/> Sieckbarriere lässt keine unzulässigen Temperaturen zu	<input type="checkbox"/> Rührung/ Durchmischung mittels Verriegelung sichergestellt <input type="checkbox"/> Lagerung reaktiver Stoffe mit Inhibitoren <input type="checkbox"/> Begrenzung der Betriebstemperatur ($T_{bet} + 100K < T_{max}$) <input type="checkbox"/> Vermischung mit reaktionsauslösenden Stoffen sicher verhindert	<input type="checkbox"/> Rührung/ Durchmischung mittels Verriegelung sichergestellt <input type="checkbox"/> Lagerung reaktiver Stoffe mit Inhibitoren <input type="checkbox"/> Begrenzung der Betriebstemperatur ($T_{bet} + 100K < T_{max}$) <input type="checkbox"/> Vermischung mit reaktionsauslösenden Stoffen sicher verhindert	
		un erwarteter Start bekannter Reaktionen	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7 <input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine Lagerung/ Handhabung reaktiver Stoffe <input type="checkbox"/> keine reaktionsfähigen Stoffvermischungen	<input type="checkbox"/> Lagerung reaktiver Stoffe mit Inhibitoren <input type="checkbox"/> Begrenzung der Betriebstemperatur ($T_{bet} + 100K < T_{max}$) <input type="checkbox"/> Vermischung mit reaktionsauslösenden Stoffen sicher verhindert		

*) zutreffendes bitte ankreuzen

Abbildung 2b: WACKER-Plausibilitätscheck



3 SCREENING-METHODEN

WACKER PLAUSIBILITÄTSCHECK, APPARATEBELASTUNGEN, GRUNDLEGENDE SICHERHEITSKONZEPTE

Art	Auslöser	Gefährliche Energiezustände (gEz.)			Schutzkonzept			
		Hintergrund	Relevanz	Begründung für Relevanz „nein“ (Beispiele evtl. ergänzen)	Eintritt der gEz. verhindert durch (Beispiele evtl. ergänzen)	Schutzkonzept gegen eingetretene gEz.	Schutzkonzept plausibel?	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Explosion <input type="checkbox"/> relevant <input type="checkbox"/> weiter → mit Sp. 3 <input type="checkbox"/> nicht relevant → Ende	unerwarteter Start von Nebenreaktionen (z. B. Zersetzung)	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine Nebenreaktionen im möglichen Temperaturbereich <input type="checkbox"/> keine gefährlichen Stoffpaarungen <input type="checkbox"/> keine gefährlichen Stoff-/Werkstoffpaarungen	<input type="checkbox"/> Begrenzung der Betriebstemperatur (T_{max} + 100K < T_{max}) <input type="checkbox"/> Vermischung mit reaktionsauslösenden Stoffen sicher verhindert <input type="checkbox"/> Begründung siehe Beiblatt	<input type="checkbox"/> Explosion: <input type="checkbox"/> Explosionsdruck(stoß) feste Bauweise <input type="checkbox"/> Explosionsdruckentlastung <input type="checkbox"/> Explosionsunterdrückung <input type="checkbox"/> An-/ Abfahren durch Checkliste oder PLS-basierete Prozedere unterstützt <input type="checkbox"/> Kein Handeingriff in Schutzebene	<input type="checkbox"/> ja → Ende <input type="checkbox"/> nein →	<input type="checkbox"/> WACKER-Analyse <input type="checkbox"/> Untersuchung Reaktions-sicherheit <input type="checkbox"/> Einstufung Schulz-einrichtungen (Riskograph) <input type="checkbox"/> rechnerischer Nachweis der Druckentlastungs-einrichtungen <input type="checkbox"/> Sonderprüfung
	Entstehen von (Metall-) Bränden	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine brennbaren Stoffe <input type="checkbox"/> Handhabung brennbarer Stoffe ausschließlich im unkritischen Temperaturbereich <input type="checkbox"/> keine Ex-Bereiche	<input type="checkbox"/> Inertisierung <input type="checkbox"/> durch Betrieb im Überdruck kein Sauerstoffeintrag möglich <input type="checkbox"/> Verhinderung der Ansammlung durch sofortige Zündung <input type="checkbox"/> Zündquellenvermeidung <input type="checkbox"/> Enkopplung von Ex-Bereiche <input type="checkbox"/> Begründung siehe Beiblatt	<input type="checkbox"/> Inertisierung <input type="checkbox"/> durch Betrieb im Überdruck kein Sauerstoffeintrag möglich <input type="checkbox"/> Verhinderung der Ansammlung durch sofortige Zündung <input type="checkbox"/> Zündquellenvermeidung <input type="checkbox"/> Enkopplung von Ex-Bereiche <input type="checkbox"/> Begründung siehe Beiblatt	<input type="checkbox"/> ja → Ende <input type="checkbox"/> nein →	<input type="checkbox"/> WACKER-Analyse <input type="checkbox"/> Untersuchung Reaktions-sicherheit <input type="checkbox"/> Einstufung Schulz-einrichtungen (Riskograph) <input type="checkbox"/> rechnerischer Nachweis der Druckentlastungs-einrichtungen <input type="checkbox"/> Sonderprüfung
	unerwartetes Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine brennbaren Stoffe <input type="checkbox"/> Handhabung brennbarer Stoffe ausschließlich im unkritischen Temperaturbereich <input type="checkbox"/> keine Ex-Bereiche	<input type="checkbox"/> Inertisierung <input type="checkbox"/> durch Betrieb im Überdruck kein Sauerstoffeintrag möglich <input type="checkbox"/> Verhinderung der Ansammlung durch sofortige Zündung <input type="checkbox"/> Zündquellenvermeidung <input type="checkbox"/> Enkopplung von Ex-Bereiche <input type="checkbox"/> Begründung siehe Beiblatt	<input type="checkbox"/> Explosion: <input type="checkbox"/> Explosionsdruck(stoß) feste Bauweise <input type="checkbox"/> Explosionsdruckentlastung <input type="checkbox"/> Explosionsunterdrückung <input type="checkbox"/> An-/ Abfahren durch Checkliste oder PLS-basierete Prozedere unterstützt <input type="checkbox"/> Kein Handeingriff in Schutzebene	<input type="checkbox"/> ja → Ende <input type="checkbox"/> nein →	<input type="checkbox"/> WACKER-Analyse <input type="checkbox"/> Untersuchung Reaktions-sicherheit <input type="checkbox"/> Einstufung Schulz-einrichtungen (Riskograph) <input type="checkbox"/> rechnerischer Nachweis der Druckentlastungs-einrichtungen <input type="checkbox"/> Sonderprüfung
	unerwartetes Auftreten wirksamer Zündquellen in einem Ex-Bereich	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine brennbaren Stoffe <input type="checkbox"/> Handhabung brennbarer Stoffe ausschließlich im unkritischen Temperaturbereich <input type="checkbox"/> keine Ex-Bereiche	<input type="checkbox"/> Inertisierung <input type="checkbox"/> durch Betrieb im Überdruck kein Sauerstoffeintrag möglich <input type="checkbox"/> Verhinderung der Ansammlung durch sofortige Zündung <input type="checkbox"/> Zündquellenvermeidung <input type="checkbox"/> Enkopplung von Ex-Bereiche <input type="checkbox"/> Begründung siehe Beiblatt	<input type="checkbox"/> Explosion: <input type="checkbox"/> Explosionsdruck(stoß) feste Bauweise <input type="checkbox"/> Explosionsdruckentlastung <input type="checkbox"/> Explosionsunterdrückung <input type="checkbox"/> An-/ Abfahren durch Checkliste oder PLS-basierete Prozedere unterstützt <input type="checkbox"/> Kein Handeingriff in Schutzebene	<input type="checkbox"/> ja → Ende <input type="checkbox"/> nein →	<input type="checkbox"/> WACKER-Analyse <input type="checkbox"/> Untersuchung Reaktions-sicherheit <input type="checkbox"/> Einstufung Schulz-einrichtungen (Riskograph) <input type="checkbox"/> rechnerischer Nachweis der Druckentlastungs-einrichtungen <input type="checkbox"/> Sonderprüfung
	Versagen der Explosionsdruckentlastung (Dimensionierung)	<input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende <input type="checkbox"/> begründen Sp. 6 → Ende	<input type="checkbox"/> weiter mit Sp. 7	<input type="checkbox"/> keine brennbaren Stoffe <input type="checkbox"/> Handhabung brennbarer Stoffe ausschließlich im unkritischen Temperaturbereich <input type="checkbox"/> keine Ex-Bereiche	<input type="checkbox"/> Inertisierung <input type="checkbox"/> durch Betrieb im Überdruck kein Sauerstoffeintrag möglich <input type="checkbox"/> Verhinderung der Ansammlung durch sofortige Zündung <input type="checkbox"/> Zündquellenvermeidung <input type="checkbox"/> Enkopplung von Ex-Bereiche <input type="checkbox"/> Begründung siehe Beiblatt	<input type="checkbox"/> Explosion: <input type="checkbox"/> Explosionsdruck(stoß) feste Bauweise <input type="checkbox"/> Explosionsdruckentlastung <input type="checkbox"/> Explosionsunterdrückung <input type="checkbox"/> An-/ Abfahren durch Checkliste oder PLS-basierete Prozedere unterstützt <input type="checkbox"/> Kein Handeingriff in Schutzebene	<input type="checkbox"/> ja → Ende <input type="checkbox"/> nein →	<input type="checkbox"/> WACKER-Analyse <input type="checkbox"/> Untersuchung Reaktions-sicherheit <input type="checkbox"/> Einstufung Schulz-einrichtungen (Riskograph) <input type="checkbox"/> rechnerischer Nachweis der Druckentlastungs-einrichtungen <input type="checkbox"/> Sonderprüfung

Datum: _____ Betriebsleiter: _____ Betriebsingenieur: _____ Betriebsingenieur EMR: _____ Verfahrenschemiker: _____ Sicherheitsingenieur: _____

*) zutreffendes bitte ankreuzen

Abbildung 2c: WACKER-Plausibilitätscheck





3 SCREENING-METHODEN

3.2 CHECKLISTEN

Grundlagen des Verfahrens

Die Verwendung von Checklisten dient zur Prüfung der Vollständigkeit von Daten und Fakten und ist nicht auf verfahrenstechnische Anlagen beschränkt. Hauptzielrichtung dieses Verfahrens ist es, innerhalb eines eng begrenzten Themenkomplexes Ausrüstungsteile oder Funktionen nach einer vorgegebenen Reihenfolge auf ihr Vorhandensein abzufragen und ggf. einen Nachrüstbedarf festzustellen.

Bevor Checklisten zum Einsatz kommen können, müssen sie zunächst ausgearbeitet werden. Hierzu sind zum einen detaillierte Kenntnisse der Betrachtungseinheiten (z. B. die Energie- und Medienversorgung), zum anderen Fachwissen über mögliche Gefahren und Gefahrenquellen erforderlich, wobei in Abhängigkeit von der Komplexität des untersuchten Gegenstandes jeweils ein Einzelner oder auch ein Expertenteam erforderlich ist. Darüber hinaus hat es sich bewährt, sofern möglich, die rechtlichen Quellen der Anforderungen mit aufzunehmen.

Für komplexe Wirkungszusammenhänge, die das Hinterfragen von Ursachen und Auswirkungen erfordern, ist zur Erfassung und Bewertung der Antworten stets ein fachkundiger Prüfer erforderlich.

Die Antworten auf die Fragen sind zu dokumentieren und anhand eines Anforderungskataloges (ggf. mit den entsprechenden Maßnahmen) festzuhalten. Dabei kann die Auswertung entweder direkt vor Ort oder nachträglich anhand von Plausibilitätsprüfungen erfolgen. Der abschließende Prüfbericht sollte gemeinsam mit dem Betreiber besprochen werden, um Prioritäten und Zeitpläne bei der Abarbeitung zusätzlicher Maßnahmen festzulegen.

Checklisten können individuell erstellt und der jeweiligen Fragestellung angepasst werden. Sie finden Verwendung insbesondere dort, wo Anforderungen an das

Prüfobjekt aus der Empirie bekannt oder in Regelwerken festgeschrieben sind. Zur routinemäßigen Kontrolle identisch ablaufender Betriebsvorgänge sind Checklisten ideal (z. B. für Flugzeugchecks vor dem Start). Bei derart wiederkehrenden Prüfungen können Fragen (ggf. aus Vorschriften oder Normen abgeleitet) vorformuliert und im Verlauf der ersten Anwendung der Checkliste auf Plausibilität und Vollständigkeit verifiziert werden.

Durch gezielte Fragestellung und den konkreten Bezug zur Praxis entfallen ausschweifende und ablenkende Diskussionen, und der Soll/Ist-Vergleich kann – insbesondere bei Fragestellungen mit geschlossener Fragetechnik – sehr zeitökonomisch durchgeführt werden. Ergiebiger im Aussageumfang sind jedoch offene Fragen.

Eine prinzipielle Schwäche von Checklisten besteht darin, dass nur bekannte Aspekte abgefragt und somit erfasst werden können. Bei Checklisten mit Rechtsbezug ist eine stetige Aktualisierung auf jeweilige Vorschriften Grundvoraussetzung.

Aufbau der TAA-Checkliste „Energie- und Medienversorgung“

Die nachfolgend abgebildete Checkliste „Energie- und Medienversorgung“ ist Teil einer Prüfliste, die im Auftrag des deutschen „Technischen Ausschusses für Anlagensicherheit“ (TAA) durch die RWTÜV Systems GmbH (heute TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG) erarbeitet wurde. Sie besteht aus geschlossenen Fragen mit den vorgegebenen Antwortalternativen „ja“, „nein“ und, soweit erforderlich, „nicht zutreffend“.

Prüfinhalte und Prüftiefe sowie die Systematik der Vorgehensweise bei der Beantwortung sind für jede Frage – soweit nicht selbsterklärend – eindeutig vorgegeben und somit jederzeit nachvollziehbar.

Eine Abbildung des Bewertungsmaßstabes wird durch die Markierung mittels grauer Hinterlegung der entsprechenden Antwortalternative vorgenommen.

Die Fragen in den Checklisten sind an den Prüfer/Auditor gerichtet. Zur Beantwortung der Fragen überzeugt dieser sich seinerseits durch:

- Befragung geeigneter (entsprechend zuständiger) Mitarbeiter des Betreibers,
- Einsichtnahme in entsprechende Dokumente,
- Inaugenscheinnahme der Anlage vor Ort.

Diese „Prüfadressen“ für die Beantwortung der Fragen sind jeweils unterhalb der Fragennummer vorgegeben. Nicht gestellt werden:

- offene Fragen (z. B. „Wie...?“) Der Prüfer/Auditor muss die geschlossene Frage beantworten. Er kann hierzu jedoch dem Betreiber auch mehrere offene Fragen stellen.
- Fragen nach Sachverhalten, die Gegenstand anderer Prüfungen sind (Vermeidung von Doppelprüfungen), insbesondere der zu dokumentierenden Prüfungen von Sachverständigen/benannten Stellen/Überwachungsstellen im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften.

Die Checklisten bestehen nur aus Steuer- und Ergebnisfragen, die bei konsequenter, also vollständiger und chronologischer Abarbeitung den Benutzer der Checkliste zwangsweise zu den für ein Prüfobjekt zutreffenden Sachverhalten und zu einem eindeutig bewertbaren Ergebnis führen.

- Steuerfragen: Fragen zur Art, Betriebszustand oder sonstigen Gegebenheiten, die im Hinblick auf die zu erfüllenden Anforderungen bestimmte Kriterien beinhalten. Sie sind mit Sprungadressen versehen, die den Anwender zu den entsprechenden Ergebnisfragen führen.
- Ergebnisfragen: Fragen, die ausschließlich die Erfüllung von Anforderungen betreffen.

Für die Beantwortung der Fragen werden dem Anwender verschiedenen Hilfestellungen durch Erläuterungen und Hinweise gegeben:

- Erläuterungen und Hinweise, die für die Beantwortung einer Frage unmittelbar erforderlich sind, sind direkt unterhalb der Frage in Kursivschrift angegeben.
- Weiterführende Hinweise und Erläuterungen (z. B. Hinweise auf Vorschriften oder Fachliteratur) sowie fachliche Hinweise sind an entsprechender Stelle als Fußnote enthalten.

Mit diesem Aufbau des Instrumentariums

- geschlossene Fragen mit Antwortstruktur „ja“/„nein“/„nicht zutreffend“
- Vorgabe der Prüfadresse
- Kennzeichnung der Nichterfüllung einer Anforderung ist eine Vergleichbarkeit und weitgehende Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erreichbar.



3 SCREENING-METHODEN

Prüfinstrumentarium zur Systemprüfung
 Modul T3: Energie- und Hilfsmedienversorgung
 T3.2: Vertiefte Prüfung

ja nein n.z.

T3.2 Vertiefte Prüfung

Dieser Fragebogen ist für jede geprüfte sicherheitsrelevante Energieart und jedes sicherheitsrelevante Hilfsmedium auszufüllen.

Die Absicherung der Verfügbarkeit der Energieart bzw. der Unterbrechung der Energiezufuhr soll stichprobenartig auf Plausibilität geprüft werden.

Energieart/ Hilfsmedium:.....

T3.2.1 Absicherung der Verfügbarkeit

T3.2.1.1 D Ist die Verfügbarkeit der Energie/ des Hilfsmediums erforderlich?



322

T3.2.1.2 D Sind folgende Betriebsstörungen als Gefahrenquellen in einer Gefahrenquellenanalyse berücksichtigt:

Die Berücksichtigung muss dokumentiert sein, z. B. Gefahrenquellenanalyse des Sicherheitsberichtes, Protokolle von Sicherheitsgesprächen

- Druckabweichung (bei elektr. Energie Netzschwankungen)
- Durchsatzabweichung
- Temperaturabweichung
- Unzureichende Reinheit des Mediums
- Stoffübertritt ins Versorgungsnetz
- Stoffübertritt in die Produktseite

T3.2.1.3 D Sind die Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Begrenzung einer ersten Gefahr beim Wirksamwerden dieser Gefahrenquellen

- dokumentiert und

D/BL - vom Betreiber als ausreichend bewertet worden?

T3.2.1.4 BL/VO Wird der Ausfall der Energieerzeugung/-einspeisung alarmiert?

T3.2.1.5 BL/VO Ist die Verfügbarkeit der Energie bzw des Hilfsmediums für den einzelnen Verbraucher durch Notversorgung oder redundante Erzeugung/ Einspeisung abgesichert?

D=Dokumentation (Prüfung), BL=Betriebsleitung (Befragung), VO=Vor Ort (Prüfung)

Abbildung 3a: TAA-Checkliste

Prüfinstrumentarium zur Systemprüfung

Modul T3: Energie- und Hilfsmedierversorgung

T3.2: Vertiefte Prüfung

		ja	nein	n.z.
T3.2.1.6 BL	Erfolgt die Umschaltung automatisch oder kann die Anlage ohne diese Energieart/ dieses Hilfsmedium so lange sicher betrieben werden, bis der Ausfall vom Personal erkannt und auf die redundante Versorgung oder Notversorgung umgeschaltet oder mit anderen Maßnahmen der sichere Betrieb gewährleistet wird?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
T3.2.1.7 BL/D	Existiert ein Abschaltplan für die Verbraucher dieser Energie/ dieses Hilfsmediums?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			↓	3219
T3.2.1.8 D	Ist die Abschaltung der nachrangig zu versorgenden Verbraucher eindeutig geregelt? <i>z. B. automatisches Abschalten, Betriebsanweisung</i>			
T3.2.1.9 D	Ist gewährleistet, dass alle Ventile bei Ausfall der jeweiligen Steuerenergie in die Sicherheitsstellung gehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T3.2.1.10 D	Liegt eine schriftliche Anweisung vor, die die Maßnahmen bei Ausfall dieser Energieart festlegt?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
T3.2.1.11 VO	Kennt das Personal diese Anweisung?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
T3.2.2	Unterbrechung der Energie- bzw. Hilfsmedienzufuhr			
T3.2.2.1 D	Ist die Unterbrechung der Energie- bzw. Hilfsmedienzufuhr im Falle von Störungen erforderlich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			↓	Ende
T3.2.2.2 BL/D	Kann die Energieeinspeisung zu dem Verbraucher hinreichend schnell und sicher unterbrochen/ abgesperrt werden?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
T3.2.2.3 VO	Befindet sich die Absperrrichtung an einem leicht zugänglichen und sicheren Ort?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
T3.2.2.4 D	Ist in einer schriftlichen Anweisung geregelt			
	- in welchen Fällen ¹ eine Absperrung vorzunehmen ist	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	- wer die Absperrung vornehmen muss	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	- welche weiteren Maßnahmen mit der Unterbrechung der Zufuhr der entsprechenden Energie verbunden sind?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¹ Hier sind eindeutige Kriterien für die einzuleitenden Maßnahmen festzulegen.

D=Dokumentation (Prüfung), BL=Betriebsleitung (Befragung), VO=Vor Ort (Prüfung)



4 GEFAHRENERMITTLUNG

GEFAHREN- ERMITTLUNG

Die Ermittlung von Gefahrenpotenzialen ist die Grundlage aller weiteren Schritte einer Risikoanalyse. Auch quantitative Methoden bedürfen zunächst dieser Basis.

Die Gefahrenermittlung kann entweder retrospektivisch (z. B. auf der Basis bekannter Ereignisse) erfolgen oder prognostizierend auf der Basis eines (gelenkten) Brainstormings wie beim PAAG-Verfahren.

In der Praxis haben sich verschiedene Mischformen etabliert (z. B. modifizierte PAAG-Verfahren oder Formblattverfahren), die innerhalb der Gefahrenermittlung unterschiedliche Schwerpunkte auf die deduktiven bzw. induktiven Elemente setzen.

In diesem Kapitel werden drei Methoden der systematischen Ermittlung prozessimmanenter Gefahren vorgestellt, die in Unternehmen der chemischen Industrie bzw. seitens eines Dienstleisters zum Einsatz kommen. Allen Methoden ist gemeinsam, dass es nicht bei der reinen Gefahrenermittlung bleibt, sondern sich zur Festlegung adäquater Gegenmaßnahmen auch eine Bewertung der Gefahren anschließt. Diese erfolgt jedoch rein qualitativ und steht innerhalb des Prozesses nicht im Vordergrund.

4.1 WACKER-ANALYSE

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Verfahrenstechnische Anlagen der chemischen und petrochemischen Industrie

Ziel der Untersuchung

- Überprüfung ausgewählter Anlagenteile (beispielsweise sicherheitsrelevant nach Störfallverordnung) bezüglich möglicher Einzelfehler und deren Auswirkungen

Anwendungszeitpunkt

- Ende des Basic-Engineerings in der Planungsphase
- (Nachträgliche) Sicherheitstechnische Überprüfung bestehender Anlagen
- Umbau von bzw. Änderungen in bereits untersuchten Anlagen

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- Fließbilder bzw. R+I-Schemata
- Verfahrensbeschreibungen
- Betriebsanweisungen

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres Team
- In der Methode erfahrener Moderator
- Fragensystematik und Dokumentationsvorlagen

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte, Umsetzen der beschlossenen Maßnahmen

Grundlagen des Verfahrens

Ursprünglich wurde die WACKER-Analyse entwickelt, um der Forderung der deutschen Störfall-Verordnung nach kurzfristiger Erstellung von Sicherheitsanalysen gerecht werden zu können. Mittlerweile hat es sich zu einem universellen Instrument für die Hinterfragung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte entwickelt, das durch die Einbeziehung spezieller Fragenbereiche auch für gezielte Betrachtungen weiterer Aspekte (z. B. Qualitätssicherung) angewendet werden kann. Es kann sowohl für Anlagen/Verfahren, die bereits betrieben werden, als auch für solche im Planungsstadium eingesetzt werden.

Die WACKER-Analyse geht aus von einem unterstellten Fehler und untersucht dessen Auswirkungen auf das System. Sie ist also ein induktives Verfahren, das systematisch die gesamte Ereigniskette bis hin zum Störfall/Unfall durchleuchtet. Das möglichst vollständige Erkennen der potenziellen Gefahrenquellen ist dabei der zentrale, aber sicher auch der schwierigste Teil. Zur Gewährleistung einer möglichst großen Betrachtungstiefe wird ein Team von Fachleuten gebildet, in dem das gesammelte Wissen über die zu betrachtende Anlage zusammengeführt wird.

4 GEFAHRENERMITTLUNG

Zur Festlegung der erforderlichen Qualität der Sicherheitsmaßnahmen werden die Ergebnisse der WACKER-Analyse mit dem Risikograph nach VDI/VDE 2180 (siehe Seite 71) verknüpft.

Ein speziell auf die Bedürfnisse der chemischen Industrie zugeschnittener Fragenkatalog soll dabei einerseits verhindern, dass wichtige Themenkomplexe vergessen werden, andererseits soll er dafür sorgen, dass die Teamdiskussion zielgerichtet, einheitlich und damit auch effektiv abläuft. Integrierte zusätzliche Frageschleifen gewährleisten durch die damit gegebene Redundanz in der Fragestellung eine hohe Betrachtungstiefe.

Basisunterlagen für die Durchführung der Studie sind, je nach aktuellem Planungsstand,

- Fließbilder bzw. R+I-Schemata,
- Verfahrensbeschreibungen,
- Aufstellungspläne und
- Betriebsanweisungen.

Diese sollten vor Beginn der Studie auf Vollständigkeit und Aktualität überprüft werden.

Die technische Vorbereitung der Teamsitzungen erfolgt üblicherweise durch den Projektleiter. Die Erfahrung zeigt, dass eine zu intensive Vorbereitung zwar zu einer beschleunigten Vorgehensweise führt, aber häufig eine Abnahme der Intensität der Diskussion bedeutet, da der unterschiedliche Wissensstand einer Kreativität der Teammitglieder entgegenwirkt.

Das intensive Hinterfragen sicherheitsrelevanter Gesichtspunkte ist in die laufenden Projekt- bzw. Betreuungsaktivitäten integriert. Dazu ist auch eine umfassende Rückmeldung der Umsetzung beschlossener bzw. vorgeschlagener Maßnahmen erforderlich.

Die WACKER-Analyse enthält sowohl in der Vorgehensweise (Teamarbeit mit offener, diskussionsfördernder Fragestellung) als auch in Teilen der Fragestellungen selbst wesentliche Elemente des klassischen PAAG-Verfahrens und verbindet diese mit den Vorteilen von Checklisten (z. B. effektive Arbeitsweise, kein Vergessen

wichtiger Gesichtspunkte) zu einem wirkungsvollen Instrument der Anlagen- und Verfahrenssicherheit. Durch die Kombination dieser Einzelelemente ergibt sich eine raschere Durchführung von Sicherheitsbetrachtungen gegenüber dem reinen PAAG-Verfahren.

Den Abschluss bildet eine Begehung vor Ort. Dabei wird zum einen der Soll-Ist-Vergleich durchgeführt, zum anderen können noch Verbesserungsmöglichkeiten gefunden werden, die aus der Anlagendokumentation nicht ersichtlich sind.

Das Verfahren darf nicht isoliert betrachtet werden; vielmehr ist es ein (wichtiger) Baustein im Gesamtsicherheitskonzept. Es dient dazu, mittels systematischer Fehlersuche mögliche Gefahrenmomente und Schwachstellen von Anlagen, sowohl im stofflich/technischen als auch im organisatorischen Bereich zu erkennen und legt durch die Auswahl geeigneter Gegenmaßnahmen den Grundstein für die sicherheitstechnische Anlagenplanung.

Der Fragenkatalog

Um eine möglichst zielgerichtete und einheitliche Detaildiskussion zu erreichen, wurde ein logisch gegliederter Fragenkatalog entwickelt. Er basiert darauf, wie ein Störfall entstehen könnte (Abbildung 4).

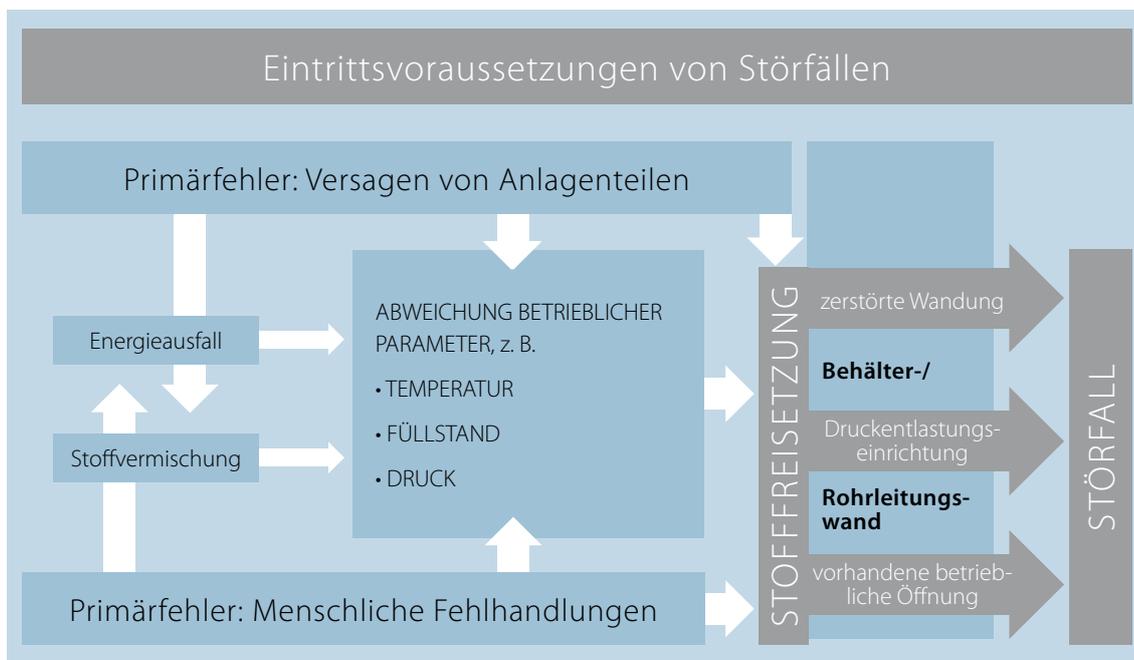


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Ursachen und des Verlaufs eines Störfalles

Man erkennt die zwei Primär-Fehlerbereiche „Versagen von Anlagenteilen“ (Technischer Ausfall) und „Menschliche Fehlhandlungen“ (organisatorische Unzulänglichkeiten) sowie die Zwischenstufen „Energieausfall“, „Stoffvermischung“ (unerwünschte Stoffpaarungen) und „Abweichung betrieblicher Parameter“. Auf dieser Basis beruhen die fünf Fragenkomplexe der WACKER-Analyse. Diese sind mit verschiedenen Einzelgesichtspunkten aufgefüllt, die ein Gespür dafür vermitteln sollen, in welche Richtungen Überlegungen anzustellen sind. Allerdings stellen die Unterpunkte keine abschließende Aufzählung dar, die ohne weitere Überlegungen abgearbeitet werden soll.



4 GEFAHRENERMITTLUNG

Primäre Fehlerquellen	Versagen von Anlagenteilen	<p>1.1 Ausfall aktiver Aggregate (z. B. Pumpen, Rührwerke, Verdichter, Knetter, Zentrifugen)</p> <p>1.2 Bruch von Einbauteilen (z. B. Rührer, Statkmischer, Filter, Propellerschaukeln, Antriebswellen, Kolonnenböden)</p> <p>1.3 Blockierter Durchfluss (z. B. Verstopfung, blockierte Ventile, verklebte Ventile, vergessene Steckscheiben, blockierte Explosionsdruckentlastungen)</p> <p>1.4 Ausfall von PLT-Einrichtungen (z. B. Überfüllsicherungen, Druck-/Temperaturbegrenzer, Durchflussmesser, Regler, Analysegeräte, Explosionsunterdrückung)</p>	<p>1.5 Aktivierung wirksamer Zündquellen in Ex-Zone 0/1 bzw. 20/21 (z. B. heißgelaufene Teile, mechanische Funken, elektrische Funken, statische Elektrizität)</p> <p>1.6 Versagen innerer Trennwände (z. B. Kühlschlangen, Heizmantel, Mehrkammertankabtrennungen)</p> <p>1.7 Versagen Durchfluss verhindernder Maßnahmen (z. B. Rückschlagventile, Absperrventile, Flammendurchschlagsicherungen, Zerfallssperren)</p> <p>1.8 Versagen der äußeren Umschließung (z. B. Behälterwandung, Rohrleitungen, Flanschverbindungen, Wellendichtungen, Druckentlastungseinrichtungen, Absperrrichtungen)</p>
	Energieausfall	<p>2.1 Elektrische Energie für Antriebe/Heizung</p> <p>2.2 Elektrische Energie für PLT</p> <p>2.3 Steuerluft</p> <p>2.4 Druckluft</p> <p>2.5 Kühlwasser</p>	<p>2.6 Kühlsolekreislauf</p> <p>2.7 Kälteanlagen</p> <p>2.8 Dampf</p> <p>2.9 Heizkreislauf</p> <p>2.10 Inertgas (u. a. Stickstoff)</p>
	menschliche Fehlhandlungen	<p>3.1 Unterlassen notwendiger Handgriffe (z. B. nicht abschalten, nicht zudosieren, nicht umschalten)</p> <p>3.2 Ausführen unzulässiger Handlungen (z. B. absperren, Heizung starten, Anlagenteile öffnen, überbrücken, mechanisch beschädigen)</p>	<p>3.3 Falsches Ausführen von Eingriffen (z. B. falscher Ort, Zeitpunkt, Handgriff, Stoff, Ablauf, falsche Verbindung, Zeitspanne)</p> <p>3.4 Wartungs-/Reparaturfehler (z. B. falsches Einbauteil, unvollständige Montage, vergessene Hilfsmittel, übersehener Fehler)</p>
Redundante Fragestellungen	unerwünschte Stoffpaarungen	<p>4.1 Vermischung miteinander reagierender Stoffe (z. B. Säuren/Laugen)</p> <p>4.2 Reaktionsauslösende Verunreinigungen (z. B. Korrosionsprodukte, katalytisch wirkende Verunreinigungen, Kristallkeime, Polymerkeime, Produkt)</p> <p>4.3 Falsche Produkt-/Werkstoffpaarung (z. B. Chlor mit Buntmetallen)</p>	<p>4.4 Heiße und kalte Flüssigkeiten (Wasser in (Metall-)Schmelze oder in heißes Produkt)</p> <p>4.5 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in inertisierten Anlagenteilen (eingedrungene Luft, freigesetzter Sauerstoff, angesaugte, nicht verdrängte Luft, Überschreiten der Sauerstoffgrenzkonzentration)</p> <p>4.6 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch zu hohe/niedrige Stoffkonzentration innerhalb/außerhalb von Anlagenteilen (z. B. Über-/Unterschreiten der Explosionsgrenzen, aufgewirbelter Staub, Gasfreisetzung)</p>
	Abweichung betrieblicher Parameter	<p>5.1 Druck (-differenz)</p> <p>5.2 Temperatur (-differenz)</p> <p>5.3 Füllstand (max./min.)</p> <p>5.4 Durchflussmenge (max./min.)</p> <p>5.5 Durchflussrichtung</p>	<p>5.6 Reaktionszeit</p> <p>5.7 Verweilzeit</p> <p>5.8 Viskosität</p> <p>5.9 pH-Wert</p> <p>5.10 Mischungsverhältnis/Konzentration (z. B. zu hoch, zu niedrig, Entmischung)</p>

Abbildung 5: Fragenkatalog

Dem Fragenkatalog (Abbildung 5) kommt in mehrfacher Hinsicht zentrale Bedeutung zu:

- Die möglichst umfassende Wiedergabe denkbarer Einzelpunkte innerhalb der enthaltenen Fragenkomplexe soll verhindern, dass wesentliche Gesichtspunkte im Team vergessen werden.

da gedanklich nicht zwischen Technik-, Organisations- oder Energiefragen hin und her gesprungen werden muss. Bildlich betrachtet sitzt das Team in Bezug auf die Fragenkomplexe nacheinander auf fünf verschiedenen „Stühlen“, von denen aus jeweils die Anlage betrachtet wird. Dies führt zu einer sehr hohen Betrachtungstiefe, ohne dass der rote Faden verloren geht.

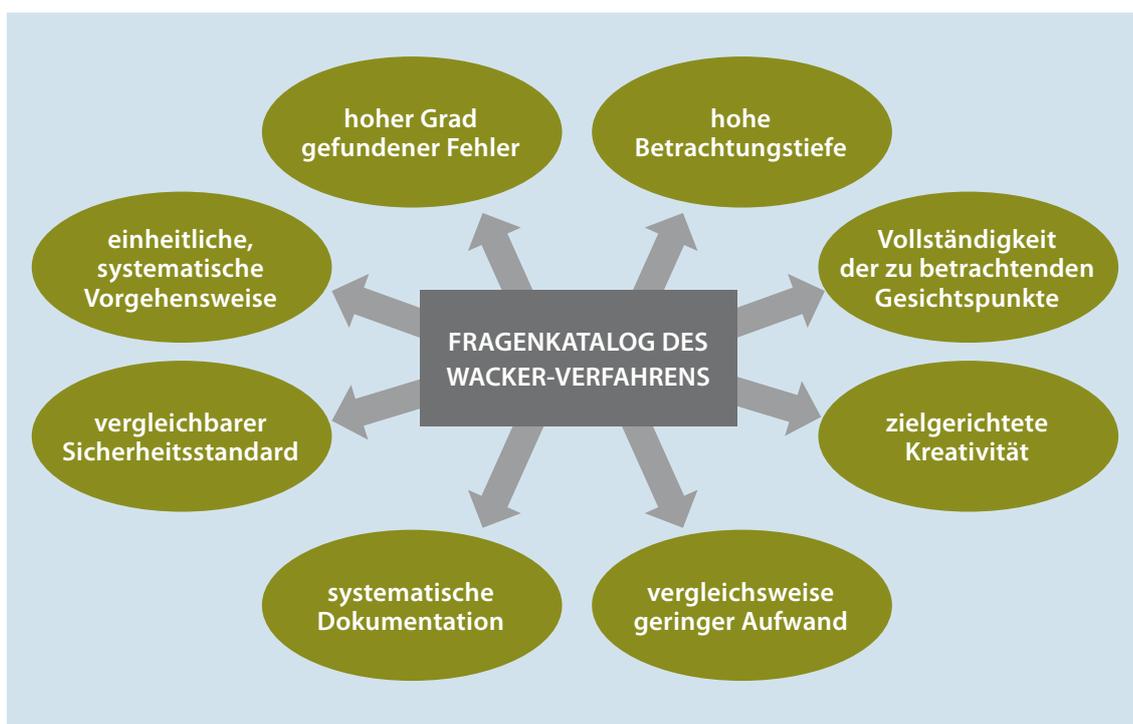


Abbildung 6:
Wert des
Fragenkatalogs

- Die Formulierung dieser Einzelpunkte in allgemeiner Form zwingt das Team, zunächst den Sinn der Fragestellung zu erfassen und diesen dann auf das konkrete, betrachtete Anlagenteil zu übertragen. Dadurch wird die Kreativität des Teams zielgerichtet angeregt. Dabei ist es nicht erforderlich, Punkte, die keinen Sinn ergeben, mit aufzuführen, was eine deutliche Reduzierung des Dokumentationsaufwandes bedeutet, allerdings auch ein späteres Nachvollziehen erschwert.
- Die logische Struktur erhöht das Verständnis der Vorgehensweise und damit die Akzeptanz.
- Die Gliederung in themenbezogene Komplexe sorgt dafür, dass die Teamdiskussion sehr zielgerichtet abläuft,

Die ersten drei Fragenkomplexe spiegeln die Elemente „Technik/Maschine“, „Mensch“ und „Energie“ wider, auf denen jede verfahrenstechnische Anlage aufbaut. Bei einer umfassenden Abarbeitung dieser drei Fragenkomplexe müssten eigentlich bereits alle denkbaren Störungen gefunden werden. Da dies erfahrungsgemäß nicht der Fall ist, wurden die beiden zusätzlichen Fragenkomplexe „Abweichung betrieblicher Parameter“ und „unerwünschte Stoffpaarungen“ aufgenommen, die eigentlich bereits das Ergebnis eines Fehlers oder einer Fehlhandlung sind. Dadurch ergibt sich nun eine Redundanz in der Fragestellung, die in besonderem Maße den Belangen der Chemie Rechnung trägt.

4 GEFAHRENERMITTLUNG

Durch die sachliche Gliederung des Fragenkatalogs ergibt sich ein logischer innerer Aufbau der Detaildiskussion, der den Nachweis der Systematik, wie er z. B. im deutschen Störfallrecht gefordert wird, wesentlich erleichtert.

Arbeiten mit der Methode

Vor Beginn der eigentlichen Sicherheitsstudie muss der Umfang der zu betrachtenden Bereiche feststehen. Aus dem Anlass für die Studie

- gesetzliche Pflicht zur Erstellung eines Sicherheitsberichts,
- freiwillige, weitergehende Sicherheitsbetrachtung oder
- Verfügbarkeitsuntersuchung und Schwachstellenanalyse

ergibt sich auch der spezielle Blickwinkel, unter dem sie durchgeführt werden soll.

Nachdem die Betrachtungsgrenzen und das Ziel der Studie feststehen, wird das Team bestimmt. Es muss im Vorfeld geklärt werden, welche Kompetenzen das Team hat. Hat es Beschlussrecht über einzelne Sicherheitsmaßnahmen, so ist eine relativ selbständige und damit auch zügige Abarbeitung möglich. Besteht lediglich ein Vorschlagsrecht für Verbesserungen, bzw. sind die Entscheidungsträger nicht im Team, ist eine wesentlich intensivere Abstimmung und Rückkopplung erforderlich.

Aufgabe in den Teamsitzungen ist es zunächst, die abstrakten Fragestellungen des Fragenkatalogs (z. B. „Ausfall aktiver Aggregate“) auf die Anlage zu übertragen und in „sinnvolle“, konkrete Fehlermöglichkeiten umzusetzen (z. B. „Ausfall der Vorlagepumpe“). Erfahrungsgemäß erfordert dieser Punkt die größten Anstrengungen, da die übliche Gedankenwelt sich mehr mit dem Auffinden von Lösungen und weniger mit dem von Problemen beschäftigt. Andererseits zeigt sich, dass der hohe Grad an Konkretisierung, der in den Fragenkomplexen steckt, eine gute Hilfestellung darstellt, und gerade hier die größten und schnellsten Lernerfolge erzielt werden.

Nachdem eine konkrete Fehlermöglichkeit erkannt worden ist, wird zunächst ihre Auswirkung auf die betrachtete Systemeinheit abgeschätzt, d. h. es werden die potenziellen Folgen dieser Störung und evtl. zusätzliche Ereignisse („Störfalleintrittsvoraussetzungen“ im Sinne der deutschen Störfall-Verordnung), die erst zusammen mit der betrachteten Störung zum Eintreten eines Störfalls führen, ermittelt.

Damit steht die gesamte Ablaufkette von der auslösenden Störung bis hin zum eigentlichen Ereignis mit Einwirkungsbereich und zu erwartenden Auswirkungen fest. Diese Daten werden nun dem vorhandenen bzw. vorgesehenen Sicherheitskonzept gegenübergestellt und dienen so als Ausgangsbasis für eine qualitative Sicherheitsbewertung speziell der vorgesehenen PLT-Schutzeinrichtungen mittels Risikograph (siehe Kapitel „Risikograph“).

Die Dokumentation der Ergebnisse der WACKER-Analyse erfolgt in Form von Listen mit den Spalten

- Mögliche Störung
- Logische Folge
- Störfalleintrittsvoraussetzungen
- Verhindernde und begrenzende Maßnahmen

Damit ist das Team gezwungen, eine mögliche Störung in ihrer logischen Entwicklung bis hin zum eigentlichen Störfall durchzudenken und entsprechend darzustellen. Dem stehen dann die getroffenen Gegenmaßnahmen gegenüber, so dass diese entsprechend dem dargelegten logischen Ereignisablauf bewertet werden können und keine unterschwelligen Ängste durch das isolierte Darstellen möglicher Gefahren entstehen.

Diese Dokumentation kann als Bestandteil von Behördenunterlagen (z. B. Sicherheitsbericht) verwendet werden.

Die Spalte der erforderlichen verhindernden und begrenzenden Maßnahmen definiert den beschlossenen Soll-Zustand der Anlage. Durch Markieren der bereits realisierten Einzelmaßnahmen ist eine problemlose und vollständige Terminverfolgung möglich. Durch Vergabe

von Prioritäten können gezielt die wichtigsten Maßnahmen einer beschleunigten Umsetzung zugeführt werden.

Zu dem Verfahren wurde aus der Praxis heraus ein Bearbeitungs- und Dokumentationssystem entwickelt, das es ermöglicht, die komplexe und umfassende Aufgabenstellung „Systematische Sicherheitsbetrachtung“ mit bekannten, ingenieurmäßigen Arbeitsweisen zu bewältigen. Besonderer Wert wurde dabei darauf gelegt, dass das Verfahren durch einen einfachen und logischen inneren Aufbau auch ohne umfangreiche vorherige Einarbeitung angewendet werden kann.

Nutzen der Methode

Auf den ersten Blick könnte der Fragenkatalog den Eindruck erwecken, als handle es sich bei der WACKER-Analyse um eine Checkliste. Bei näherer Betrachtung stellt man jedoch fest, dass mit der

- gewählten Arbeitsweise als Teamdiskussion,
- gezielten, offenen Fragestellung innerhalb der Fragenkomplexe,
- systematischen, redundanten Vorgehensweise

die WACKER-Analyse viele wesentliche Elemente des klassischen PAAG-Verfahrens enthält. Es wird allerdings versucht, die Nachteile dieses Verfahrens (z. B. großer Aufwand und strenger Formalismus) durch Einbeziehung von Elementen der Prüfliste soweit wie möglich zu vermeiden.

Die WACKER-Analyse stellt ein geeignetes Instrument dar, um einerseits zielgerichtet und damit effektiv Sicherheitsbetrachtungen an komplexen Anlagen vornehmen zu können, andererseits wird gleichzeitig eine sehr hohe Betrachtungstiefe erreicht.

Darüber hinaus gewährleistet die WACKER-Analyse durch ihre nachvollziehbare Dokumentation, dass das sicherheitstechnische Konzept auch für nachfolgende Anlagenbetreiber verfügbar bleibt. Es wird also in diesem Rahmen das „Soll“ für einen späteren Soll-Ist-Vergleich festgelegt, gleichzeitig wird dabei die Wissensbasis für

spätere interne wie externe Überwachungsmaßnahmen bis hin zum umfassenden Sicherheitsaudit gelegt.

Da die WACKER-Analyse zunächst der Erfüllung der Anforderungen der deutschen Störfall-Verordnung diene, orientierte sich die Auswahl der zu betrachtenden Anlagenteile auch stark an den dort genannten Mengenschwellen. Im Prinzip können bei der WACKER-Analyse beliebige Kriterien zur Anwendung kommen.



4 GEFAHRENERMITTLUNG

ERGEBNISSE DER WACKER-ANALYSE



Teilnehmer: _____ Revision: _____
 Datum: _____

Anlagen-Nr.	Bezeichnung der Anlage	Gebäude:
Anlagenteil-Nr.:	Bezeichnung des Anlagenteils	Kapitel:

Betrachtete Gefahrenquelle	mögliche Folgen	Störfall- bzw. Ereigniseintrittsvoraussetzungen	Störfall- bzw. ereignisverhindernde und -begrenzende Vorkehrungen	Ref.-Nr.
1 Versagen von Anlagenteilen				
1.1 Ausfall aktiver Aggregate				
1.2 Bruch von Einbauteilen				
1.3 Blockierter Durchfluss				
1.4 Ausfall von EMR-Einrichtungen				
1.5 Aktivierung wirksamer Zündquellen				
1.6 Versagen innerer Trennwände				
1.7 Versagen Durchflussverhindernder Maßnahmen				
1.8 Versagen der äußeren Umschließung				

Abbildung 7 a: WACKER Analyse

ERGEBNISSE DER WACKER-ANALYSE

Betrachtete Gefahrenquelle	mögliche Folgen	Störfall- bzw. Ereigniseintrittsvoraussetzungen	Störfall- bzw. ereignisverhindernde und -begrenzende Vorkehrungen	Ref.-Nr.
2 Energieausfall				
2.1 Elektrische Energie für Antriebe/ Wärmegerzeugung etc.				
2.2 Elektrische Energie für EMR				
2.3 Steuerluft				
2.4 Druckluft				
2.5 Kühlwasser				
2.6 Kühleislauf				
2.7 Kälteanlagen				
2.8 Dampf				
2.9 Heizkreislauf				
2.10 Inertgas (Stickstoff)				
3 Menschliche Fehlhandlungen				
3.1 Unterlassen notwendiger Handgriffe				
3.2 Ausführen unzulässiger Handlungen				
3.3 Falsches Ausführen von Eingriffen				
3.4 Wartungs-/Reparaturfehler				

Abbildung 7 b:
WACKER Analyse



4 GEFAHRENERMITTLUNG

ERGEBNISSE DER WACKER-ANALYSE



Betrachtete Gefahrenquelle	mögliche Folgen	Störfall- bzw. Ereigniseintrittsvoraussetzungen	Störfall- bzw. ereignisverhindernde und -begrenzende Vorkehrungen	Ref.-Nr.
4 Unerwünschte Stoffpaarungen				
4.1 Vermischung miteinander reagierender Stoffe				
4.2 Reaktionsauslösende Verunreinigungen				
4.3 Falsche Produkt-/ Werkstoffpaarung				
4.4 Heiße und kalte Flüssigkeiten				
4.5 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in inertisierten Anlagenteilen				
4.6 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch zu hohe/ zu niedrige Stoffkonzentration				
5 Abweichung betrieblicher Parameter				
5.1 Druck (-differenz)				
5.2 Temperatur (-differenz)				
5.3 Füllstand (max/min)				
5.4 Durchflussmenge (max/min)				
5.5 Durchflussrichtung				
5.6 Reaktionszeit				
5.7 Verweilzeit				
5.8 Viskosität				
5.9 pH-Wert				
5.10 Mischungsverhältnis/ Konzentration				

Abbildung 7 c: WACKER Analyse



4 GEFAHRENERMITTLUNG

4.2 BASF-SGU STUFE 1

Grundlagen des Verfahrens

In der BASF hat sich seit vielen Jahren ein mehrstufiges, gestaffeltes Vorgehen etabliert. Es handelt sich dabei um eine fest in den Projektablauf eingebundene, mehrstufige Überprüfung der Planungsunterlagen und die anschließende Prüfung der fertig gestellten Anlage. Entsprechend dem Projektfortschritt werden bei den Sicherheitsbetrachtungen die prozessspezifischen Gefährdungspotenziale ermittelt, das entsprechende Anlagensicherheitskonzept festgelegt und dann die Planungsunterlagen auf Einhaltung des anlagenspezifischen Sicherheitskonzepts und der allgemeinen sicherheitstechnischen Anforderungen überprüft. Vor Inbetriebnahme der fertig gestellten Anlage erfolgt dann deren Überprüfung auf die Einhaltung der Vorgaben und Konformität mit den Planungsunterlagen. Vorge stellt wird im Folgenden die SGU-Betrachtung Stufe 1, die der Gefahrenermittlung dient.

Sicherheitstechnisches Grundkonzept

Das sicherheitstechnische Grundkonzept besteht in der Beschreibung der wesentlichen anlagenspezifischen Gefährdungspotenziale. Die zu treffenden organisatorischen und technischen Gegenmaßnahmen sind im Grundsatz darzustellen und zu erläutern. Hierbei sind die Auswirkungen auf die Mitarbeiter, die Anlage und ihre Umgebung und die Umwelt zu berücksichtigen. Die weitere Ausarbeitung und ihre Lösung im Detail bleibt der späteren Planung vorbehalten, die sicherheitstechnische Darstellung und Bewertung erfolgt in der SGU-Betrachtung Stufe 2.

Für die Erstellung der Dokumentation der SGU-Betrachtung Stufe 1 ist in der Regel der Projektleiter zuständig. Während die Grundinformationen zu Projekt und Verfahren sowie Standort und Umgebung (einschließlich

Notfallkonzept) in Prosaform zusammengestellt werden, werden unter anderem die Aspekte der Anlagensicherheit in tabellarischer Form aufgeführt.

- Beherrschung der Gefahren durch Stoffe
 - Werkstoffwahl, Verwendung von Sonderwerkstoffen
 - Konzept zur Vermeidung von Leckagen, Maßnahmen zu deren Beherrschung
 - besondere bauliche Vorkehrungen wie z. B. Kammern
- Beherrschung der Gefahren durch chemische Reaktionen
- Konzeptentwurf zur Einhaltung der bestimmungsgemäßen Reaktionsbedingungen
- Konzeptentwurf zur Vermeidung sicherheitstechnisch unerwünschter Nebenreaktionen
- Überprüfung der Vollständigkeit der sicherheitstechnischen Kenngrößen von Einsatzstoffen, Nebenprodukten, Endprodukten und Abfallstoffen
- Beherrschung der Gefahren durch physikalische Effekte
- Schutz von Apparaten gegen unzulässige Drucke und Temperaturen (z. B. PLT-Schutzeinrichtungen, Druckentlastungseinrichtungen)
- Beherrschung des Ausfalls von Hilfsenergien
- Maßnahmen bei Energie- oder Hilfsenergieausfall
- Anlagenanordnung, Baukonzept
- Lage bauliche Ausführung von Produktionsgebäude, Messwarte und Sozialräumen, Tanklager und Nebenanlagen
- Brandschutzkonzept
- Bauliche, technische, organisatorische Maßnahmen.
- Gefahrenabwehr (Planung, Management)
- Explosionsschutz
- Entwurf des Konzepts für den Explosionsschutz (z. B. Vermeidung der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre, Zündquellenvermeidung, konstruktiver Explosionsschutz)
- Schutz gegen Gefahren von der Anlage auf die Umgebung
- Auflistung besonderer Gefahren und Gefährdungen, die von der Anlage ausgehen können und Optionen für mögliche Schutzkonzepte für Nachbarschaft
- Schutz gegen Gefahren von der Umgebung auf die Anlage
- Auflistung besonderer Gefahren, die von der Nachbarschaft auf die Anlage einwirken können (z. B. Hochwasser) und Optionen für mögliche Schutzkonzepte

- Schutz der Beschäftigten im Dennoch-Fall
- Konzept für die Maßnahmen bei Schadensfällen (z. B. Notentspannungs- und Notentleereinrichtungen, Feuerlöschanlagen, Auffangbecken, Gruben)
- Schutz der Umgebung im Dennoch-Fall
- Konzept für die Maßnahmen bei Schadensfällen (z. B. Alarmierung, Einrichtungen zum Niederschlagen von Dämpfen).

Erforderliche Unterlagen (Auswahl):

- Beschreibung des Projektumfangs
- Verfahrensüberblick und -umfang
- Übergabeprotokoll bei neuen Verfahren
- Detaillierte Beschreibung des Projektes und der Chemie des Verfahrens
- ein einfaches Blockschema, das den Verbund der Rohstoffe und Fertigprodukte mit anderen Betrieben aufzeigt
- Verfahrensfliessbilder
- Liste der wichtigsten Maschinen- und Apparatedaten (diese Daten können auch in die Fließbilder integriert werden)
- Überblick über Sicherheits- und Umweltgefährdungspotenziale und mögliche Problemfelder
- Entwurf des sicherheitstechnischen Grundkonzepts
- Stoffdaten (physikalische und chemische Eigenschaften, Daten zur Reaktivität sowie Daten zum Gesundheitsschutz)
- Erwartete Rohstoffe und Zwischenprodukte
- Erwartete Abfälle und Emissionen in Luft und Wasser (z. B. Beiblätter zum Projektantrag auf Freigabe zur Ausarbeitung für Abluft, Abgase, Lärm, für Rückstände und für Abwasser)
- Vorläufiger Zeitplan des Projektes

Teilnehmer

Die Teilnehmer an den SGU-Betrachtungen müssen nicht nur auf ihrem Fachgebiet kompetent sein, sondern auch autorisiert sein, für ihre jeweilige Einheit verbindliche Entscheidungen zu treffen. In Fällen, in denen ein Teilnehmer nicht entscheidungsbefugt ist, muss daher dann auch sein Vorgesetzter teilnehmen. Typischerweise nehmen an SGU-Betrachtungen teil:

- Betriebsleiter (Unternehmensbereich)
- Betriebsingenieur (Betriebsbetreuung)
- Planungsingenieur (Projektmanagement)
- SGU-Fachstellen, Forschung und spezielle Fachkräfte (Vertreter je nach Projekt)



4 GEFAHRENERMITTLUNG



Sicherheits- und Umweltschutzkonzept – SGU-Betrachtung Stufe 1

Projekttitel: _____ Projektnummer: _____ Datum: _____

Bereich/Einheit: _____ Bau: _____ Gesellschaft: _____ Standort: _____

Dokumente		Tabellarische Form	
1 Grunddaten Projekt	4 Anlagensicherheit (Sicherheits-technisches Grundkonzept)	5 Arbeits- und Gesundheitsschutz	6 Umweltschutz und Genehmigungen
1.1 Projektbeschreibung	4.1 Beherrschung der Gefahren durch Stoffe	5.1 Konzept Stoffbeherrschung	6.1 Allgemeine Fragen
2 Grunddaten Verfahren	4.2 Beherrschung der Gefahren durch chemische Reaktionen	5.2 Zugänglichkeit	6.2 Emissionen in Luft
2.1 Übergabeprotokoll	4.3 Beherrschung der Gefahren durch physikalische Effekte	5.3 Lärmschutz	6.3 Emissionen in Wasser
2.2 Gehandhabte Stoffe	4.4 Beherrschung des Ausfalls von Hilfsenergien	5.4 Berührungsschutz	6.4 Abfälle
2.3 Beschreibung Chemie	4.5 Baukonzept	5.5 Ergonomie	6.5 Lärm
2.4 Verfahrensbeschreibung	4.6 Brandschutzkonzept	5.6 Betreibbarkeit	7 Weiteres Vorgehen
3 Standort, Umgebung	4.7 Explosionsschutz		7.1 Entscheidung über notwendige Stufen
3.1 Standort	4.8 Schutz gegen Gefahren von der Anlage auf die Umgebung		7.2 Zeitplan
3.2 Umgebungsdaten	4.9 Schutz gegen Gefahren von der Umgebung auf die Anlage		
3.3 Infrastruktur	4.10 Schutz der Beschäftigten im Dennoch-Fall		
3.4 Logistik	4.11 Schutz der Umgebung im Dennoch-Fall		

Abbildung 8 a:
BASF SGU-
Betrachtung

Sicherheits- und Umweltschutzkonzept – SGU-Betrachtung Stufe 1

Projekttitlel: _____ Projektnummer: _____ Datum: _____

Bereich/Einheit: _____ Bau: _____ Gesellschaft: _____ Standort: _____

Nummer	Gefährdungspotenzial	Maßnahmen zur Beherrschung	S*	Offene Punkte
4	Anlagensicherheit (Sicherheitstechnisches Grundkonzept)			
4.1	Beherrschung der Gefahren durch Stoffe			
4.1.1	<p>Cyclohexan siedet unter Normaldruck bei 81 °C. In der Produktionsanlage wird es unter einem Druck von 13 bar und bei 150 °C mit Luft oxidiert.</p> <p>Der Flammpunkt beträgt -18°C. Cyclohexan ist nicht leitfähig und elektrostatrisch hoch aufladbar.</p> <p>Bei Leckagen wird Cyclohexan freigesetzt. Ein Teil des Cyclohexans verdampft spontan und bildet eine zündfähige Wolke.</p> <p>=> Explosions- und Brandgefahr. Gefährdung von Menschen</p>	<p>Dichtheit der Anlage, Minimierung der Flansche, Faltenbalgventile</p> <p>Pumpen mit Spaltrohrmotor, Magnetkupplung oder doppelt wirkender Gleitringdichtung</p> <p>Leckagedetektion durch Installation von Gaswarngeräten</p> <p>Bildung von Schottabschnitten zur Reduzierung der Brandlast</p> <p>Feuerlöscheinrichtungen</p>		Abstimmung mit der Werkfeuerwehr
4.1.2	<p>Bersten der Anlage als Folge einer Explosion im Inneren</p> <p>Zündquellen: z. B. elektrostatrische Entladung beim Einlauf in den B 1, ist ständig vorhanden</p> <p>Zündfähiges Gemisch kann nur dann auftreten, wenn sowohl der Sauerstoffgehalt ausreichend hoch ist (> 8%), als auch die Konzentration von Cyclohexan innerhalb der Explosionsgrenzen liegt</p>	<p>Inertisieren vor dem Anfahren</p>		<p>Sauerstoffdetektion in der Gasphase des B 1 mit Abschaltung ab einem noch festzulegenden Grenzwert.</p> <p>Bei Erreichen des Grenzwertes wird die Luftzufuhr gestoppt.</p>

hh

* Spalte S: Klassifizierung von Schutzeinrichtungen: Y = Sicherheitsventil, Z = Z-Schaltung, O = Organisatorisch



4 GEFAHRENERMITTLUNG



Sicherheits- und Umweltschutzkonzept – SGU-Betrachtung Stufe 1

Projekttitel: _____ Projektnummer: _____ Standort: _____ Datum: _____

Bereich/Einheit: _____ Bau: _____ Gesellschaft: _____

Nummer	Gefährdungspotenzial	Maßnahmen zur Beherrschung	S*	Offene Punkte
4.2	Beherrschung der Gefahren durch chemische Reaktionen			
4.2.1	Der Reaktor arbeitet ohne zusätzliche Kühlung. Bei der Reaktion wird eine erhebliche Wärmemenge frei, die durch folgende Prozesse abgeführt wird: <ul style="list-style-type: none"> • Adiabates Aufheizen des Gemisches während des Durchlaufs durch den C 1 • Verdampfung von Cyclohexan im C 1 durch Sättigung des Stickstoffanteils der Luft (Gasphase am Ausgang des Reaktors besteht zu einem erheblichen Teil aus Cyclohexan-Dampf) 	Reaktion ist limitiert durch den Sauerstoffgehalt der Luft, der nahezu vollständig verbraucht wird. Der Umwandlungsgrad im C 1 kann 7 % nicht überschreiten. Kritisch ist vielmehr das Einschlagen der Reaktion, was zum Luftdurchbruch und damit zu zündfähiger Atmosphäre führt. Dieses muss erkannt und verhindert werden. Sauerstoffüberwachung in der Gasphase des B1.		
4.2.2	Überlastung der katalytischen Abgasverbrennung durch Cyclohexan bei Ausfall der Kühlung am W 3			Weitere Informationen zur katalytischen Abgasverbrennung erforderlich In SGU-Betrachtung der katalytischen Abgasverbrennung diskutieren

* Spalte S: Klassifizierung von Schutzeinrichtungen: Y = Sicherheitsventil, Z = Z-Schaltung, O = Organisatorisch

Abbildung 8 c:
BASF SGU-
Betrachtung

Sicherheits- und Umweltschutzkonzept – SGU-Betrachtung Stufe 1

Projekttitel: _____ Projektnummer: _____ Datum: _____

Bereich/Einheit: _____ Bau: _____ Gesellschaft: _____ Standort: _____

Nummer	Gefährdungspotenzial	Maßnahmen zur Beherrschung	S*	Offene Punkte
4.2.3	<p>Ausfall der Förderung mit Pumpe P 1 führt zu Unterbrechung der Wärmeabfuhr:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorwärmen des Cyclohexans im W 1 nicht mehr möglich • kein weiterer Austausch des Reaktorinhaltes <p>Das im Reaktor befindliche Cyclohexan setzt sich weiter um (> 5 % Umsatz). Ab einem Umsatz von ca. 7 % kommt die Reaktion jedoch zum Erliegen. Dadurch kommt es zu einem unvollständigen Umsatz der zugeführten Luft. Bildung eines zündfähigen Gasgemischs.</p>	<p>Überwachung der Förderung von P 1 Bildung eines zündfähigen Gemisches muss erkannt und verhindert werden. Sauerstoffüberwachung in der Gasphase desB1</p>		<p>Bewertung mittels Risikomatrix (Festlegung SIL)</p>
4.3	Beherrschung der Gefahren durch physikalische Effekte			
4.3.1	<p>Höhere Heizdampfentemperatur (16 bar-Dampf) am W 2 führt zu Temperaturanstieg im Reaktor. Druck im Reaktor ist durch Dampfdruck des Cyclohexans bei der entsprechenden Temperatur bestimmt.</p>	<p>Maximal mögliche Heiztemperatur von 16 bar-Dampf gemäß Werknorm: 208°C => Auslegungsdruck des Reaktors wird durch den maximal möglichen Dampfdruck von Cyclohexan allein nicht überschritten.</p>		<p>Maximal mögliche Temperatur des überhitzten 16 bar-Dampfes von 250°C bei Auslegung der Apparate berücksichtigen.</p>

* Spalte S: Klassifizierung von Schutzeinrichtungen: Y = Sicherheitsventil, Z = Z-Schaltung, O = Organisatorisch

4 GEFAHRENERMITTLUNG

4.3 TÜV NORD-METHODE

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Verfahrenstechnische Anlagen, z. B. der chemischen und petrochemischen Industrie, konventionelle Kraftwerke

Ziel der Untersuchung

- Überprüfung von Anlagen oder ausgewählten Anlagenteilen bezüglich möglicher Gefahrenquellen und deren Auswirkungen und die Ableitung bzw. Bewertung angemessener Maßnahmen

Anwendungszeitpunkt

- Während der Planungsphase, optimal während des Detail-Engineerings
- (Nachträgliche) Sicherheitstechnische Überprüfung bestehender Anlagen
- Umbau von bzw. Änderungen in bereits untersuchten Anlagen

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- Fließbilder bzw. R+I-Schemata
- Verfahrensbeschreibungen
- Betriebsanweisungen
- PLT-Funktionspläne, PLT-Funktionsbeschreibungen

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres externes Team erstellt Vorlage anhand einer Fragesystematik
- Interdisziplinäres Team aus betrieblichen Experten validiert und vervollständigt die Vorlage der Gefahrenanalyse
- In der Methode erfahrener Moderator

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte, Umsetzen der beschlossenen Maßnahmen durch Betrieb

Grundlagen des Verfahrens

Die TÜV NORD-Methode wurde aus dem „RWTÜV-Formblattverfahren“ entwickelt, um als Dienstleistung Planer und Betreiber komplexer Anlagen aller Branchen bei einer effizienten und fachgerechten Durchführung von Gefahrenanalysen zu unterstützen.

Die Methode basiert auf der Systematik des PAAG-Verfahrens und verwendet diesen Ansatz zur möglichst vollständigen Identifizierung möglicher Abweichungen/Störungen mit potenziell gefährlichen Auswirkungen.

Im Unterschied zum PAAG-Verfahren geht die TÜV NORD-Methode von einer Liste mit Gefahrenquellenarten und Gefahrenquellen aus, die aus den Erkenntnissen vieler durchgeführter Gefahrenanalysen in der Prozessindustrie, insbesondere der Chemieindustrie, entstanden ist. Sie verkürzt damit das in der Regel sehr zeitintensive PAAG-Verfahren durch eine bereits auf Prozessanlagen konkretisierte Auswahl möglicher Abweichungen. Um eine Beschränkung der Betrachtung der Gefahrenquellen auf eine abgeschlossene Liste zu verhindern, werden in einer durch offene Fragestellungen gekennzeichneten, systematisch geführten Team-

sitzung mit dem Anlagenplaner oder Anlagenbetreiber die Gefahrenquellen diskutiert und eventuell verbliebene Betrachtungslücken geschlossen. Die Dokumentation erfolgt in einer aus sich heraus verständlichen und damit auch später noch nachvollziehbaren Tabelle in Textform.

Die TÜV NORD-Methode wird eingesetzt zur Bewertung des Sicherheitskonzeptes bestehender Anlagen sowie zur sicherheitstechnischen Evaluierung von Planungskonzepten für Neuanlagen oder für Änderungen bestehender Anlagen. In der Planungsphase sollte der Zeitpunkt der Durchführung der Gefahrenanalyse nach der TÜV NORD-Methode bei fortgeschrittenem Engineering liegen (auf jeden Fall nach dem Basic-Engineering, empfehlenswerter während des Detail-Engineering), da die grundlegenden Verfahrensabläufe und -parameter sowie Informationen zur Anlagenauslegung bekannt sein müssen.

Um eine hohe Effizienz hinsichtlich Zeit- und Personalaufwand bei Anlagenplaner und -betreiber zu erreichen, wird die Gefahrenanalyse in zwei Phasen durchgeführt. In der ersten Phase wird die Gefahrenanalyse in einem Team aus TÜV NORD-Mitarbeitern vorbereitet. In der zweiten Phase wird dann mit der so vorbereiteten Tabelle (weitgehend ausgefüllte Spalten 1 bis 4, teilweise ausgefüllte Spalte 5) der Dokumentation der Gefahrenanalyse die eigentliche Gefahrenanalyse im „großen Team“ mit dem Planer/Betreiber durchgeführt. In dieser Teamsitzung wird der bereits vorbereitete Teil der Gefahrenanalyse mit dem Planer/Betreiber noch einmal verifiziert und insbesondere hinsichtlich der Maßnahmen („Das kann ja so nicht sein, weil ...“) noch ergänzt. In der so katalysierten Diskussion werden dann durch offene, aber systematisch geführte Fragen an den Planer/Betreiber die Schwachstellen der Anlage aufgedeckt und die vorhandenen oder geplanten Gegenmaßnahmen bewertet.

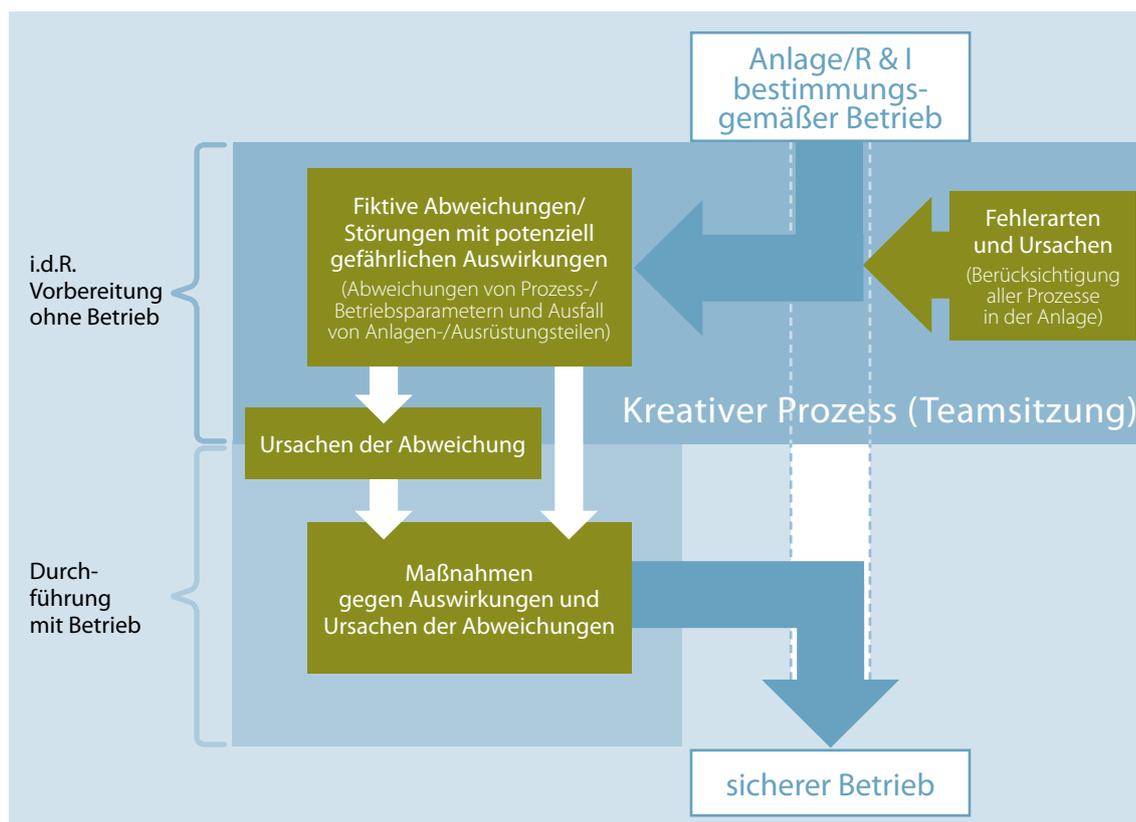


Abbildung 9:
Aspekte und
Anwendung der
TÜV NORD Methode

4 GEFAHRENERMITTLUNG

Arbeiten mit der Methode

Die Vorbereitung wird anhand der vom Anlagenplaner/-betreiber zur Verfügung gestellten Unterlagen und Informationen in einem Team vorgenommen, das in Abhängigkeit der Komplexität und der Art der Anlage oder des Verfahrens variiert; in der Regel wird das Team gebildet aus Vertretern der Fachgebiete Verfahrenstechnik, Chemie und Elektrotechnik.

In einem ersten Schritt erfolgt das vertraut machen mit der Anlage und den in der Anlage durchzuführenden Verfahrensschritten anhand der zur Verfügung gestellten Unterlagen (R+I-Schemata oder Verfahrensfleißbilder mit Zusatzinformationen, Verfahrensbeschreibung mit den wesentlichen Verfahrensbedingungen, Informationen zur Anlagenauslegung und -ausrüstung, Informationen über die einzusetzenden Stoffe).

Dem nächsten Schritt, der sinnvollen Aufteilung der zu untersuchenden Anlage in Betrachtungseinheiten, kommt eine große Bedeutung zu. Die Betrachtungseinheiten sind so groß zu wählen, dass funktionale Zusammenhänge möglichst nicht getrennt werden müssen. Viele Schnittstellen führen zu vielen Wiederholungen der Betrachtung einzelner Störungen in mehreren Betrachtungseinheiten. Andererseits sind die Betrachtungseinheiten so klein zu wählen, dass eine ausreichende Untersuchungstiefe der einzelnen Anlagenteile gewährleistet bleibt. Aufgrund dieser gegensätzlichen miteinander konkurrierenden Anforderungen an die Abgrenzung der Betrachtungseinheiten stellt dieser Arbeitsschritt einen nicht zu unterschätzenden Aufwand dar und hat großen Anteil an der Vorbereitung und Durchführung der Gefahrenanalyse.

Die abgegrenzten Betrachtungseinheiten werden anschließend im Team analysiert. Dabei werden systematisch fiktive Abweichungen/Störungen vom bestimmungsgemäßen Prozess unterstellt. Als Hilfsmittel wird dabei eine auf der Basis gesammelter Erfahrungen erarbeitete Liste eingesetzt, die eine Übersicht über relevante Gefahrenquellen mit potenziell gefährlichen Auswirkungen

und eine beispielhafte Zuordnung von Ursachen für diese Gefahrenquellen enthält. Mit dieser Prüfliste wird das Team angehalten, bestimmte festgelegte Gefahrenquellenarten in jedem Fall zu untersuchen und auf ihre Relevanz für die jeweilige Betrachtungseinheit zu prüfen.

Gefahrenquellenarten

Immer zu betrachten sind:

- 1 Leckage
- 2 Überfüllen
- 3 Unzulässiger Druck
 - 3.1 unzulässig hoher Druck
 - 3.2 unzulässig niedriger Druck
- 4 unzulässige Temperatur
 - 4.1 unzulässig hohe Temperatur
 - 4.2 unzulässig niedrige Temperatur
- 5 unzulässige Reaktion
- 6 Bildung und Zündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- 7 Fehler/Ausfall von Anlageteilen/Energien
 - 7.1 PLT-Einrichtungen
 - 7.2 Fördereinrichtungen
- 8 Fehlbedienung/Fehlverhalten

Gefahrenquellenarten, die im Einzelfall für die Betrachtungseinheit nicht relevant sind (z. B. „Überfüllen“ bei einem Rohrleitungssystem), sind als „nicht zutreffend“ in der Dokumentation zu kennzeichnen.

Die in der Liste den einzelnen Gefahrenquellen zugeordneten Ursachen haben Beispielcharakter und müssen für die jeweilige Anlage und das Verfahren im Einzelfall gefunden werden. Die Liste dient hierbei nur als Gedankensstütze und als „Katalysator“ für die Teamdiskussion zum Auffinden möglichst aller für die Betrachtungseinheit relevanten Störungen.

GEFAHRENQUELLE	MÖGLICHE URSACHE
<p>.....</p> <p>Unzulässiger Druck</p> <p>- Überdruck</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Überdrücken durch einen Zulauf <ul style="list-style-type: none"> - Druckerhöhung durch Pumpe oder Verdichter - Überströmen aus einem höheren Druckniveau - Fördern gegen geschlossene Armatur - thermische Ausdehnung/Einblocken von gasentwickelnden Stoffen (z. B. Peroxide) - Einblocken von Flüssigkeiten - Dampfdruck (Ausfall der Kondensation von Dämpfen) - zu große Heizleistung/unzureichende Wärmeabfuhr (siehe auch unzulässige Temperatur) - Kondensatansammlung im Entlüftungssystem

Abbildung 10:
Auszug aus der
Liste „Gefahren-
quellenarten – bei-
spielhafte Gefahren-
quellen – Ursachen“

Da in der Ereigniskette, die zu Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs in einer Anlage führen können, eine klare Trennung von „Ursachen“ und Gefahrenquellen“ nicht möglich ist, sind bei der Anwendung der Liste redundante Fragestellungen beim Auffinden der für die jeweilige Betrachtungseinheit relevanten Gefahrenquellen zwangsläufig und auch gewünscht. Damit werden Gefahrenquellen gleichsam „aus verschiedenen Richtungen“ hinterfragt; die Wahrscheinlichkeit, dass Gefahrenquellen vergessen werden, wird damit vermindert. Weiterhin sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- betrachtet werden die Gefahrenquellen, die innerhalb der jeweils abgegrenzten Betrachtungseinheit auftreten können, Ursachen wie auch Auswirkungen bei Wirksamwerden der Gefahrenquellen können außerhalb der abgegrenzten Betrachtungseinheit liegen,
- es werden alle innerhalb einer abgegrenzten Betrachtungseinheit durchgeführten Verfahren (bzw. Verfahrensschritte) betrachtet.

Für jede als relevant ermittelte Gefahrenquelle werden die potenziellen Auswirkungen abgeschätzt, dabei wird bereits in diesem Arbeitsschritt das Schadensausmaß gemäß Risikograph nach VDI/VDE 2180 (siehe Seite 71)

eingestuft. Damit wird die Basis geschaffen für die Klassifizierung der ggf. erforderlichen Schutzeinrichtung zur Beherrschung der Gefahr und ein wiederholtes intensives Betrachten des zu Grunde zu legenden Szenarios vermieden.

Für jede Gefahrenquelle, bei deren Wirksamwerden gefährliche Auswirkungen auf Personen oder die Umwelt nicht auszuschließen sind, werden die vorhandenen oder geplanten Maßnahmen gegenübergestellt. Die Informationen über das Vorhandensein oder die Planung der jeweiligen Maßnahmen werden zunächst den zur Verfügung gestellten Unterlagen entnommen. Im Rahmen der Vorbereitung der Gefahrenanalyse werden hier u. U. bereits Schwachstellen im Sicherheitskonzept aufgedeckt; für erforderlich gehaltene Ergänzungen im Sicherheitskonzept werden vermerkt, um gemeinsam mit dem Betreiber diskutiert zu werden.

Die auf diese Weise vorbereitete Dokumentation bildet die Diskussionsgrundlage für die eigentliche Gefahrenanalyse, die in einem Team gemeinsam mit dem Betreiber/Planer durchgeführt wird. Dieses Team wird in der Regel gebildet aus Fachleuten der Bereiche Planung,

4 GEFAHRENERMITTLUNG

Betrieb, Verfahrenstechnik, Prozessleittechnik und Sicherheit, die tiefgehende Anlagen- und Prozesskenntnis sowie Betriebserfahrung in die Diskussion einbringen. In dieser Teamsitzung werden systematisch für alle Gefahrenquellen die möglichen Ursachen hinterfragt, dabei wird die vorbereitete Gefahrenanalyse verifiziert oder ergänzt bzw. verändert.

Durch die bereits vorbereitete Gefahrenanalyse entstehen Diskussionen über mögliche Szenarien bei Wirksamwerden von Gefahrenquellen auch mit solchen Betreibern, denen die Systematik der Durchführung von Gefahrenanalysen nicht vertraut ist und denen es damit schwer fällt, in ihrer Anlage diverse Störungen zu unterstellen.

Ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise ist das zweifache Durchdenken (zum ersten Mal im Rahmen der Vorbereitung, zum zweiten Mal in der Teamsitzung) der Gefahrenanalyse, so dass insgesamt eine große Untersuchungstiefe erreicht wird.

Gemeinsam mit dem Anlagenplaner/-betreiber wird das Sicherheitskonzept der Anlage optimiert, in dem die den Gefahrenquellen gegenüberstehenden Maßnahmen dahin gehend bewertet werden, ob sie ihren Auswirkungen wirksam entgegenwirken. Die insgesamt zur Beherrschung potenzieller Störungen zur Verfügung stehenden Maßnahmen müssen in einem angemessenen Verhältnis zu den möglichen Auswirkungen stehen; als Bewertungsmaßstab dient dabei der Stand der Sicherheitstechnik. Folgende Kriterien sind bei der Bewertung und Optimierung des Sicherheitskonzeptes von Bedeutung und werden im Team diskutiert:

- die Anzahl der voneinander unabhängigen Gegenmaßnahmen
- die Qualität der Maßnahmen, z. B.
 - inhärente Sicherheitseigenschaften des Systems
 - automatische Maßnahmen
 - Zuverlässigkeit des eingesetzten Gerätes zur Maßnahmenumsetzung

- Manuelle Maßnahme mit entsprechender eindeutiger Störungserkennung
- Zeitpunkt und Reihenfolge des Wirksamwerdens der Maßnahmen
- Rückwirkung von Maßnahmen auf das Gesamtsystem.

Werden als Ergebnis der Teamdiskussion Schwachstellen im Sicherheitskonzept – also fehlende oder nicht ausreichend wirksame Maßnahmen zur Beherrschung der potenziellen Störungen – erkannt, werden mögliche Lösungen diskutiert und mindestens der prinzipielle Lösungsweg festgelegt.

Ein fester Bestandteil der Gefahrenanalyse ist die Festlegung der Zuverlässigkeitsanforderungen der PLT-Einrichtungen zur Beherrschung von Störungen, das „SIL-Assessment“ gemäß VDI/VDE 2180 bzw. DIN EN 61511. Die Einstufung der potenziellen Auswirkungen bei Wirksamwerden der einzelnen Gefahrenquellen ist dabei der Ausgangspunkt. Dient eine PLT-Einrichtung als Sicherheitsmaßnahme zur Beherrschung mehrerer Gefahrenquellen mit unterschiedlicher Einstufung der Auswirkungen, ist jeweils die höchste Stufe des Schadensausmaßes zu Grunde zu legen.

Die abgestufte Vorgehensweise der TÜV NORD-Methode ermöglicht eine für Anlagenplaner und Anlagenbetreiber zeit- und personalsparende, aber dennoch gründliche Gefahrenerkennung und -bewertung. Mit der externen Vorbereitung der Analyse werden die Planer und Betreiber von Anlagen, die mit dem Prozess der Gefahrenanalyse nicht intensiv vertraut sind, gleichsam abgeholt und durch das Verfahren geführt. Die erforderliche aktive Beteiligung an dem Prozess der Analyse und Bewertung ist mit dieser Vorgehensweise dennoch gegeben. Die Dokumentation ist an keine speziellen Instrumente (z. B. Software) gebunden und daher flexibel in betriebsgerechte Dokumentationssysteme integrierbar.

LISTE DER BETRIEBLICHEN GEFAHRENQUELLEN UND DER GETROFFENEN MASSNAHMEN
Anlagenteil Lagerbehälter

1	2	3	4	5	6
Lfd-Nr.	Gefahrenquelle	Mögliche Ursachen	potenzielle Auswirkungen ^{1)/} Klassifizierung ²⁾	verhindernde und begrenzende Maßnahmen	Bewertung
2	Überfüllen				
2.1		Bedienungsfehler	Freisetzung entzündbarer Flüssigkeit in die Umgebung S1	<p>Erkennung: LIA+</p> <p>Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laut Betriebsanweisung wird nach Beenden jedes Befüllvorganges die Zulaufarmatur des entsprechenden Behälters vollständig geschlossen • Der maximale betriebliche Füllstand der Lagerbehälter, aufgrund dessen die Zufüllmenge errechnet wird, liegt deutlich unter dem maximal zulässigen Füllstand der Lagerbehälter • Überfüllsicherung schließt Armatur in der Füllleitung • Auffangwanne der Lagerbehälter kann überlaufende Flüssigkeit aufnehmen 	Stofffreisetzung in die Umgebung durch Überfüllung ist ausgeschlossen

¹⁾ dargestellt werden hier die potenziellen Auswirkungen, die auftreten könnten, wenn es keine Gegenmaßnahmen gäbe.

²⁾ einzustufen sind hier die potenziellen Auswirkungen gemäß VDI/VDE 2180 Bl. 1. Diese Einstufung dient auch als Grundlage für eine SIL-Einstufung im Falle von PLT-Einrichtungen.



5 GEFAHRENBEWERTUNG

GEFAHREN- BEWERTUNG

Während im vorigen Kapitel Methoden vorgestellt wurden, bei denen eine systematische Ermittlung prozessimmanenter Gefahren im Vordergrund steht, werden in diesem Kapitel Methoden präsentiert, bei denen die Bewertung der Gefahren ein größeres Gewicht besitzt. Hierzu werden in der Regel sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses als auch dessen potenzielle Auswirkungen betrachtet, wodurch sich mathematisch eine Abschätzung des Risikos ergibt.

Risiko und Risikoempfinden

Der Begriff Risiko wird häufig als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Tragweite (potenzielle Auswirkungen) eines Ereignisses definiert. Diese rein mathematische Betrachtungsweise kann problematisch werden:

- bei fehlender bzw. unzureichender Datenbasis für seltene Ereignisse,
- bei neuen Technologien mit potenziellen Auswirkungen erst in ferner Zukunft,
- im Falle sehr kleiner Häufigkeit oder großer Tragweite,
- bei stark subjektiv geprägten Bewertungen.

Subjektive Einflüsse sind beispielsweise:

- persönliche Gefahrenempfindungen (z. B. geprägt durch die Tatsache, dass bestimmte Gefahren sichtbar, andere nicht sichtbar sind oder die Frage, ob die unter Umständen gefährdeten Personen selbst Einfluss auf das Prozessgeschehen haben),
- persönliche Nutzepfindungen,
- gesellschaftliche Akzeptanz von Gefahren (z. B. ethisch, religiös, politisch geprägt, abhängig von der Bevölkerungsdichte),
- die Art des potenziell betroffenen Personenkreises (z. B. besonderes Schutzbedürfnis hinsichtlich Kindern und Kranken).

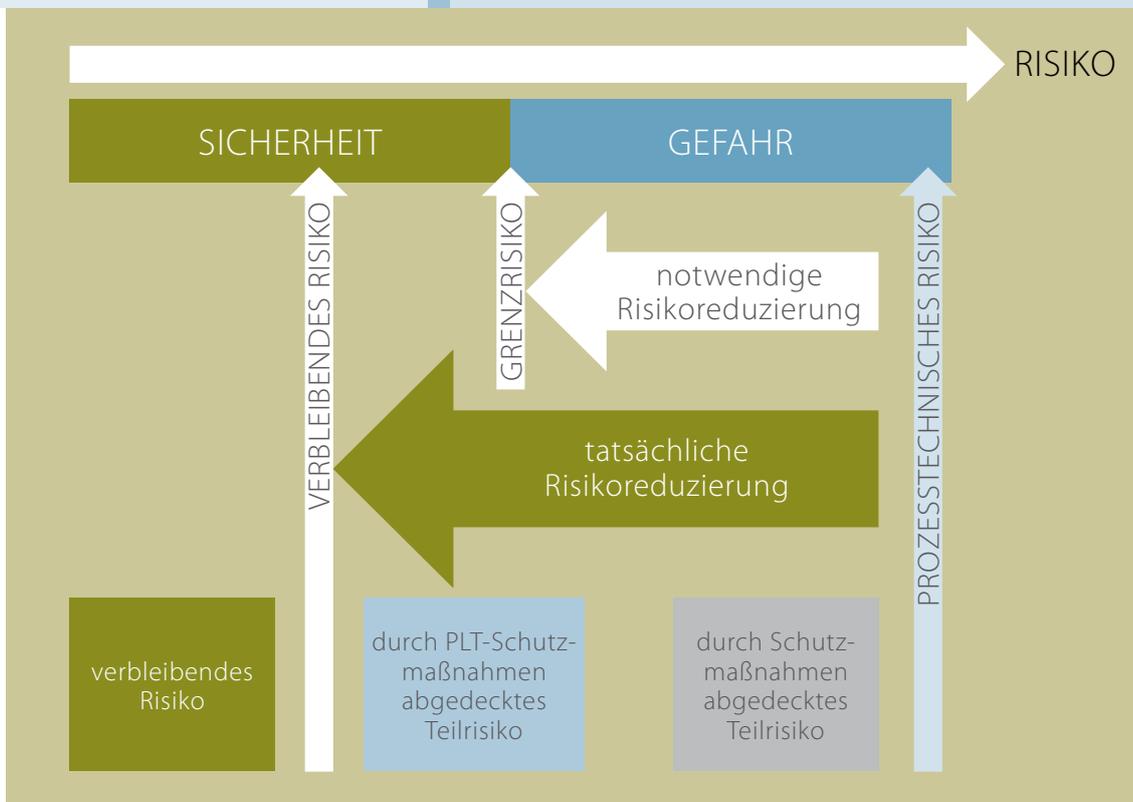


Abbildung 12:
Sicherheit –
Gefahr – Risiko

Probabilistische Methoden, die mit einer Unschärfefunktion für die Eintrittswahrscheinlichkeiten und die Gesamtheit der möglichen Auswirkungen agieren, sind in der Chemie bislang nur in geringem Umfang eingesetzt worden, da die vorhandene Datenbasis als nicht ausreichend oder gesichert erachtet wird. In einigen Ländern werden zum Teil quantitative Methoden zur generellen Risikoabschätzung eingesetzt, die auf festgeschriebenen Erfahrungswerten insbesondere der Offshore-Technologie der Erdölgewinnung basieren. Diese sind zurzeit nicht auf die detaillierten Sicherheitsbetrachtungen für verfahrenstechnische Anlagen, speziell im Chemiebereich, übertragbar.

Allerdings kann aufgrund der Fortschreibung der SEVESO-Richtlinie zukünftig die quantitative Bewertung des Risikos an Bedeutung gewinnen, da hier systematische Verfahren auch zur Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schwere von Ereignissen gefordert werden.

Die Risikoanalyse sagt zunächst nichts darüber aus, welches verbleibende Risiko gesellschaftlich akzeptabel ist, d. h. wo das so genannte Grenzurisiko liegt. Als Grenzurisiko wird allgemein das größte noch vertretbare Risiko eines bestimmten technischen Vorganges oder Zustandes

bezeichnet. Im Allgemeinen lässt sich das Grenzurisiko nicht quantitativ erfassen. Es wird in der Regel indirekt beschrieben als das verbleibende Risiko nach konsequenter Anwendung der sicherheitstechnischen Festlegungen entsprechend dem Stand der Technik.

Alle Methoden der Gefahrenbewertung besitzen teilweise methodenspezifische Instrumente der Gefahrenermittlung, teils greifen sie auch auf die vorgenannten Methoden bzw. das klassische PAAG/HAZOP zurück.

Positive Erfahrungen mit semiquantitativen Methoden

In der Praxis der Sicherheitstechnik sind Risikoabschätzungen mit semiquantitativem Charakter seit langem gebräuchlich und haben sich bewährt. Als Beispiel für solche Risikoabschätzungen – basierend auf technischem Sachverstand und langjährigen Erfahrungen – sei die Zoneneinteilung im Explosionsschutz genannt.

5 GEFAHRENBEWERTUNG

5.1 ZÜRICH HAZARD ANALYSIS (ZHA)

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Verfahrenstechnische Anlagen der chemischen und petrochemischen Industrie

Ziel der Untersuchung

- Darstellung des Risikos ausgewählter Teilanlagen und Anlagenteile, durch Ergänzung der Frageliste auch der Verfügbarkeit

Anwendungszeitpunkt

- Bei der Einführung neuer Verfahren in der Entwicklungsphase
- Bei der Produkteinführung und beim Upscaling in den Produktionsmaßstab
- Vor der Erstellung eines Genehmigungsantrages
- Vor der Inbetriebnahme der Anlage

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- systemspezifisch, für Prozessanlagen z. B.
- Fließbilder bzw. R+I-Schemata
- Aufstellungspläne
- Stoff- und Reaktionskenngrößen
- Verfahrensbeschreibungen
- Betriebsanweisungen
- Wartungspläne

Durchführung/erforderliche Experten

- interdisziplinäres Team, in der Methode erfahrener Moderator
- Strukturiertes Arbeitsblatt

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte, Umsetzen der beschlossenen Maßnahmen

Grundlagen des Verfahrens

Die „Zürich“ Gefahrenanalyse (englisch: Zurich Hazard Analysis – ZHA) gehört zu den induktiven Analysemethoden, das heißt, bei jedem Gefahrenpotenzial wird von der Ursache ausgegangen und auf die zu erwartende Auswirkung geschlossen. Sie basiert auf dem US Military Standard 882. Dieser Standard entspricht dem System-Safety-Konzept, das in den 1950er Jahren für die Luft- und Raumfahrtindustrie in den USA entwickelt wurde. Weiterentwickelt und perfektioniert wurde die ZHA

im Risk Engineering der „Zürich“ Versicherungen, um für ihre Kunden systematisch und schnell Gefahren und Bedrohungen aufzuzeigen und sinnvolle Maßnahmen zur Risikobewältigung anzubieten.

Bewährt hat sich die ZHA, um die Gefährdung der Menschen oder der Umwelt zu ermitteln; dies gilt auch für rein finanzielle Werte, wie Betriebs- und Produkthaftpflicht, Sachschäden und Betriebsunterbrechung. Im Handbuch zur Schweizerischen Störfallverordnung wird die ZHA als beispielhafte Methode zum Ermitteln der Risiken erwähnt.

Sieben Schritte

Die Analyse wird im Team durchgeführt. Dabei ist die Gefahrenerkennung der wichtigste Schritt. Die Breite und Tiefe der Analyse hängt ab von Erfahrung und Fachwissen der Team-Mitglieder, den vorhandenen Dokumenten und der zur Verfügung stehenden Zeit.

Schritt 1: Erfassen der Basisdaten

Vor jeder Analyse muss feststehen, welches Objekt (z. B. eine komplette Fabrik, deren Infrastruktur, eine Produktionseinheit oder nur ein als risikoreich eingestuftes Teilprozess) unter welchem Fokus (z. B. Bedrohung für Menschen, für die Umwelt oder für Sachwerte) betrachtet werden soll.

Schritt 2: Definition der sicheren Prozessbedingungen

Die gewünschte, sichere Funktion des Systems muss beschrieben werden.

Schritt 3: Gefahrenidentifikation

Die eigentliche Analyse beginnt mit dem systematischen Identifizieren der Gefahren mitsamt dem zugehörigen Auslöser. Dazu wird das zu analysierende System auf vorher festgelegten Pfaden (z. B. Material-, Energie- oder Signalfloss) durchleuchtet. Dabei werden mittels der so genannten „Ticklerliste“ fünf Bereiche abgefragt:

- Gefährliche Eigenschaften (z. B. Explosionsmöglichkeiten, Brennbarkeit, mechanische/elektrische/chemische Energien, Toxizität, Strahlung, Druck, Temperatur, Vibration, Lärm, Verunreinigungen),
- Störungen oder Versagen (d. h. Aufzeigen von Möglichkeiten, wie ein System ausfallen oder fehlerhaft werden kann),

- Umgebungseinflüsse (sowohl von außen auf das System als auch vom System nach außen),
- Anwendung und Bedienung (z. B. Ergonomie, fehlerhafte Bedienung, Missbrauch),
- Lebenszyklus (z. B. Alterung, Korrosion, Änderungen von Eigenschaften im Verlauf der Zeit, Entsorgung).

Bei komplexen Anlagen und bei Anlagen mit sehr hohem Gefährdungspotenzial wird statt dieser „Ticklerliste“ die zeitaufwändigere und detailliertere PAAG-Methode angewandt.

Schritt 4: Bewertung der Gefahren

Jedes identifizierte Ereignis wird nach Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Da für beide Aspekte exakte und aussagekräftige Zahlen selten vorliegen, wird bei der ZHA eine relative Bewertung vorgezogen.

Die Auswirkungen werden in folgende vier Kategorien eingeteilt:

- I Katastrophal
- II Kritisch
- III Klein
- IV Unbedeutend

Für jede Kategorie werden die Auswirkungen bezüglich Personen- bzw. Umweltschaden, Einbuße von Marktanteilen, Produktionsausfall, Imageverlust usw. separat und firmenspezifisch definiert. Bei Ereignissen ohne Personenschaden kann die Einstufung direkt in finanziellen Verlusten ausgedrückt werden.

Auch für die Eintrittswahrscheinlichkeit wird eine relative Skala verwendet, wobei ebenfalls anwenderspezifisch definierte Zeiträume zugeordnet werden können:

- A Häufig
- B Oft
- C Gelegentlich
- D Selten
- E Unwahrscheinlich
- F Sehr unwahrscheinlich

5 GEFAHRENBEWERTUNG

Abbildung 13:
Risikoprofil mit
Schutzziel-Treppe

		AUSWIRKUNGEN			
		IV	III	II	I
EINTRITTSWAHRSCHEIN- LICHKEIT	A				
	B				
	C				
	D				
	E				
	F				

Alle identifizierten und nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung bewerteten Ereignisse werden in einen Gefahrenkatalog dokumentiert und fortlaufend nummeriert.

Schritt 5: Festlegung des Risikoprofils

Das Risikoprofil ist ein zweidimensionales Gitter mit den beiden Achsen „Eintrittswahrscheinlichkeit“ und „Auswirkungen“. Das Schutzziel wird als Treppenkurve dargestellt. Das Festlegen des Schutzziels, das sich im Abstand der Stufen und der Form der Treppenkurve widerspiegelt, ist eine heikle und oft auch zeitraubende Aufgabe, denn neben den Interessen des Betreibers müssen auch die Erwartungen der verantwortlichen Führungskräfte, der Mitarbeiter und Nachbarn (sowie des Schadenversicherers) mitberücksichtigt werden, die manchmal gegenläufig sind. Für den gleichen Betrieb, mit identischen Anlagen, aber an einem anderen Standort, wird unter Umständen ein ganz anderes Schutzziel festgelegt, wobei speziell im Falle von Störfallanlagen die Schutzziele in erheblichem Maße durch das technische Regelwerk vorgegeben werden.

Aus dem Gefahrenkatalog werden die Ereignisse gemäß ihrer Bewertung in das Risikoprofil mit der „Schutzziel-Treppe“ eingetragen. Das Risikoprofil bildet damit die

Basis für die Risikobewältigung. Per Definition sind die Risiken unter dem Schutzziel akzeptierbar. Die Risiken über dem Schutzziel sind dagegen nicht akzeptierbar. Sie müssen bezüglich Auswirkungen oder Eintrittswahrscheinlichkeit reduziert werden, so dass sie unterhalb des definierten Schutzziels liegen. Im Falle ausschließlicher Sachschäden können solche Auswirkungen andernfalls zu einer erhöhten Prämie oder einem erhöhten Selbstbehalt führen.

Wenn immer möglich, sollten Risiken eliminiert werden. Andernfalls sollte ihre Auswirkung reduziert werden. Wenn auch dies nicht möglich ist, sollte wenigstens ihre Eintrittswahrscheinlichkeit reduziert werden.

Schritt 6: Beschreibung der Maßnahmen zur Risikoreduzierung

Aus dem Risikoprofil geht auch hervor, welche Risiken zuerst bewältigt werden müssen. Die Risiken der Kategorie I (katastrophal) haben Priorität, und zwar mit abnehmender Eintrittswahrscheinlichkeit. Anschließend folgen die Risiken der Kategorien II – IV.

Im Maßnahmenkatalog wird konkret beschrieben, wie die über dem Schutzziel liegenden Risiken vermindert

werden sollen. Außerdem wird festgehalten, wer die Maßnahmen bis zu welchem Zeitpunkt auszuführen hat. Dies hilft dem verantwortlichen Projektleiter bei der Planung und erleichtert ihm die Kontrollen der Maßnahmen.

Da sich die Ansprüche an die Sicherheit ändern können, sind in regelmäßigen Abständen alle Gefährdungsanalysen zu überprüfen und den neuen Anforderungen anzupassen.

Schritt 7: Bestimmung des verbleibenden Risikos

Das verbleibende Risiko kann akzeptiert werden, wenn das Schutzziel erreicht wurde. Es beinhaltet Gefahren, die

- betrachtet und akzeptiert wurden oder
- identifiziert, aber unzureichend bewertet wurden oder
- nicht identifiziert wurden.

Weitere Anwendungen von Matrixdarstellungen

Risikodarstellungen mit Hilfe einer zweidimensionalen Matrix haben über die ZHA hinaus große Verbreitung gefunden, da sie in den letzten Jahren verstärkt auch in der Arbeitssicherheit eingesetzt werden (z. B. die Risikobewertung nach Nohl).



5 GEFAHRENBEWERTUNG

Nr.	K	S	Gefahr	Ursache	Auswirkung	Massnahmen	Wer?	bis	Status
1	IV	D	Ammoniak in Regelventil LIC 0101/0102-52	<ul style="list-style-type: none"> • notwendige Demontage • Entleerung nicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Ammoniak tritt aus (< 1 Liter) 				
2	III	E	Ammoniak in Verdampfer	<ul style="list-style-type: none"> • Unterhaltsarbeiten • Bruch einer Rohrleitung 	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 700 kg Ammoniak treten aus • 1 Schwerverletzter im Werk 				
3	IV	D	Ammoniak in Verdampfer	<ul style="list-style-type: none"> • Druckdifferenz Ammoniak/Sole (Ammoniak-Überdruck) • Korrosion und Bruch der Rohrleitung 	<ul style="list-style-type: none"> • flüssiger Ammoniak in Betriebssole • Ammoniak tritt in 0150, dann über Dach aus • Betriebssole mit Ammoniak kontaminiert 				
4	IV	D	Solekühlsystem für Blausäure	<ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung • Undichtheit • Korrosion • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • tiefes Niveau im LIA 0150-51 • Probleme bei der Ammoniak-Verdampfung • keine Kühlung für Blausäure • reduzierte Kühlung bei Absorption • Betriebsunterbruch bis max. 2 Tage 				
<p>K: Auswirkung (Kategorie) I Katastrophal III Klein</p> <p>S: Stufe (Eintrittswahrscheinlichkeit) A Häufig D Selten</p> <p>S: Stufe (Eintrittswahrscheinlichkeit) B Oft E Unwahrsch. C Gelegentlich F Unmöglich</p> <p>Status: 1 Pendent 2 In Bearbeitung 3 Abgeschlossen</p>									

Abbildung 14:
Gefahren
Analyse Bericht



5 GEFAHRENBEWERTUNG

5.2 FMEA (PROZESS-FMEA)

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Automobilindustrie, pharmazeutische und andere Industrien mit hohem Anspruch an Zuverlässigkeit, Qualität und Produktsicherheit

Ziel der Untersuchung

- Verbesserung der Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten und Prozessen, einschließlich der Sicherheit für Mensch und Umwelt

Anwendungszeitpunkt

- Während der Planung einer Anlage
- Umbau von bzw. Änderungen in bereits bestehenden Anlagen

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- Konstruktionszeichnungen und technische Angaben zur Anlage
- Prozessbeschreibung
- Prüfliste zur Fehlersuche
- Kriterienkatalog für die Bewertung von Ursachen und Auswirkungen (etc.)

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres Team, in der Methode erfahrener Moderator
- Strukturierte Dokumentation in tabellarischen Formblättern

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte
- Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen nach Risikopotenzial

Grundlagen des Verfahrens

Die Fehler-Möglichkeiten und Einfluss-Analyse (FMEA) ist eine induktive Analyseverfahren zur Fehlererkennung und -bewertung in Konstruktion und Fertigung und dient dem Ableiten entsprechender Korrekturmaßnahmen. Eine Beschreibung der Methode findet sich erstmals 1949 in einer United States Military Procedure. Eine zivile Nutzung ist ab 1959 bei der NASA, ab den 1980er Jahren in Deutschland in der Automobilindustrie im Rahmen der Qualitätssicherung bekannt.

Die FMEA gehört zur Gruppe der „halbquantitativen Methoden“, da auch bei dieser Methode zur Risikobewertung

mit Zahlen operiert wird. Diese haben jedoch nur einen relativen Stellenwert, da sie keine empirisch-wissenschaftliche Grundlage besitzen, sondern nur Schätzgrößen zur Einordnung in ein vorgegebenes Raster darstellen.

In der Praxis wird zwischen verschiedenen Arten der FMEA unterschieden:

- Die **Konstruktions-FMEA** kann schon ab der Entwurfsphase eingesetzt werden, um eine Entwicklungs- und Konstruktionsoptimierung mit kürzeren Entwicklungszeiten herbeizuführen und die Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten und Prozessen zu steigern.

- Die **Prozess-FMEA** untersucht besonders die Konstruktions-, Produktions- und Betriebsphase und ist als Risikoanalysenachweis für eine CE-Konformität gemäß der Maschinenrichtlinie gültig.

Generelles Vorgehen bei einer Prozess-FMEA

Vorbereitende Schritte bei einer Prozess-FMEA sind:

- Festlegen, welche Elemente der Betrachtungseinheit („Struktur“) für sicherheitsrelevante Auswirkungen

(„Fehlerfolgen“) in Frage kommen (► fehlerfolgenrelevante Strukturelemente, i. d. R. die Gesamtanlage, die Umwelt und die Umgebung)

- Festlegen, für welche Elemente der Struktur die Fehlerbetrachtung durchgeführt werden soll (► fehlerartenrelevante Strukturelemente, i. d. R. die Anlage selbst oder deren Teilbereiche)

- Für jedes fehlerartenrelevante Strukturelement festlegen, welche Elemente für Fehlerursachen in Frage kommen (► fehlerursachenrelevante Strukturelemente), i. d. R. eingeteilt in die Kategorien

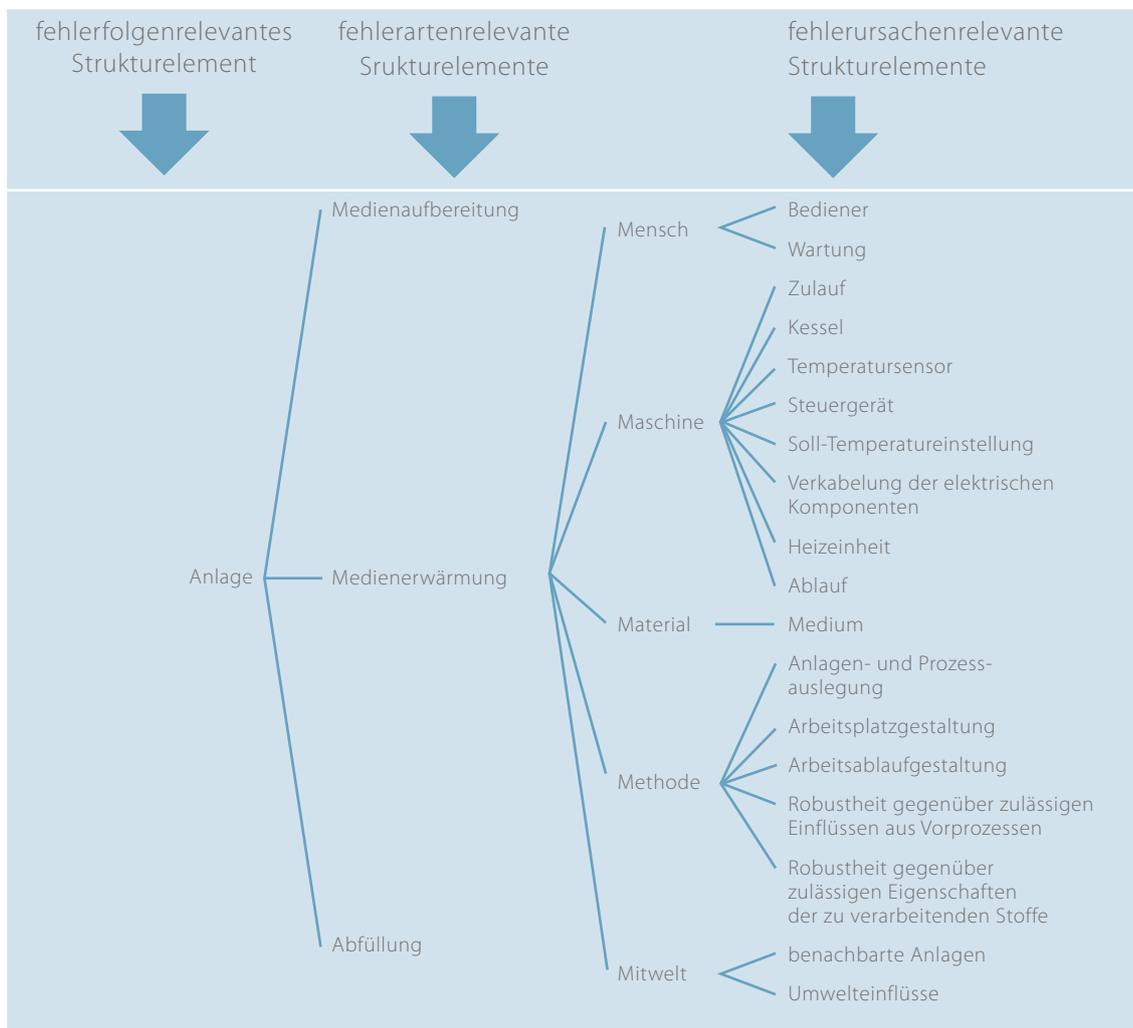


Abbildung 15:
Strukturanalyse

5 GEFAHRENBEWERTUNG

- Mensch (z. B. Bediener, Wartung),
- Maschine (Teile und Komponenten),
- Material (zu verarbeitende Stoffe),
- Methode (Auslegung und Einbindung der Anlage/des Prozesses in die Gesamtanlage/den Gesamtprozess) und
- Mitwelt (Einflüsse aus der Umgebung und Umwelt)

FMEA wird vor allem dann verwendet, wenn nicht ein Prozess als Ganzes, sondern die Auswirkungen einzelner Ausfallarten technischer Anlagenteile bzw. Handlungsfehler auf

- den Prozess
- eine Anlage
- Sicherheits-Teilaspekte (z. B. Explosionsschutz)
- einzelne Prozessschritte (z. B. bestimmungsgemäße Dosierung)

untersucht werden sollen.

Anders als in der Automobil- und Luftfahrtindustrie, wo die Methode nach exakt festgelegten und Kunden wie Zulieferern bekannten Standards durchgeführt wird, wird die Methode bei anderen Anwendern flexibel auf die jeweiligen Erfordernisse zugeschnitten und im allgemeinen als Schwachstellenanalyse für Qualität und Sicherheit gemeinsam verwendet. Eine FMEA kann prinzipiell für bestehende und für neue Anlagen durchgeführt werden.

Drei Dimensionen

Die FMEA wird in einem interdisziplinären Team durchgeführt und verwendet eine durchgehende, gleichbleibende Dokumentation. Diese beiden Randbedingungen, wie auch der qualitative Teil, nämlich die systematische Abfrage von potenziellen Fehlern, potenziellen Ursachen und Folgen rücken sie in die Nähe anderer formaler Analyse-Methoden. Die Besonderheit liegt in der Zuordnung von drei Zahlen und deren Produkt zu jeder Fehlerursache. Mit Zahlen bewertet (jeweils von 1 bis 10) werden

- das Auftreten **A** (d. h. die Auftrittswahrscheinlichkeit),
- die Bedeutung **B** (d. h. die Tragweite) und zusätzlich
- die Entdeckung **E** (d. h. die Wahrscheinlichkeit der Fehlererkennung vor Schadenseintritt).

Das Produkt aus diesen drei Zahlen nennt man „Risiko-Prioritätszahl“ (RPZ). Die RPZ liegt somit – theoretisch – im Bereich 1 bis 1000.

In der Praxis werden darüber hinaus durch das Team bestimmte „Grenzwerte“ festgelegt, d. h. RPZ-Werte, bei denen bestimmte Maßnahmen getroffen werden müssen, z. B.:

- Ab RPZ 125 muss eine technische Maßnahme erfolgen (häufig eine zusätzliche PLT-Einrichtung).
- Liegt mindestens ein Bewertungsparameter bei 8, muss ebenfalls eine technische Maßnahme erfolgen, auch wenn die RPZ < 125 liegt.
- Bei sehr hoher RPZ (z. B. > 600) muss eine grundlegende Änderung am Prozess ins Auge gefasst werden, da sie einen prinzipiellen Fehler im System andeutet.

Die Abarbeitung der beschlossenen notwendigen Maßnahmen erfolgt vorzugsweise nach absteigender RPZ, sofern nicht im Bereich Sicherheit/Umwelt priorisierende rechtliche Vorgaben bestehen.

Nach endgültiger Festlegung bzw. Realisierung der Verbesserungsmaßnahmen wird erneut vom gleichen Team bewertet. Die RPZ unter Einbeziehung der zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen muss deutlich niedriger als die RPZ ohne diese Maßnahmen liegen und damit die positiven Auswirkungen der Änderung signalisieren.

Die Bewertungsfaktoren Auftreten, Bedeutung und Entdeckung beruhen auf empirischen Größen. Zur Vereinfachung der Feinabstufung werden den Stufen 1 bis 10 relative Klassen zugeordnet. Kriterien, die den Zahlen zugrunde gelegt werden, werden sinnvollerweise vorab festgelegt. Die Stufen für die Auftrittswahrscheinlichkeit können in Abhängigkeit von den betrieblichen Gegebenheiten z. B. mit Zeiträumen, Stückzahlen oder Produktionsmengen belegt werden.

BEWERTUNGSTABELLE SICHERHEITS FMEA

Auftreten von Fehlern (A-Bewertung), die zum Ereignis führen können

Beschreibung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Immer, täglich										X
Gelegentlich, 1 mal im Jahr								X		
Selten, alle 100 Jahre					X					
Nie	X									

Entdeckung von Fehlern (E-Bewertung), die zum Ereignis führen können

Beschreibung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sofort bei Eintritt	X									
Alle 2–5 Stunden			X							
1 mal am Tag								X		
Nicht erkennbar										X

Auswirkung /Bedeutung von Fehlern (B-Bewertung)

Beschreibung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geringer Sachschaden	X									
Geringer Personenschaden, ohne Ausfallzeit		X								
Mittlerer Sachschaden, Behälter defekt				X						
Personenschaden bis 3 Tage Ausfall					X					
Sachschaden, Behälter nicht mehr verwendbar							X			
Personenschaden bis 6 Wochen								X		
Hoher Sachschaden, Zerstörung des Gebäudes										X
Hoher Personenschaden, viele Verletzte, Tote										X

Abbildung 16:
Beispiele für
die Vergabe von
Bewertungsfaktoren
in der Prozessindustrie

5 GEFAHRENBEWERTUNG

Risikobestimmung nach der Methode HRN bei Hydro Aluminium Nenzing

In Analogie zur FMEA wird bei Hydro Aluminium Nenzing, einem international operierenden aluminiumver-

arbeitenden Unternehmen, die Methode der „Hazard rating numbers“ (HRN) angewandt. Sie dient zur Bestimmung der Risikohöhe, deren Risiko nicht durch steuerungstechnische Maßnahmen gemindert werden kann. Folgende Parameter dienen zur Bestimmung der Risikohöhe:

Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Gefährdung		Häufigkeit der Gefährdungsexposition	
Kriterium	Gefahrenrate	Kriterium	Gefahrenrate
Nahezu unmöglich – möglich unter extremen Umständen	0,033	Jährlich	0,5
Sehr unwahrscheinlich – obwohl vorstellbar	1	Monatlich	1
Unwahrscheinlich – kann jedoch eintreten	1,5	Wöchentlich	1,5
Möglich – jedoch ungewöhnlich	2	Täglich	2,5
Vielleicht – kann passieren	5	Stündlich	4
Wahrscheinlich – nicht überraschend	8	Permanent	5
Sehr wahrscheinlich – ist zu erwarten	10		
Sicher – kein Zweifel	15		

Schwere der möglichen Verletzung (worst case)		Anzahl der Personen, die der Gefährdung ausgesetzt sind (NP)	
Kriterium	Gefahrenrate	Kriterium	Gefahrenrate
Schramme/Druckstelle	0,1	1–2 Personen	1
Wunde	0,5	3–7 Personen	2
Leichter Bruch oder leichte Krankheit	2	8–15 Personen	4
Schwerer Bruch oder schwere Krankheit	4	16–50 Personen	8
Verlust von 1 Gliedmaße oder Auge	6	50+ Personen	12
Verlust von 2 Gliedmaßen oder Augen	10		
Tod	15		

Abbildung 17:
Parameter zur
Bestimmung
der Risikohöhe

Die vorhandene Risikohöhe leitet sich aus der Multiplikation der einzelnen Gefahrenraten ab. Die Abschätzung muss für jede Gefahrensituation vorgenommen werden.

$$\begin{aligned} \text{Risikohöhe} &= [\text{Wahrscheinlichkeit}] \\ &\times [\text{Häufigkeit}] \\ &\times [\text{Schadensausmaß}] \\ &\times [\text{Anzahl der Personen}] \end{aligned}$$

Das Ergebnis der Multiplikation kann wie folgt interpretiert werden:

Risikohöhe	Beschreibung
0 – 5	vernachlässigbar
6 – 50	gering, jedoch vorhanden
51 – 500	hoch
> 500	unakzeptabel

Abbildung 18:
Risikobewertung
nach HRN



5 GEFAHRENBEWERTUNG

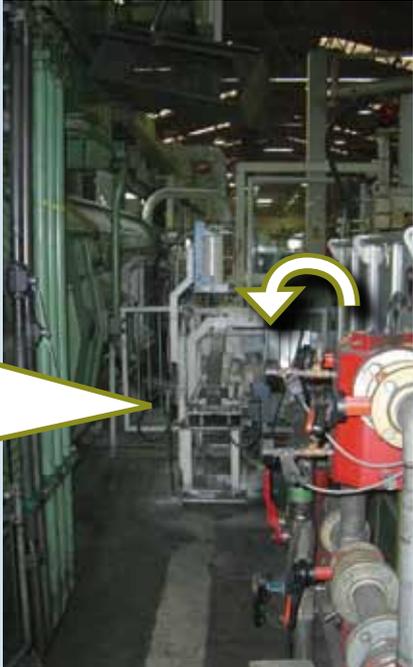
GEFAHRENBURTEILUNG				
Nr.	Gefahrenort	Gefährdungsbeschreibung		
4.1	Wartungsbereich Rückwärtiger Zugang	Übergreifen von Schutzeinrichtungen möglich		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>				
Gefährdung nach EN 14121 Tabelle A.1	1.1 Quetschen 3.1 Heiße Oberflächen 8.6 Menschliches Fehlverhalten 10 Unerwarteter Anlauf, unerwartetes Durchdrehen/Überdrehen 11 Fehlende Möglichkeit, die Maschine unter optimalen Bedingungen stillzusetzen 17 Herabfallende oder herausgeworfene Gegenstände oder Flüssigkeiten			
EN Normverweis	EN ISO 13732-1:2006/EN 13857:2008/EN14656:2006			
RISIKOABSCHÄTZUNG NACH HRN				
Wahrscheinlichkeit	Gefährdungs- exposition	Schadensausmaß	Anzahl der Personen	Risikohöhe
5	4	15	1	300

Abbildung 19a:
Beispiel Presse

BETRACHTUNG DER GEFAHRENSTELLE

Übersteigbarkeit der trennenden Schutzeinrichtung.
Zugriff in den Pressenbereich möglich.

LÖSUNGSVORSCHLAG



Trennende Schutzeinrichtung nach EN13857 ausführen.

NACHBETRACHTUNG DER GEFAHRENSTELLE

Wahrscheinlichkeit	Gefährdungsexposition	Schadensausmaß	Anzahl der Personen	Risikohöhe
0,033	4	15	1	2

Abbildung 19b:
Beispiel Presse



5 GEFAHRENBEWERTUNG

5.3 RISIKOGRAPHEN

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Prozesstechnische Anlagen in den Bereichen der chemischen, pharmazeutischen und petrochemischen Industrie sowie Anlagen der Energiebranche

Ziel der Untersuchung

- Systematische semiquantitative Risikobeurteilung von Anlagen und Verfahren
- Festlegung der sicherheitstechnischen Anforderungen (SIL) an prozessleittechnische Einrichtungen auf Basis des Risikographen gemäß VDI/VDE-Richtlinie 2180, Blatt 1, oder anderer Regelwerke
- Identifikation sicherheitsrelevanter Anlagenteile (SRA) gemäß Störfall-Verordnung

Anwendungszeitpunkt

- In der Planungsphase von Anlagen bzw. Verfahren
- Während des Betriebs bestehender Anlagen
- Im Rahmen von Umbauten bzw. Änderungen bestehender Anlagen

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- R&I-, Verfahrensflißbilder, Aufstellungspläne
- Apparatedaten
- Verfahrensbeschreibungen
- Betriebsanweisungen
- Genehmigungsunterlagen
- Stoff- und Reaktions-Kenndaten

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres Team
- Erfahrener Moderator
- Dokumentation unter Nutzung geeigneter Vorlagen bzw. Hilfsmittel

Nachbereitung

- Abarbeitung offener Punkte
- Umsetzung beschlossener (ggf. priorisierter) Maßnahmen

Einstieg in das Verfahren

Bereits seit vielen Jahren werden von Infracore Höchst in den Betrieben des Industrieparks Höchst (Frankfurt am Main) sowie darüber hinaus Gefahrenanalysen und Risikobeurteilungen zur Anlagensicherheit in Form von Sicherheitsgesprächen durchgeführt. Um insbesondere

bei unter die erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung fallenden Anlagen den Anforderungen der Verordnung hinsichtlich einer systematischen Ermittlung der Gefahren von Störfällen gerecht werden zu können, wurde das Instrument „Störungsbetrachtung“ entwickelt.



Folgende Schlüsselbegriffe werden bei diesen Sicherheitsgesprächen betrachtet:

- Spezifikation
- Präsenz der Ausgangsstoffe
- Dosierung
- Prozessparameter
- Vermischung
- explosionsfähige Atmosphäre
- Hilfsenergien
- Heiz-/Kühlmedien
- PLT-Einrichtungen
- Stoffströme
- Füllstand
- Rührung
- Integrität der Bauteile.

Die eigentlichen Störungen (Szenarien) werden durch Kombination der Schlüsselbegriffe mit den aus dem PAAG-Verfahren bekannten Leitworten (nein, weniger, mehr, sowohl als auch, teilweise, Umkehrung, anders als) identifiziert.

Da der qualitative Ansatz des PAAG-Verfahrens keine Risikoermittlung und -beurteilung beinhaltet, erfolgt im Rahmen der Infraserstörungsbeurteilung zu jedem Szenario eine an die Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse (vgl. die Ausführungen im Kapitel ‚FMEA‘ dieser Broschüre) angelehnte semiquantitative Risikoermittlung. Dabei werden drei Risikoparameter bewertet:

- Auswirkung
- Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. -häufigkeit
- Entdeckbarkeit bzw. Möglichkeit zur Gefahrenabwendung.

Das Produkt dieser individuell tarierbaren Zahlenwerte stellt ein Maß für das mit dem betrachteten Szenario verbundene Risiko dar. Somit können Gegenmaßnahmen anhand der durch sie erreichten bzw. erreichbaren Risikoverringerung bewertet (vorher → nachher) oder miteinander verglichen (entweder → oder) werden. Die eigentliche Risikobeurteilung erfolgt auf Basis einer Risikomatrix.

Abbildung 20 zeigt beispielhaft für den Schlüsselbegriff „Präsenz der Ausgangsstoffe“ den Ausschnitt einer Dokumentation.

5 GEFAHRENBEWERTUNG

Firma: InfraserV GmbH & Co. Höchst KG					Projekt/Anlage
Nr.	Apparat(e)	Leitwort	Störung	Ursache(n)	Auswirkung(en) (ohne Gegenmaßnahmen)
2.1	B103	nein	Kein VE-Wasser vorgelegt	Fehlbedienung, PLT-Defekt (örtliche Füllstandsanzeige LI103.1), Energieausfall (Wasserversorgung)	Sicherheitstechnisch nicht relevant
2.2	B103	weniger	Zu wenig VE-Wasser vorgelegt	s. Nr. 2.1	
2.3	B103	mehr	Zu viel VE-Wasser vorgelegt	Fehlbedienung, PLT-Defekt (örtliche Füllstandsanzeige LI103.1)	Überfüllung des B 103, Eintritt von Wasser in ebenfalls ans Abluftsystem angebundene Apparate
2.4	B103	nein	Kein Kaliumhydroxid zugegeben	Fehlbedienung	Sicherheitstechnisch nicht relevant
2.5	B103	weniger	Zu wenig Kaliumhydroxid zugegeben	s. Nr. 2.4	
2.6	B103	mehr	Zu viel Kalium- hydroxid zugegeben	Fehlbedienung	Sicherheitstechnisch nicht relevant
2.7	B103	anders als	Anderer Stoff als Kaliumhydroxid zugegeben	Fehlbedienung	Sicherheitstechnisch nicht relevant
2.8	B103	nein	Kein Isopropanol zugegeben	Fehlbedienung, PLT-Defekt (örtliche Füllstandsanzeige LI103.1), Energieausfall (Isopropanolversorgung)	Sicherheitstechnisch nicht relevant
2.9	B103	weniger	Zu wenig Isopropanol zugegeben	s. Nr.2.8	
2.10	B103	mehr	Zu viel Isopropanol zugegeben	Fehlbedienung, PLT-Defekt (örtliche Füllstandsanzeige LI103.1)	Überfüllung des B103, Eintritt von Isopropanol in ebenfalls ans Abluftsystem angebundene Apparate, dadurch dort ggf. unvermutete Ex-Gefahre sowie Exposition von Mitarbeitern bei offenem Rohstoffeintrag

Abbildung 20:
beispielhafte
Ausschnitte aus einer
Störungsbetrachtung

Betrieb AuG/C 769					Betrachtungseinheit (Verfahrensschrift, Apparat):				Ansetzen von Isopropanolischer Kalilauge im Behälter B 103			
Situation derzeit					Situation mit zusätzlichen Maßnahmen				Handlungs- bedarf: Wer? Bis wann? Was?	Status	Revisions- nummer	
Wie wird die Störung bemerkt? Vorhandene Gegenmaßnahme(n)	Auswirkung (S)	Eintrittswahrscheinlichkeit	Entdeckbarkeit und Gefahr	Risikobewertung (S)	Zusätzliche Maßnahme(n)	Auswirkung (S)	Eintrittswahrscheinlichkeit	Entdeckbarkeit und Gefahr				Risikobewertung (S)
	0	3	1	0						Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
										Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
Bislang keine Gegenmaßnahme; s. 2.10										Siehe Nr. 2.10	Siehe Nr. 2.10	A
...	0	3	1	0						Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
										Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
Eintrag von KOH erfolgt händisch über das Mannloch	0	3	1	0						Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
Vorstellbar ist lediglich eine Verwechslung von Kalium- und Natrium- hydroxid, allerdings ohne sicherheitstechnische Konsequenzen (aus- schließlich qualitätsrelevant)	0	3	1	0						Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
...	0	3	1	0						Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
										Kein weiterer Handlungsbedarf	...	A
Bislang keine Gegenmaßnahme neben der örtlichen Füllstandsanzeige LI103.1	7	7	2	98	Behälter B103 mit Überfüllsicherung mit Absperren aller Zuläufe ausrüsten (vgl. anliegende Klassifizierung gemäß Sicherheitsrichtlinie 4 des Industrieparks Höchst)	7	2	1	14	Behälter B103 mit Überfüll- sicherung mit absperren aller Zuläufe ausrüsten (Betriebsingenieur Schulz/vor Inbetriebnahme)	Offen (Prio1)	A



5 GEFAHRENBEWERTUNG

Situation derzeit				Situation mit zusätzlichen Maßnahmen				Handlungsbedarf: Wer? Bis wann? Was?	Status	
Auswirkung (S)	Eintrittswahrscheinlichkeit	Entdeckbarkeit und Gefahr	Risikobewertung (R)	Zusätzliche Maßnahme(n)	Auswirkung (R)	Eintrittswahrscheinlichkeit	Entdeckbarkeit und Gefahr			Risikobewertung (S)
7	7	2	98	Behälter B103 mit Überfüllsicherung mit Absperren aller Zuläufe ausrüsten (vgl. anliegende Klassifizierung gemäß Sicherheitsrichtlinie 4 des Industrieparks Höchst)	7	2	1	14	Behälter B103 mit Überfüllsicherung mit Absperren aller Zuläufe ausrüsten (Betriebsingenieur Schulz/ vor Inbetriebnahme)	Offen (Prio1)

Maßnahme(n)
erforderlich

Maßnahme(n)
ausreichend

Abbildung 21:
Ausschnitt aus
einer beispielhaften
Störungsbetrachtung,
Abschnitt „Präsenz der
Ausgangsstoffe“

Störungsbetrachtung und Risikograph gemäß VDI/VDE-Richtlinie 2180

Mit dem Betrieb prozesstechnischer Anlagen ist ein bestimmtes Risiko verbunden. Um dieses Risiko weitestmöglich reduzieren zu können, ist bereits in frühem Stadium eines Planungs- oder Entwicklungsprojektes die nachstehende Rangfolge anzustreben:

1. Inhärente Sicherheit.
2. Sicherheit durch Einsatz unmittelbar wirksamer, verfahrenstechnischer Schutzeinrichtungen (z. B. mechanische Sicherheitseinrichtungen wie Sicherheitsventile oder Berstscheiben zur Verhinderung von unzulässigem Überdruck).
3. Sicherheit durch Einsatz hinreichend hochwertiger prozessleittechnischer Einrichtungen (PLT-Schutzeinrichtungen).

In der Praxis lässt sich diese Rangfolge jedoch nicht immer in der genannten Reihenfolge, d. h. bevorzugt zugunsten der oben stehenden Ziele, realisieren. Vielfach muss (auch) die Prozessleittechnik sicherheitsrelevante Aufgaben übernehmen.

Es ist somit unumgänglich, dem jeweils abzusichernden Risiko adäquate prozessleittechnische Maßnahmen zur Risikoreduzierung festzuschreiben, um (mindestens) das Grenzkrisiko erreichen zu können. Dabei ist stets der gesamte leittechnische Kreis zu berücksichtigen, d. h. vom Sensor bis zum Aktor.

Dieser Schritt, die sog. Klassifizierung, ist integraler Bestandteil der Störungsbetrachtung von Infraserb Höchst. Er erfolgt – sofern zutreffend – jeweils im Zuge der Risikobeurteilung eines konkreten Szenarios.

Zur Ermittlung der jeweils erforderlichen sicherheitstechnischen Anforderung hat sich in der Prozessindustrie die VDI/VDE-Richtlinie 2180 „Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT)“ etabliert, welche ihrerseits auf der harmonisierten Norm DIN EN 61511 (VDE 0810) basiert.

5 GEFAHRENBEWERTUNG

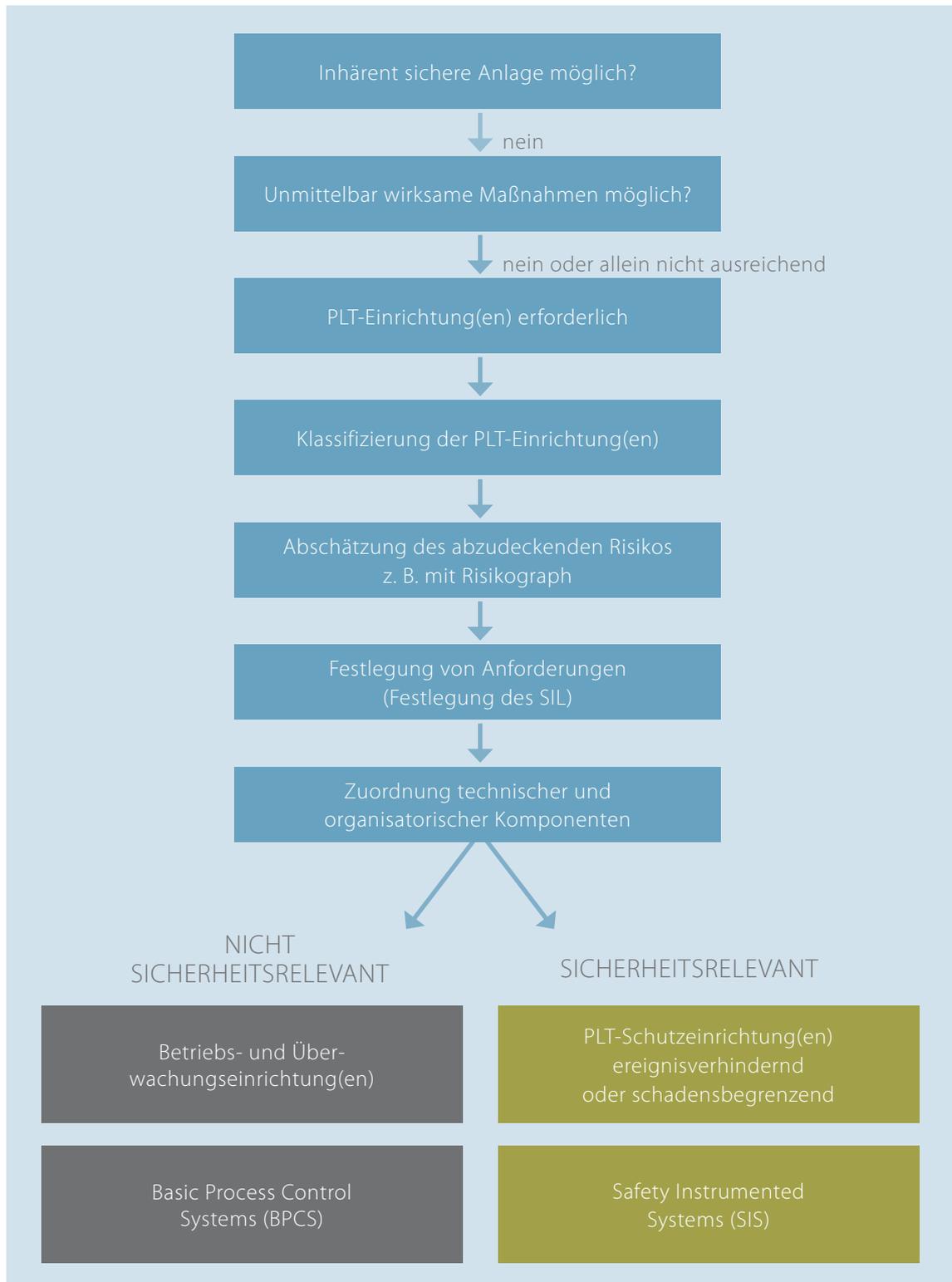
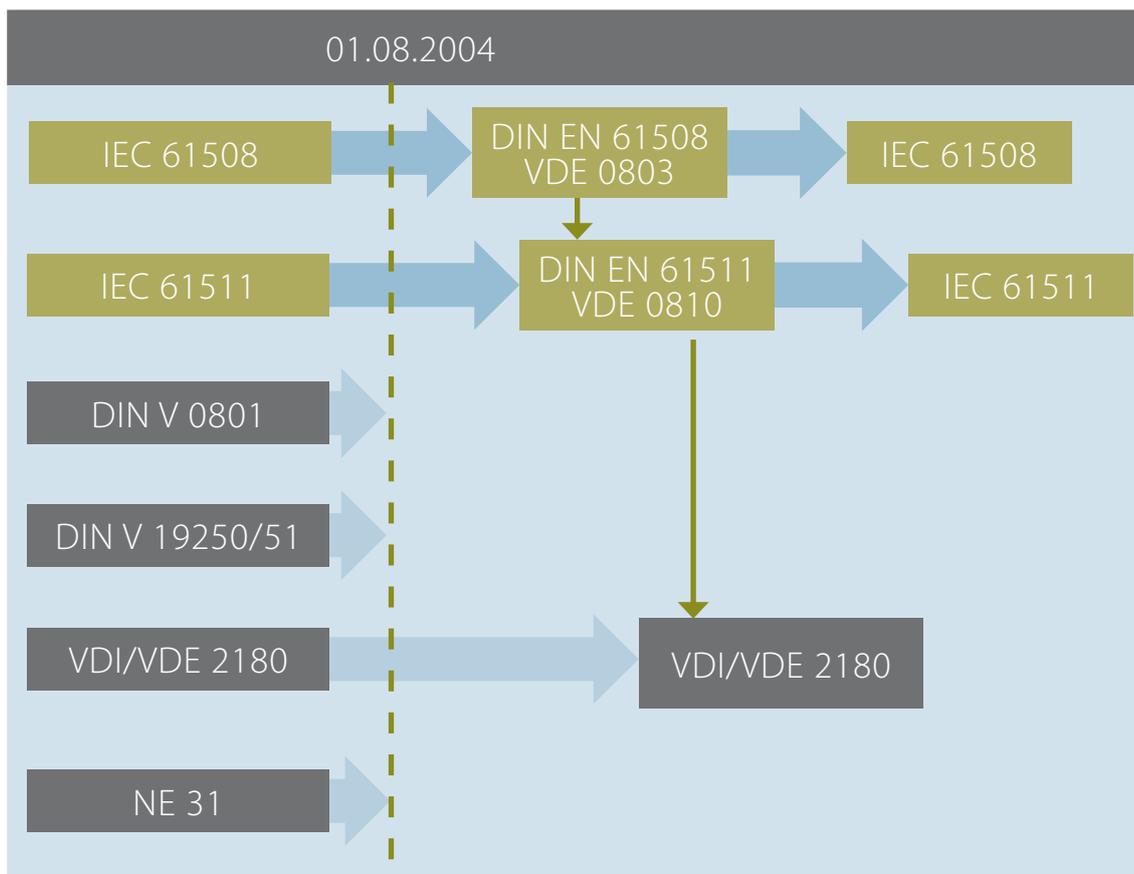


Abbildung 22:
Sicherheitsrelevante
und nicht sicher-
heitsrelevante PLT-
Einrichtungen



Die VDI/VDE-Richtlinie 2180 umfasst fünf Blätter:

- Blatt 1: Begriffe, Klassifizierung, Risikograph, SIL
- Blatt 2: Managementsystem
- Blatt 3: Anlagenplanung, -errichtung, -betrieb
- Blatt 4: Berechnungsmethoden
- Blatt 5: Empfehlungen zur Umsetzung in der Praxis

Blatt 1 der Richtlinie beschreibt die Vorgehensweise zur Festlegung der sicherheitstechnischen Anforderungen an PLT-Schutzeinrichtungen (Klassifizierung) mit Hilfe des Risikographen. Der Risikograph bewertet vier Risikoparameter:

5 GEFAHRENBEWERTUNG

$$R = H * S$$

$$R = A * G * W * S$$

R = Risiko

H = Häufigkeit des Schadenseintrittes, definiert durch:

A = Aufenthalt im Gefahrenbereich

G = Möglichkeit der Gefahrenabwehr

W = Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses
OHNE Vorhandensein der PLT-Schutzeinrichtung

S = Schadensausmaß

Abbildung 24:
Risikodefinition
gemäß Risikograph

Die Parameter A, G und W beschreiben gemeinsam die Eintrittshäufigkeit H. Die Risikoparameter sind gemäß VDI/VDE-Richtlinie folgendermaßen definiert:

Schadensausmaß (S)

S1: leichte Verletzung einer Person oder kleinere schädliche Umwelteinflüsse, die z. B. nicht unter Störfall V fallen

S2: schwere, irreversible Verletzung einer oder mehrerer Personen, Tod einer Person oder vorübergehende größere schädliche Umwelteinflüsse, z. B. nach Störfall V

S3: Tod mehrerer Personen oder lang andauernde größere schädliche Umwelteinflüsse, z. B. nach Störfall V

S4: katastrophale Auswirkung, sehr viele Tote

Aufenthalt im Gefahrenbereich (A)

A1: selten bis häufig

A2: häufig bis dauernd

Gefahrenabwehr (G)

G1: möglich unter bestimmten Bedingungen

G2: kaum möglich

Eintrittswahrscheinlichkeit (W)

W1: sehr gering

W2: gering

W3: relativ hoch

Abbildung 25:
Risikoparameter
des Risikograph



Abbildung 26:
Risikograph gemäß
VDI/VDE 2180-1



5 GEFAHRENBEWERTUNG

Die VDI/VDE 2180 lehnt sich an die DIN EN 61511 an; somit wird die sicherheitstechnische Anforderung an PLT-Einrichtungen mit Hilfe des sogenannten Safety Integrity Level (SIL) beschrieben. Durch den Safety Integrity Level untergliedern sich prozessleitetechnische Einrichtungen in

- sicherheitsrelevante Einrichtungen (PLT-Schutzeinrichtungen, Safety Instrumented Systems, SIS) und
- nicht sicherheitsrelevante Einrichtungen (Betriebs- und Überwachungseinrichtungen, Basic Process Control Systems, BPCS).

Diese Unterscheidung ist von besonderer Bedeutung, da die Störfall-Verordnung PLT-Schutzeinrichtungen zu den sicherheitsrelevanten Anlagenteilen (SRA) zählt. Die VDI/VDE-Richtlinie 2180 verwendet zur Klassifizierung von PLT-Einrichtungen einen Risikographen. Der Risikograph führt die Risikoparameter S, A, G und W zu einem konkreten SIL (1...4) zusammen. SIL 4 sollte wegen des damit verbundenen überproportionalen erforderlichen Aufwands möglichst vermieden werden.

Die Klassifizierung von PLT-Einrichtungen sollte in geeigneter Weise dokumentiert werden. Diese Dokumente stellen somit als ‚Geburtsanzeigen‘ der einzelnen PLT-Schutzeinrichtungen die Grundlage der betrieblichen Dokumentation dar. Nachstehende Abbildung zeigt beispielhaft ein Klassifizierungsblatt gemäß der Infraser-Sicherheitsrichtlinie 4 „Anlagensicherung mit Mitteln der Prozessleittechnik“.

Beiblatt 1 zur SR 4 / Seite 1

Klassifizierung		Datum 10.11.2010	Blatt 1 von 1																																																									
Protokoll zur Klassifizierung von PLT-Einrichtungen als Ergebnis der Sicherheitsbetrachtung (Zustufendes bitte ankreuzen)																																																												
Gebäude C 769	Betrieb AuG	(Teil-)Anlage Beispiel	RI - Fließbild-Nr. / Datum 12345-67-89-A / 01.11.2010																																																									
PLT-Stellennummer LIZA+103.2		Bezeichnung im Klartext Überfüllsicherung am B103																																																										
Klassifizierung gemäß Ablaufplan (Bild 3) der Sicherheitsrichtlinie 4 (SR 4)																																																												
PLT-Einrichtung zur Verhinderung von Sachschäden im unternehmerischen Eigeninteresse		B	<input type="checkbox"/>																																																									
PLT-Überwachungseinrichtung		C	<input type="checkbox"/>																																																									
PLT-Schutzeinrichtung		schadensbegrenzend	X <input type="checkbox"/>																																																									
PLT-Schutzeinrichtung		ereignisverhindernd	A <input checked="" type="checkbox"/>																																																									
Abzudeckendes Risiko:																																																												
Überfüllung des B103, Eintritt von 2-Propanol in ebenfalls ans Abluftsystem angebundene Apparate, dadurch dort ggf. unvermutete Ex-Gefahr sowie Exposition von Mitarbeitern bei offenem Rohstoffeintrag																																																												
Schadensausmaß																																																												
S1 leichte Verletzung einer Person oder kleinere schädliche Umweltauswirkungen, die z. B. nicht unter die Störfall fallen	<input type="checkbox"/>	<p style="text-align: center;">SIL: 2</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>W3</th> <th>W2</th> <th>W1</th> <th>Auslegung nach SR 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AK 1</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>keine PLT-Schutzeinrichtung z. B. technische Arbeitsschutzmaßnahmen</td> </tr> <tr> <td>SIL 1</td> <td>SIL 1</td> <td>-</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Risikobereich I (geringes Risiko)</td> </tr> <tr> <td>AK 2</td> <td>AK 1</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SIL 2</td> <td>SIL 1</td> <td>SIL 1</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Risikobereich II (höheres Risiko)</td> </tr> <tr> <td>AK 2</td> <td>AK 2</td> <td>AK 1</td> </tr> <tr> <td>SIL 2</td> <td>SIL 2</td> <td>SIL 1</td> </tr> <tr> <td>AK 4</td> <td>AK 3</td> <td>AK 2</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Risikobereich III (hohes Risiko)</td> </tr> <tr> <td>SIL 3</td> <td>SIL 2</td> <td>SIL 2</td> </tr> <tr> <td>AK 5</td> <td>AK 4</td> <td>AK 3</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Risikobereich IV (sehr hohes Risiko)</td> </tr> <tr> <td>SIL 3</td> <td>SIL 3</td> <td>SIL 2</td> </tr> <tr> <td>AK 6</td> <td>AK 5</td> <td>AK 4</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Risikobereich V (extremes Risiko)</td> </tr> <tr> <td>SIL 4</td> <td>SIL 3</td> <td>SIL 3</td> </tr> <tr> <td>AK 7</td> <td>AK 6</td> <td>AK 5</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">Risikobereich VI (unvertretbares Risiko)</td> </tr> <tr> <td>AK 8</td> <td>SIL 4</td> <td>SIL 3</td> </tr> <tr> <td>AK 9</td> <td>AK 7</td> <td>AK 6</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	W3	W2	W1	Auslegung nach SR 4	AK 1	-	-	keine PLT-Schutzeinrichtung z. B. technische Arbeitsschutzmaßnahmen	SIL 1	SIL 1	-	Risikobereich I (geringes Risiko)	AK 2	AK 1	-	SIL 2	SIL 1	SIL 1	Risikobereich II (höheres Risiko)	AK 2	AK 2	AK 1	SIL 2	SIL 2	SIL 1	AK 4	AK 3	AK 2	Risikobereich III (hohes Risiko)	SIL 3	SIL 2	SIL 2	AK 5	AK 4	AK 3	Risikobereich IV (sehr hohes Risiko)	SIL 3	SIL 3	SIL 2	AK 6	AK 5	AK 4	Risikobereich V (extremes Risiko)	SIL 4	SIL 3	SIL 3	AK 7	AK 6	AK 5	Risikobereich VI (unvertretbares Risiko)	AK 8	SIL 4	SIL 3	AK 9	AK 7	AK 6	
W3	W2			W1	Auslegung nach SR 4																																																							
AK 1	-			-	keine PLT-Schutzeinrichtung z. B. technische Arbeitsschutzmaßnahmen																																																							
SIL 1	SIL 1			-	Risikobereich I (geringes Risiko)																																																							
AK 2	AK 1			-																																																								
SIL 2	SIL 1			SIL 1	Risikobereich II (höheres Risiko)																																																							
AK 2	AK 2			AK 1																																																								
SIL 2	SIL 2			SIL 1																																																								
AK 4	AK 3			AK 2	Risikobereich III (hohes Risiko)																																																							
SIL 3	SIL 2			SIL 2																																																								
AK 5	AK 4	AK 3	Risikobereich IV (sehr hohes Risiko)																																																									
SIL 3	SIL 3	SIL 2																																																										
AK 6	AK 5	AK 4	Risikobereich V (extremes Risiko)																																																									
SIL 4	SIL 3	SIL 3																																																										
AK 7	AK 6	AK 5	Risikobereich VI (unvertretbares Risiko)																																																									
AK 8	SIL 4	SIL 3																																																										
AK 9	AK 7	AK 6																																																										
S2 schwere, irreversible Verletzung einer oder mehrerer Personen oder Tod einer Person oder vorübergehende größere schädliche Umweltauswirkungen, z. B. nach Störfall	<input checked="" type="checkbox"/>																																																											
S3 Tod mehrerer Personen oder lang andauernde größere schädliche Umweltauswirkungen, z. B. nach Störfall	<input type="checkbox"/>																																																											
S4 katastrophale Auswirkung, sehr viele Tote	<input type="checkbox"/>																																																											
Aufenthalt im Gefahrenbereich																																																												
A1 selten bis öfter	<input type="checkbox"/>																																																											
A2 häufig bis dauernd	<input checked="" type="checkbox"/>																																																											
Gefahrenabwendung																																																												
G1 möglich unter bestimmten Bedingungen	<input type="checkbox"/>																																																											
G2 kaum möglich	<input checked="" type="checkbox"/>																																																											
Eintrittswahrscheinlichkeit																																																												
W1 sehr gering	<input type="checkbox"/>																																																											
W2 gering	<input checked="" type="checkbox"/>																																																											
W3 relativ hoch	<input type="checkbox"/>																																																											
Kurzbegründung für die Wahl der Risikoparameter																																																												
Schadensausmaß: S2																																																												
Massive Schädigung von Personen durch Explosion sowie durch Exposition gegenüber 2-Propanol																																																												
Aufenthalt im Gefahrenbereich: A2																																																												
Ständige Anwesenheit von Personen im Gefahrenbereich																																																												
Gefahrenabwendung: G2																																																												
Gefahrenabwendung aufgrund des zeitlichen Ablaufs des Szenarios nicht möglich																																																												
Eintrittswahrscheinlichkeit: W2																																																												
Gering angesichts zusätzlicher vorhandener technischer und organisatorischer Maßnahmen																																																												

Dieses Beiblatt ist mindestens für die Lebensdauer der PLT-Einrichtung aufzubewahren.

Abbildung 27a:
Klassifizierungsblatt



5 GEFAHRENBEWERTUNG

Beiblatt 1 zur SR 4 / Seite 2

Gebäude C 769		Betrieb AuG		PLT-Stellennummer LZA+103.2		Blatt 1 von 1	
Die PLT-Einrichtung unterliegt folgenden Gesetzen / Rechtsverordnungen / Technischen Regeln usw.							
BetrsichtV (Dampfkessel)		K <input type="checkbox"/>		NOT-AUS *		N <input type="checkbox"/>	
BetrsichtV (Druckbehälter)		D <input type="checkbox"/>		Konzessionsbescheid		Z <input type="checkbox"/>	
BetrsichtV (entzündliche Flüssigkeiten)		B <input checked="" type="checkbox"/>		Einleitbescheid		E <input type="checkbox"/>	
StörfallV		S <input checked="" type="checkbox"/>		BGV, BGR, BGI *		U <input type="checkbox"/>	
Wasserhaushaltsgesetz (VAWS)		W <input type="checkbox"/>		Sonstige		Y <input type="checkbox"/>	
Feuerungsanlagen, z. B. VDE 0116		G <input type="checkbox"/>					
Kennbuchstaben (gemäß Kapitel 7.3 der SR 4)		AIBS		*) nur für PLT-Einrichtungen, die Anlagen der Verfahrenstechnik absichern			
Grenzwerte: Funktionen / Einstellungen nur, wenn schon endgültig festlegbar							
	Voralarm	Hauptalarm	Schaltung 1		Schaltung 2		
			Grenzwert	schaltet	Grenzwert	schaltet	
min.							
max.	80%	82%	85%	UV(Z)770 ZU			
				UV(Z)771 ZU			
				UV(Z)772 ZU			
Technische Ausführung der PLT-Stelle (Art der Geräte, Einbauort, produktberührte Materialien etc.)							
Bauartzugelassene Überfallsicherung.							
Zyklus der Funktionsprüfung (mindestens jährlich bei PLT-Schutzeinrichtungen)							
<input checked="" type="checkbox"/> jährlich		<input type="checkbox"/> vierteljährlich		<input type="checkbox"/> wöchentlich			
<input type="checkbox"/> halbjährlich		<input type="checkbox"/> monatlich		<input type="checkbox"/>			
Bemerkungen							
Teilnehmer der Sicherheitsbetrachtung: Name (Klartext) / Unterschrift / Datum							
Technische Überwachung		Datum		Sicherheitsingenieur		Datum	
Planungsingenieur / Anlagenplanung		Datum		Betriebsingenieur		Datum	
Planungsingenieur / PLT-Planung		Datum		PLT-Fachbetriebsingenieur		Datum	
				Betreiber		Datum	

Dieses Beiblatt ist mindestens für die Lebensdauer der PLT-Einrichtung aufzubewahren.

Abbildung 27b: Klassifizierungsblatt

Weitere Ansätze und Hilfsmittel zur Klassifizierung prozessleit-technischer Einrichtungen

Neben der VDI/VDE-Richtlinie 2180 existieren weitere Normen, welche Handlungsanweisungen zur Klassifizierung von PLT-Einrichtungen in spezifischen Anwendungsbereichen enthalten. Beispielhaft seien an dieser Stelle die DIN EN 50156-1 (Feuerungsanlagen) sowie die DIN EN 62061 (Maschinen) genannt.

DIN EN 50156-1 „Elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen“

Die DIN EN 50156-1 verwendet ebenfalls einen Risikographen. Im Unterschied zur VDI/VDE 2180 lauten die Risikoparameter:

- C Folgen des gefährlichen Ereignisses,
- F Häufigkeit und Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich,
- P Möglichkeit der Abwendung des gefährlichen Ereignisses,
- W Eintrittswahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses.

Ergebnis der Klassifizierungen sind sogenannte „Sicherheits-Niveau-Stufen“:

- keine Sicherheitsanforderungen (-);
- keine besonderen Sicherheitsanforderungen (a);
- sicherheitsbezogene Anforderungsstufen (1...4);
- einfaches Schutzsystem ist nicht ausreichend (b).

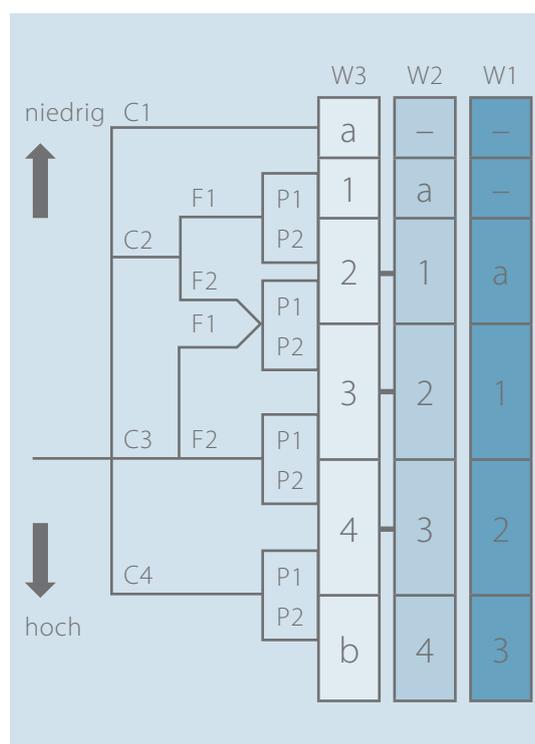


Abbildung 28:
Risikograph gemäß
DIN EN 50156-1

5 GEFAHRENBEWERTUNG

DIN EN 62061 „Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheits- bezogener elektrischer, elektroni- scher und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme“

Die DIN EN 62061 verwendet zur Risikoabschätzung eine Matrix mit den Risikoparametern:

- S Schwere,
- F Häufigkeit und Dauer der Exposition,
- W Wahrscheinlichkeit,
- P Möglichkeit der Vermeidung oder Begrenzung des Schadens.

Die Matrix liefert für die jeweilige Kombination von Schwere S und Klasse K (Summe der Parameter F, W und P) den anzuwendenden SIL (1...3) bzw. die Empfehlung, andere Maßnahmen zu ergreifen.

Um eine möglichst vergleichbare Anwendung der Risikoparameter auch in unterschiedlich zusammengesetzten Sicherheitsgesprächs-Teams zu gewährleisten, haben viele Unternehmen individuelle Konkretisierungen vorgenommen, etwa durch den Bezug von Häufigkeiten auf vorgegebene zeitliche Intervalle (z. B. Jahr, Generation, menschliches Leben). Auf diese Weise lassen sich SIL-Klassifizierungen in gewissen Grenzen variieren, um die individuelle Sicherheitsphilosophie des jeweiligen Unternehmens abzubilden.

Schwere (S)	Klasse (K)				
	3 bis 4	5 bis 7	8 bis 10	11 bis 13	14 bis 15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3		(AM)	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2			(AM)	SIL 1	SIL 2
1				(AM)	SIL 1

Abbildung 29:
Risikomatrix gemäß
DIN EN 62061

5.4 LAYERS OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA)

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Verfahrenstechnische Anlagen der chemischen und petrochemischen Industrie

Ziel der Untersuchung

- Ermittlung der notwendigen Schutzebenen für die sicherheitstechnische Ausstattung der Anlage

Anwendungszeitpunkt

- Während der Planung einer Anlage
- Sicherheitstechnische Überprüfung des Schutzkonzeptes bestehender Anlagen
- Umbau von bzw. Änderungen in bereits untersuchten Anlagen

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- Verfahrensfließbild mit Grundinformationen
- Rohrleitungs- und Instrumentierungsdarstellungen
- Ursache-Schadensszenarien

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres Team, in der Methode erfahrener Moderator
- Bewertungsmaßstab für die Auswirkungen von Ereignissen sowie für die Verfügbarkeit von Schutzmaßnahmen

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte zum Erreichen der benötigten Sicherheit
- Spezifische Dokumentation der Schutzebenen

Grundlagen des Verfahrens

Layers of Protection Analysis (LOPA) ist eine von und für DOW Chemical entwickelte und im Unternehmen global angewandte Methode zur Bestimmung von Anforderungen für PLT-Schutzeinrichtungen („Safety Instrumented Systems“).

Grundgedanke dieser Methode ist, dass jede verfahrenstechnische Anlage über verschiedene Ebenen der Sicherheit verfügt: beginnend beim Design, über PLT-Überwachungs- und Schutzeinrichtungen, konventionelle Drucksicherungsmaßnahmen, Betriebsanweisungen bis hin zu Gefahrenabwehrmaßnahmen. Jede dieser Ebenen verfügt über eine Schutzwirkung im Sinne der

Störfallverhinderung und wirkt damit – jede für sich – risikoreduzierend (siehe Abbildung 30).

Voraussetzung für die Nutzung der „Schutzeigenschaften“ jeder einzelnen „Schicht“ ist, dass es klare Regeln gibt, die den Ansprüchen gesetzlicher Vorgaben zur Störfallvermeidung und Prozesssicherung genügen.

Der wesentliche Unterschied gegenüber der Verfahrensweise mit dem Risikograph nach VDI/VDE 2180, der grundsätzlich das gleiche Ziel wie LOPA verfolgt, ist die Benutzung quantitativ bewerteter Parameter zur Risikobestimmung.

5 GEFAHRENBEWERTUNG

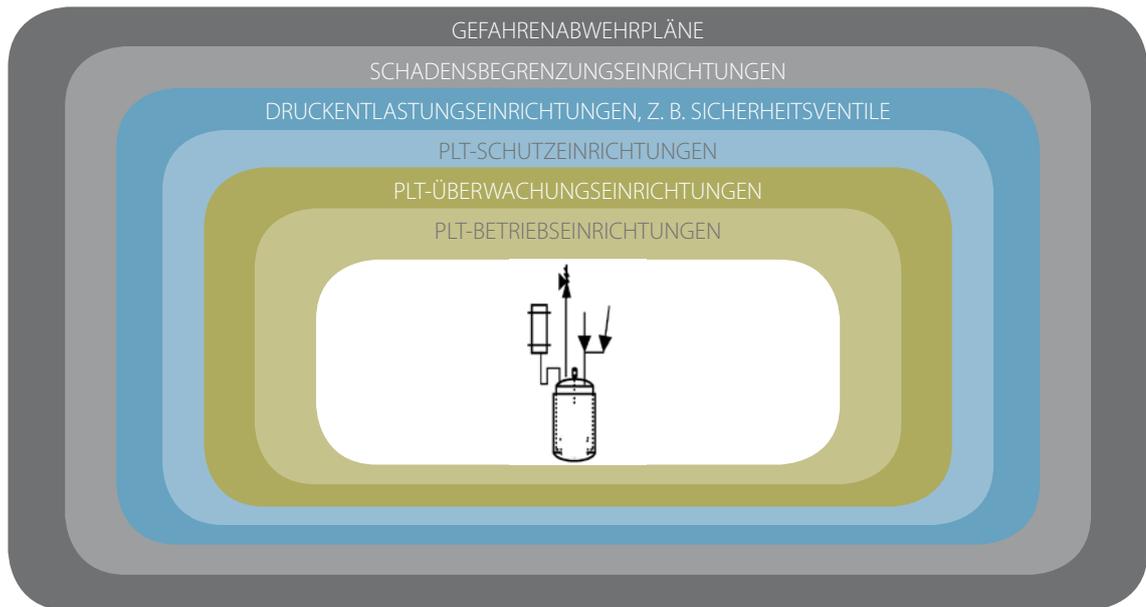


Abbildung 30:
Modell der
unabhängigen
Schutzschichten

Eine für die verfahrenstechnische Anlage vorliegende LOP-Analyse verschafft auf Grund der systematischen Vorgehensweise und durch die Nutzung spezieller Werkzeuge (LOPA Workbook) und der damit gleichzeitig gesicherten detaillierten Dokumentation jedes einzelnen Schrittes, einen genauen Überblick über Gefahrenpotenziale und über die jeweiligen Zuordnung von Maßnahmen zur Gefahrenvermeidung.

Durchführung einer LOP-Analyse

Den Ausgangspunkt der LOP-Analyse bildet die Auswahl von Szenarien, die zu möglichen unerwünschten Ereignissen führen können. Jedem Szenario wird ein „Target-Faktor“ (Zielgröße) zugeordnet, der das Risiko quantitativ bewertet und damit die Zielgröße darstellt, um die das bestehende Risiko zur Erreichung des zulässigen Restrisikos mindestens gesenkt werden muss.

Der Target-Faktor kann mit Hilfe von Tabellen sowohl stoff- bzw. mengenabhängig (siehe Abbildung 31) als auch in Abhängigkeit von möglichen zu erwartenden Folgen für Personen oder Umwelt (siehe Abbildung 32) ermittelt werden. Im Target-Faktor sind stoffbezogene Merkmale, wie Brennbarkeit, Toxizität und Reaktionsverhalten berücksichtigt und bestimmen im Wesentlichen die Einordnung in Gefahrenkategorien.

Die Gefahrenkategorien bestimmen in Verbindung mit möglichen Stoffaustrittsmengen bzw. in Verbindung mit möglichen freien Querschnitten infolge von Schäden die Größe des Gefahrenpotenzials in Form des Target-Faktors. In Abbildung 33 ist das Grundprinzip der LOP-Analyse dargestellt.

Chemical Specific Safety Target Factor Table

Quantity involved in the undesired consequence, pounds						
Hazard Category	Less than 10	10 to 100	100 to 1,000	1,000 to 10,000	10,000 to 100,000	> 100,000
Typical hole size	Pin hole	Seal leak	0.5 inch hole	1 inch hole	2 to 4 inch hole	Greater than 4 inch
A	6	7	8	9	9	10
B	5	6	7	8	9	9
C	4	5	6	7	8	8
D	N/A	4	5	6	7	7
E	N/A	N/A	4	5	5	5

Abbildung 31:
Tabelle zur Bestimmung
der Gefahrenkategorie
(„Hazard Category“)

Consequence Specific Safety Target Factor Table

Target Factor	Impact on People		Environmental Impact
	On-site	Off-site	
4	A minor injury as a result of exposure, a Reportable Medical Treatment Case (RMTCase) or a Day Away from Work Case (DAWC) with full rehabilitation		An environmental incident where contamination is confined to the site and where recovery is complete in 1 year
5	A serious irreversible injury	An accident resulting in the local public being told to take shelter indoors	
6	A fatality		An environmental incident which could contaminate ground water
7	Multiple fatalities	An event leading to the need to evacuate members of the public	An environmental incident that involves off-site cleanup
8		A serious irreversible injury in the public	
9		A fatality in the public	
10	A catastrophic event with many fatalities	Multiple fatalities in the public	

Abbildung 32:
Tabelle zur Bestimmung
der Folgen des uner-
wünschten Ereignisses
(„Consequences“)

5 GEFAHRENBEWERTUNG

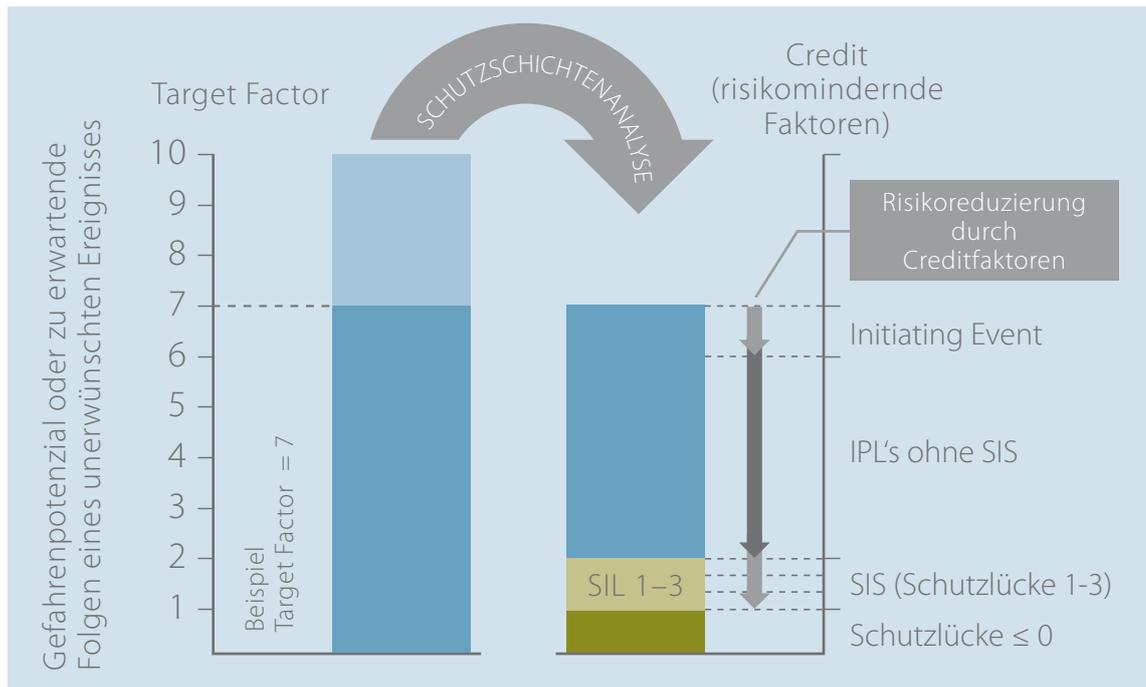


Abbildung 33:
LOPA - Grundprinzip

Risikoreduzierende Faktoren im Sinne der LOPA-Analyse sind:

- die Häufigkeit des das Szenario auslösenden Ereignisses, und wenn zutreffend
- die Ursache („Enabling Factor“), die für die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre verantwortlich ist (z. B. elektrostatische Entladungen oder Blitzschlag) und
- die im konkreten Fall vorliegenden Unabhängige Schutzschichten („Independent Protection Layers, IPLs“).

IPLs im Sinne von LOPA können sein:

- PLT-Einrichtungen,
- Bedienhandlungen auf Grund von Alarmen,
- Normen und Standards, die dem Design zu Grunde liegen,
- Sicherheitsventile,
- PLT-Schutzeinrichtungen,
- andere Systeme bzw. Maßnahmen, die im betrachtenden Fall eine störfallverhindernde Wirkung haben.

Die wichtigste Voraussetzung für die richtige Auswahl von IPLs in Rahmen einer LOPA-Analyse ist deren Un-

abhängigkeit gegenüber den anderen die verfahrenstechnische Anlage umgebenden Schutzschichten bzw. gegenüber der das unerwünschte Ereignis auslösenden Ursache („Initiating Event“). Jede der Schutzebenen muss unabhängig voneinander wirkend in der Lage sein, das Ereignis/Szenario zu verhindern.

In Abbildung 34 ist das Konzept der Schutzschichtenanalyse unter Einbeziehung der PFDs für die IPLs dargestellt.

Am Ende der Analyse des jeweils betrachtenden Szenarios muss die Differenz zwischen dem Target-Factor und der Summe der Werte für das Initiating Event und den IPLs mindestens Null sein. Das heißt, es gibt keine Schutzlücke und das unerwünschte Ereignis wird ausreichend sicher verhindert.

Ist die Schutzlücke größer Null, kann das Sicherheitsdefizit durch eine SIS geschlossen werden. Die Größe der Schutzlücke bestimmt dabei die Zuverlässigkeitsanforderungen, die die SIS erfüllen muss, um das unerwünschte Ereignis ausreichend sicher zu verhindern.

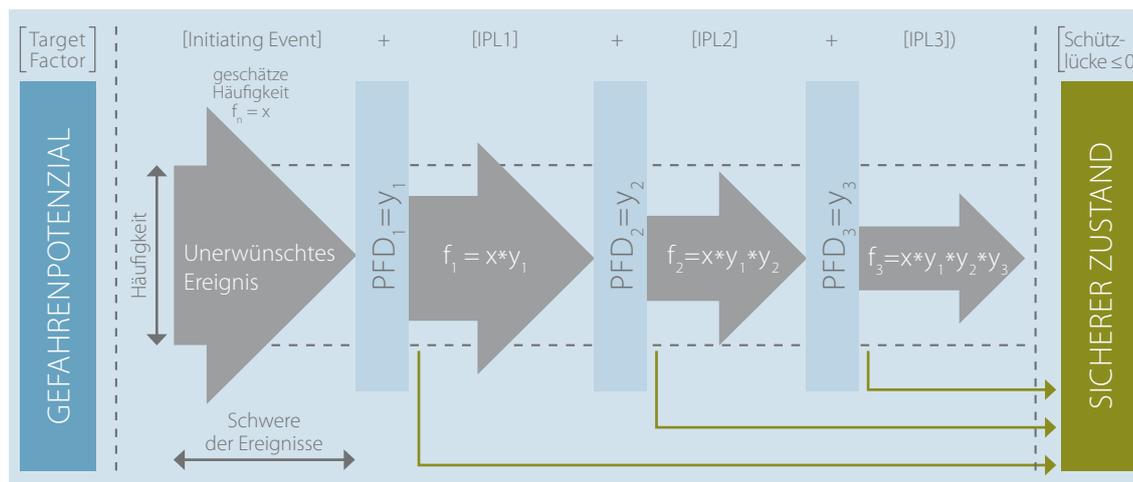


Abbildung 34:
Konzept der Schutz-
schichtenanalyse

Das Maß für die Anforderungen wird durch die Zuordnung zu Sicherheitsebenen („Safety Integrity Levels“, SIL) erreicht. In der LOP-Analyse stehen die Level SIL1 bis SIL 3 zur Verfügung. Safety Instrumented Systems, die zur Abdeckung des Risikos das Level SIL 4 erfordern, sind unzulässig, d. h. es sind Maßnahmen zur Reduzierung des Target-Factors vorzusehen.

Damit ist auch die maximal zulässige Schutzlücke ohne SIS festgelegt. Sie darf maximal 3 betragen. Die Zuverlässigkeitsanforderungen für SILs sind in Normen festgelegt und werden durch die Probability of Failure on Demand (PFD) bestimmt.

Der jeweilige Exponent der PFD's bestimmt den Wert für den Credit-Factor, der in der LOP-Analyse verwendet wird, d. h. er kann 1, 2 oder maximal 3 betragen.

SIS sind ebenfalls IPLs und tragen wie die anderen „Schutzebenen“ zur Reduzierung des Ausgangsrisikos bei. Voraussetzung ist, dass alle in der Analyse eingesetzten Werte (Credits) die gleiche Bewertungsgrundlage besitzen wie die SILs, d. h. jeder in der Analyse verwendeten „Schutzschicht“ muss ein adäquater PFD-Wert zugeordnet sein.

Durch Multiplikation der PFD-Werte für die in der Analyse betrachteten IPLs und der Multiplikation mit der

geschätzten Häufigkeit für das Initiating Event pro Jahr wird ein Wert ermittelt, der eine Aussage darüber trifft, mit welcher Häufigkeit das unerwünschte Ereignis (pro Jahr) eintritt.

Ist der ermittelte Wert kleiner gleich Null, ist das verbleibende Restrisiko ausreichend klein und weitere Maßnahmen zur Risikoreduzierung sind nicht erforderlich. Wegen der voneinander geforderten Unabhängigkeit der IPLs auf der einen Seite und auch ihrer Unabhängigkeit vom Initiating Event auf der anderen Seite, führt jede IPL für sich allein zum sicheren Zustand des Prozesses.



5 GEFAHRENBEWERTUNG

Organisatorische Randbedingungen

Die LOP-Analyse wird vom Betreiber der Anlage gemeinsam mit Vertretern der Bereiche Process Safety, Process Control, Process Engineering, Maintenance und ggf. anderen relevanten Bereichen auf der Grundlage einer internen Richtlinie erstellt. Bestandteil der Richtlinie sind das LOPA-Workbook bzw. die LOPA Procedure, das alle erforderlichen Anweisungen für die Handhabung, einschließlich einer Stoffdatensammlung enthält.

Mit der Umwandlung von Safety Integrity Levels in Anforderungsklassen nach IEC 61511 besteht die Möglichkeit, die Beurteilung der Zuverlässigkeitsanforderungen für PLT-Schutzeinrichtungen auf einer einheitlichen Basis über den gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten.

Layer of Protection Analysis Worksheet													
Scenario and Case Number	Scenario Description	LOPA Target	Initiating Event	Enabling Factor	Independent Protection Layers							Protection Gap	Notes
		Factor	Factor		Process Design	BPCS Control Action	Operator responds to alarms and written procedures	SIS Function A	SIS Function B	Pressure Relief Device	Other safety related protection systems	Target is 0 or less	
		List chemicals and quantity involved in undesired consequence				Each independent instrument layer must have separate sensors, logic solvers and final elements.							
												0	
												0	

Abbildung 35: Excel Arbeitsblatt für LOPA

5.5 DOW FIRE & EXPLOSION-INDEX

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Verfahrenstechnische Anlagen der chemischen und petrochemischen Industrie

Ziel der Untersuchung

- Ermittlung erforderlicher Schutzabstände (Plant layout), Ermittlung des zu erwartenden Schadensausmaßes, Planungsentscheidungshilfe

Anwendungszeitpunkt

- Während der Planung einer Anlage
- Sicherheitstechnische Überprüfung des Schutzkonzeptes bestehender Anlagen
- Umbau von bzw. Änderungen in bereits untersuchten Anlagen

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- Verfahrensfließbild mit Grundinformationen
- Liste mit Bonus- und Malusfaktoren

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres Team, in der Methode erfahrener Moderator
- Strukturiertes Arbeitsblatt

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte
- bei Identifikation von Gefahrenschwerpunkten Anschluss einer detaillierteren Methode

Grundlagen des Verfahrens

Der F+E-Index wird seit 1964 im DOW-Konzern konsequent angewendet und ermöglicht eine Klassifizierung von Schadenspotentialen speziell auf dem Gebiet Brände und Explosionen. 1994 wurden zusätzlich die Toxizitäts- und Reaktivitäts-Bewertung aufgenommen.

Anhand von Kriterienkatalogen, die auf der Basis konzerninterner Erhebungen zentral erstellt und weiterentwickelt werden, wird zunächst in den einzelnen Produktionsstätten der F+E-Index berechnet und daraus abgeleitete Sicherheitsmaßnahmen getroffen. Diese dezentral durchgeführte F+E-Index-Ermittlung ist fester Bestandteil des Sicherheitskonzepts. Darüber hinausge-

hende Berechnungen für ein Schadensszenario werden in der Konzernzentrale durchgeführt und bilden die Basis der Vereinbarungen mit den Schadenversicherern.

Anhand eines festgelegten Vorgehens werden folgende Stufen durchlaufen (Abbildung 36):

5 GEFAHRENBEWERTUNG

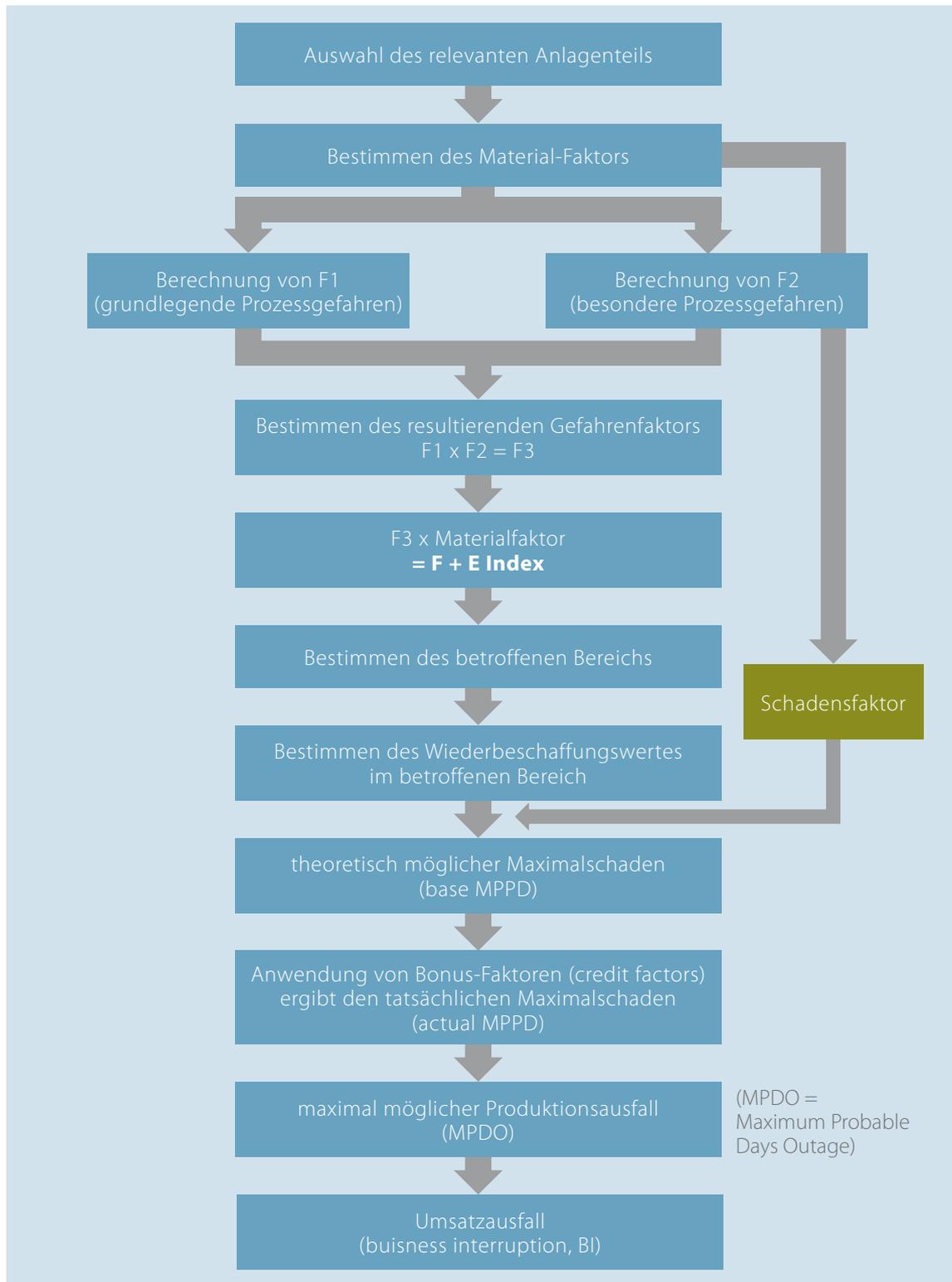


Abbildung 36:
Stufen des
DOW-Fire +
Explosion-Index

Zuerst wird ein Anlagenteil (z. B. ein Mischtank mit Zu- und Abläufen) ausgewählt. Die wichtigsten Eigenschaften der Hauptprodukte werden bewertet. Dies ergibt den Material-Faktor (MF). Die Festlegung erfolgt z. B. aufgrund des Flammpunktes, der Staubexplosionsklassen etc. Der MF ist ein Maßstab für die im Schadensfall freierwerdende mechanische bzw. thermische Energie sowie das chemische Gefahrenpotential.

Für den betrachteten Anlagenteil werden die möglichen grundlegenden Prozessgefahren F1 und die besonderen Prozessgefahren F2 ermittelt. Kriterien für F1 sind z. B. die Exothermie chemischer Reaktionen sowie mögliche Arbeitsschritte innerhalb der Explosionsgrenzen von brennbaren Gasen und Dämpfen. Wesentliche Faktoren für F2 sind beispielsweise die Anwendung von Vakuum oder Hochdruck, Operationen nahe dem Flammpunkt, sowie die Menge an brennbaren oder instabilen Materialien. Auf diese grundlegende Bewertung werden Zuschläge (Penalties) addiert, dies entspricht speziellen Gefahren-Höhereinstufungen je nach Gefährungsgrad.

Aus den allgemeinen und speziellen Verfahrensfaktoren wird nach Anwendung der Zuschläge unter Multiplikation mit dem Materialfaktor MF der F+E-Index ermittelt.

Die Größenordnung des F+E-Index charakterisiert das Gefahrenpotential:

1	-	50	gering
51	-	81	mäßig
82	-	107	mittel
108	-	133	groß
	>	134	sehr groß

Die Einstufung in eine dieser Kategorien kann technische und organisatorische Auflagen nach sich ziehen, z. B. muss ab einem F+E-Index von 128 eine HAZOP-Studie durchgeführt werden.

Eine wesentliche Ableitung aus dem F+E-Index ist die Festlegung von Sicherheitsabständen und Brandabschnitten. Sind diese im Einzelfall nicht einzuhalten, so müssen entweder Prozessparameter geändert oder ersatzweise andere Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden (z. B. die Errichtung einer Schutzwand).

Die ermittelten F+E-Werte liegen aufgrund des DOW-Sicherheitsstandards international in bestimmten, bekannten Bereichen. Nur falls erhebliche Abweichungen davon auftreten, werden zusätzlich durch Audits, gegebenenfalls unter Hinzuziehung eines Spezialisten aus der Konzernzentrale, die Ursachen dafür ermittelt.

Ein konzerninternes Überwachungsteam (Self Inspection Team/Loss Prevention Team) kontrolliert regelmäßig anhand von Checklisten, dass alle beschlossenen Sicherheitsmaßnahmen für kritische Anlagen auch wirklich durchgeführt worden sind. Alle notwendigen Unterlagen müssen für diese Überprüfungen aktualisiert werden, das gilt auch für den F+E-Index, der speziell nach jeder Nutzungsänderung einer Anlage neu ermittelt werden muss.

5 GEFAHRENBEWERTUNG

Weitergehende Betrachtungen

Wie bereits erwähnt, werden unter Einschaltung der Konzernzentrale, aufbauend auf die F+E-Index-Ermittlung, weitere Erhebungen durchgeführt. Diese haben in erster Linie versicherungsmathematische Auswirkungen. Die einzelnen Kriterien aus dem Ablaufschema (siehe Abbildung 37) sollen daher nachstehend nur stichpunktartig genannt werden:

Schadensfaktor:

Summe aller möglichen Zerstörungen durch Feuer und Explosionsenergie

Betroffener Bereich:

Festlegung der gesamten möglicherweise betroffenen Fläche

Wiederbeschaffungswert:

Wert aller Anlagen im potentiell betroffenen Bereich

Bonusfaktoren (credit factors, C1 x C2 x C3):

Faktoren, die aufgrund spezieller Sicherheitstechnik den potentiellen Schaden reduzieren:

C1: Sichere Prozessführung

(z. B. dauernde vollständige Inertisierung)

C2: Sichere räumliche Trennung

(z. B. Fernbedienung von Armaturen)

C3: Brandschutz

(z. B. spezieller Brandschutz für elektrische Kabel)

Unter Anwendung dieser Bonusfaktoren kommt man vom theoretisch maximalen Schaden (base MPPD) zum realistisch für möglich gehaltenen Maximalschaden (actual MPPD).

Schließlich wird daraus noch der maximal mögliche Produktionsausfall (MPDO) und der Umsatzausfall (business interruption BI) ermittelt.

Für den maximalen Schaden (actual MPPD) werden intern Grenzwerte für ein maximal akzeptables Risiko festgelegt.

Ergibt sich bei der Berechnung ein höherer Wert, müssen geeignete zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen ergriffen und die Berechnung erneut durchgeführt werden.

Das Gesamtrisiko für die Produktionsanlage setzt sich aus der maximalen (Sach-) Schadenshöhe und dem maximalen Produktionsausfall zusammen.

Zusammenfassung

Die Ermittlung und Anwendung des F+E-Index hat sich im Rahmen der Risikobeurteilung und Durchsetzung des Sicherheitskonzeptes im DOW-Konzern bewährt. Die Durchführung des Prozederes erfolgt anhand genau festgelegter Randbedingungen und basierend auf einem umfangreichen und ständig den neuesten Erkenntnissen angepassten Kriterien-Katalog, der die für die Berechnung notwendigen Zahlenwerte enthält.

Die eigentliche Ermittlung des F+E-Index nimmt relativ wenig Zeit in Anspruch und ist leicht durchzuführen. Interessant ist, daß trotz der konzernspezifischen Randbedingungen aufgrund der F+E-Index-Berechnung Maßnahmen ermittelt werden, die durchaus den Größenordnungen entsprechen, wie sie in verschiedenen Regelwerken niedergelegt sind (die bei der Festlegung des Sicherheitskonzeptes im Konzern ebenfalls volle Anwendung finden).

So entspricht die „Area of exposure“ beispielsweise weitgehend den gesetzlich geregelten Schutzabständen.

Eine Anwendung von Index-Methoden in verfahrenstechnischen Anlagen außerhalb des DOW- bzw. ICI-Konzerns ist wegen mangelnder Erfahrung und mangels eigener Datenbasis nicht einfach, wird in Einzelfällen jedoch versuchsweise betrieben.

Die Ermittlung von Indizes zur Risikoermittlung und Maßnahmenfindung macht vor allem dann Sinn, wenn eine Harmonisierung des Sicherheitsniveaus an verschiedenen Standorten eines Konzerns anvisiert wird.

Plant: Beispiel-Anlage	Process Unit C₂-Hydrierung	Evaluated by	Review by
MATERIALS AND PROCESS			
Materials in process unit Rohgas (Ethylen / Wasserstoff)			
State of operation start up <input type="checkbox"/> shut down <input type="checkbox"/> normal operation <input type="checkbox"/>		Basic materials for material factor C₂H₄	
Material factor (see table 1 or appendices A or B) Note requirements when unit temperature over 140° F			24
1 General process hazards	Penalty	Penalty used	
Base factor	1.00	1.00	
A. Exothermic chemical reactions (Factor .30 to 1.25)		0.90	
B. Endothermic Processes (Factor .20 to .40)			
C. Material handling & transfer (Factor .25 to 1.05)			
D. Enclosed or indoor process units (Factor .25 to .90)			
E. Access	.35		
F. Drainage and spill control (Factor .25 to .50)			
General process hazards factor (F ₁)		1.90	
2 Spezial process hazards			
Base factor	1.00	1.00	
A. Toxic material(s) (Factor 0.20 to 0.80)			
B. Sub-Atmospheric pressure (> 500mm Hg)	.50		
C. Operation in or near flammable range <input type="checkbox"/> inerted <input type="checkbox"/> not inerted <input type="checkbox"/>			
1. Tank farms storage flammable liquids	.50		
2. Process upset or purge failure	.30	.30	
3. Always flammable range	.80		
D. Dust explosion (Factor .25to 2.00) (see table II)			
E. Pressure (see figure 2) operating pressure 500 psig, relief setting 600 psig		.80	
F. Low temperature (Factor .20 to .30)			
G. Quantity of flammable/unstable material: Quantity 2000 lbs. H ₂ 20 800 BTU/lb		.15	
1. Liquids, gases			
2. Liquids or gases in storage (see fig. 4)			
3. Combustible solids in storage. Dust in progress (see fig. 5)			
H. Corrosion and erosion (Factor .10 to 1.50)		.20	
I. Leakage - joints and packing (Factor .10 to 1.50)			
J. Use of fired heaters (see fig. 6)			
K. Hot oil heat exchange system (Factor .15 to 1.15) (see table III)			
L. Rotating equipment	.50		
Special process hazards factor (F ₂)		2.45	
Unit Hazards Factor (F ₁ x F ₂ x F ₃)		4.66	
Fire and explosion index		111.7	

Abbildung 37:
Ermittlung
des F+E-Index

5 GEFAHRENBEWERTUNG

5.6 FEHLERBAUM

Anwendungsschwerpunkte/Hauptanwendungsgebiete

- Teilsysteme und Komponenten komplexer Anlagen mit hohem Gefährdungspotenzial, insbesondere Anlagen der Kerntechnik, Luft- und Raumfahrt, sowie ausgewählte Anlagen der chemischen und petrochemischen Industrie

Ziel der Untersuchung

- Auffinden von Fehlerkombinationen, die zu unerwünschten Ereignissen führen, mittels systematischer graphischer Darstellung
- Bei Vorliegen einer ausreichenden Datenbasis (z. B. für Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. Ausfallraten) ist eine quantitative Risikoberechnung möglich

Anwendungszeitpunkt

- Ende des Basic-Engineerings in der Planungsphase
- Nach Störungen zu deren Aufklärung

Vorbereitung/erforderliche Unterlagen

- Eine systematische qualitative Gefahrenanalyse für das untersuchte Objekt muss vorliegen.
- Im Falle einer quantitativen Risikoberechnung müssen belastbare und möglichst spezifische Daten vorliegen, was in der chemischen Industrie aufgrund der Vielfalt der gehandhabten Stoffe nicht gegeben ist.
- Die erforderlichen Unterlagen sind systemspezifisch, für Prozessanlagen z. B.
- Fließbilder bzw. R+I-Schemata
- Stoff- und Reaktionskenngrößen
- Verfahrensbeschreibungen
- Betriebsanweisungen

Durchführung/erforderliche Experten

- Interdisziplinäres Team, in der Methode erfahrener Moderator
- Graphisches Programm zur Darstellung der Verknüpfungen
- Fehlerbäume komplexer Systeme können nur mittels rechnergestützter Methoden ausgewertet werden

Nachbereitung

- Abarbeiten der offenen (ungeklärten) Punkte, Umsetzen der beschlossenen Maßnahmen

Grundlagen des Verfahrens

Die Methode der Fehlerbäume zur Visualisierung und Beschreibung von Fehlerzusammenhängen wurde in den 1950er Jahren in der Luft- und Raumfahrt entwickelt und in den 1970er Jahren im Rahmen der Kerntechnik als quantitative Standardmethode etabliert.

Der Zweck der Fehlerbaumanalyse ist die Ermittlung der logischen Verknüpfungen von Komponenten- oder Teilsystemausfällen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen. Die Ergebnisse der Fehlerbaumanalyse tragen zur Systembeurteilung im Hinblick auf Betrieb und Zuverlässigkeit bei.

Liegen keine konkreten Zahlenwerte für die Ausfallwahrscheinlichkeiten vor, bietet der Fehlerbaum bei überschaubaren Systemen dennoch eine übersichtliche und logische Darstellung der Fehlerverknüpfungen.

Im Zusammenhang mit Fehlerbäumen sind drei Begriffe von zentraler Bedeutung:

Unerwünschtes Ereignis

Darunter versteht man Betriebszustände, die einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Ereignissen Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb darstellen und zu einer Gefährdung der Umgebung z. B. durch Freisetzung von Schadstoffen führen. Unerwünschte Ereignisse werden durch z. B. menschliche Fehlhandlungen, Versagen von Bauteilen oder Anlagenteilen oder durch Kombinationen ausgelöst.

Ausfallkombination

Gleichzeitiges Auftreten von Ausfällen, die zum unerwünschten Ereignis führen, d. h. der Ausfall des untersuchten Systems kann durch verschiedene Ausfallkombinationen verursacht werden.

Minimalschnitte

Die kleinsten Ausfallkombinationen enthalten genau so viele Ausfälle, wie zur Auslösung des unerwünschten Ereignisses mindestens notwendig sind.

Beispiel Kryotank

Das Beispiel behandelt den Fehlerbaum „Bersten des Innenbehälters eines Kryotanks“. Kryotanks kommen bei der Versorgung von Industriebetrieben mit verflüssigten Gasen, z. B. Sauerstoff zum Einsatz. Dieser wird tiefkalt verflüssigt mit Spezialtankfahrzeugen angeliefert und

in den Kundentank gepumpt. Zur dauerhaften Wärmeisolierung sind die Tanks doppelwandig ausgeführt. Sie besitzen zur Lagerung des verflüssigten Gases einen Innenbehälter aus kalt-zähem Cr-Ni-Stahl sowie einen tragenden Außenbehälter aus Baustahl, dessen Beschädigung zu einem Bersten des Innenbehälters führen kann. Der Raum zwischen Innen- und Außenbehälter ist mit Dämmstoffen ausgekleidet und zusätzlich durch ein Vakuum isoliert.

Als Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung sind im speziellen Fall für den Innenbehälter Sicherheitsventile in redundanter Ausführung und für den Außenbehälter eine Berstscheibe vorhanden. Um die Anwesenheit des Bedieners beim Befüllvorgang sicherzustellen, ist ein „Totmannschalter“ installiert, der bei Nicht-Betätigung den Befüllvorgang unterbricht.

Der Fehlerbaum für das unerwünschte Ereignis (TOP): „Bersten des Innenbehälters“ wurde mittels Standardbildzeichen aus ÖNORM A 9012 erstellt und ist in Abbildung 38 graphisch dargestellt.

5 GEFAHRENBEWERTUNG

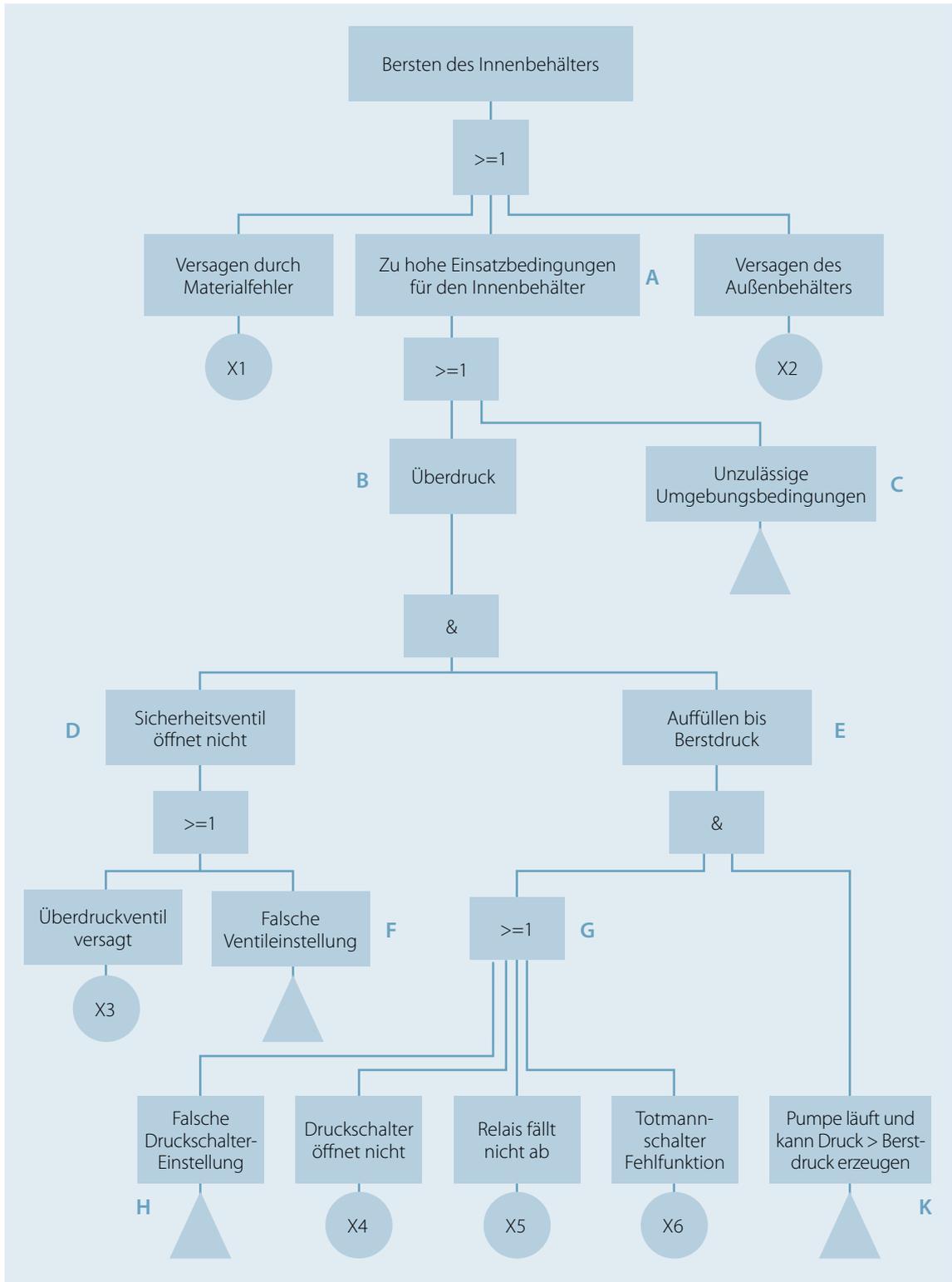


Abbildung 38: Fehlerbaum für das unerwünschte Ereignis „Bersten des Innenbehälters beim Befüllen“
Beispiel: Kryotank

Auswertung des Fehlerbaumes gemäß ÖNORM A 9013

1. Schritt: Bestimmung der Minimalschnitte des Fehlerbaumes

Bei umfassenden Systemen ist der sogenannte Top-Down-Algorithmus anzuwenden. In diesem werden, ausgehend vom Top-Ereignis, alle logischen Verknüpfungen des Fehlerbaumes auf ihre Eingänge zurückgeführt. Dabei werden alle technischen und organisatorischen Maßnahmen berücksichtigt, soweit diese bereits geplant bzw. realisiert sind. Es erfolgt ein logisches Auswerten des Fehlerbaumes entsprechend der Booleschen Algebra, bis dieser auf seine Primäreingänge (Komponenten) zurückgeführt ist. Die formale Darstellung dieses Fehlerbaumes geschieht in Form einer Matrix.

(1) Die Eingänge X1, A und X2 werden in separate Zeilen der Matrix eingetragen (ODER-Verknüpfung)

$$\begin{bmatrix} X1 \\ A \\ X2 \end{bmatrix}$$

(2) Eingang A wird durch die Eingänge B und C ersetzt und in separate Zeilen der Matrix eingetragen (ODER-Verknüpfung)

$$\begin{bmatrix} X1 \\ B \\ C \\ X2 \end{bmatrix}$$

(3) Eingang B wird durch die Eingänge D und E ersetzt und in separate Spalten der Matrix eingetragen (UND-Verknüpfung)

$$\begin{bmatrix} X1 \\ D, E \\ C \\ X2 \end{bmatrix}$$

(4) Eingang D wird durch die Eingänge X3 und F ersetzt und in separate Zeilen der Matrix eingetragen (ODER-Verknüpfung)

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X3, E \\ F, E \\ C \\ X2 \end{bmatrix}$$

(5) Eingang E wird durch die Eingänge G und K ersetzt und in separate Spalten der Matrix eingetragen (ODER-Verknüpfung)

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X3, G, K \\ F, G, K \\ C \\ X2 \end{bmatrix}$$

(6) Eingang G wird durch die Eingänge H, X4, X5 und X6 ersetzt und in separate Zeilen der Matrix eingetragen (ODER-Verknüpfung). Die Zeilen dieser Matrix stellen die gesuchten Minimalschnitte dar.

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X3, H, K \\ X3, X4, K \\ X3, X5, K \\ X3, X6, K \\ F, H, K \\ F, X4, K \\ F, X5, K \\ F, X6, K \\ C \\ X2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \\ C8 \\ C9 \\ C10 \\ C11 \end{bmatrix}$$

Man erhält für diesen Fehlerbaum 11 Minimalschnitte C1, ..., C11, d. h. 11 minimale Mengen von Komponenten. Der gleichzeitige Ausfall aller Komponenten einer dieser 11 minimalen Mengen führt zum unerwünschten Ereignis „Bersten des Innenbehälters“.



5 GEFAHRENBEWERTUNG

2. Schritt: Berechnung der Gesamtwahrscheinlichkeit des unerwünschten Ereignisses

Gemäß ÖNORM A 9013 berechnet man die Wahrscheinlichkeiten für $W(C1) \dots W(C11)$ mit:

$$\begin{aligned} W(C1) &= W(X1) \\ W(C2) &= W(X3) \cdot W(H) \cdot W(K) \\ W(C3) &= W(X3) \cdot W(X4) \cdot W(K) \\ W(C4) &= W(X3) \cdot W(X5) \cdot W(K) \\ W(C5) &= W(X3) \cdot W(X6) \cdot W(K) \\ W(C6) &= W(F) \cdot W(H) \cdot W(K) \\ W(C7) &= W(F) \cdot W(X4) \cdot W(K) \\ W(C8) &= W(F) \cdot W(X5) \cdot W(K) \\ W(C9) &= W(F) \cdot W(X6) \cdot W(K) \\ W(C10) &= W(C) \\ W(C11) &= W(X2) \end{aligned}$$

Die Gesamtwahrscheinlichkeit für das Versagen des Innenbehälters als unerwünschtes Ereignis ist dann

$$W(TOP) = \sum_{i=1}^{11} W_{(Ci)}$$

3. Schritt: Auswertung des Fehlerbaumes

Bei Vorliegen konkreter Angaben für die einzelnen Ausfallwahrscheinlichkeiten können die Minimalschnitte berechnet, die relevanten Fehlerpfade identifiziert und damit zusätzliche Gegenmaßnahmen gezielt festgelegt werden.

Im Folgenden sind für die Fehlerkombinationen C1.....C11 beispielhaft technische und organisatorische Gegenmaßnahmen angeführt, die bei der Aufstellung des dargestellten Fehlerbaumes bereits berücksichtigt und somit in die Wahrscheinlichkeit eingeflossen sein können.

Minimal-schnitt	Fehler-Kombination (gemäß Fehlerbaum)	Technisch/Organisatorische Gegenmaßnahmen (beispielhafte Auflistung gemäß ingenieurmäßigem Sachverstand)
C1	Versagen durch Materialfehler	<p>Materialwahl unter Zugrundelegung der technischen Regelwerke, EN-Normen</p> <p>Materialeignungsprüfung</p> <p>Einsatz geeigneter Werkstoffe</p> <p>Fertigung mit geeigneten Verfahren</p> <p>Fertigung durch ausgebildetes Personal</p> <p>Fertigungskontrolle</p> <p>Bauüberwachung</p> <p>Checklisten</p> <p>Funktions- und Belastungsprüfung vor Inbetriebnahme</p> <p>Schweißnahtprüfungen nach Vorschrift</p> <p>Dichtheitsprüfungen</p> <p>Druckprüfungen</p> <p>Qualitätssicherung</p> <p>CE (Konformitätsbewertung, Übereinstimmungserklärung)</p>
C2	Überdruckventil versagt + falsche Druckschaltereinstellung + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	<p>Korrekte Dimensionierung der Sicherheitsventile</p> <p>Überdimensionierung der Abblaseleistung bei entsprechendem Ansprechdruck des Sicherheitsventils</p> <p>Redundante Ausführung der Sicherheitsventile</p> <p>Berstdruck > max. Pumpendruck</p> <p>Verfahrens-/Betriebsanweisung</p> <p>Regelmäßige Schulung des Personals</p> <p>Sicherheitsmanagementsystem</p>
C3	Überdruckventil versagt + Druckschalter öffnet nicht + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	siehe C2

Abbildung 39a:
Fehlerkombinationen
„Bersten des Innenbehälters“ und
technisch/
organisatorische
Gegenmaßnahmen

5 GEFAHRENBEWERTUNG

Minimal-schnitt	Fehler-Kombination (gemäß Fehlerbaum)	Technisch/Organisatorische Gegenmaßnahmen (beispielhafte Auflistung gemäß ingenieurmäßigem Sachverstand)
C4	Überdruckventil versagt + Relais fällt nicht ab + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	siehe C2
C5	Überdruckventil versagt + Totmannschalter Fehlfunktion + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	siehe C2
C6	Falsche Ventileinstellung + Falsche Druckschaltereinstellung + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	Bauteilprüfung mit Prüfzeugnis Anforderungen z. B. AD-Merkblatt A2 Sicherung gegen Verstellen durch Plombieren der Kappe mit dem Ventilgehäuse Berstdruck > max. Pumpendruck Verfahrens-/Betriebsanweisung Regelmäßige Schulung des Personals Sicherheitsmanagementsystem
C7	Falsche Ventileinstellung + Druckschalter öffnet nicht + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	siehe C6
C8	Falsche Ventileinstellung + Relais fällt nicht ab + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	siehe C6
C9	Falsche Ventileinstellung + Totmannschalter Fehlfunktion + Pumpe läuft und kann Druck > Berstdruck erzeugen	siehe C6

Abbildung 39b:
Fehlerkombinationen
„Bersten des Innen-
behälters“ und
technisch/
organisatorische
Gegenmaßnahmen

Minimal-schnitt	Fehler-Kombination (gemäß Fehlerbaum)	Technisch/Organisatorische Gegenmaßnahmen (beispielhafte Auflistung gemäß ingenieurmäßigem Sachverstand)
C10	Unzulässige Umgebungsbedingungen	<p>Schutzabstand gegen unzulässige Erwärmung des Außen- und Innenbehälters infolge Brandbelastung und mechanische Beschädigung</p> <p>Redundante Ausführung der Sicherheitsventile</p> <p>Festlegen einer Schutzzone (Sauerstoff ist brandfördernd)</p> <p>Schutz gegen Blitzschlag (vorschriftsgemäße Blitzschutzeinrichtung)</p> <p>Schutz gegen Zutritt Unbefugter durch Umzäunung mit verschließbarem Tor</p> <p>Schutz kritischer Anlagenteile gegen unsachgemäße Bedienung durch Umzäunung mit verschließbarem Tor</p> <p>Regelung und Überwachung der Arbeiten Betriebsfremder</p> <p>Geschultes Personal</p> <p>Schriftliche Aufzeichnung über Instandhaltung</p>
C11	Versagen des Außenbehälters	<p>Absicherung gegen Überdruck durch Drucksicherheitsanlage (Berstscheibe) auf Oberseite des Behälters</p> <p>Vakuumpfühler und Evakuierungsventil auf Unterseite des Behälters</p> <p>Absicherung gegen unzulässige Erwärmung des Innenbehälters durch redundante Ausführung der Sicherheitsventile</p> <p>siehe auch C10</p>

Abbildung 39c:
Fehlerkombinationen
„Bersten des Innen-
behälters“ und
technisch/
organisatorische
Gegenmaßnahmen



6 QUANTITATIVE RISIKOBESCHREIBUNG

QUANTITATIVE RISIKOBESCHREIBUNG

Die gestiegenen sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Anforderungen, die an technische Systeme gestellt werden, haben dazu geführt, dass quantitative Risikoanalysen eine immer größere Bedeutung erlangen. So werden in mehreren Mitgliedsstaaten der EU entsprechende Vorgehensweisen zur Ermittlung und Bewertung der Risiken industrieller Anlagen angewandt.

Durch Abschätzung der Häufigkeiten und der Auswirkungen möglicher störfallrelevanter Ereignisse wird eine quantitative Aussage über das Risiko der Anlage erhalten. Über einen Vergleich des ermittelten Risikowertes mit gesellschaftlich akzeptierten Risikogrenzwerten kann schließlich die Sicherheit der Anlagen bewertet werden. Solche probabilistischen Methoden werden heute daher in erster Linie zur Überprüfung der Ausgewogenheit von Sicherheitskonzepten eingesetzt.

Darüber hinaus bieten derartige Methoden Entscheidungshilfen für

- die Auswahl und Bewertung von Standorten (in der Regel verknüpft mit Ausbreitungsberechnungen),
- den Vergleich und die Optimierung von Sicherheitskonzepten,
- detaillierte Beschreibungen des erreichten Sicherheitsniveaus,
- die Bewertung sicherheitsrelevanter Ereignisse (in der Regel verknüpft mit Ausbreitungsberechnungen),
- die Planung von Wartungs- und Reparaturstrategien.

Anwendungsmöglichkeiten für Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen ergeben sich in erster Linie in der Raumfahrt, Schiffstechnik, Kerntechnik und in der Verfahrens- und Energietechnik sowie im Verkehrswesen.

Die probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) stellt den weitest reichenden Analyseprozess für Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit dar. Weitest reichend in dem Sinne, dass damit eine Verknüpfung der Fragen

- Was kann sich ereignen?
- Wie häufig kann es sich ereignen?
- Wie groß sind die Auswirkungen?



mit konkreten Zahlenwerten für die jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten erfolgt.

Da es vom Aufwand her und aus Gründen der Übersicht nicht möglich ist, eine komplexe technische Anlage in einem einzigen Fehlerbaum nachzubilden, wird üblicherweise eine heuristische Vorgehensweise über Ereignisablaufdiagramme gewählt. Im Analyseprozess der PSA wird hierzu ein integrales Anlagenmodell, bestehend aus Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, zur Nachbildung des Ausfallverhaltens der Anlage und zur Ermittlung und Beschreibung der Auswirkungen erstellt.

Im Zuge der PSA ist beispielsweise eine FMEA erforderlich, um sowohl die möglichen Varianten/Ausfallarten der Komponenten als auch deren Wirkung auf das System bzw. die Anlage zu identifizieren und in der kombinierten Ereignisablauf- und Fehlerbaumstruktur darstellen zu können.

Die Berechnung der Zuverlässigkeit beziehungsweise der Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems erfolgt schlussendlich auf der Grundlage der empirisch gewonnenen Ausfallhäufigkeiten (Ausfallraten) der Einzelkomponenten des Systems. Dabei stößt die PSA im Bereich komplexer Chemieanlagen an Grenzen, da hier aufgrund der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Stoffen und Materialien verlässliche Ausfallraten für die konkret betrachteten Komponenten in der Regel nicht zur Verfügung stehen.



6 QUANTITATIVE RISIKOBESCHREIBUNG

Verknüpfung verschiedener Techniken bei einer PSA

Im linken Bildteil sind oben die Ursachen dargestellt, die zu einem auslösenden Ereignis führen können und im rechten Teil die Auswirkungen, die sich aus diesen auslösenden Ereignissen ergeben. Der untere Bildteil zeigt die Basis-Ereignisse, die das Spektrum der unterschiedlichen auslösenden Ereignisse und das Spektrum der einzelnen Ereignisabläufe bei ihrem Eintritt beeinflussen und mit ihrer Wahrscheinlichkeit berücksichtigt werden müssen.

Im oberen Bildteil sind die Systeme, die zur Beherrschung des unerwünschten Ereignisses dienen, über die Verzweigungspunkte im Ereignisbaum eingebunden. Das Risikomodell der Gesamtanlage besteht dementsprechend aus einer Vielzahl ineinander verzahnter Ereignis- und Fehlerbäume, die in ihrer Gesamtheit nur noch mit aufwändigen Rechenprogrammen analysiert werden können.

Da nach Durchführung einer PSA ein ganzheitliches Anlagenmodell vorliegt, ist es möglich, Wichtungen und Optimierungen vorzunehmen. D. h. es ist feststellbar, welche Komponentenausfälle besonders bedeutsam sind und bewertet wurden oder welche Verbesserungsmaßnahmen den größten sicherheitstechnischen Gewinn bringen. Ohne ein quantifiziertes Gesamtmodell ist eine solche Sensitivitätsanalyse nicht möglich.

Aus dem Spektrum der auslösenden Ereignisse werden diejenigen Schadensklassen bzw. Unfallabläufe/Unfallsequenzen und die dafür verantwortlichen Komponentenausfälle gesucht, die zu deutlich unterschiedlichen Auswirkungen führen. Damit wird es möglich, die sicherheitstechnisch unbefriedigende Worst-Case-Betrachtung deutlich zu verbessern. Aus dem ermittelten Spektrum möglicher Auswirkungen wird klar, dass z. B. schwere Auswirkungen (worst case) deutlich seltener zu erwarten sind und dass leichtere Auswirkungen oftmals die eigentlich dominanten Fälle sind, in denen sicherheitstechnisch optimiert werden sollte. Auch eine solche realistische Anlagenverbesserung ist ohne quantifiziertes Gesamtmodell nicht möglich.

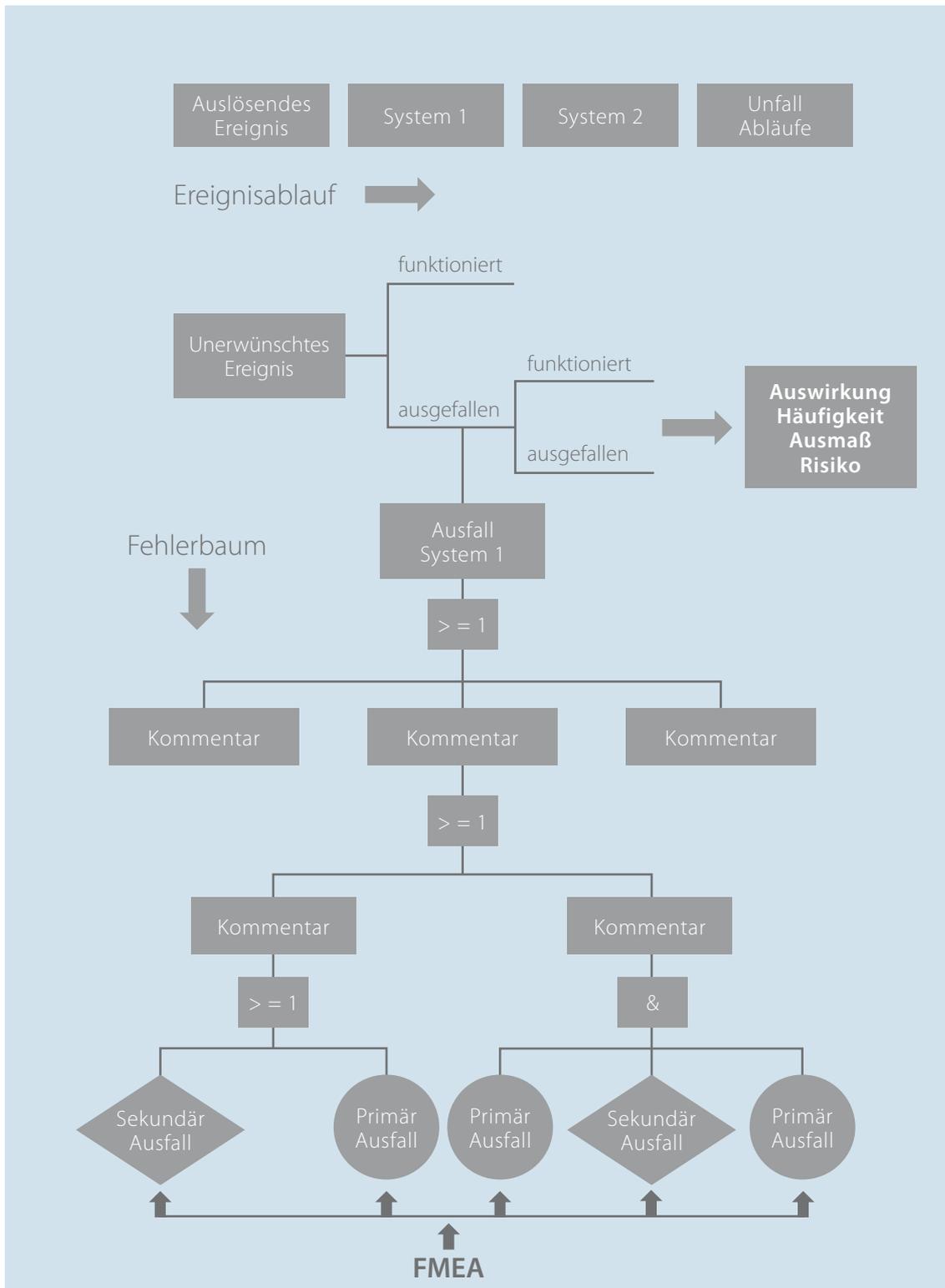


Abbildung 40:
 Probabilistische
 Sicherheitsbewertung
 (PSA): Schema
 Analyselogik



GLOSSAR

Begriff	Erläuterung
Aktoren	Einrichtungen wie z. B. Armaturen, Ventile
Ausfall, primär	Zeitlich gesehen erster Ausfall einer Einrichtung
Ausfall, sekundär	Folgeausfall einer zweiten Einrichtung auf Grund eines primären Ausfalls
Basic Engineering	Im Basic Engineering werden die Ergebnisse aus der FEED (Front End Engineering and Design) Phase ausgewertet, präzisiert, Genehmigungsunterlagen erstellt, die Kostenermittlung verfeinert und der Projektterminplan detailliert
Batch-Anlage	Anlage im diskontinuierlichen Betrieb
Betriebseinrichtung	PLT-Einrichtung ohne Schutzfunktion
Detail Engineering	Das Detail Engineering folgt dem Basic Engineering nach Projektannahme; das Detail Engineering enthält bereits detaillierte Spezifikations- und Konstruktionszeichnungen
Fehler, aktiv	Aktive Fehler lösen die Schutzfunktion ohne Eintritt der festgelegten Bedingungen aus
Fehler, passiv	Passive Fehler blockieren die Schutzfunktion trotz Eintritt der festgelegten Bedingungen
Fehler, primär	Fehler, der zuerst auftritt
Fehler, sekundär	Fehler, der in der Folge auftreten kann
Gefahrenermittlung, prospektiv	Vorausschauende, planende Gefahrenermittlung ohne eingetretenes Ereignis
Gefahrenermittlung, retrospektiv	Gefahrenermittlung nach Eintritt eines Vorfalles oder Ereignisses
heuristische Vorgangsweise	Vorgangsweise mit vorläufigen Annahmen und wahrscheinlichkeitsbehafteten Regeln
inhärente Sicherheit	Inhärente Sicherheit ist gegeben, wenn ein technisches System derart konstruiert ist, dass es auch nach dem Ausfall externer Komponenten sicher arbeitet
Konti-Anlage	Anlage im kontinuierlichen Betrieb
Maßnahme, aktiv	Maßnahme, die im Anforderungsfall automatisch oder manuell aktiviert wird (z. B. Notkühlung, Verriegelung, Abblasen über ein Sicherheitsventil)

Begriff	Erläuterung
Maßnahme, begrenzend	Vorkehrungen, die die Auswirkung eines Ereignisses verringern (z. B. Auffangwannen, Notfall-/Alarmpläne, Schutzzonen, Schutzausrüstung)
Maßnahme, organisatorisch	Maßnahmen, die im Anforderungsfall durch das Bedienpersonal umzusetzen sind, z. B. Anweisungen zum Abschalten
Maßnahme, passiv	Die Anlage/der Reaktor hält der maximal zu erwartenden Belastung (z. B. Druck, Temperatur) stand
Maßnahme, verhindernd	Vorkehrungen, die verhindern, dass Auswirkungen Schäden verursachen
Methode, deduktiv	Vom angenommenen bzw. aufgetretenen Ereignis aus werden verursachende Fehler gesucht
Methode, deterministisch	Es wird eine eindeutige Beziehung zwischen Ursache und Auswirkung zugrunde gelegt
Methode, halbquantitativ	Als Grundlage für die Risikobetrachtung werden sowohl „subjektive“ Parameter (Erfahrungswerte, Urteile) als auch „objektive“ Parameter (Messgrößen, Rechenwerte) herangezogen
Methode, Index-	Mit Indexmethoden wird eine relative Maßzahl für das von einer Anlage ausgehende Gefährdungspotenzial festgestellt (z. B. DOW Fire+Explosion Index, DOW Chemical Exposure-Index)
Methode, induktiv	Vom möglichen Fehler (z. B. Ausfall eines Elementes) wird das mögliche Ereignis abgeleitet
Methode, Matrix-	Mit Matrixmethoden wird anhand (relativer) Abstufungen verschiedener Parameter das von einer Anlage ausgehende Gefährdungspotenzial festgestellt (z. B. ZHA, FMEA, HRN)
Methode, probabilistisch	Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Fehlern (unerwünschten Abläufen) wird an Hand von Zuverlässigkeitsdaten berechnet und die Risiken quantifiziert
Minimalschnitt	Die Anzahl von Einzelereignissen, deren gleichzeitiges Auftreten notwendig und ausreichend für das Auftreten des unerwünschten Ereignisses ist
Primäreingänge	Das Top-Ereignis verursachende Komponenten
Redundanzgrad	Redundanzgrad $n+x$: n ist die Anzahl der zur Ereignisbeherrschung erforderlichen Redundanten (voneinander unabhängigen Sicherheitseinrichtungen), wobei n bei unterschiedlichen Betriebszuständen unterschiedlich sein kann; x ist die Anzahl zusätzlicher Redundanten



GLOSSAR

Begriff	Erläuterung
Risikograph	graphische Darstellung der Verknüpfung von Risikoparametern (z. B. Schwere, Häufigkeit, Vermeidungsmöglichkeit) mit erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Kategorien nach EN 954-1; PL nach ISO 13849-1; SIL nach IEC 61508)
Schadensbegrenzungseinrichtung	PLT-Einrichtung zur Schadensbegrenzung
Schutzeinrichtung	PLT-Einrichtung mit Schutzfunktion
Sensor	Einrichtung zur Messwerterfassung z. B. für Temperatur, Druck
Sollfunktion	Parameter, die den Zweck der betrachteten Einheit bzw. die Einzelschritte der Handlungssequenz verbal oder zahlenmäßig als Anforderung („Soll“) präzise beschreiben
Schutzmaßnahme, primär	Primäre Schutzmaßnahmen verhindern, dass eine Störung im Betriebsablauf weitergehende Folgen wie z. B. das Freisetzen von Substanzen nach sich zieht (z. B. durch automatische Abschaltung einer Anlage)
Schutzmaßnahme, sekundär	Sekundäre Schutzmaßnahmen beschränken die Auswirkungen eines dennoch eingetretenen Ereignisses auf ein beherrschbares Maß (z. B. durch Schutzwände und Auffangsysteme)
Top Down Algorithmus	Unter einem Algorithmus (auch Lösungsverfahren) versteht man eine genau definierte Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems in endlich vielen Schritten. Hierarchische Algorithmen können in agglomerierende (bottom-up) oder unterteilende (top-down) Algorithmen unterschieden werden
Überwachungseinrichtung	PLT-Einrichtung ohne Schutzfunktion





ABKÜRZUNGEN

Abkürzung	Erläuterung
AD-Merkblatt	Merkblatt der Arbeitsgemeinschaft Druck
BPCS	Basic Process Control System, nicht sicherheitsrelevante PLT-Einrichtungen
EMR	Elektro-, Mess- und Regeltechnik
FIA	Durchflussmessung (Flow) mit Anzeige (Indication) und Alarm
FQIS	Mengenmessung (Flow Quantity) mit Anzeige (Indication) und Schaltung (Switch)
HAZAN	Hazard analysis
HAZID	Hazard identification
HAZOP	Hazard and operability
HRN	Hazard Rating Numbers
IEC	International Electrotechnical Commission
IPL	Independent Protection Layers
LIA	Füllstandsmessung (Level) mit Anzeige (Indication) und Alarm
LDIA	Leckanzeiger (leak detection) mit Anzeige (Indication) und Alarm
LIS	Füllstandsmessung (Level) mit Anzeige (Indication) und Schaltung (Switch)
LZA	Füllstandsmessung (Level) mit Schutzfunktion und Alarm
OEG	Obere Explosionsgrenze
PA	Druckmessung (Pressure) und Alarm
PAAG	Prognose von Störungen Auffinden von Ursachen Abschätzen der Auswirkungen Gegenmaßnahmen
PFD	Probability of Failure on Demand
PIC	Druckmessung (Pressure) mit Anzeige (Indication) und Regelung (Control)

Abkürzung	Erläuterung
PIS	Druckmessung (Pressure) mit Anzeige (Indication) und Schaltung (Switch)
PIZA	Druckmessung (Pressure) mit Anzeige (Indication), Schutzfunktion und Alarm
PL	Performance Level (nach ISO 13849)
PLT	Prozessleittechnik
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
QIRA	(Gas)Konzentration (Quantity) mit Anzeige (Indication), Registrierung und Alarm
QISA	(Gas)Konzentration (Quantity) mit Anzeige (Indication), Schaltung (Switch) und Alarm
QRA	Quantitative Risikoanalyse
R&I-Schema	Rohrleitungs- und Instrumentierungs-Schema
RPZ	RisikoPrioritätsZahl
SGU	Sicherheit, Gesundheit, Umwelt
SIL	Safety Integrity Level (nach IEC 61508)
SIS	Safety Instrumented Systems
TI	Temperaturmessung mit Anzeige (Indication)
TIA	Temperaturmessung mit Anzeige (Indication) und Alarm
TIR	Temperaturmessung mit Anzeige (Indication) und Registrierung
TIS	Temperaturmessung mit Anzeige (Indication) und Schaltung (Switch)
TISA	Temperaturmessung mit Anzeige (Indication), Schaltung (Switch) und Alarm
TRCA	Temperaturmessung mit Registrierung, Regelung (Control) und Alarm
UEG	Untere Explosionsgrenze





Besuchen Sie den Internetauftritt der internationalen Sektionen:

Bauwirtschaft: www.issa.int/prevention-construction

Bergbau: www.issa.int/prevention-mining

Chemische Industrie: www.issa.int/prevention-chemistry

Eisen- und Metallindustrie: www.issa.int/prevention-metal

Elektrizität, Gas und Wasser: www.issa.int/prevention-electricity

Erziehung und Ausbildung: www.issa.int/prevention-education

Forschung: www.issa.int/prevention-research

Gesundheitswesen: www.issa.int/prevention-health

Information: www.issa.int/prevention-information

Landwirtschaft: www.issa.int/prevention-agriculture

Maschinen- und Systemsicherheit: www.issa.int/prevention-machines

Präventionskultur: www.issa.int/prevention-culture

