



issa

INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT | IVSS

Sektion für Prävention in der chemischen Industrie

Risikobeurteilung in der Anlagensicherheit

Das PAAG-/HAZOP-Verfahren und weitere praxisbewährte Methoden

3/2020



Herausgeber:



IVSS Sektion Chemie

Kurfürsten-Anlage 62
69115 Heidelberg
Deutschland

Telefon: +49 (0) 6221 5108 28104

Fax: +49 (0) 6221 5108 21199

<https://ww1.issa.int/de/prevention-chemistry>

5. Ausgabe 3/2020
ISBN 92-843-7037-X
ISSN 1015-8022

Copyright © IVSS 2020
Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Genehmigung



Risikobeurteilung in der Anlagensicherheit

Das PAAG-/HAZOP-Verfahren und weitere praxisbewährte Methoden

VISION ZERO 
Safety.Health.Wellbeing.

Die IVSS setzt sich aktiv für eine Welt ohne tödliche und schwere Arbeitsunfälle ein und unterstützt mit der Strategie „Vision Zero“ eine globale Präventionskultur, die Leben rettet sowie Sicherheit, Gesundheit und Wohlbefinden bei der Arbeit fördert.

Inhalt

	Vorwort	7
1	Einleitung	8
	1.1 Risikomanagement – eine Aufgabe mit verschiedenen Facetten	8
	1.2 Sicherheitstechnische Fragestellungen im Projektablauf	9
	1.3 Ermitteln und Bewerten von Prozessrisiken	11
	1.4 Ziel der Broschüre	12
2	Vorbereitung einer Sicherheitsbetrachtung	13
	2.1 Die Grundlagen	13
	2.2 Das Team	14
	2.3 Die Moderation	15
	2.4 Die Protokollführung und die Dokumentation	16
	2.5 Die Unterlagen und die Sitzungsorganisation	16
3	Wenn Sicherheitsbetrachtungen Neuland sind	19
	3.1 Etablierung von Sicherheitsbetrachtungen in einem Unternehmen	19
	3.2 Durchführung von Sicherheitsbetrachtungen durch externe Dienstleister	20
	3.3 Unterschiede zwischen Sicherheitsbetrachtung und Gefährdungsbeurteilung, Risikobeurteilung und Risikoanalyse	20
4	Das PAAG-Verfahren (HAZOP)	22
	4.1 Grundlagen	22
	4.2 Ablauf einer PAAG-Studie	25
	4.3 Modifikationen und Erweiterungen des PAAG-/HAZOP-Verfahrens	38
	4.4 Historie des PAAG-/HAZOP-Verfahrens	42
5	Checklisten	44
	5.1 Grundlagen	44
	5.2 Anwendung von Checklisten	44
6	Szenarienanalysen	46
	6.1 Grundlagen	46
	6.2 Anwendung	46



7	Die Risikomatrix	49
	7.1 Grundlagen	49
	7.2 Aufbau einer Risikomatrix	49
	7.3 Anwendung der Risikomatrix	53
8	Zurich Hazard Analysis (ZHA)	63
	8.1 Grundlagen	63
	8.2 Risikoermittlung	63
	8.3 Bewertung der Risiken	64
	8.4 Festlegung des Risikoprofils	64
	8.5 Beschreibung der Maßnahmen zur Risikoreduzierung	65
	8.6 Bestimmung des verbleibenden Risikos	65
9	Risikographen	67
	9.1 Risikograph gemäß Richtlinie VDI/VDE 2180	67
	9.2 Risikograph der DIN EN 50156-1	72
	9.3 Risikograph der DIN EN 62061	73
10	Risikoprioritätszahl	74
	10.1 Grundlagen	74
	10.2 Das Festlegen der Szenarien: die Fehlermöglichkeiten- und -einflussanalyse (FMEA) sowie die 5 M-Methode	76
11	Layers of Protection Analysis (LOPA)	79
	11.1 Grundlagen	79
	11.2 Durchführung einer LOP-Analyse	81
	Die IVSS	86
	Impressum	87





Vorwort

Die Sektion Chemie der IVSS beschäftigt sich seit 1978 mit dem Thema Gefahrenermittlung und Risikobeurteilung für Anlagen der verfahrenstechnischen Industrie. 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 Prozessanlagen ausgehen können. 2011 wurde diese Schrift um neue Ansätze ergänzt und inhaltlich weiterentwickelt.

Die vorliegende Broschüre fasst nun im Sinne eines ganzheitlichen Risikokonzeptes die Methoden der Risikoermittlung, Risikoanalyse und Risikobewertung zusammen und stellt die Sicherheitsbetrachtung als einen mehrstufigen Prozess dar, bei dem verschiedene Methoden zum Einsatz kommen. Ziel ist es, eine praxisorientierte Hilfestellung für die Auswahl und Anwendung der einzelnen Vorgehensweisen zu geben.

Die Sektion Chemie der IVSS will damit auch das Verständnis für die Bedeutung der Anlagensicherheit auf internationaler Ebene verbreiten.



Thomas Köhler
Präsident der Sektion Chemie

1 Einleitung

1.1 Risikomanagement – eine Aufgabe mit verschiedenen Facetten

Im Lebenszyklus einer verfahrenstechnischen Anlage stehen neben Fragen der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit stets auch Sicherheitsaspekte im Fokus. Diese müssen von Beginn an bei der Projektierung bedacht und berücksichtigt werden.

Egal, ob es sich um die Errichtung einer neuen Anlage, die Modifikation eines bestehenden Verfahrens oder um eine Überprüfung eines älteren Prozesses handelt: bei der Erstellung des Sicherheitskonzeptes sollten die Elemente des Risikomanagements berücksichtigt werden. Abbildung 1 zeigt die grundlegenden Teilschritte, die dabei anzuwenden sind.

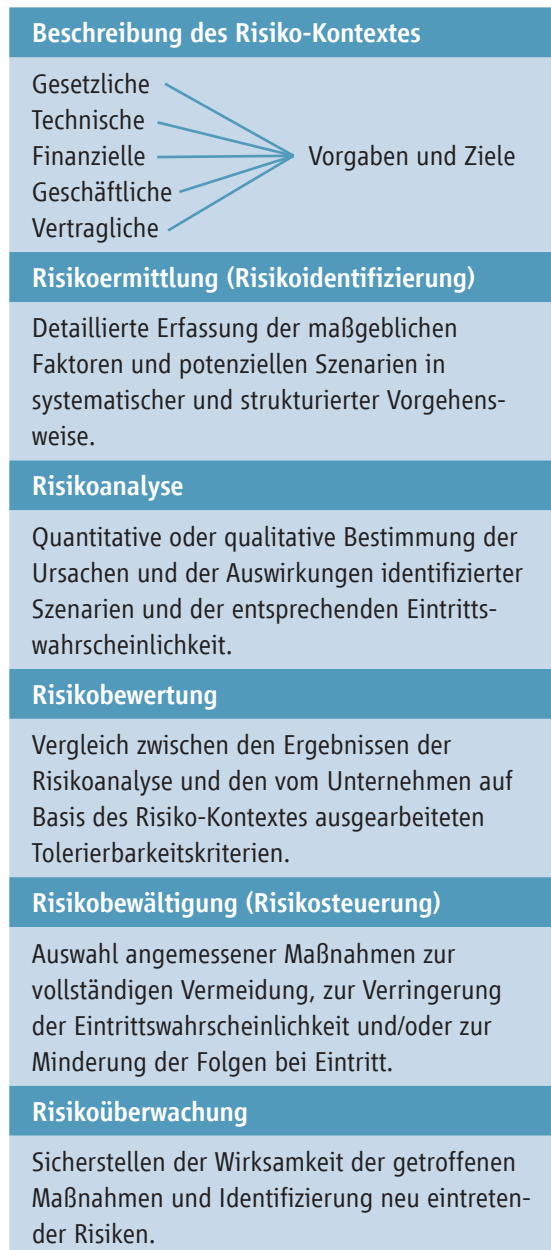


Abbildung 1: Teilprozesse des Risikomanagements. Nach ISO 31000 werden die drei Schritte Risikoermittlung, Risikoanalyse und Risikobewertung als Risikobeurteilung („Risk Assessment“) zusammengefasst.



1.2 Sicherheitstechnische Fragestellungen im Projektablauf

Risiko und Risikomanagement

Risikomanagement ist in Unternehmen unter anderem aus betriebswirtschaftlichen Aspekten verankert. So sind Aktiengesellschaften nach dem Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KonTraG) verpflichtet, ein Risikomanagement im Unternehmen zu implementieren, um den Fortbestand der Gesellschaft gegen gefährliche Entwicklungen zu sichern. Die entsprechenden Schritte dieses Risikomanagements lassen sich auf die Aspekte der Anlagensicherheit übertragen und finden sich auch im technischen Regelwerk wieder.

Die Norm ISO 9000:2015 versteht dabei unter Risiko „die Auswirkung von Ungewissheit auf ein erwartetes Ergebnis“. In anderem Kontext wird Risiko definiert als „Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Tragweite (potenzielle Auswirkungen) eines Ereignisses“. Weitere Definitionen sowie Informationen rund um das Thema finden sich im Internet beispielsweise unter www.risknet.de.

Während des Planungsverlaufs, beginnend von der Machbarkeitsstudie bis hin zur Realisierung, verfeinert sich der Detaillierungsgrad der Fragestellungen des Risikomanagements von allgemeinen Aspekten, wie generellen Standortfragen und Wirtschaftlichkeit, bis hin zu konkreten Anforderungen an die Sicherheit und Verfügbarkeit einzelner Komponenten.

In der praktischen Ausgestaltung erfordert dies für die verschiedenen Phasen unterschiedliche Betrachtungsmethoden von allgemeinen Screening-Verfahren hin zu spezialisierten Methoden der Sicherheitstechnik, was sich wie ein engmaschiger werdendes Sieb darstellen lässt (Abbildung 2). So wie sich der Detaillierungsgrad verfeinert, ändern sich die Betrachtungstiefe und der Personenkreis derjenigen, die die Entscheidung treffen.

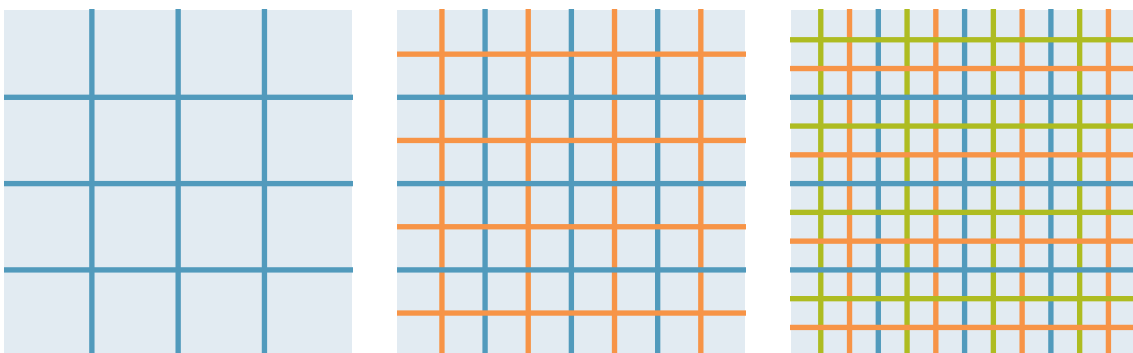


Abbildung 2: Verfeinerung des Detaillierungsgrad der Fragestellung Sicherheit



Abbildung 3 stellt beispielhaft dar, welche sicherheitstechnischen Fragestellungen die Phasen von der Machbarkeitsstudie bis hin zur Realisierung begleiten. Grundsätzlich gilt: damit erforderliche Kon-

sequenzen des Sicherheitskonzeptes so früh wie möglich und damit kostengünstig berücksichtigt werden können, müssen vor dem jeweiligen Schritt die notwendigen Informationen und Daten verfügbar sein.

Machbarkeitsstudie
<ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung der Hauptgefahren, die mit den Stoffen und dem Verfahren bzw. der Anlage verbunden sind (insbesondere unter Berücksichtigung toxischer, ökotoxischer und energetischer Aspekte). • Erstellung eines sicherheitstechnischen Grundkonzepts mit Optionen für inhärente Sicherheit. • Vorentscheidung über Verfahrenstechnologie und Standortalternativen. • Festlegung der Erfordernisse an Standort, brandschutztechnische Infrastruktur, Logistik und Umweltschutz. • Vorbesprechung behördlicher Genehmigungsfragen.
Vorplanung
<ul style="list-style-type: none"> • Präzisierung der Gefährdungspotenziale, die mit den Stoffen und dem Verfahren bzw. der Anlage verbunden sind. • Überprüfung des vorgelegten sicherheitstechnischen Grundkonzeptes. • Bestätigung und ggf. Ergänzung der vorgelegten Lösungsstrategie sowie Darlegung und Entscheidung, dass das gewählte Verfahren an dem vorgesehenen Standort aus sicherheitstechnischer Sicht durchgeführt werden kann. • Überprüfung des vorgelegten Umweltschutzkonzeptes und der Strategie zum Erhalt der behördlichen Genehmigungen.
Grundplanung
<ul style="list-style-type: none"> • Verabschiedung und Dokumentation des Anlagensicherheitskonzeptes. • Überprüfung der Planungsunterlagen auf Einhaltung des sicherheitstechnischen Grundkonzeptes sowie allgemeiner sicherheitstechnischer Anforderungen.
Detailplanung
<ul style="list-style-type: none"> • Detaillierte Überprüfung der Planungsunterlagen auf Einhaltung des Anlagensicherheitskonzeptes. • Durchführung und Dokumentation einer Sicherheitsbetrachtung und Festlegung einzelner Sicherheitsmaßnahmen.
Realisierung/Umsetzungskontrolle
<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Umsetzung der getroffenen Sicherheitsmaßnahmen vor der Inbetriebnahme.

Abbildung 3: Aspekte der Sicherheit in den Phasen des Projektablaufs



1.3 Ermitteln und Bewerten von Prozessrisiken

Ziel der Anlagensicherheit ist der Schutz von Beschäftigten und der Allgemeinheit, der Umwelt und von Sachwerten vor Stoff- und Energiefreisetzungen, vor Bränden und Explosionen. Um dieses Ziel zu gewährleisten, muss für verfahrenstechnische Anlagen zunächst der bestimmungsgemäße Betrieb definiert und die Anlage hierfür ausgelegt werden.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass der Betrieb derart gestört werden kann, dass es zu sicherheitsrelevanten Auswirkungen im Sinne der Anlagensicherheit kommen kann. Zur Beherrschung von Prozessrisiken sowie zur Erfüllung von Rechtsvorschriften und firmeninternen Vorgaben werden im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen daher auch mögliche Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Prozess analysiert und sicherheitstechnisch bewertet, um angemessene und geeignete Schutzkon-

zepte für die betrachteten verfahrenstechnischen Anlagen festzulegen. Diese Sicherheitsbetrachtungen folgen im Kern den zuvor genannten Schritten des Risikomanagements.

Abbildung 4 zeigt ausgewählte und in dieser Broschüre dargestellte Methoden der Ermittlung, Analyse, Bewertung und Bewältigung von Risiken. Damit diese Schritte erfolgreich sein können und ein effektives Risikomanagement gelingt, braucht es

- die Unterstützung durch die oberste Führungsebene,
- allgemein akzeptierte Vorgehensweisen,
- Kenntnisse und Routine im Umgang mit den Methoden,
- Fachwissen über die Anlage, den Prozess und die technischen Aspekte sowie
- eine positive Grundeinstellung aller Beteiligten.

Methode	PAAG	Checklisten	Szenarioanalyse	Risikomatrix	Risikograph	LOPA
Risikoermittlung	X	X	(X)			
Risikoanalyse	(X)		X	(X)	(X)	X
Risikobewertung				X	X	X
Risikobewältigung	(X)		(X)	(X)	X	x

Abbildung 4: Methodenübersicht für verschiedene Teilschritte des Risikomanagements in der Phase der Detailplanung verfahrenstechnischer Anlagen. „X“ steht für das eigentliche „Werkzeug“ der Methode, (x) für angebotene flankierende Hilfestellungen.

1.4 Ziel der Broschüre

Ziel der Broschüre ist es, praxisbewährte Methoden vorzustellen, die für die Risikobeurteilung in der Phase der Detailplanung verfahrenstechnischer Anlagen im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen verwendet werden (und die zum Teil auch Kriterien für die Risikobewältigung aufzeigen) sowie Denkanstöße für deren Adaption und Weiterentwicklung hinsichtlich betriebs- und prozessspezifischer Aspekte zu geben.

Zielgruppe sind Verantwortliche in verfahrenstechnischen Anlagen, die einen Einblick in die Methodik der Sicherheitsbetrachtungen gewinnen wollen. Die Broschüre dient nicht dazu, diese Methoden im Selbststudium zu erlernen und anzuwenden und vermittelt kein Fachwissen über Anlagen- und Verfahrenssicherheit.

Systematische Beurteilungsmethoden, die das Risikomanagement unterstützen, werden seit den 1950er Jahren insbesondere in der Luft- und Raumfahrt und bei kerntechnischen Anlagen eingesetzt, seit den 1960er Jahren auch bei der Erdölgewinnung und in Industrieanlagen. In dieser Broschüre wird gezeigt, wie vielfältig literaturbekannte „Urformen“ modifiziert werden können, um ein Maximum an Effektivität wie auch Effizienz zu gewinnen.

Auf eine Wertung der Methoden wird bewusst verzichtet, denn letztlich steht und fällt jede Methode im Wesentlichen mit der Erfahrung und Kompetenz der Moderation und des gesamten Teams.



2 Vorbereitung einer Sicherheitsbetrachtung

2.1 Die Grundlagen

Im Rahmen der Vorbereitung einer Sicherheitsbetrachtung müssen verschiedene Dinge verbindlich geklärt, zusammengetragen und gegebenenfalls hinsichtlich ihrer Aktualität geprüft werden. Abbildung 5 listet wesentliche Elemente der Vorbereitung auf.

Die grundlegenden Aspekte des Risikomanagements sollten zweckmäßigerweise vorab festgelegt werden (siehe hierzu auch „Etablierung einer Sicherheitskultur im Unternehmen“).

Formulierung der Zielstellung, insbesondere Festlegung
<ul style="list-style-type: none">• der Schutzgüter und Schutzziele, z. B. Beschäftigte, Allgemeinheit, Umwelt, Sachwerte (materielle Werte bzw. Verfügbarkeit),• des räumlichen und verfahrenstechnischen Umfangs der Studie, einschließlich Abgrenzung zu anderen Anlagen und Anlagenteilen bzw. Prozessen,• der späteren Verwendung der Sicherheitsbetrachtung, z. B. für Genehmigungsunterlagen nach Störfall-Verordnung.
Auswahl der Vorgehensweise für das Risikomanagement, insbesondere
<ul style="list-style-type: none">• Methode der systematischen Risikoermittlung,• Methode der quantitativen oder qualitativen Risikoanalyse,• Festlegung der Kriterien für die Risikobewertung und Risikobewältigung.
Auswahl der Hilfsmittel für die Dokumentation, insbesondere
<ul style="list-style-type: none">• Software,• Dokumentationsvorlagen,• Dokumentationsmanagement.
Auswahl des Teams und der involvierten Fachstellen, insbesondere
<ul style="list-style-type: none">• einzubeziehende Abteilungen, z. B. Produktion, Ingenieurtechnik, Mess- und Regeltechnik, Sicherheit und Umweltschutz,• Moderation,• Protokollführung.
Sammeln und Aufbereiten der Informationen und Unterlagen, insbesondere
<ul style="list-style-type: none">• Prozessbeschreibung und Arbeitsanweisungen,• R&I-Schemata und Aufstellungspläne,• PLT-Funktionspläne,• Sicherheitsdatenblätter und Sicherheitstechnische Kenngrößen.

Abbildung 5: Grundlegende Aspekte der Vorbereitung einer Sicherheitsbetrachtung

2.2 Das Team

Die Zusammensetzung des Teams, das die Sicherheitsbetrachtung durchführt, richtet sich nach der Aufgabenstellung und der betrachteten Anlage, wobei auf Beschäftigte der operativen Führungsebene in der Regel nicht verzichtet werden sollte. Die Auswahl der Teammitglieder sollte unter fachlichen und persönlichen Gesichtspunkten erfolgen. Dies gilt in besonderem Maße für die Moderation.

Das optimale Team zeichnet sich aus durch Interdisziplinarität, Wissen und Erfahrung. Die Mitglieder sind autorisiert, eigenständig Entscheidungen zu treffen. Wichtig für den Erfolg der Studie ist, dass dem Team ausreichend Zeit für die Sicherheitsbetrachtung (einschließlich Vor- und Nachbereitung) gegeben wird und es bei den Sitzungen störungsfrei arbeiten kann.

Die ideale Teamgröße liegt bei etwa fünf bis sechs Personen. In einem kleinen Team fehlt es möglicherweise an verfahrenstechnischem oder sicherheitstechnischen Know-How, gruppendynamisch kann das Team leicht von einem Mitglied dominiert werden. Ein zu großes Team erschwert die Konsensfindung und fördert die Passivität einzelner Teilnehmer (bzw. begünstigt Nebenaktivitäten).

Wenn bei einer komplexen Studie eine größere Zahl an Mitwirkenden erforderlich ist, kann es sinnvoll sein, die Aufgabenstellung in mehrere Abschnitte aufzuteilen und die Zusammensetzung des Teams entsprechend anzupassen.

Eine Vorbereitung der Teammitglieder zur jeweiligen Methodik der Risikobeurteilung erleichtert den Einstieg in die Arbeit.

**Nobody is perfect –
but a team can be**



2.3 Die Moderation

Aufgabe der Moderation ist es, die Teammitglieder zu kreativem Arbeiten zu motivieren und die aufkommenden Diskussionen zu moderieren. Für diese Tätigkeit muss die Moderation sorgfältig vorbereitet sowie in der Anwendung der Methoden ausgebildet und erfahren sein. Sie sollte nicht näher an das zu untersuchende Objekt gebunden sein, weil sonst die Gefahr der Betriebsblindheit besteht und es an der erforderlichen Objektivität bei der Betrachtung der Ursachen und Auswirkungen der Abweichungen fehlen könnte. Abbildung 6 zeigt die Aufgaben der Moderation im Rahmen der Sicherheitsbetrachtung.

Aufgaben der Moderation

- Leitung des methodischen Vorgehens.
- Steuerung der Diskussion und der Gruppendynamik.
- Berücksichtigung der Vollständigkeit der Betrachtung.
- Kontrolle der Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Dokumentation.

Abbildung 6: Aufgaben der Moderation während der Sitzungen

Von den Fähigkeiten und dem Geschick der Moderation ist der Erfolg der Studie in großem Maße abhängig.

In größeren Unternehmen wird die Moderation häufig von Stabsstellen übernommen. Neben eigenen fachspezifischen Kenntnissen und dem Bewusstsein über die unterschiedlichen Zwänge und Erfordernisse der beteiligten Abteilungen sind auch Kontakte innerhalb und außerhalb des Unternehmens von Vorteil.

Falls es seitens der Anforderungskriterien bzw. wegen „zu dünner Personaldecke“ nicht möglich ist, eine geeignete Person zur Moderation im eigenen Unternehmen zu finden, kann es angezeigt sein, eine professionelle externe Moderation vertraglich zu binden. Diese Personen sind in der Regel weniger betriebsblind und unabhängig von potenziellen innerbetrieblichen Spannungen. Außerdem kann eine externe Moderation Erfahrungen einbringen, die im Unternehmen vielleicht nicht bzw. nicht ausreichend vorliegen. Allerdings muss die Auswahl sorgsam getroffen werden und es muss sichergestellt sein, dass der Praxisbezug aus dem Unternehmen selbst kommt.

2.4 Die Protokollführung und die Dokumentation

Die Protokollführung muss die Ergebnisse der Diskussion dokumentieren. Hierbei ist eine enge Zusammenarbeit mit der Moderation erforderlich, was dazu führt, dass Moderation und Protokoll häufig in Personalunion durchgeführt werden. Diese Doppelrolle erfordert ein hohes Maß an Konzentration und Disziplin. Abbildung 7 zeigt die Anforderungen an die Dokumentation während und nach der Sicherheitsbetrachtung.

Ein entsprechendes Dokument behält seinen Wert nur, solange es aktuell ist. Die Sicherheitsbetrachtung muss daher sowohl in ihren beschreibenden Teilen als auch in der systematischen Risikoermittlung und -bewertung stets auf neuestem Stand gehalten werden. Eine Dokumentation, die nicht dem aktuellen Stand entspricht, ist eher schädlich als nützlich.

Anforderungen an die Dokumentation

- Die Dokumentation muss vollständig und gut verständlich sein, so dass auch Personen, die nicht mit der Vorbereitung und Durchführung der Studie befasst waren, nach längerer Zeit die Betrachtung nachvollziehen können.
- Jede Maßnahme muss klar definiert und eindeutig formuliert sein, um eine richtige Umsetzung zu gewährleisten.
- Alle Änderungen an dem Prozess, sei es an der Technik, den Stoffen oder den Verfahrensbedingungen, müssen im Rahmen eines Änderungsmanagements (Management of Change, MOC) hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischen Relevanz hinterfragt und die Studie entsprechend fortgeschrieben werden.

Abbildung 7: Anforderungen an die Dokumentation

2.5 Die Unterlagen und die Sitzungsorganisation

Welche Unterlagen für eine Sicherheitsbetrachtung erforderlich sind, hängt im Wesentlichen von dem Umfang und der Komplexität der betrachteten Anlage ab. In der Regel gehören zur Vorbereitung einer Studie:

- Unterlagen beschaffen und in geeigneter Art und Weise aufbereiten,
- Verbindlichen Zeitplan abstimmen und festlegen,
- Dokumentation der Studie vorbereiten.

Die Unterlagen müssen zunächst daraufhin überprüft werden, ob sie die Anlage hinreichend, aktuell und widerspruchsfrei beschreiben. Bei bestehenden Anlagen muss hierbei geprüft werden, ob Anlage und Unterlagen übereinstimmen. Je vollständiger

die Unterlagen zu Beginn einer Studie zur Verfügung stehen, desto weniger Fragen bleiben unbeantwortet. Wenn Unterlagen dagegen fehlerhaft oder unvollständig sind, ist die Sicherheitsbetrachtung wertlos.

Eine gute Organisation der Sitzungen kann dazu beitragen, den Ablauf der Besprechungen zu optimieren. Ein ausreichend großer Raum mit ergonomischen Sitzgelegenheiten, Klima- und Lichtverhältnissen sowie ein störungsfreies Umfeld ist hier empfehlenswert.

Abbildung 8 zeigt eine beispielhafte Checkliste für die Vorbereitung einer Sicherheitsbetrachtung für verfahrenstechnische Anlagen.



	verantwortlich	erledigt
1. Organisation		
Teilnehmende festlegen:		
• Planung:		
• Betrieb:		
• Technik:		
• Prozessleittechnik:		
• Sicherheit:		
• Moderation:		
• Schriftführung:		
•		
Teilnehmende/Verantwortliche informieren		
Termin(e) abstimmen		
Raum/Technik reservieren (ggfs. Getränke)		
2. Betrachtete Anlage		
Unterlagen auf Aktualität prüfen:		
• Prozessbeschreibung		
• Arbeitsanweisungen		
• R&I-Schemata, Aufstellungspläne		
• PLT-Funktionspläne		
• Sicherheitsdatenblätter		
• Reaktionsdaten		
• Zoneneinteilung/Ex-Dokument		
•		
Technische Standards/Regelwerke besorgen bzw. einsehen		
Herstellerangaben besorgen bzw. einsehen		
(Beinahe-) Ereignisse und Probleme recherchieren		
3. Dokumentation der Studie		
Formblätter/Formatvorlagen vorbereiten		
Risikomatrix vorbereiten		

Abbildung 8: Checkliste zur Vorbereitung einer Sicherheitsbetrachtung





3 Wenn Sicherheitsbetrachtungen Neuland sind

3.1 Etablierung von Sicherheitsbetrachtungen in einem Unternehmen

Sofern in einem Betrieb Anlagen in den Geltungsbereich der Störfall-Verordnung fallen und die Kriterien für einen „Betriebsbereich der oberen Klasse“ erfüllt sind, müssen systematische Sicherheitsbetrachtungen durchgeführt und die entsprechenden Strukturen im Sicherheitsmanagement abgebildet werden.

Aber auch für Betriebe, die nicht unter die Störfall-Verordnung fallen, kann die Durchführung von Sicherheitsbetrachtungen von Nutzen sein. Damit hierfür ein erfolgreiches und nachhaltiges Konzept entwickelt werden kann, braucht es die Unterstützung durch die oberste Führungsebene. Abbildung 9 benennt einige Aspekte, die sich an die Unternehmensleitung und das Management richten.

Voraussetzungen seitens der obersten Führungsebene

- Planungen bzw. Altanlagen durch ein Team von Beschäftigten, ggf. mit externer Unterstützung, sicherheitstechnisch in Frage stellen lassen.
- Personelle und finanzielle Ressourcen bereitstellen und dem Team Kompetenzen überlassen.
- Kriterien für die Risikobewertung nachvollziehbar festlegen und einhalten.
- Prioritäten zugunsten der Sicherheitsarbeit setzen und diese mit Nachdruck vertreten.

Abbildung 9: Voraussetzungen seitens der obersten Führungsebene

Der erste Schritt zur Einführung der Vorgehensweise in einem Unternehmen ist, die Leitung davon zu überzeugen, dass Sicherheitsbetrachtungen einen wichtigen Baustein in der Sicherheitsphilosophie des Unternehmens darstellen. Das grundsätzliche Vorgehen sollte im Konsens mit allen Betroffenen festgelegt und in Direktiven, Werknormen o. Ä. beschrieben werden. Im Einzelfall kann es auch durch eine Person veranlasst werden, die über die nötige Autorität verfügt. Es ist sinnvoll, alle direkt oder indirekt beteiligten Personen (einschließlich der jeweiligen Vorgesetzten) im Vorfeld über den Sinn und den Aufwand der Arbeit zu informieren.

Werden Sicherheitsbetrachtungen nur durchgeführt, weil „es andere auch machen“, oder „es von einer Behörde verlangt wird“, steht zu befürchten, dass die damit erzielten Ergebnisse in keinem akzeptablen Verhältnis zum erforderlichen Aufwand stehen, weil die Dokumentation zum Selbstzweck wird. Wenn die Unterstützung des Managements fehlt und die beschlossenen Maßnahmen nicht umgesetzt werden, sind Sicherheitsbetrachtungen reine Zeitverschwendung.

3.2 Durchführung von Sicherheitsbetrachtungen durch externe Dienstleister

Die Durchführung einer kompletten Sicherheitsbetrachtung durch einen externen Dienstleister ohne Beteiligung der Betriebsverantwortlichen mag vordergründig „ressourcenschonender“ sein, birgt aber Nachteile und Risiken:

- Ein externer Dienstleister kann nicht die gleiche Betrachtungstiefe erreichen wie eine unter Mitwirkung der Betreiberspezialisten durchgeführte Studie, weil betriebliche Erfahrungen im Laufe der Diskussion nicht einfließen können.
- In der Dokumentation der Studie wird wie in einem Ergebnisprotokoll nicht der gesamte Diskussionsverlauf wiedergegeben, so dass zwar der Handlungsbedarf aufgeführt, aber das tiefere Verständnis für die Anlage nicht an die betrieblichen Verantwortliche weitergegeben wird.
- Es ist für die Sicherheitskultur des Unternehmens abträglich, wenn Sicherheit nicht als ureigene Aufgabe des Betreibers begriffen wird.

3.3 Unterschiede zwischen Sicherheitsbetrachtung und Gefährdungsbeurteilung, Risikobeurteilung und Risikoanalyse

Eine Sicherheitsbetrachtung ist nicht identisch mit einer Gefährdungsbeurteilung.

Die **Gefährdungsbeurteilung** dient dem Schutz der Beschäftigten und wird maßgeblich gefordert in der Europäischen Richtlinie 89/391/EWG über die „Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit“, in Deutschland umgesetzt im § 5 Arbeitsschutzgesetz. Daneben wird die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung konkretisiert im § 6 der Gefahrstoffverordnung, im § 3 der Betriebs-sicherheitsverordnung und nicht zuletzt in der DGUV Vorschrift 1.

In den einschlägigen Schriften werden etwa ein Dutzend verschiedener Gefährdungsfaktoren aufgezählt, die im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind. Hierzu gehören insbesondere mechanische Gefährdungen, Gefährdungen durch Absturz von Personen, Lasten oder

Materialien, elektrische Gefährdungen, Gefährdungen durch Dampf und Druck, Brand- und Explosionsgefährdung, thermische Gefährdungen (z. B. Hitze, Kälte), Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen (z. B. Lärm, Vibration, optische Strahlung, elektromagnetische Felder), Gefährdung durch Arbeitsumgebungsbedingungen (z. B. Klima, Beleuchtung), Gefährdungen durch physische Belastungen (z. B. manuelle Tätigkeiten wie die Handhabung von Lasten), Gefährdungen durch psychische Belastungen. Alle potenziellen Einwirkungen auf die Gesundheit der Beschäftigten sind hier zu betrachten.

Für Anlagen, von denen die Gefahren schwerer Unfälle ausgehen können und die der Richtlinie 2012/18/EU („Seveso-III-Richtlinie“) unterliegen, müssen Risikoanalysen durchgeführt werden, die auf einer **Risikobeurteilung** beruhen. Bei der nationalen Umsetzung in der Zwölften Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes



(Störfall-Verordnung) müssen Betreiber von Betriebsbereichen der oberen Klasse im **Sicherheitsbericht** darlegen, dass die **Gefahren von Störfällen** ermittelt wurden. Als entsprechende Szenarien nennt die Störfallverordnung Brände und Explosionen sowie die Freisetzungen gefährlicher Stoffe in Luft, Wasser oder Boden, die Beschäftigte, aber auch die Allgemeinheit, die Umwelt und Sachwerte beeinträchtigen können.

Damit sind bei der hierzu geforderten **systematischen Sicherheitsbetrachtung** über die Beschäftigten hinaus weitere Schutzgüter zu berücksichtigen. Andererseits werden in einer Sicherheitsbetrachtung nicht alle im Kontext mit der Gefährdungsbeurteilung genannten Faktoren näher analysiert, sondern in der Regel nur diejenigen, die das Potenzial haben, schwere Unfälle zu verursachen. Bei der Anlagensicherheit geht es zu einem guten Teil um potenzielle Auswirkungen über den Arbeitsplatz hinaus. Und um Ursachen, die nicht nur offensichtlich sind, sondern möglicherweise an ganz anderen Stellen des verfahrenstechnischen Prozesses eskalieren können. Die nach Störfall-Verordnung geforderte „eingehende Beschreibung der Szenarien möglicher Störfälle nebst ihrer Wahrscheinlichkeit oder den Bedingungen für ihr Eintreten, einschließlich einer Zusammenfassung der Vorfälle, die für das Eintreten jedes dieser Szenarien ausschlaggebend sein könnten, unabhängig davon, ob die Ursachen hierfür innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs liegen“ kann dabei eine Herausforderung darstellen. Von daher werden bei entsprechenden Sicherheitsbetrachtungen in der Regel Experten hinzugezogen, die Wissen und Erfahrung einbringen und so auch auf versteckte Gefährdungen und verzwickte Auswirkungen hinweisen können. Anlagensicherheit ist immer Teamarbeit und lebt davon, dass Praxis und Theorie sich ergänzen.

Für das Inverkehrbringen von Maschinen wiederum nennt die EG-Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) im Anhang I als Pflicht des Herstellers eine **Risiko-beurteilung**, um **Gefährdungen und Gefährdungssituationen** zu ermitteln. Für das Inverkehrbringen von Druckgeräten ist in der Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU eine analoge Forderung nach einer Risikoanalyse genannt. In Deutschland erfolgte die Umsetzung der Maschinen- und der Druckgeräterichtlinie durch das Produktsicherheitsgesetz. Nach § 3 Produktsicherheitsgesetz darf ein Produkt „nur auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn es bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht gefährdet.“ Letztlich ist dies auch der Fokus bei der Gefährdungsbeurteilung im Arbeitsschutz: Der Arbeitgeber ermittelt die bei der Verwendung des Arbeitsmittels auftretenden Gefährdungen.

Aufgrund der verschiedenen rechtlichen Vorgaben unterscheiden sich somit **Gefährdungsbeurteilung und Sicherheitsbetrachtung** hinsichtlich der betrachteten Schutzgüter und Gefährdungsfaktoren. Von daher kann weder die Betrachtungsweise der Arbeitssicherheit die Anlagensicherheit vollständig erfassen, noch schließt umgekehrt eine Sicherheitsbetrachtung der Anlagensicherheit alle Aspekte der Arbeitssicherheit ein. Letztlich handelt es sich um zwei verschiedene Blickwinkel auf Sicherheit und Gesundheitsschutz, die jeweils eine eigenständige Betrachtung rechtfertigen.

4 Das PAAG-Verfahren (HAZOP)

4.1 Grundlagen

Das PAAG-Verfahren beschreibt eine systematische Vorgehensweise zum Auffinden möglicher Abweichungen und Störungen in Systemen aller Art. Etabliert hat sich die Methode, die identisch mit dem HAZOP-Verfahren¹ ist, insbesondere als Instrument der Sicherheitstechnik in der Prozess-, Pharma- und Petrochemie. Das Akronym PAAG steht dabei für die vier Schritte

Prognose
Systematische Suche möglicher Abweichungen und Störungen.
Auffinden der Ursachen
Ermitteln der Ursachen der jeweiligen Abweichungen.
Abschätzen der Auswirkungen
Ermitteln der Folgen der Abweichungen und der möglichen Konsequenzen.
Gegenmaßnahmen
Bewerten vorhandener Maßnahmen und Entscheidung über angemessene weitere Gegenmaßnahmen

Abbildung 10: Schritte des PAAG-/HAZOP-Verfahrens

Charakteristisch für das Verfahren ist der Ablauf als ein methodisches, gelenktes Brainstorming in einer Gruppe von Expertinnen und Experten verschiedener Fachrichtungen.

Originäres Ziel von PAAG/HAZOP ist es, durch systematische Fragestellungen mögliche Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb aufzudecken („Prognose“, entsprechend der Risikoermittlung). In den nachfolgenden Schritten werden auf Basis des Fachwissens der Expertinnen und Experten die jeweiligen Ursachen und Auswirkungen ermittelt (entsprechend einer Risikoanalyse ohne den Aspekt der jeweiligen Wahrscheinlichkeit) sowie geeignete Maßnahmen zur Verhinderung der Szenarien aufgezeigt (entsprechend der Risikobewältigung). Der Schritt einer Risikobewertung war bei PAAG/HAZOP ursprünglich nicht vorgesehen, da die entsprechenden Begriffe erst später etabliert wurden. Dieses Defizit wird durch Kombination von PAAG/HAZOP mit einer entsprechenden Methode behoben.

Zentrale Bausteine des Verfahrens sind die Definition von „Sollfunktionen“, die den Sollzustand, also den bestimmungsgemäßen Betrieb des Systems detailliert beschreiben, und darauf aufbauend die Anwendung so genannter Leitworte, mittels derer die Abweichungen und Störungen „generiert“ werden. Üblicherweise werden sieben Leitworte verwendet, die jeweils mit einer bestimmten Interpretation einhergehen.

¹ Siehe hierzu Kapitel „Historie des PAAG-/HAZOP-Verfahrens“

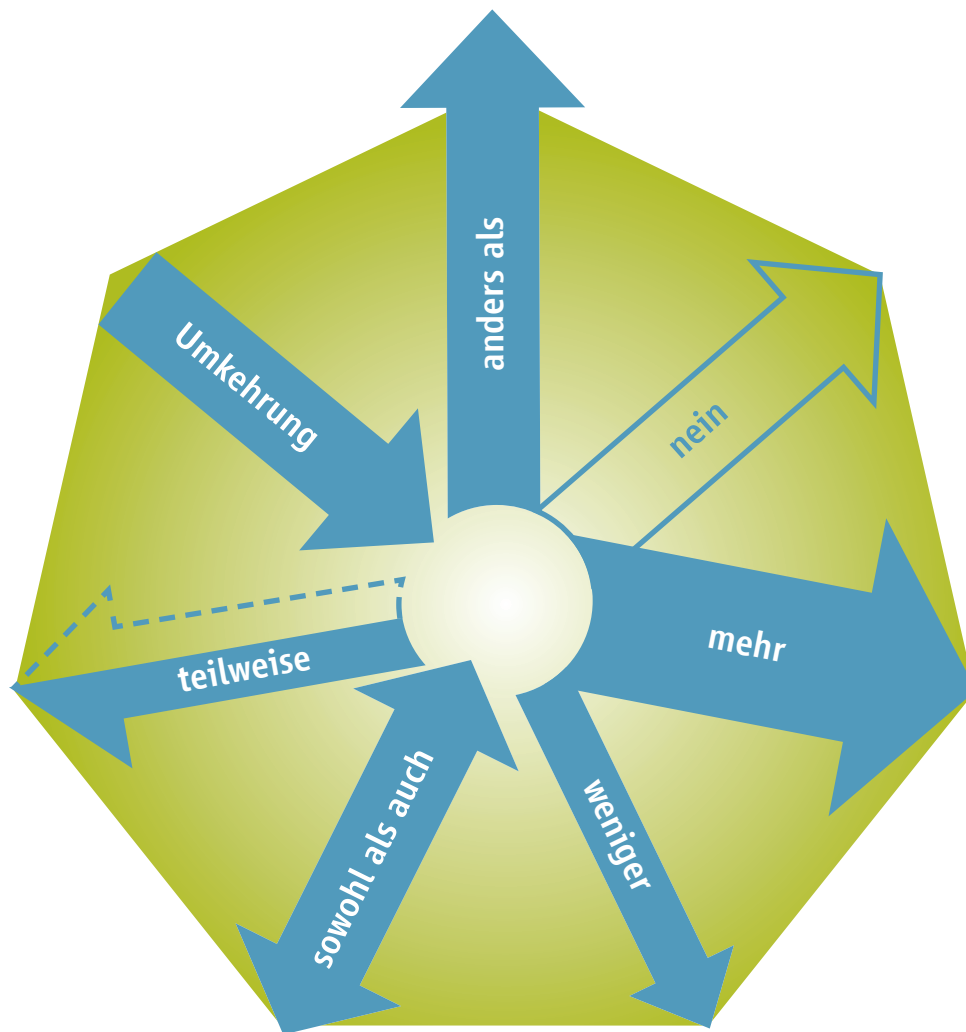


Abbildung 11: Leitworte des PAAG-/HAZOP-Verfahrens

Die Studie wird immer von einer interdisziplinären Gruppe bearbeitet, deren Teilnehmende aus unterschiedlichen Fachbereichen stammen (bei verfahrenstechnischen Anlagen typischerweise aus der Produktion bzw. der Verfahrensentwicklung, der Mess- und Regeltechnik, der Ingenieurtechnik und

Sicherheitsfachleuten). Somit können unterschiedliche Gesichtspunkte und Erfahrungen berücksichtigt werden. Geleitet wird die Studie von einer möglichst unabhängigen Moderation; hinzu kommt die Protokollführung, die ggf. in Personalunion mit einer der vorgenannten Rollen sein kann.

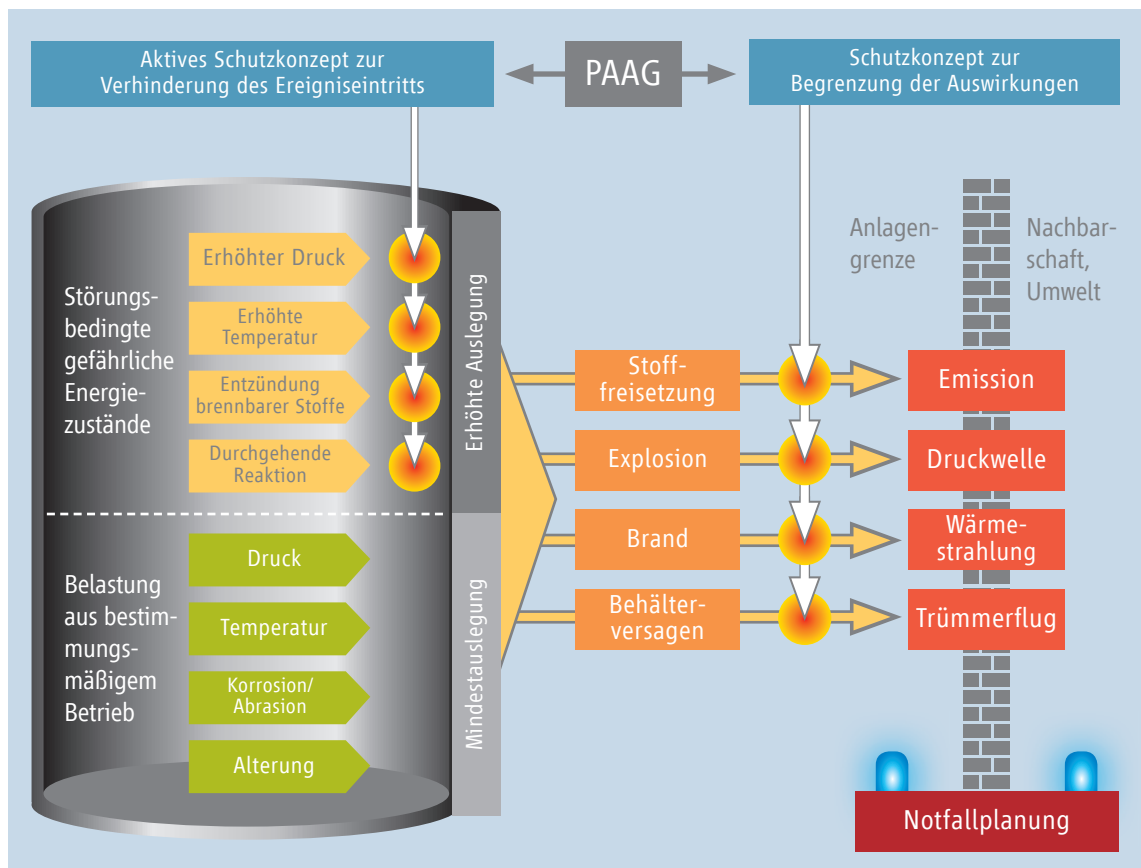


Abbildung 12: Typische Fragestellungen aus der Anwendung des PAAG/HAZOP-Verfahrens

Abbildung 12 zeigt typische Fragestellungen aus der Anwendung des PAAG-/HAZOP-Verfahrens. Hinterfragt werden in der Regel nicht die Belastungen aus dem bestimmungsgemäßen Betrieb, sondern störungsbedingte gefährliche (Energie-) Zustände. Das bedeutet, dass als Grundlage für die Studie ein „robustes“ Betriebskonzept vorliegen und PAAG/HAZOP nicht planungsbegleitend für die Auslegung der Anlage eingesetzt werden sollte.

Von den Teilnehmenden einer PAAG/HAZOP-Studie ist die Bereitschaft zu fordern, auch rein hypothetische Störungen infolge möglicher Fehler von Technik und Mensch gedanklich zuzulassen und entsprechende Auswirkungen nachzuvollziehen.

Als Ergebnis einer entsprechenden Studie steht ein Schutzkonzept zur Verhinderung des Eintritts von Störungen bzw. zur Begrenzung der Auswirkungen. Die Notfallplanung für Szenarien, die im „Dennochfall“ die Anlagengrenze überschreiten, ist nicht Gegenstand der PAAG/HAZOP-Studie.

Da PAAG/HAZOP eine umfassende, aber auch relativ aufwendige Methodik der Risikoeermittlung darstellt, ist bereits im Vorfeld festzulegen, welche Funktionseinheiten der betreffenden Anlage untersucht werden sollen. Spezielle Probleme und Maßnahmen, z. B. des Brand- und Explosionsschutzes, können außerhalb der PAAG/HAZOP-Studie von den zuständigen Fachleuten behandelt werden.



4.2 Ablauf einer PAAG-Studie

Eine Sicherheitsbetrachtung nach PAAG/HAZOP läuft üblicherweise in folgenden vier Schritten ab:

4.2.1 Prognose von Abweichungen

Im ersten Schritt gilt es, mögliche Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb des betrachteten Verfahrens vorherzusagen. Hierzu wird der zu untersuchende Prozess oder das System zunächst in überschaubare „Funktionseinheiten“ gegliedert. Der Umfang der Funktionseinheiten richtet sich insbesondere nach der Komplexität der Anlage, aber auch nach der Erfahrung des Teams mit PAAG sowie nach den gesuchten Gefahrenpotentialen. Für die Teamdiskussion hat es sich bewährt, die jeweils betrachtete Funktionseinheit in der Unterlage zu markieren, so dass deutlich wird, welches Anlagenteil Gegenstand der Betrachtung ist.

Der bestimmungsgemäße Betrieb jeder einzelnen Funktionseinheit wird danach detailliert als „Sollfunktion“ beschrieben. Hierzu wird formuliert, wie die ausgewählte Funktionseinheit arbeiten soll bzw. welche Tätigkeiten in Verbindung mit der Funktionseinheit durchgeführt werden sollen. In der Praxis stellt sich das Formulieren der Sollfunktionen häufig als der entscheidende Teil einer PAAG-Studie dar. Dabei gibt es nie die eine absolut „richtige“, sondern nur die für die jeweiligen Umstände optimale Formulierung. Aber auch nicht optimale Sollfunktionen führen in der Regel zu einem vergleichbaren Ergebnis.

Beispiel für eine ungenügende Sollfunktion:

Koche Espresso.

Anmerkung: nicht geeignet, viel zu wenig Informationsgehalt.

Beispiel für eine umfassende Sollfunktion:

Fülle den Wasserbehälter mit 100 ml Wasser und das Espressosieb mit 7 g gemahlene Kaffeebohnen, erhitze das Wasser auf 130 °C und drücke es mit dem eigenen Dampfdruck durch das Espressopulver in die Tasse.

Anmerkung: ausreichender Informationsgehalt in komplexer Zusammenfassung. Grundsätzlich machbar, insbesondere bei geübten Teams.

Beispiel für eine Aufteilung des Prozesses in Sollfunktionen für Teilschritte:

1. Befülle den Wasserbehälter mit 100 ml Wasser.
2. Befülle das Espressosieb mit 7 g gemahlene Kaffeebohnen.
3. Erhitze das Wasser auf 130 °C.
4. Drücke das erhitzte Wasser mit dem eigenen Dampfdruck durch das Espressopulver in die Tasse.

Anmerkung: Informationsgehalt identisch zu Beispiel B ausreichend, hier aber Aufteilung in kleinere Schritte. Grundsätzlich machbar, ggf. zu empfehlen bei ungeübten Teams. Durch die kleineren Sequenzen kommen Auswirkungen von Abweichungen häufig erst bei nachfolgenden Schritten zum Tragen.

Beispiel für eine Aufteilung des Prozesses in kleinteilige Sollfunktionen:

1. Öffne den Deckel des Wasserbehälters durch Drehen im Gegenuhrzeigersinn.
2. Befülle den Wasserbehälter mit 100 ml Wasser aus einem Messgefäß.
3. Verschließe den Deckel des Wasserbehälters durch Drehen im Uhrzeigersinn.
4. Schraube das Espressosieb ab durch Drehen im Gegenuhrzeigersinn.
5. Befülle das Espressosieb mit dem Messlöffel mit 7 g gemahlene Kaffeebohnen.
6. Schraube das gefüllte Espressosieb durch Drehen im Uhrzeigersinn an.
7. Schalte die Heizung durch Betätigen des Schalters ein.
8. Erhitze das Wasser im Wasserbehälter auf 130 °C.
9. Drücke das erhitzte Wasser mit eigenem Dampfdruck zum Espressosieb.
10. Extrahiere Kaffee aus den Kaffeebohnen.
11. Führe den Extrakt in die untergestellte Tasse.

Anmerkung: Überzogene Detaillierung. Durch die größere Zahl der Sollfunktionen wird mehr Formalismus erzeugt, durch die Überschneidungen werden jedoch nicht mehr Szenarien aufgedeckt.



In der Sollfunktion sind alle prozessrelevanten Parameter aufzulisten, damit diese bei der Diskussion nicht als Gefährdungspotentiale übersehen werden. Für eine Untersuchung verfahrenstechnischer Anlagen umfasst die Sollfunktion die charakteristischen Angaben zum jeweiligen Prozessschritt (Abbildung 13). Die Elemente können dabei je nach Bedarf ergänzt oder variiert werden.

Beispiele für Elemente einer Sollfunktion:

- Tätigkeit,
- Stoff bzw. Komponenten eines Stoffgemisches,
- Menge bzw. Mengenstrom,
- Temperatur,
- Druck,
- Zeitpunkt bzw. Reihenfolge,
- Zeitraum bzw. Geschwindigkeit,
- Ort bzw. Weg,
- Richtung,
- Weiterhin z. B.: Viskosität, Konzentration, pH-Wert.

Abbildung 13: Elemente einer Sollfunktion für verfahrenstechnische Anlagen

Wie umfangreich die jeweilige Sollfunktion hinsichtlich des räumlichen und funktionellen Umfangs sein sollte und welche Elemente zur Beschreibung des Prozesses sinnvollerweise in die Sollfunktion aufgenommen werden, ist eine Abwägung, die Routine benötigt und nur mittels umfassender praktischer Erfahrung gelingt.

Ein Prozess kann viele Dutzend bis hin zu Hunderten von Sollfunktionen umfassen. Entsprechend ist der Zeitbedarf für die Studie zu planen. Gegebenenfalls lässt sich die detaillierte Betrachtung auf sicherheitsrelevante Anlagenteile eingrenzen.

Beispiel für eine kleinere Sollfunktion in einer verfahrenstechnischen Anlage mit kontinuierlicher Prozessführung:

Fördere Precapitol mittels der Pumpe P003 in einem Mengenstrom von 25 kg/Stunde und einer Temperatur von 80 °C zum Behälter R001.

Abbildung 14: Beispiel einer Sollfunktion

Im nächsten Schritt wird jede dieser Sollfunktionen zur Prognose der Abweichungen mit den so genannten Leitworten verknüpft. Das „klassische“ PAAG-/HAZOP-Verfahren nutzt dabei sieben Leitworte (Abbildung 15).

Nein/Nicht
Die Sollfunktion oder einzelne Aspekte davon sind nicht gegeben, z. B. die Sollfunktion wird nicht erfüllt oder Komponente ist nicht vorhanden
Mehr
Quantitative Größen der Sollfunktion nehmen zu, z. B. <ul style="list-style-type: none"> • Menge bzw. Mengenstrom, • Temperatur, Druck, • Zeitraum bzw. Geschwindigkeit, • weiterhin z. B. Viskosität, Konzentration, pH-Wert.
Weniger
Quantitative Größen der Sollfunktion nehmen ab, vgl. „Mehr“
Sowohl als auch
Die Sollfunktion wird erreicht, zusätzlich zum bestimmungsgemäßen Prozess geschieht noch etwas anderes, z. B. <ul style="list-style-type: none"> • mehr Komponenten im System (Verunreinigungen, Reinigungsmittel, Korrosionsprodukte, Heiz-/Kühlmedien, Luft, weitere Stoffe), • mehr Wege (offene Armaturen, Leckage innerhalb des Systems oder nach außen), • mehr Vorgänge (Korrosion, Abrasion, Kavitation, statische Aufladung).
Teilweise
Die Sollfunktion wird nur unvollständig erfüllt bzw. einzelne Teile der Sollfunktion sind nicht vollständig vorhanden, z. B. <ul style="list-style-type: none"> • mehrstufige chemische Reaktion verläuft nur unvollständig (durch Anwesenheit eines Inhibitors/ Katalysatorgiftes, durch fehlenden Katalysator), • in einem Stoffgemisch fehlt eine Komponente teilweise oder ganz (durch physikalische Entmischung, Ausgasen, Phasentrennung, Zersetzung), • das System wird entgegen der Vorgabe nicht durchmischt (infolge Ausfall oder Fehlfunktion des Rührers).
Umkehrung
Etwas geschieht in umgekehrter Richtung oder in umgekehrter Reihenfolge, z. B. umgekehrte Fließrichtung, entgegengesetzte Bewegung, umgekehrte Schrittfolge.
Anders als
Teile der Sollfunktion werden durch etwas anderes ersetzt, z. B. <ul style="list-style-type: none"> • anderer Stoff (Reaktanden, Katalysatoren, Lösemittel), • anderer Zustand (Aggregatzustand, Korngrößenverteilung, Reinheit), • andere chemische Vorgänge (ungewollte Reaktionen, Zersetzung, Polymerisation), • andere physikalische Vorgänge (ungewollte Fällungsreaktion, Phasenwechsel), • anderer Zeitpunkt (zu früh/zu spät), • anderer Ort (falscher Behälter), andere Betriebsweise (An-/Abfahren, Probenahme).

Abbildung 15: Leitworte und deren Interpretation für verfahrenstechnische Anlagen



Für das gewählte Beispiel könnten die Leitworte in folgender Bedeutung angewendet werden:

Nein/Nicht: Die Sollfunktion wird nicht erfüllt oder findet nicht statt
<ul style="list-style-type: none">• Precapitol wird nicht gefördert.
Mehr: Quantitativer Zuwachs von Prozessgrößen
<ul style="list-style-type: none">• Es wird ein größerer Mengenstrom als 25 kg/Stunde Precapitol zum R001 gefördert.• Die Förderung erfolgt mit einer Temperatur über 80 °C.
Weniger: Quantitative Abnahme von Prozessgrößen
<ul style="list-style-type: none">• Es wird ein kleinerer Mengenstrom als 25 kg/Stunde Precapitol zum R001 gefördert.• Die Förderung erfolgt mit einer Temperatur unter 80 °C.
Sowohl als auch: Zusätzlich zum bestimmungsgemäßen Prozess geschieht noch etwas anderes
<ul style="list-style-type: none">• Es wird zusätzlich zu dem Precapitol auch noch Rost gefördert (dies könnte einen katalytischen Effekt bewirken).• Precapitol wird zusätzlich zum Reaktor R001 auch noch in die Umgebung gefördert (z. B. aufgrund einer Leckage).
Teilweise: Die Sollfunktion wird nur unvollständig erfüllt bzw. einzelne Teile der Sollfunktion sind nicht vollständig vorhanden
<ul style="list-style-type: none">• Die Dosierung erfolgt, aber es erfolgt keine Reaktion.
Umkehrung: Etwas geschieht in umgekehrter Richtung oder in umgekehrter Reihenfolge
<ul style="list-style-type: none">• Aus dem Behälter R001 wird Precapitol entnommen.• Die Zugabe des Precapitol erfolgt vor bzw. nach den anderen Prozessschritten.
Anders als: Elemente der Sollfunktion werden durch etwas anderes ersetzt
<ul style="list-style-type: none">• Förderung eines anderen Stoffes anstelle von Precapitol.• Förderung von Precapitol in einen anderen Behälter als R001.

Hinweis: die verschiedenen Szenarien werden jeweils einzeln und unabhängig voneinander betrachtet.

4.2.2 Auffinden der Ursachen

Nachdem eine Abweichung gefunden bzw. beschrieben wurde, sucht das Team hierfür auf der Basis von Prozesskenntnissen und eigenen Erfahrungen nach möglichen Ursachen, die der Störung zugrunde liegen könnten. Dabei gilt die Regel, dass in der Anlage bereits vorhandene Gegenmaßnahmen (z. B. Überfüllsicherungen, Sicherheitsventile, Betriebsanweisungen) zunächst nicht berücksichtigt und entsprechende Ursachen daher betrachtet werden. Abbildung 16 zeigt, welche Situationen bei der Ursachensuche auftreten können.

Es sind keine Ursachen für die hypothetische Abweichung denkbar.

In diesem Fall lässt sich die Störung nicht realisieren und braucht nicht weiter betrachtet zu werden.

Die Abweichung lässt sich realisieren, die potentiellen Ursachen wurden allerdings bereits an einer anderen Stelle diskutiert und dokumentiert.

In diesem Fall kann entweder auf die entsprechende Stelle verwiesen werden (was zu häufigem Blättern innerhalb einer umfangreichen Dokumentation führt), oder die Diskussion wird erneut dokumentiert (was zum Aufblähen des Umfangs der Dokumentation führt).

Der Ursache einer Abweichung ist ein „Ursachenbaum“ vorgelagert, d. h. die Ursache wiederum kann durch verschiedene Ereignisse ausgelöst werden.

Die Frage, wie weit ein solcher Ursachenbaum durch das PAAG/HAZOP-Team zurückverfolgt werden muss, lässt sich nicht generell beantworten.

Umfang und Tiefe der Ursachenforschung bestimmen erheblich die Dauer einer PAAG-Studie. Daher ist seitens der Moderation eine Steuerung der Diskussion in besonderem Maße gefordert.

Ursachen können im Bereich Versagen technischer Einrichtungen, Ausfall von Energien und menschliche Fehlhandlungen liegen. Für das gewählte Beispiel könnten der Abweichung „Es wird ein größerer Mengenstrom als 25 kg/Stunde Precapitol zum R001 gefördert“ verschiedene Ursachen zugeordnet werden, beispielsweise:

- In der Rezeptur/Arbeitsanweisung findet sich ein größerer Wert als Vorgabe.
- Es wurde an der Pumpe ein größerer Mengenstrom eingestellt.
- Die Pumpe fördert aufgrund einer Störung mit einem größeren Mengenstrom.

Abbildung 16: Situationen bei der Suche nach Ursachen



4.2.3 Abschätzen der Auswirkungen

Um angemessene Gegenmaßnahmen zur Beherrschung der gefundenen möglichen Abweichungen festlegen zu können, ist es erforderlich, deren Folgen in ihrer ganzen Tragweite schrittweise zu verfolgen. Hierzu überlegt bzw. berechnet das Team auf der Basis der Prozesskenntnisse die möglichen Auswirkungen, die aus jedem Szenario hervorgehen könnten. Abbildung 17 zeigt, welche Situationen bei der Suche nach Auswirkungen auftreten können.

Bei der Beschreibung einer solchen Ablauffolge („Kausalkette“) sind die bereits vorhandenen Gegenmaßnahmen wiederum außer Acht zu lassen. Grund hierfür ist, die Notwendigkeit dieser Einrichtungen zu hinterfragen bzw. zu überprüfen, welche „Qualität“ (d. h. Verfügbarkeit) diese Einrichtungen haben müssen.

Das Außerachtlassen vorhandener Maßnahmen ist in der Praxis für etliche Teammitglieder eine schwierige Übung, unterstellt es doch, dass die von Planern und Technikern bereits vorgedachten Lösungen versagen. Zum Erreichen eines angemessenen Sicherheitskonzepts ist diese Vorgehensweise jedoch erforderlich und hat sich bewährt.

Für das gewählte Beispiel könnte der Abweichung „Es wird ein größerer Mengenstrom als 25 kg/Stunde Precapitol zum R001 gefördert“ folgende Ereigniskette zugeordnet werden:

Beschleunigung der Reaktion im R001
→ Verstärkte Wärmeproduktion, die durch die vorhandene Kühlung nicht abgeführt werden kann
→ Temperaturanstieg in der Reaktionsmasse
→ Erreichen der Zersetzungstemperatur
→ Druck- und Temperaturanstieg über die Auslegungsgrenzen des Reaktors
→ Behälterversagen mit Trümmerflug und Austritt von gesundheitsschädlichem Produkt und entzündlichem Lösemittel
→ Sachschaden sowie möglicher Personen- und Umweltschaden.

Aufgrund der Abweichung kann es zu sicherheitsrelevanten Auswirkungen kommen.

Ist dies der Fall, muss die Kausalkette der Auswirkungen detailliert beschrieben werden.

Es sind keine sicherheitsrelevanten Auswirkungen für die Abweichung denkbar.

In diesem Fall sollten die Einschätzung des Teams und die Begründung gleichwohl festgehalten werden.

Die Auswirkungen der Abweichung können aufgrund fehlender Datenlage oder fehlender Expertise nicht zuverlässig abgeschätzt werden.

In diesem Fall muss nachrecherchiert bzw. die Fragestellung an eine externe Fachstelle delegiert werden.

Es ergeben sich für die aktuelle Sollfunktion keine sicherheitsrelevanten Auswirkungen, jedoch könnte es im späteren Prozessverlauf zu kritischen Situationen kommen.

Die Frage, wie weit die Auswirkungen durch das PAAG-Team weiterverfolgt werden sollen, lässt sich nicht generell beantworten. Folgende Aspekte spielen hierbei eine Rolle:

- Sind gravierende Auswirkungen im späteren Prozessverlauf bereits absehbar (z. B. bei einer Chemikalienverwechslung)?
 - Wie weit hat das PAAG-Team Einfluss auf die nachgelagerten Prozessschritte und kann an anderer Stelle Maßnahmen treffen?
- Gegebenenfalls ist die Abweichung als potenzielle Ursache für die nachfolgende Diskussion „mitzuschleifen“.

Abbildung 17: Situationen bei der Suche nach Auswirkungen

4.2.4 Gegenmaßnahmen

Das Team legt für die identifizierten sicherheitsrelevanten Szenarien auf Basis der Erkenntnisse und der technischen Realisierbarkeit eintrittsverhindernde und gegebenenfalls schadensbegrenzende Maßnahmen fest. Hier kann jetzt auf bereits vorhandene Einrichtungen und Anweisungen verwiesen werden, sofern diese bei den diskutierten Schadensverläufen als wirksam und ausreichend angesehen werden.

Die geforderte Zuverlässigkeit (Wirksamkeit) der zu treffenden Maßnahmen wird sich dabei an der Schwere der Auswirkungen und der Wahrscheinlichkeit für das Wirksamwerden der Ursachen orientieren. Somit ergibt sich eine Schnittstelle des PAAG-/HAZOP-Verfahrens zu den Methoden der Risikoanalyse und Risikobewertung.

Das Festlegen der Details der Gegenmaßnahmen, insbesondere die Auswahl der Sensorik und der Datenverarbeitung, der Grenzwerte und Schaltpunkte, die Dimensionierung von Druckentlastungssystemen sowie die Ableitung und Behandlung der daraus austretenden Medien wird in der Regel nicht im Team erfolgen, sondern unter Vorgabe der relevanten Parameter durch die entsprechenden Fachleute

4.2.5 Dokumentation

Ein wichtiges Element von PAAG/HAZOP ist die Dokumentation der Diskussion. Die schriftliche Darstellung der systematischen Vorgehensweise macht das gewählte Sicherheitskonzept nachvollziehbar und die Entscheidungen transparent. Mit der Dokumentation der Sicherheitsbetrachtung lassen sich gleich mehrere Zielstellungen verknüpfen:

- Beschreiben der Gefahrenquellen und der Gegenmaßnahmen im Rahmen eines Sicherheitsberichtes nach Störfall-Verordnung oder anderen behördlichen Auflagen.
- Auflisten der verbleibenden Aufgaben der an der Planung, der Errichtung oder dem Betrieb der Anlage beteiligten Abteilungen bzw. Personen im Rahmen eines Maßnahmenkataloges.
- Umfassende Dokumentation des Sicherheitskonzeptes der Anlage, so dass z. B. bei einem Wechsel in der Betriebsleitung eine sicherheitsorientierte Einarbeitung möglich ist.



Die Dokumentation der PAAG-/HAZOP-Studie erfolgt üblicherweise in tabellarischen Formblättern, entweder mittels üblicher Bürosoftware oder spezieller Programme. Typischerweise werden Spalten für Nummerierung, Abweichungen, Ursachen, Auswirkungen, Bewertung, Maßnahmen und Bemerkungen angelegt. Manche Unternehmen differenzieren stärker, so dass auch Formblätter mit 30 oder mehr Spalten existieren. In den Zeilen werden dann die verschiedenen Szenarien dokumentiert. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Sicherheitsbetrachtung auch für Dritte verständlich und nachvollziehbar ist. Stichwortartige Notizen sind durchaus möglich, doch müssen sie den roten Faden erkennen lassen. Abkürzungen – soweit sie nicht betriebsüblich sind – sollten vermieden, Mehrdeutigkeiten ausgeschlossen werden.

Zur Dokumentation einer PAAG/HAZOP-Studie gibt es verschiedene Vorgehensweisen:

- Es werden alle diskutierten Abweichungen mit ihren Ursachen und Auswirkungen sowie alle bereits vorhandenen, neu beschlossenen oder noch offenen Gegenmaßnahmen notiert.
- Es werden nur die gefundenen Schwachstellen oder nur auf die Beseitigung von Schwachstellen zielende Fragen dokumentiert.
- Es werden nur die sicherheitsrelevanten Abweichungen mit den zugehörigen Gegenmaßnahmen dokumentiert.

Die vollständige Dokumentation aller Argumente erleichtert bei späteren Änderungen den Einstieg in ergänzende Sicherheitsüberlegungen. Bei nur auszugsweise dargestellten Diskussionen verringert sich der Aufwand, aber auch die Nachvollziehbarkeit.

Zur strukturierten Gliederung der Diskussion wird diese üblicherweise in Spalten dokumentiert, wozu es unterschiedlichste Formblätter und Aufteilungen gibt (siehe Abbildungen 18 und 19). Dabei kann beispielsweise der Punkt „Maßnahmen“ bei Bedarf weiter untergliedert werden in

- Erkennbarkeit der Abweichung
- vorhandene Gegenmaßnahmen
- zusätzlich erforderliche Gegenmaßnahmen, ergänzt durch Verantwortlichkeiten und Terminvorgabe

Darüber hinaus sollten Sensoren (z. B. Messstellen) und Aktoren (z. B. Armaturen) mit ihren Schaltpunkten und Stellungen genau benannt werden, um den Funktionsplan der Prozessleittechnik bzw. die Betriebsanweisungen für organisatorische Gegenmaßnahmen eindeutig festzuschreiben zu können (siehe Abbildung 20). Die aus der Sicherheitsbetrachtung abgeleiteten Aufgaben und Fragen sowie der Stand ihrer Umsetzung müssen erkennbar dokumentiert werden, die abgeschlossene Dokumentation sollte die Unterschriften aller Beteiligten enthalten.



Dokumentation PAAG-Studie					
Betrieb:		Blatt:			
Ort:		Datum:			
Anlage/Teilanlage:					
Sollfunktion:					
Lfd. Nr.	Störung (Abweichung vom Sollzustand)	Gefahrenquelle (Mögliche Ursachen der Störung)	Störfalleintritts- voraussetzung (Auswirkungen der Störung)	Störfallverhindernde und -begrenzende Maßnahmen (Gegenmaßnahmen)	Bemerkungen

Abbildung 19: Beispiel für ein Dokumentationsformular mit Bezug auf Begriffe der StörfallV

Dokumentation					
SIS-Nr.	SIL	SIS-Funktion	Sensor	Setpoint Sensor	Messbereich des Sensors
SIS B110.01	SIL 1	Schutz vor Überfüllung des B110 bei Ansprechen des Stand-Hoch-Sensors (LSHH 110-11) durch Schließen des Ventils in der Produkt-Einlaufleitung YV 110-03	LSHH 110-11	> 85%	Einbauhöhe

Abbildung 20: Beispiel für die erweiterte Dokumentation einer PLT-Sicherheitseinrichtung (SIS)



PAAG-Studie

Aktor	Stellung bei Energieausfall	Erforderliche Schaltzeit	Begründung für die Schaltzeit	Empfehlungen für Zuständigkeit bei Aufhebung der SIS	Empfehlungen für den Austausch der Komponenten
YV 110-03 = zu	FC	< 4,5 min	Volumenstrom: $10 \text{ m}^3/\text{h} = 0,17 \text{ m}^3/\text{min}$. Freies Restvolumen B110 (bei 85 % Füllgrad): $0,75 \text{ m}^3$ Zeit bis zum Überlaufen: 4,5 min		Austausch der Komponenten nur bei Außerbetriebnahme B110



4.3 Modifikationen und Erweiterungen des PAAG-/HAZOP-Verfahrens

Grundsätzlich ist es möglich, bei einer PAAG-/HAZOP-Studie entweder die sieben Leitworte als Ordnungskriterium zu nehmen („Leitwort zuerst“), oder alternativ auf die Prozessparameter die Leitworte zu projizieren („Parameter zuerst“).

In vielen Unternehmen werden die klassischen Leitworte für die praktische Anwendung in konkrete Fragestellungen „übersetzt“, indem mögliche Abweichungen aus der Kombination von Leitworten und Prozessparametern definiert werden. Die aufgezeigten Kombinationen aus Leitwort und Parameter werden dann direkt als Abweichungen besprochen (siehe Abbildungen 21 und 22). Je nach Unternehmen werden unterschiedlich differenzierte und damit unterschiedlich umfangreiche Fragenkataloge eingesetzt. Eine Vollständigkeit der Betrachtung ergibt sich jedoch nicht aus der Zahl der Themenpunkte, sondern aus der Erfahrung und Routine der Moderation. Eine übergroße Zahl von „Abweichungen“ kann für die Diskussion im Team sogar kontraproduktiv werden, weil sich hierdurch vermehrt redundante Fragestellungen ergeben, was zur Ermüdung und Frustration des Teams führen kann.

In einigen Unternehmen gibt es daher gegenläufige Vorgehensweisen: die Beschränkung auf vier Leitworte (nein, mehr, weniger, anders als), anhand derer die Diskussion gesteuert wird. Auch in diesem Fall sind Erfahrung und Routine der Moderation maßgeblich für den Erfolg der Studie.



Leitwort Parameter	nein	mehr	weniger	sowohl als auch	teilweise	Umkehrung	anders als
Gesamte Sollfunktion	Findet nicht statt				Findet unvollständig statt		
Stoff				Verunreinigung	Nur eine Komponente, eine Phase		Falscher Stoff, falscher Zustand
Menge		Zu viel	Zu wenig				
Alternativ: Mengenstrom		Zu groß	Zu klein				
Temperatur		Zu hoch	Zu niedrig				
Druck		Zu hoch	Zu niedrig				
Ort				Zusätzlicher Ort, Leckage			Falscher Ort
Förderrichtung						Umgekehrte Richtung	
Zeitraum		Zu lange (zu langsam)	Zu kurz (zu schnell)				
Zeitpunkt							Zu früh, zu spät
Chemische Reaktion	Kein Umsatz	Zu heftig	Zu träge	Zusätzliche Nebenreaktionen	Umsetzung erfolgt unvollständig	Zersetzung statt Synthese	Unerwünschte Reaktion
Sonstiges	Ausfall von Rührer, Energie, ...			Zündquelle + explosionsfähiges Gemisch		Umgekehrte Reihenfolge	

Abbildung 21: Zuordnung von Leitworten und Parameter verfahrenstechnischer Prozesse und daraus abgeleitete Matrixdarstellung mit „konkretisierten Leitworten“

Stoffe und – soweit relevant – Stoffeigenschaften

(angewendete Leitworte: anders als, teilweise)

- Stoffverwechslung
- Stoffverunreinigung / andere Zusammensetzung
- anderer Aggregatzustand
- unerwünschte katalytische / inhibierende Effekte
- ungenügende Katalysatoraktivität
- andere Korngrößenverteilung
- andere Viskosität
- anderer pH-Wert

Mengen und – soweit relevant – Mengenbilanzen

(angewendete Leitworte: mehr, weniger, anders als)

- Menge zu viel / zu wenig
- Mengenstrom zu groß / zu klein
- Konzentration zu hoch / zu niedrig
- unzureichende Durchmischung bzw. Homogenisierung
- falsche Reihenfolge
- falsche Stöchiometrie
- verbliebene Restmengen

Orte und – soweit relevant – Zeitaspekte

(angewendete Leitworte: Umkehrung, sowohl als auch, anders als)

- falscher Förderweg / falscher Zielort
- Leckage nach außen / Leckage nach innen
- undichte Absperrarmatur
- entgegengesetzte Förderrichtung
- Rückströmen bzw. Abhebern
- eingeblockte Teilanlage
- Zeitpunkt zu früh / zu spät
- Verweilzeit zu kurz bzw. Schritt zu schnell
- Verweilzeit zu lange bzw. Schritt zu langsam

Abbildung 22: Beispielhafte Zusammenstellung der „konkretisierten Leitworte“



Prozessparameter und – soweit relevant – Reaktionen

(angewendete Leitworte: mehr, weniger, teilweise, sowohl als auch)

- Temperatur zu hoch / zu niedrig
- Druck zu hoch / zu niedrig
- Bestimmungsgemäße Reaktion zu langsam / zu schnell
- Unvollständig ablaufende Reaktion
- Ungewollte Reaktion (Stoffunverträglichkeit, Polymerisation, Zersetzung)
- Bilden einer explosionsgefährlichen Atmosphäre
- Bilden einer Zündquelle

Energien und Anlagenzustände (soweit nicht bereits als Ursache erfasst)

(angewendete Leitworte: nicht, teilweise, anders als)

- Stromausfall / Steuerluftausfall
- Ausfall Kühlung / Ausfall Heizung
- Ausfall Vakuum / Einbruch von Luft
- Stickstoffausfall / Ausfall Inertisierung
- Ausfall Rührer bzw. Rührwirkung
- Ausfall Förderorgan (Pumpe, Ventilator, Elevator)
- Kavitation Pumpe
- Bruch bzw. Durchschlag von Filtern
- Bruch von Kolonnenböden
- An- bzw. Abfahren der Anlage

Sonstige Effekte (soweit nicht bereits als Auswirkungen beschrieben)

(angewendete Leitworte: sowohl als auch, anders als)

- korrosive / abrasive Wirkung
- Entmischung / Ausfällung / Phasenwechsel
- Erstarren / Verkrusten / Sedimentieren
- Verstopfen / Verkleben / Ablagern
- Kondensieren / Auskristallisieren
- Ausgasen / Aufschäumen / Ausflocken
- Sonstige Abweichungen: ...

4.4 Historie des PAAG-/HAZOP-Verfahrens

4.4.1 Die Anfänge bei ICI

Als das britische Unternehmen ICI in den frühen 1960er Jahren plante, Anlagen für eine neue Generation von Pflanzenschutzmitteln zu bauen, stand man vor der Herausforderung, sehr giftige Zwischenprodukte und gefährliche Prozessschritte beherrschen zu müssen. Daher beschloss man, ein fundamental neues Verfahren für die Überprüfung des Anlagen- und Prozessdesigns zu entwickeln. Die bei der Planung involvierten Abteilungen sollten nicht nur auf das von ihnen zu verantwortende Gewerk schauen, sondern gemeinsam einen Blick auf mögliche Abweichungen des bestimmungsgemäßen Prozesses werfen, die entsprechenden Ursachen hierfür finden und die potenziellen Auswirkungen beschreiben. „Critical Examination“ nannte man dieses Vorgehen, bei dem anhand von „Guide Words“ jeder einzelne Prozessparameter des Verfahrens hinterfragt wurde.

Zwei Erfahrungen wurden bei diesem Vorgehen gemacht: erstens, dass mittels dieser Methodik eine ganze Reihe von Planungsfehlern aufgedeckt wurden, die mit der üblichen Routine nicht gefunden worden waren. Zweitens, dass dieses Vorgehen zwar erfolgreich, aber auch ausgesprochen aufwändig war und sich somit nicht grundsätzlich auf alle Neuplanungen anwenden ließ.

Eine Verbesserung der Methode gelang 1967 in der Petrochemischen Division der ICI. Die Anwendung der „Guide Words“, die bisher auf die rein verbale Prozessbeschreibung beschränkt geblieben war, erfolgte nun in Kombination mit den R&I-Schemata (Rohrleitungs- und Instrumentierungsfließbilder) des Prozesses. Und die Dokumentation beschränkte sich ausschließlich auf erforderliche Änderungen oder offene Fragen. Diese „Flowsheet Method“ beschleunigte das Vorgehen etwa um einen Faktor zehn und führte dazu, dass Studien nun routinemäßig bei den verschiedensten Anlagentypen zum Einsatz kamen.

1970 übernahm die Pharmazeutische Division der ICI das Verfahren. Eingeführt wurden der „study leader“, der die systematische Untersuchung manage, und die Unterstützung durch einen technischen Sekretär, der die gefundenen Ergebnisse tabellarisch protokollierte. Dies lenkte die Diskussion und förderte die Kreativität des Teams, so dass diese Rollenverteilung als eine maßgebliche Verbesserung empfunden wurde. Zugleich wurde das Verfahren auch erstmals auf Batch-Prozesse angewandt und manuelle Tätigkeiten des Bedienpersonals einbezogen.

Mit diesen organisatorischen Änderungen war der Durchbruch der Methodik gelungen. Auf Basis der Modifikationen begann man 1975 bei ICI Schulungen durchzuführen, um alle bestehenden und neuen Anlagen mit der Methode sicherheitstechnisch überprüfen zu können. Der hierzu geschriebene ICI-interne Report über die „Hazard and Operability Studies“ wurde 1977 von der Chemical Industry Association veröffentlicht. Parallel wurden auch Seminare angeboten, um die praktische Anwendung des Verfahrens zu trainieren. Chemetics International Company, der kanadische Ableger der Ingenieurabteilung der ICI, übersetzte die Broschüre in zahlreiche Sprachen und sorgte mit entsprechenden Schulungen für eine weltweite Verbreitung der Methode.



4.4.2 HAZOP wird im deutschsprachigen Raum zu PAAG

Im März 1980 wurde von der Sektion Chemie der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) die erste deutschsprachige Broschüre zum PAAG-Verfahren herausgegeben. Das Heft war die wortgetreue Übersetzung der 1977 erschienenen HAZOP-Broschüre „A Guide to Hazard and Operability Studies“ der britischen Chemical Industries Association und trug den reißerischen Titel „Der Störfall im chemischen Betrieb“. Im Mai 1980 veranstaltete dann die Berufsgenossenschaft Chemie (heute BG RCI) unter Leitung der ICI-Experten die erste Schulungsveranstaltung zu der Methode. Die Teilnehmenden des Seminars kamen zum überwiegenden Teil aus der deutschen Großchemie und dem Anlagenbau, aber von Anfang an waren auch Behörden an einer Seminarteilnahme interessiert. Denn wenige Tage nach der Veranstaltung wurde am 27. Juni 1980 von der Bundesregierung die 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes verabschiedet – die Störfall-Verordnung, aus der zwei Jahre später auf europäischer Ebene die so genannte Seveso-Richtlinie hervorging. Danach waren entsprechende Betriebe angehalten, im Rahmen einer Sicherheitsanalyse den Nachweis zu führen, dass „eine Gemeingefahr infolge einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebes“ ausgeschlossen werden konnte. Und spätestens als am 27. April 1982 die Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung (2. StörfallVwV) explizit das PAAG-Verfahren als eine der Methoden aufzählte, um die Forderung nach einer systematischen Vorgehensweise zu erfüllen, war eine breite Akzeptanz des Verfahrens erreicht.

4.4.3 Weiterentwicklung von PAAG und HAZOP in der Prozessindustrie

Ab den 1990er Jahren wurden die in den Betrieben der chemischen Industrie verwendeten Einrichtungen der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik zunehmend auch zur Beherrschung von Prozessabweichungen im Sinne der Anlagensicherung genutzt. Seitens der Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie (NAMUR, seit 2005 Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie e.V.) wurde hierfür der Risikograph entwickelt, der die Klassifizierung der so genannten Schutzeinrichtungen ermöglichte, deren Verfügbarkeit über die der Betriebs- und Überwachungseinrichtungen hinausging. Insbesondere in den angelsächsischen Ländern kam etwa zeitgleich der Ansatz der Risikomatrix auf, der ebenfalls eine Bewertung des von Prozessanlagen ausgehenden Gefahrenpotenzials ermöglichte. Beide Vorgehensweisen nutzen häufig das PAAG-/HAZOP-Verfahren zur Findung kritischer Szenarien und werden in dieser Broschüre im Abschnitt „Methoden der Risikoanalyse und -bewertung“ beschrieben. Der Begriff HAZOP bzw. PAAG wird seither manchmal auch für den gesamten Prozess des Risikomanagements verwendet, manchmal als Synonym für jegliche Art von Sicherheitsüberlegungen.

5 Checklisten

5.1 Grundlagen

Mittels Checklisten können Fragestellungen zu einem begrenzten Themenkomplex relativ einfach abgeklärt und ggf. ein Handlungsbedarf abgeleitet werden.

5.2 Anwendung von Checklisten

Bevor Checklisten zum Einsatz kommen können, müssen sie zunächst ausgearbeitet werden. Hierzu ist entsprechendes Fachwissen über das ausgewählte Thema und die damit verbundenen Gefahrenpotenziale erforderlich. Bei komplexen Wirkungszusammenhängen ist zur Erfassung und Bewertung der Antworten ebenfalls Fachexpertise erforderlich.

Checklisten finden Verwendung insbesondere dort, wo Anforderungen aus der Erfahrung bekannt oder in Regelwerken festgeschrieben sind. Abbildung 23 zeigt beispielhaft eine Checkliste zum Thema Energien in Anlagen. Durch gezielte Fragestellungen und einen konkreten Bezug zur Praxis entfallen ausschweifende Diskussionen und mittels Ja/Nein-Fragen kann der Soll/Ist-Vergleich zeitökonomisch durchgeführt werden. Um Missverständnisse bei den Formulierungen zu verhindern und ergiebiger Aussagen zu erhalten, sind offene Fragen geeigneter, die eine beschreibende Antwort erfordern. Damit einher geht allerdings ein erhöhter Zeitbedarf. Eine prinzipielle Schwäche von Checklisten besteht darin, dass nur Aspekte abgefragt werden, die bei der Erstellung der Fragen bekannt waren.

Mechanische Energie komprimierter Fluide	Ja	nein	nicht zutreffend
Sind alle Druckgeräte für die Anforderungen des Betriebs spezifiziert und ausgelegt?			
Liegen für alle prüfpflichtigen Rohrleitungen und Druckbehälter die Prüfbescheide der Inbetriebnahme vor?			
Sind für alle Rohrleitungen und Druckbehälter Fristen und Zuständigkeiten für die wiederkehrenden Prüfungen festgelegt?			
Sind Druckgeräte an den erforderlichen Stellen mit Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung ausgestattet?			
Sind alle Druckentlastungseinrichtungen auf den Anforderungsfall ausgelegt und wurden Aggregatzustand und Mengenstrom der abzuführenden Medien berücksichtigt?			
Werden die beim Ansprechen von Sicherheitsventilen und Berstscheiben austretenden Medien gefahrlos abgeleitet?			
Entsprechen die Komponenten der Hydraulik- und Pneumatikanlagen den Spezifikationen der Hersteller?			
Sind alle Schlauch- und Rohrleitungen für die transportierten Medien und die anstehenden Drücke geeignet?			
Werden die Schlauchleitungen regelmäßig überprüft und bei Erreichen der Ablager reife außer Betrieb genommen?			



Chemische Energie exothermer Reaktionen und thermisch sensibler Stoffe	Ja	nein	nicht zutreffend
Ist die thermische Stabilität der eingesetzten und gebildeten Stoffe einschließlich der Zwischenprodukte bekannt?			
Ist die Brutto-Reaktionswärme und der zeitliche Verlauf der Wärmeproduktion der exothermen Prozesse bekannt?			
Sind die Kühlkapazitäten der Anlage auf den anfallenden Wärmestrom abgestimmt?			
Wurde eine systematische Sicherheitsbetrachtung durchgeführt und abweichende Prozesszustände analysiert, die zu einer Vergrößerung des Wärmestroms, zu einer Verminderung der Wärmeabfuhr oder zu einer Akkumulation von Reaktionspotenzial führen können?			
Sind die Wechselwirkungen der eingesetzten und gebildeten Stoffe mit den Werkstoffen der Anlage bekannt?			
Gibt es ein Konzept zur Verhinderung von Chemikalienverwechslungen?			
Elektrische Energie und Strahlung	Ja	nein	nicht zutreffend
Entsprechen die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel den elektrotechnischen Normen und werden sie regelmäßig wiederkehrend geprüft?			
Werden die Expositionsgrenzwerte für elektromagnetische Felder, nicht ionisierende Strahlung und ionisierende Strahlung eingehalten?			
Werden elektrotechnische Arbeiten ausschließlich von Elektrofachkräften oder unter deren Leitung durchgeführt?			
Kinetische und potentielle Energien	Ja	nein	nicht zutreffend
Sind den Beschäftigten die Gefahrenstellen an Maschinen und Anlagenteilen bekannt?			
Ist der Gefahrenbereich von Maschinen und Anlagen nach dem Stand der Technik mit Schutzeinrichtungen abgesichert und wird deren Funktion regelmäßig geprüft?			
Sind den Beschäftigten die Gefahren von hochgehaltenen Lasten, von unter Druck stehenden Medien (z. B. Druckluft) und von anderen gespeicherten Energien (z. B. gespannte Stahlfedern) bekannt?			
Werden bei Stromausfall die gespeicherten Energien in sicherem Zustand gehalten?			

Abbildung 23: Checkliste zum Thema Energien in Anlagen (beispielhaft)

6 Szenarienanalysen

6.1 Grundlagen

Szenarienanalysen fokussieren den Blick auf ausgewählte (z. B. sicherheitsrelevante) Ereignisse und sind das Bindeglied zwischen der Risikoermittlung und der Risikobewertung. Dabei werden alle Einzelfehler, die eine bestimmte Ereignisart auslösen können, systematisch zusammengeführt. Expertenbasiertes Know-how dient als Impulsgeber für die Diskussion und zeigt auf, welche Ursachen ein bestimmtes Szenario auslösen können. Durch die zusammenfassende Beschreibung lassen sich auch die Maßnahmenkonzepte zur Risikobewältigung konzentriert und vergleichbar darstellen.

6.2 Anwendung

Für eine ereignisorientierte Diskussion werden vorab die relevanten Szenarien ausgewählt. In der Teamdiskussion werden dann die denkbaren Ursachen ermittelt und angemessene Gegenmaßnahmen erarbeitet.

Ein Kriterium für die Auswahl der Szenarien kann sein, dass diese die in der Störfall-Verordnung als zu vermeidende Ereignisse aufgeführt sind:

- Freisetzungen gefährlicher Stoffe in Luft, Wasser oder Boden,
- Brandgefahren und
- Explosionsgefahren (einschließlich durchgehender chemischer Reaktionen).

Szenarienanalysen können als Beschreibung der betrieblichen Gefahrenquellen eine wertvolle Vorarbeit für die Erstellung von Sicherheitsberichten darstellen, um die nach Störfall-Verordnung geforderte „Beschreibung der Szenarien möglicher Störfälle [...] einschließlich einer Zusammenfassung der Vorfälle, die für das Eintreten jedes dieser Szenarien ausschlaggebend sein könnten“ darzulegen.

Weitere Szenarienanalysen finden sich in einschlägigen Technischen Regeln, beispielsweise in der TRGS 721 für Zündquellen im Explosionsschutz, in der TRAS 410 für exotherme Reaktionen und in der TRBS 2141 für das Gefahrenfeld Druck.



Ursache	Szenario	mögliche Gegenmaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion / Abrasion • Vibration • Alterung • Versprödung • Verschleiß • mechanische Dauerbelastung 	Freisetzungen gefährlicher Stoffe in Luft, Wasser oder Boden infolge Leckage	<ul style="list-style-type: none"> • Beanspruchungsgerechte Auswahl der Werkstoffe, Auslegung und Konstruktion • Vorbeugende Wartung und Instandhaltung • Maßnahmen zur Leckerkennung • Ausreichend dimensionierte Auffang-/Rückhalteeinrichtungen
<ul style="list-style-type: none"> • Freisetzung entzündlicher Medien • Entzündung von Brandlasten • Überhitzung elektrischer Einrichtungen • Heißlaufen mechanischer Teile (z. B. Pumpen, Rührer, Gebläse) 	Brandgefahr mit Brandausbreitung im Anlagenbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Anlagenbezogener Brandschutz (Branderkennung, Brandbekämpfung, Feuerwehr / Einsatzkräfte) • Prüfung und Überwachung elektrischer Einrichtungen • Anlagenbezogener Brandschutz (Branderkennung / -bekämpfung)
<ul style="list-style-type: none"> • zu stark wirkender Katalysator • katalytisch wirkende Verunreinigungen oder Werkstoffe • katalytisch wirkende Korrosionsprodukte 	Katalysierung exothermer Reaktionen / Durchgehen mit Überschreitung der Auslegungsdaten des Reaktors	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherung der Qualität (Wirksamkeit, Reinheit) der Einsatzstoffe • Absicherung des Behälters gegen Überdruck/ zu hohe Temperatur (Anstiegsgeschwindigkeiten von Druck und Temperatur berücksichtigen) • Qualitätsgesichertes Vorgehen bei Reparaturarbeiten



Abbildung 24: Szenarienanalyse nach CMK





7 Die Risikomatrix

7.1 Grundlagen

Die Bewertung von Prozessrisiken mittels einer Risikomatrix ist ein bewährtes und in zahlreichen Unternehmen praktiziertes Vorgehen. Bei der Risikomatrix ist das Risiko in der Regel proportional zur Auswirkung (manchmal auch als Schadensausmaß, Schadenshöhe, Tragweite oder Schwere bezeichnet) und zur Häufigkeit (manchmal auch als Eintrittswahrscheinlichkeit bezeichnet) eines unerwünschten Ereignisses.

Die Risikomatrix dient dazu, zunächst das potenzielle Prozessrisiko zu bewerten, das heißt ohne Berücksichtigung von sicherheitsrelevanten Maßnahmen, nur auf Basis des vorhandenen Betriebskonzeptes. Davon ausgehend werden dann die Anforderungen an die Zuverlässigkeit bzw. Verfügbarkeit risikoreduzierender Maßnahmen und Einrichtungen abgeleitet.

Bei der Anwendung einer Risikomatrix sind vorab Konventionen festzulegen und mit allen beteiligten Personen zu kommunizieren. Dies bedeutet, dass eine unmissverständliche Regelung existiert, wie die Einstufung von Schadensausmaß und Eintrittshäufigkeit zu verstehen ist, welche Randbedingungen zu Grunde gelegt werden und wie mit dem ermittelten Risiko umzugehen ist.

7.2 Aufbau einer Risikomatrix

Bei einer Risikomatrix werden die beiden Einflussgrößen des Risikos, die Häufigkeit und die Auswirkung von Ereignissen, an den beiden Achsen eines Koordinatensystems aufgetragen, wobei die Zuordnung zur x- und y-Achse in verschiedenen Unternehmen unterschiedlich gewählt wird. Üblicherweise werden die Achsen danach abschnittsweise in Bereiche unterteilt (siehe unten). Risikomatrizen treten dabei in unterschiedlichen Formaten auf: die Zahl der Abschnitte pro Achse variiert in den verschiedenen Unternehmen, wobei es symmetrische und asymmetrische Darstellungen (d. h. gleichzahlige oder unterschiedliche Unterteilung der beiden Achsen) gibt. Die Abschnitte der Achsen stellen somit Bereiche der Häufigkeit bzw. des Schadensausmaßes dar. Die Risikomatrix kann als semi-quantitative Methode zur Risikobeurteilung bezeichnet werden.

Aus den Kreuzungspunkten der Abschnitte ergeben sich Felder, die das Risiko als diskrete Funktion von Häufigkeit und Auswirkungen repräsentieren. Üblicherweise wird mit den Feldern auch eine Risikoklasse identifiziert und darauf basierend ein erforderlicher Risikoreduzierungsfaktor, dem verfahrenstechnische, regelungstechnische, konstruktive bzw. mechanische sowie organisatorische Maßnahmen zur Ereignisverhinderung oder zur Schadensbegrenzung zugeordnet werden können.

Die gewählte Darstellung hat den Vorteil, dass neben der Identifizierung der notwendigen Risikoreduzierung auch die Qualität (im Sinne von Verfügbarkeit) der erforderlichen Sicherheitseinrichtung unmittelbar ersichtlich wird. Bei Verwendung einer Sicherheitseinrichtung mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT) kann mit dieser Methode auch der erforderliche Sicherheitsintegritätslevel (SIL) festgelegt werden.

Abbildung 25 zeigt beispielhaft eine 5x6-Matrix, die mit ihrem Aufbau und der qualitativen Skalierung repräsentativ ist für die in der deutschen chemischen Industrie verwendeten Risikomatrizen.

7.2.1 Schadensausmaß S

Bei der Unterteilung des Schadensausmaßes ist vorab zu klären, welche Schutzgüter erfasst und wie diese untereinander kalibriert werden sollen. Im Rahmen von Sicherheitsbetrachtungen werden in der Regel nur Personen- und Umweltschäden erfasst, eine mögliche Unterteilung zeigt Abbildung 26.

In manchen Unternehmen gibt es weitere Kriterien, die die finanziellen Schäden oder einen Reputationsverlust bewerten. Da diese Aspekte in der Regel nicht durch das Sicherheitsbetrachtungsteam bewertet werden, das für die Prozesssicherheit zuständig zeichnet, werden diese Auswirkungen hier nicht weiter beleuchtet.

7.2.2 Eintrittshäufigkeit F

Bei der Eintrittshäufigkeit muss vorab festgelegt werden, ob es sich um die Wahrscheinlichkeit für den auslösenden Fehler („initiating event“) oder um die Wahrscheinlichkeit für das gesamte Szenario handeln soll (siehe hierzu auch die entsprechenden Ausführungen im Abschnitt „Anwendung der Risikomatrix“). Abbildung 27 zeigt eine mögliche Unterteilung.

7.2.3 Risikoklasse

Wie bei den Achsenskalierungen ist auch die Risikoklasse, also die Bewertung des Risikos, vorab festzulegen und z. B. mittels eines Farb- und Buchstaben-codes zu skalieren. Bei der hier vorgestellten Matrix erfolgt eine Abstufung über fünf Risikobereiche, dabei wird das Risiko einer irreversiblen Verletzung (S2) während der Laufzeit der Anlage (F2) als hohes Risiko bewertet, dem hoch verfügbare Gegenmaßnahmen zuzuordnen sind. Die Symmetrie des Risikobereichs in Bezug auf die Achsen variiert bei verschiedenen Unternehmen.

In vielen Fällen werden den Buchstaben Begriffe zugeordnet wie extremes Risiko, völlig unakzeptables Risiko, sehr großes Risiko oder ähnliches. Da das subjektive Empfinden sehr unterschiedlich ist, wird an dieser Stelle auf eine entsprechende Wertung verzichtet.

Der Bereich ohne Buchstaben entspricht einem Risiko, das keine sicherheitsrelevanten Maßnahmen erfordert. Manche Unternehmen definieren einen zusätzlichen „ALARP“-Bereich (As Low As Reasonably Practicable). Hier ist dann zu prüfen, ob mit vertretbarem Aufwand das Risiko noch weiter abgesenkt werden kann.



S0		E	D	C	B	A
S1			E	D	C	B
S2				E	D	C
S3						E
S4						
	F5	F4	F3	F2	F1	F0



Abbildung 25: Beispiel einer Risikomatrix

Klasse	Wertung	Personenschaden	Umweltschaden
S0	Sehr hoch	Potenzial für viele Todesfälle	Potenzial für schwerwiegende langfristige Umweltschäden
S1	Hoch	Potenzial für einzelne Todesfälle	Potenzial für ernsthafte oder langfristige Umweltschäden
S2	Signifikant	Potenzial für einen oder mehrere Schwerverletzte (irreversibel)	Potenzial für erhebliche Umweltschäden
S3	Moderat	Potenzial für einen oder mehrere Verletzte (reversibel)	Potenzial für zeitlich und räumlich begrenzte Umweltschäden
S4	Gering	Potenzial für leichte Verletzungen oder Belästigungen	Potenzial für kleine, nicht meldepflichtige Umweltschäden

Abbildung 26: Beispiel für die Bewertung des Schadensausmaßes

Klasse	Wertung	Erwartete Häufigkeit in Relation zur Laufzeit der Anlage	Erwartete Häufigkeit pro Jahr in überschaubaren Zeiträumen
F0	Sehr häufig	Tritt öfter während der Betriebslaufzeit ein	1 x pro Jahr oder öfter
F1	Häufig	Kann gelegentlich während der Betriebslaufzeit eintreten	zwischen 1 x pro Jahr und 1 x in 10 Jahren
F2	Selten	Könnte gegebenenfalls während der Betriebslaufzeit eintreten	zwischen 1 x in 10 Jahren und 1 x in 100 Jahren
F3	Sehr selten	Nicht zu erwarten, aber denkbar, dass das Ereignis während der Betriebslaufzeit eintritt	Seltener als alle 100 Jahre
F4	Unwahrscheinlich	Nahezu ausgeschlossen, dass das Ereignis während der Betriebslaufzeit eintritt	Nicht mehr in überschaubaren Zeiträumen darstellbar
F5	Nicht plausibel	Vernünftigerweise auszuschließen	

Abbildung 27: Beispiel für die Bewertung der Eintrittshäufigkeit



7.3 Anwendung der Risikomatrix

7.3.1 Systematische Ermittlung der relevanten Abweichungen

Die systematische Risikoermittlung setzt für den Betrieb der Anlage ein solides Betriebskonzept voraus. Dieses sorgt für eine wirtschaftliche, zuverlässige und reproduzierbare Produktion unter Einhaltung der vorgegebenen Produktspezifikationen. Das Betriebskonzept muss „robust“ sein, d. h. der bestimmungsgemäße Betrieb muss grundsätzlich sicher sein.

Die Risikomatrix wird dann nicht für den bestimmungsgemäßen Betrieb herangezogen, sondern nur auf Szenarien angewendet, die bei Abweichungen hiervon entstehen können, oder in anderen Worten, „wenn etwas schief geht“. Die Anwendung der Risikomatrix setzt somit die Identifikation möglicher Abweichungen des betrachteten Prozesses voraus – mit ihren potenziellen Auswirkungen und den Ursachen, die in der Regel auf technischem Versagen oder menschlichen Fehlhandlungen beruhen.

Dieser vorgelagerte Schritt der systematischen Risikoermittlung wird üblicherweise mittels des PAAG-/HAZOP-Verfahrens oder verwandter Analyseverfahren durchgeführt. Dabei wird beispielsweise erfasst, durch welche technischen Fehler oder menschlichen Fehlhandlungen externe und interne druck- und energieerzeugende Prozesse auftreten können. Hierbei sind insbesondere Gefahren zu evaluieren, die von Stoffen und Energien ausgehen, beispielsweise durchgehende oder ungewollte chemische Reaktionen.

Voraussetzungen für die Anwendung dieser Risikomatrix sind:

- Grundlegende Dokumentation der Anlage und der Prozesse,
- Anlagenauslegung und -bau gemäß geltender Rechtsvorschriften und Unternehmensvorgaben,
- Umfassendes Konzept der mechanischen Beständigkeit der Anlage einschließlich
 - definierter Prüfungen während Herstellung/Montage und regelmäßig wiederkehrend während des Anlagenlebenslaufes,
 - regelmäßiger und umfassender Instandhaltung, Wartung und Kontrolle sowie wiederkehrender Prüfungen mechanischer und elektrischer Anlagenteile und Ausrüstungen,
- Umfassendes Management zum Umgang mit Änderungen („Management of Change“-Prozedere).

Die systematische Identifizierung wie auch die Bewertung der Gefahren erfolgt in einem interdisziplinär zusammengesetzten Team, das die geforderte Expertise bereithält, und basiert auf einem tiefen Verständnis des zugrundeliegenden Prozesses.

7.3.2 Bewerten der Auswirkungen

Typische negative Auswirkungen von Ereignissen in der Prozessindustrie sind insbesondere die in der Störfall-Verordnung genannten Szenarien

- Stoffaustritt, z. B. Freisetzung toxischer Stoffe,
- Energiefreisetzung, z. B. Versagen der Umschließung bei Überdruck,
- Brand und Explosion, z. B. Entzündung brennbarer Stoffe.

Hierdurch kann es zu Personengefährdungen (Beschäftigte bzw. Dritte), schädlichen Umwelteinflüssen oder auch Sachschäden kommen.

Um das mögliche Schadensausmaß für Personen bewerten zu können, sind zwei Hauptkriterien heranzuziehen:

- Wie groß ist die gespeicherte Energie (z. B. angegeben durch die Expansionsenergie und/oder die Druckanstiegsgeschwindigkeit) und wie wird die Energie freigesetzt?
- Welche akuten Gefahren gehen von dem Stoff aus, wie und in welcher Menge wird der Stoff freigesetzt?

Mit einfachen Worten:

- Je mehr Energie freigesetzt wird, desto größer sind die Auswirkungen.
- Je größer die akute Gefährlichkeit eines Stoffes ist, desto größer sind die Auswirkungen.
- Je größer der Stoffinhalt ist, das heißt, je mehr freigesetzt werden könnte, desto größer ist das zu erwartende Schadensausmaß.

Wenn mehrere Arten von Auswirkungen auftreten (z. B. sowohl Umwelt-, als auch Personengefährdung), ist für jede Auswirkung eine Abschätzung vorzunehmen. Das größere Ausmaß bestimmt dann die Schadensklasse. Wenn Unsicherheit besteht, sollte das Schadensausmaß im Allgemeinen konservativ angenommen werden.

Bei der Bewertung der Szenarien wird grundsätzlich von einem Prozess ohne Sicherheitsmaßnahmen ausgegangen. Das bedeutet, dass im ersten Schritt auch die bereits vorhandenen eintrittsverhindernden Maßnahmen (insbesondere PLT-Einrichtungen und organisatorische Maßnahmen) zunächst nicht berücksichtigt werden. Dahingegen können die vorhandenen passiven „mitigierenden“ bzw. auswirkungsbegrenzenden Maßnahmen (beispielsweise bauliche Einrichtungen wie Brandwände oder Ähnliches, die letztlich das „robuste“ Betriebskonzept widerspiegeln) bei den vernünftigerweise zu erwartenden (plausiblen) Auswirkungen berücksichtigt werden.



Die Abbildungen 28 bis 30 zeigen beispielhaft einige Einschätzungen als Orientierungshilfe. Für alle diese Bewertungen gilt, dass die jeweilige Arbeitsumgebung, die Eigenschaften der gehandhabten Chemikalien und ggf. besondere Prozessbedingungen zu berücksichtigen sind und eine höhere oder niedrigere Einstufung rechtfertigen können. Anforderungen gemäß Rechtsvorschriften oder technischer Standards sind zu berücksichtigen.

Im Fall „inhärenter Sicherheit“, also wenn die Anlage für die in diesem Szenario maximal möglichen Prozessparameter ausgelegt ist, ist es nicht erforderlich, weitere Risikoreduzierungen zu betrachten. Die Daten des Szenarios, der Gefahrenquelle (z. B. Druckerzeuger, Energiequelle) und der Auslegung sind in diesem Fall zu dokumentieren. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Szenario ist dann nicht mehr relevant.

Typische Klassifizierung	Einflussfaktoren, die das Schadensausmaß erhöhen	Einflussfaktoren, die das Schadensausmaß vermindern
Austritt von Stoffen, die beim Einatmen oder bei Hautkontakt toxisch sind → S1	<ul style="list-style-type: none">• großes freisetzbare Volumen im Verhältnis zur Anlagengröße / zum Produktionsbereich• Freisetzung sehr giftiger Stoffe• Hoher Dampfdruck der freigesetzten Stoffe → S0	<ul style="list-style-type: none">• Freisetzung toxischer Stoffe in einen sicheren, gefahrlosen Bereich• Freisetzung von Stoffen geringer Toxizität• Geringer Dampfdruck der freigesetzten Stoffe• Geringe freisetzbare Menge bzw. geringer Massenstrom• Leichte Erkennbarkeit, niedrige Geruchsschwelle → S2

Abbildung 28: Beispiel für die Klassifizierung des Schadensausmaßes bei dem Szenario „Austritt toxischer Gefahrstoffe“. Relevante Bewertungsparameter sind: Wirkungsweise der Toxizität, Menge der austretenden Stoffe

Typische Klassifizierung	Einflussfaktoren, die das Schadensausmaß erhöhen	Einflussfaktoren, die das Schadensausmaß vermindern
Hydraulischer Druck einer Flüssigkeit unterhalb Siedetemperatur bei Atmosphärendruck → S2	<ul style="list-style-type: none"> • Druck über 100 bar und - mindestens 10 Liter Apparate-Volumen oder - mindestens 200 mm Rohrleitungs-Nennweite → S1	<ul style="list-style-type: none"> • Ausschließlich thermische Ausdehnung → S3
Gasphasen-Druck bei Anlageteilen, die nicht zu 100% flüssigkeitsgefüllt sind → S1	Gasphasen-Druck bei signifikantem Volumen, mittlerem bzw. hohem Druck oder bei unter Druck verflüssigten Gasen → S0	<ul style="list-style-type: none"> • Druck-Inhalts-Produkt maximal 50 bar x Liter • Geringer Überdruck von maximal 0,5 bar • Geringes Apparate-Volumen von maximal 1 Liter → S2

Abbildung 29: Beispiel für die Klassifizierung des Schadensausmaßes bei dem Szenario „Energiefreisetzung“, z. B. das Versagen eines Behälters infolge unzulässigen Überdrucks. Relevante Bewertungsparameter sind: Druck, Druck-Inhalts-Produkt und Aggregatzustand der eingeschlossenen Medien.



Typische Klassifizierung	Einflussfaktoren, die das Schadensausmaß erhöhen	Einflussfaktoren, die das Schadensausmaß vermindern
<p>Austritt entzündlicher Stoffe bei maximalen Betriebstemperaturen oberhalb oder im Bereich des Flammpunktes (bis 5 K unterhalb des Flammpunktes bei reinen Stoffen bzw. 15 K bei Gemischen) oder durch Versprühen/Vernebeln unter Druck</p> <p style="text-align: center;">→ S1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Große Menge austretender Flüssigkeit, die einen großen Anlagenbereich fluten kann • Große Menge austretender Gasphase, die einen großen Anlagenbereich mit gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre füllen kann • Temperatur der austretenden Flüssigkeit oberhalb der Siedetemperatur bei Atmosphärendruck • Instabiles Fluid, das sich bei Austritt an die Atmosphäre selbst zersetzt <p style="text-align: center;">→ S0</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Brennbare Stoffe von maximal 10 Liter mit geringem Dampfdruck, durch den sich keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bildet • Geringe Austrittsmenge und nicht gefährliche explosionsfähige Atmosphäre von maximal 10 Liter <p style="text-align: center;">→ S2</p>

Abbildung 30: Beispiel für die Klassifizierung des Schadensausmaßes bei dem Szenario „Brand und Explosion“, z. B. die Entzündung freigesetzter entzündlicher Stoffe. Relevante Bewertungsparameter sind: Menge der austretenden Stoffe und der explosionsfähigen Atmosphäre.

7.3.3 Bestimmung der Eintrittshäufigkeit

Bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit ist die Wahrscheinlichkeit des auslösenden Ereignisses zu evaluieren. Für quantitative Aussagen ist zu hinterfragen, ob die genutzten Datenquellen für eine Übertragbarkeit auf das betrachtete System plausi-

bel sind. Abbildung 31 zeigt beispielhaft einige Einschätzungen als Orientierungshilfe. Zu berücksichtigen ist beispielsweise auch der Ausfall von Energie- und Versorgungsnetzen, wobei standortspezifische Werte zu nutzen sind.

Auslösende Störung	Häufigkeitsbereich
Funktionsausfall	
<ul style="list-style-type: none"> • Aktive Aggregate, z. B. Pumpen, Mischer, Kompressoren • Betriebliche PLS-Funktion² (Loop) • Örtlicher Regler • Pneumatische Regelung 	F1
<ul style="list-style-type: none"> • Rückschlagklappen, je nach Ausführung und Einsatzbedingungen • Betriebliche Prozessanalysegeräte (Loop) 	F0 – F1
Bedienfehler³	
<ul style="list-style-type: none"> • Routinemäßige Arbeiten des Bedienpersonals 	F1
Fehler in Nebenanlagen / in der Energieversorgung	
<ul style="list-style-type: none"> • Stromversorgung • Wärmeversorgung (z. B. Dampf, Heißwasser, Wärmeträger) • Kälteversorgung (z. B. Kühlsole, Kaltwasser) • Wasser (z. B. Prozesswasser, Trinkwasser) • Gase (z. B. Erdgas, Stickstoff (ohne Backup-System), Luft) 	F0 – F1
Außenleckage	
<ul style="list-style-type: none"> • Totalversagen von regelkonform konstruierten und überwachten Druckbehältern (z. B. Kessel, Rohre, Pumpengehäuse) 	F5⁴
<ul style="list-style-type: none"> • Totalversagen von zur Atmosphäre offenen Apparaten (z. B. Behälter aus Metall, Kunststoff oder glasfaserverstärktem Kunststoff) oder von Rohren aus Kunststoff oder glasfaserverstärktem Kunststoff 	F4 – F5
<ul style="list-style-type: none"> • Flanschleckage 	F1 – F3

Abbildung 31: Beispiele für die Klassifizierung der Eintrittshäufigkeit

² Unter Berücksichtigung branchenüblicher Erfahrungen und Beschränkungen nach IEC 61508 bzw. IEC 61511 ist die Eintrittshäufigkeit von Geräteausfällen im Prozessleitsystem (PLS) dem Bereich F1 zuzuordnen. Allerdings liegt die Wahrscheinlichkeit für gefährliche Ausfälle bei Prozessleitsystemen, die dem Stand der Technik entsprechen und gut überwacht und instandgehalten werden, am unteren Ende des F1-Bereiches. Für PLS-Funktion mit erhöhter Zuverlässigkeit oder PLS-Funktion mit SIL-zertifizierten Komponenten gelten geringere Ausfallraten.

³ Unter der Annahme, dass der Mitarbeiter gut ausgebildet, kompetent, nicht überlastet und nicht übermüdet ist.

⁴ Die Eintrittshäufigkeit aus der Literatur beträgt 10^{-5} bis 10^{-7} pro Jahr, deshalb ist F5 konservativ.



Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses hängt in erster Linie von der Eintrittshäufigkeit des auslösenden Fehlers ab. Jede einzelne unabhängige auslösende Ursache wird dabei als „unabhängiger Primärfehler“ bezeichnet. Es kann dabei mehrere unabhängige Primärfehler geben, die zur gleichen Abweichung führen.

Um die Eintrittswahrscheinlichkeit des gesamten Schadensszenarios abzuschätzen, können dann weitere Aspekte in Betracht gezogen werden. Solche Einflussfaktoren („conditional modifiers“) können zum Beispiel sein:

- Wahrscheinlichkeit, dass eine explosionsfähige Atmosphäre gezündet wird;
- Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit von Personen im Gefahrenbereich zum Zeitpunkt des Ereignisses;
- Möglichkeit der Personen, gefährliche Einwirkungen zu vermeiden (z. B. durch Flucht) bzw. Wahrscheinlichkeit, dass die Personen von den Auswirkungen (z. B. Druckwelle, Trümmerflug, Wärmestrahlung) getroffen werden.

Diese Aspekte verringern die Eintrittshäufigkeit, mit der ein Ereignisablauf tatsächlich eintritt, auf einen Wert, der mehrere Größenordnungen unterhalb der Eintrittshäufigkeit der auslösenden Störung liegen kann (vgl. Abbildung 32). Damit das Szenario aber in seiner Bedeutung nicht unterschätzt (oder als zu harmlos dargestellt) wird, muss eine Berücksichtigung der „conditional modifiers“ mit großer Sorgfalt und Ernsthaftigkeit erfolgen.

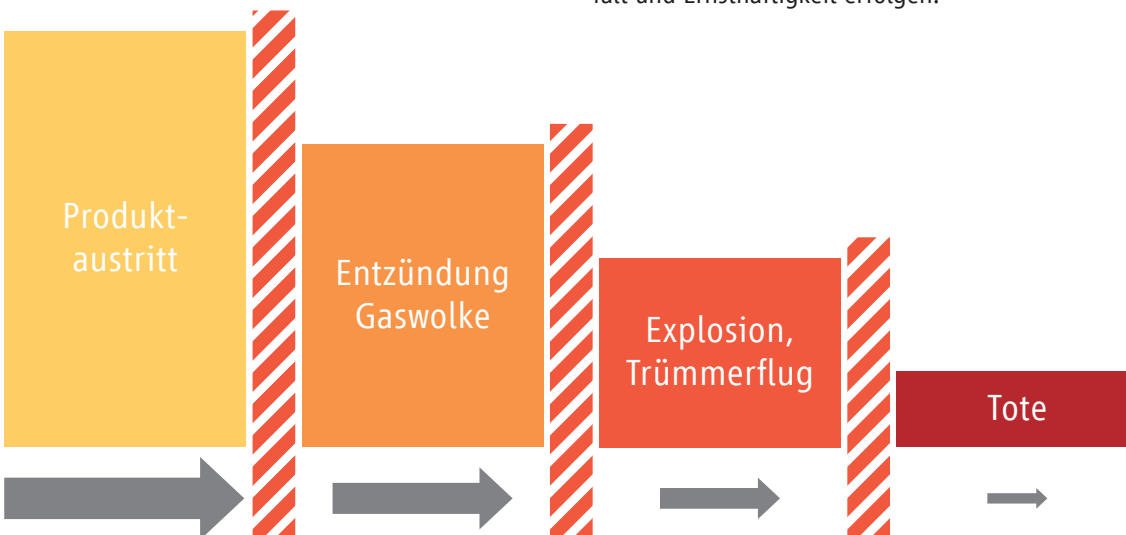


Abbildung 32: Visualisierung der Häufigkeit von Schadensszenarien am Beispiel des ungewollten Austritts eines brennbaren Mediums. Die Stärke des Pfeils symbolisiert die Wahrscheinlichkeit, die Barrieren die „conditional modifiers“

7.3.4 Bestimmung der Risikoklasse

Aus den Werten für die Auswirkungen und Eintrittshäufigkeit ergibt sich nach Abbildung 25 das Risiko.

- Die Risikoklassen A bis E beschreiben Prozessrisiken, die je nach Klasse abgestufte sicherheitsrelevante Maßnahmen erfordern.
- Der Bereich mit dem akzeptablen Risiko wird in der Anlagensicherheit in der Regel nicht weiter betrachtet, grundsätzlich können hier zusätzliche risikoreduzierende Maßnahmen sinnvoll sein.

Alle möglichen Varianten eines Schadensablaufs sollten untersucht werden. Es wird für jedes Schadensszenario möglicherweise mehrere Kombinationen von Häufigkeit und Ausmaß geben. In diesem Fall werden die vorangehenden Schritte für jedes Wertepaar durchgeführt, um das größte Risiko herauszufinden.

7.3.5 Festlegung der risikoreduzierenden Maßnahmen

Die Risikomatrix wurde entwickelt, um Zuverlässigkeitsanforderungen an Schutzkonzepte festzulegen. Mit der Umsetzung entsprechend geeigneter ereignisverhindernder Maßnahmen und ggf. unter Berücksichtigung schadensbegrenzender Maßnahmen wird das Risiko auf ein akzeptables Niveau reduziert.

Mit steigendem Risiko werden an die Zuverlässigkeit der ereignisverhindernden Maßnahmen entsprechend höhere Anforderungen gestellt. Der Begriff Zuverlässigkeit bezeichnet dabei die Wahrscheinlichkeit, mit der Maßnahmen und Systeme ihre jeweiligen Funktionen im Anforderungsfall ordnungsgemäß und fehlerfrei erfüllen. Die Zuverlässigkeitsanforderungen einer jeden Risikoklasse an ereignisverhindernde Maßnahmen werden in der Regel qualitativ ausgedrückt und – zum besseren Verständnis – einer entsprechenden Maßnahmenklasse zugeordnet.

Die Risikoklasse gibt somit das Mindestmaß vor, das notwendig ist, um das Risiko mindestens auf einen Wert unterhalb des definierten akzeptablen Grenzwertes zu reduzieren. Jeder Risikoklasse können Alternativen möglicher Maßnahmenpakete zugeordnet werden. Wählt man daraus ein geeignetes Paket aus, erzielt man damit die erforderliche Risikoreduzierung bis zu einem akzeptablen Risiko. Abbildung 33 zeigt beispielhaft einige Schutzkonzepte als Orientierungshilfe.

Werden die Maßnahmen entsprechend der beschriebenen Konzepte der Risikoklasse realisiert, so kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass das Risiko angemessen beherrscht wird. Eine weitere Reduzierung des Risikos kann im Einzelfall wünschenswert und/oder notwendig sein. Darüber hinaus sollen auswirkungsbegrenzende Maßnahmen die Schwere der Auswirkungen eines potenziellen Ereignisses minimieren. Typische Maßnahmen dieser Art sind z. B.

- passive Schutzsysteme wie Auffangbecken/bauliche Rückhalteinrichtungen, Drainage-Systeme, explosionsdruckfeste Wände, Bunker, baulicher Brandschutz, Sicherheitsabstände,
- aktive Schutzsysteme, die aus Detektions-, Auswertungs- und Aktorsystemen bestehen (z. B. Gasdetektor, der Maßnahmen auslöst wie Abschaltung, Segmentierung, Wasserberieselung), Explosionsunterdrückungssysteme, Explosionsschutzventile, ferngesteuerte Not-Absperrarmaturen,
- aktive Brandschutzsysteme (z. B. Rauch- oder Wärmemelder, Sprinkler- oder Schaumanlagen, Brandschutztüren, im Brandfall selbstschließende Ventile),
- persönliche Schutzausrüstungen.



Sind in einem Unternehmen keine für eine Risikoklasse vordefinierten Schutzkonzepte vorhanden, die eine Reduzierung auf das vertretbare Risiko bewirken, ist in jedem Fall eine Einzelfallentscheidung erforderlich.

Mit diesem letzten Schritt sind die Risikobeurteilung und die Bewertung der Maßnahmen und deren Qualität und Zuverlässigkeit abgeschlossen, um das potenzielle Risiko eines Prozesses angemessen zu beherrschen.

Risikoklasse	Maßnahmenkonzept	Erläuterung	Beispiele für risikoreduzierende Maßnahmen
A	Substitution	Änderung des Verfahrens erforderlich	Grundlegende Überarbeitung des Verfahrenskonzeptes
B	Hohe mechanische Integrität	Möglichst Verfahrens- oder Design-Änderung	Reduzierung des stofflichen oder energetischen Potenzials, oder Auslegung mit besonders hoher mechanischer Integrität
C	Sehr hohe Zuverlässigkeit	Technische oder organisatorische Sicherheitsmaßnahme mit sehr hoher Zuverlässigkeit	Hochverfügbare mechanische Druckentlastungseinrichtung oder PLT-Sicherheitseinrichtung mit SIL 3 Qualität
D	Hohe Zuverlässigkeit	Technische oder organisatorische Sicherheitsmaßnahme mit hoher Zuverlässigkeit	Sicherheitsventil oder PLT-Sicherheitseinrichtung mit SIL 2 Qualität
E	Erhöhte Zuverlässigkeit	Technische oder organisatorische Sicherheitsmaßnahme mit erhöhter Zuverlässigkeit	PLT-Betriebseinrichtung mit Sicherheitsfunktion oder PLT-Sicherheitseinrichtung mit SIL 1 Qualität

Abbildung 33: Beispiel für die Zuordnung von Konzepten und Maßnahmen zu Risikoklassen





8 Zurich Hazard Analysis (ZHA)

8.1 Grundlagen

Die „Zürich“ Gefahrenanalyse (englisch: Zurich Hazard Analysis – ZHA) 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 wurde die ZHA im Risk Engineering der „Zürich“ Versicherungen, um für ihre Kunden systematisch und schnell Gefahren und Bedrohungen aufzuzeigen und Maßnahmen zur Risikobewältigung anzubieten.

Bewährt hat sich die ZHA, um Gefährdungen für Mensch und 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 der Risikoanalyse erwähnt.

Wie bei der zuvor beschriebenen Risikomatrix werden die Auswirkungen und die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Szenarien bewertet. Wesentlicher Unterschied ist, dass die vorhandenen Gegenmaßnahmen von vornherein in die Risikoanalyse einbezogen werden und zunächst insbesondere die finanziellen Aspekte eine Rolle spielen.

8.2 Risikoermittlung

Ausgangspunkt der ZHA bildet die Auswahl der Szenarien, die zu unerwünschten Ereignissen führen können. Dieser der Risikoanalyse vorgelagerte Schritt der Risikoermittlung kann beispielsweise mittels der PAAG/HAZOP-Analyse durchgeführt werden. Bei dem ursprünglichen Ansatz wird das zu analysierende System auf vorher festgelegten Pfaden (z. B. Materialfluss) durchleuchtet und mittels der so genannten „Ticklerliste“ nach fünf Bereichen 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).

8.3 Bewertung der Risiken

Jedes identifizierte Ereignis wird nach Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Wie bei vergleichbaren Methoden wird bei der ZHA eine relative Bewertung vorgenommen.

Für jede Kategorie werden die Auswirkungen bezüglich Personen- bzw. Umweltschaden, Einbuße von Marktanteilen, Produktionsausfall, Imageverlust usw. anwenderspezifisch definiert (Abbildung 34). Bei Ereignissen ohne Personenschaden kann die Einstufung direkt in finanziellen Verlusten ausgedrückt werden.

Kategorien der Auswirkungen:	
I	Katastrophal
II	Kritisch
III	Klein
IV	Unbedeutend

Abbildung 34: Klassifizierung der Auswirkungen bei der ZHA

Für die relative Skala der Eintrittswahrscheinlichkeit können anwenderspezifisch definierte Zeiträume zugeordnet werden (Abbildung 35).

Kategorien der Eintrittswahrscheinlichkeiten:	
A	Häufig
B	Oft
C	Gelegentlich
D	Selten
E	Unwahrscheinlich
F	Sehr unwahrscheinlich

Abbildung 35: Klassifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bei der ZHA

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

8.4 Festlegung des Risikoprofils

Das Risikoprofil ist ein zweidimensionales Gitter mit den beiden Achsen „Eintrittswahrscheinlichkeit“ und „Auswirkungen“. Das Schutzziel wird als Treppenkurve dargestellt (siehe Abbildung 36). Beim Festlegen des Schutzziels, das sich im Abstand der Stufen und der Form der Treppenkurve widerspiegelt, müssen die Interessen des Betreibers, der Behörden (speziell im Fall von Anlagen, die der Störfallverordnung unterliegen) sowie gegebenenfalls des Schadenversicherers berücksichtigt werden. Für den gleichen Betrieb, mit identischen Anlagen aber an einem anderen Standort, kann unter Umständen eine andere Treppenkurve resultieren.

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 letztlich unterhalb des definierten Schutzzieles liegen. Im Falle von Sachschäden kann dies andernfalls zu einer erhöhten Prämie oder einem erhöhten Selbstbehalt führen.



		Auswirkungen			
		IV	III	II	I
Eintrittswahrscheinlichkeit	A	Red	Red	Red	Red
	B	Green	Red	Red	Red
	C	Green	Red	Red	Red
	D	Green	Green	Red	Red
	E	Green	Green	Green	Red
	F	Green	Green	Green	Green

Abbildung 36: Risikoprofil mit Schutzziel-Treppe

8.5 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. Im Maßnahmenkatalog wird konkret beschrieben, wie die über dem Schutzziel liegenden Risiken vermindert werden sollen.

8.6 Bestimmung des verbleibenden Risikos

Das verbleibende Risiko kann akzeptiert werden, wenn das Schutzziel erreicht wurde. Hierzu wird eine erneute Sicherheitsbetrachtung unter Berücksichtigung der zusätzlich getroffenen Maßnahmen durchgeführt.





9 Risikographen

9.1 Risikograph gemäß Richtlinie VDI/VDE 2180

Im Sicherheitskonzept verfahrenstechnischer Anlagen spielen Einrichtungen der Prozessleittechnik (PLT) eine tragende Rolle. Sollen diese Einrichtungen ernste Schäden beispielsweise im Sinne der Störfall-Verordnung verhindern, zählen sie als Sicherheitseinrichtungen bzw. als sicherheitsrelevante Anlagenteile.

Je nach abzudeckendem Risiko differenziert die Richtlinie VDI/VDE 2180 verschiedene Klassen von PLT-Sicherheitseinrichtungen, die eine unterschiedlich hohe Verfügbarkeit besitzen. Die Richtlinie VDI/VDE 2180 lehnt sich dabei an die Norm DIN EN 61511 an, dort wird die sicherheitstechnische Anforderung an PLT Einrichtungen mit Hilfe des so genannten „Safety Integrity Level“ (SIL) beschrieben.

Blatt 1 der Richtlinie beschreibt die Vorgehensweise zur Festlegung der sicherheitstechnischen Anforderungen mit Hilfe des so genannten Risikographen. In Abbildung 37 sind die Risikoparameter und ihre Verknüpfung dargestellt, Abbildung 38 zeigt die Differenzierung der Parameter.

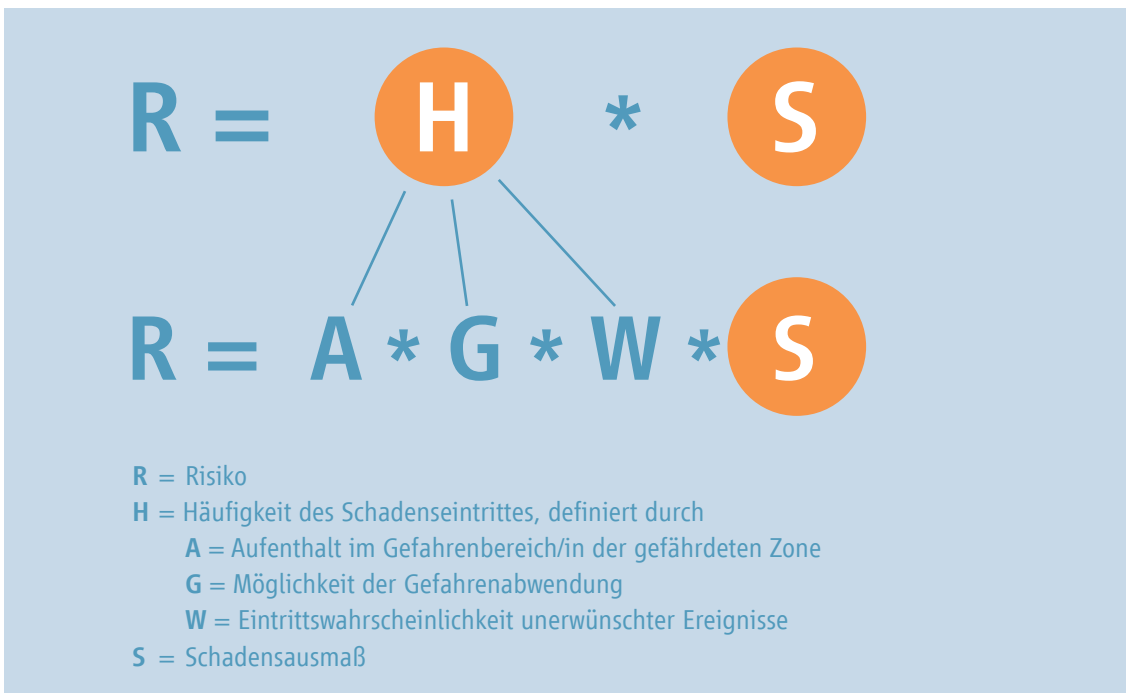


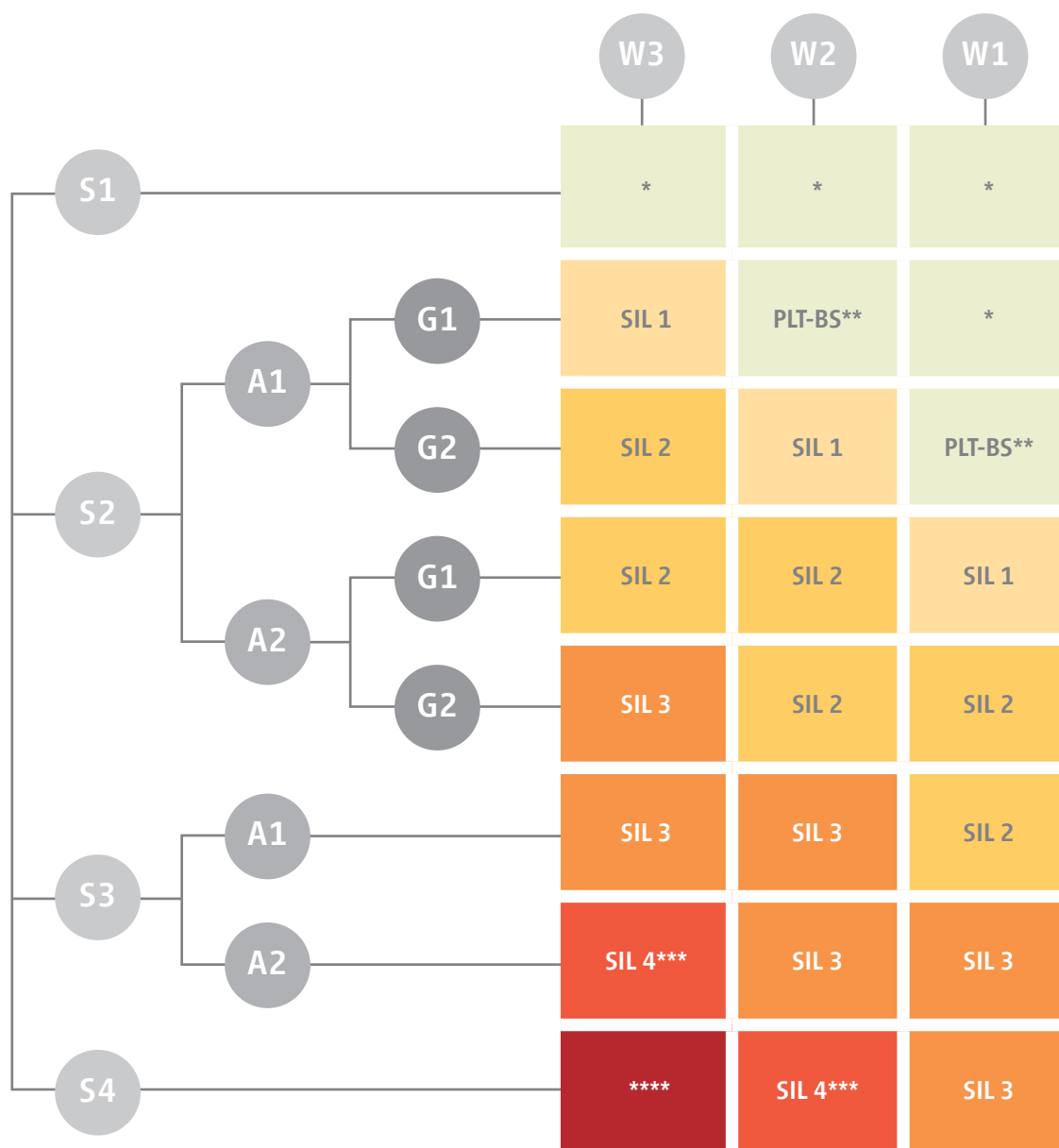
Abbildung 37: Risikodefinition gemäß Risikograph

Schadensausmaß (S)	
S1:	leichte Verletzung von Personen, kleine Umwelteinflüsse; beides außerhalb des Geltungsbereichs der Störfall-Verordnung
S2:	schwere, bleibende Verletzung einer oder mehrerer Personen; Tod einer Person, vorübergehende größere schädliche Umwelteinflüsse, z. B. nach Störfall-Verordnung
S3:	Tod mehrerer Personen, lang andauernde größere schädliche Umwelteinflüsse, z. B. nach Störfall-Verordnung
S4:	katastrophale Auswirkungen, viele Tote
Aufenthalt im Gefahrenbereich (A)	
A1:	seltener bis häufiger Aufenthalt in der gefährdeten Zone
A2:	häufiger bis andauernder Aufenthalt in der gefährdeten Zone
Gefahrenabwendung (G)	
G1:	unter bestimmten Bedingungen möglich
G2:	fast unmöglich
Eintrittswahrscheinlichkeit (W)	
W1:	sehr geringe Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Auftretens und nur sehr wenige unerwünschte Ereignisse sind im betrachteten oder in ähnlichen Prozessen wahrscheinlich
W2:	geringe Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Auftretens und nur wenige unerwünschte Ereignisse sind im betrachteten oder in ähnlichen Prozessen wahrscheinlich
W3:	relativ hohe Wahrscheinlichkeit des unerwünschten Auftretens und häufige unerwünschte Ereignisse sind im betrachteten oder in ähnlichen Prozessen wahrscheinlich

Abbildung 38: Risikoparameter des Risikographen

Der Risikograph führt die Risikoparameter S, A, G und W zu einer konkreten sicherheitstechnischen Anforderung in Form einer SIL-Einstufung zusammen (Abbildung 39). Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Einstufung für die Verfügbarkeit des gesamten Regelkreises gilt. Das kann bedeuten, dass für die einzelnen Komponenten Sensor, Verarbeitung und Aktor gegebenenfalls höhere SIL-Klassen erforderlich sind, um den Wert für das Gesamtsystem erreichen zu können.

Die Klassifizierung der PLT Einrichtungen sollte in geeigneter Weise dokumentiert werden. Diese Dokumente stellen somit als „Geburtsurkunde“ der einzelnen PLT Schutzeinrichtung eine wichtige Grundlage der betrieblichen Dokumentation dar (Abbildung 40).



- * keine PLT-Sicherheitsfunktion (z. B. technische Arbeitsschutz-Maßnahmen, PLT-Betriebsfunktion)
- ** Betriebseinrichtungen mit Sicherheitsfunktion (hochverfügbare Überwachungseinrichtungen)
- *** PLT-Sicherheitsfunktionen mit SIL 4 sind möglichst zu vermeiden
- **** PLT-Sicherheitsfunktion nicht ausreichend

Abbildung 39: Risikograph gemäß VDI/VDE 2180-1 (Stand April 2019)

Ausgangspunkt für eine Risikobeurteilung mittels des Risikographen bildet die Auswahl der Szenarien, die zu unerwünschten Ereignissen führen. Dieser

der Risikoanalyse vorgelagerte Schritt kann in verfahrenstechnischen Anlagen beispielsweise mittels der PAAG/HAZOP-Analyse durchgeführt werden.



Datenblatt 1 Klassifizierung				Datum	Blatt	1	
				17.12.2019	von	2	
Protokoll zur Klassifizierung von PLT-Einrichtungen als Ergebnis der Sicherheitsbetrachtung							
Gebäude	Betrieb	(Teil-)Anlage	RI - Fließbild-Nr.	/	Datum		
C769	AuG	Beispiel			12345-67-89-A / 17.12.2019		
PLT-Stellennummer		Bezeichnung im Klartext					
LIZA+110.1		Überfüllsicherung am B110					
Klassifizierung von PLT-Einrichtungen							
PLT-Überwachungseinrichtung				C	<input type="checkbox"/>		
PLT-Sicherheitseinrichtung				schadensbegrenzend	X	<input type="checkbox"/>	
PLT-Sicherheitseinrichtung				ereignisverhindernd	A	<input checked="" type="checkbox"/>	
Abzudeckendes Risiko:		Überfüllung des B110, Eintritt von 2-Propanol in ebenfalls an das Abluftsystem angebundene Apparate, dadurch dort ggf. unvermutete Ex-Gefahr sowie Exposition von Mitarbeitern bei offenem Rohstoffeintrag					
Schadensausmaß				W 3	W 2	W 1	Auslegung
S 1 <input type="checkbox"/> S 2 <input checked="" type="checkbox"/> S 3 <input type="checkbox"/> S 4 <input type="checkbox"/>				kein	kein	kein	keine PLT-Sicherheitseinrichtung
Aufenthalt im Gefahrenbereich				SIL 1	SIL 1 #	kein	
A 1 <input type="checkbox"/> A 2 <input checked="" type="checkbox"/>				SIL 2	SIL 1	SIL 1 #	PLT-Sicherheitseinrichtung
Gefahrenabwendung				SIL 2	SIL 2	SIL 1	
G 1 <input checked="" type="checkbox"/> G 2 <input type="checkbox"/>				SIL 3	SIL 2	SIL 2	
Eintrittswahrscheinlichkeit				SIL 3	SIL 3	SIL 2	
W 1 <input checked="" type="checkbox"/> W 2 <input type="checkbox"/> W 3 <input type="checkbox"/>				SIL 4	SIL 3	SIL 3	
		SIL: SIL 1 PLT-Sicherheitseinrichtung		***	SIL 4	SIL 3	durch PLT-Sicherheitseinrichtung allein nicht abzudecken
# gem. VDI/VDE 2180 als PLT-BS. Es wird empfohlen, diese als SIL 1 auszuführen.							
Kurz begründung für die Wahl der Risikoparameter							
Schadensausmaß:	S 2	Personenschaden durch Explosion sowie durch Exposition gegenüber 2-Propanol					
Aufenthalt im Gefahrenbereich:	A 2	ständige Anwesenheit von Personen im Gefahrenbereich					
Gefahrenabwendung:	G 1	dauerhafte Überwachung während des Entladevorgangs. Überlauf erfolgt zunächst in den benachbarten identisch ausgeführten Butanoltank. Möglichkeit zur Abschaltung des Füllprozesses über Anlagen-AUS					
Eintrittswahrscheinlichkeit:	W 1	sehr gering angesichts zusätzlicher vorhandener technischer und organisatorischer Maßnahmen					



Gebäude	Betrieb	PLT-Stellennummer	Blatt			
C769	AuG	LIZA+110.1	von	1 2		
Die PLT-Einrichtung unterliegt folgenden Gesetzen / Rechtsverordnungen / Technischen Regeln usw.						
Dampfkesselanlagen / Feuerungsanlagen	K <input type="checkbox"/>	Anlagen-AUS	N <input type="checkbox"/>			
BetrSichV (Druckbehälter)	D <input type="checkbox"/>	Konzessionsbescheid	Z <input type="checkbox"/>			
StörfallV	S <input checked="" type="checkbox"/>	Einrichtungen zum Explosionsschutz	X <input checked="" type="checkbox"/>			
Wasserhaushaltsgesetz (AwSV)	W <input type="checkbox"/>	Maschinen in der Verfahrenstechnik *	M <input type="checkbox"/>			
Sonstige	Y <input type="checkbox"/>					
Kennbuchstaben	AISX	*) nur für PLT-Einrichtungen, die gleichzeitig Anlagen der Verfahrenstechnik absichern				
Grenzwerte: Funktionen / Einstellungen						
	Alarmer		Schaltung 1		Schaltung 2	
	Voralarm	Hauptalarm	Grenzwert	schaltet	Grenzwert	schaltet
min.						
max.	80%	82%	85%	UV(Z) 110-1 zu UV(Z) 110-2 zu UV(Z) 110-3 zu		
Technische Ausführung der PLT-Stelle (Art der Geräte, Einbauort, produktberührte Materialien, Genauigkeit, weitere kritische Rahmenbedingung oder produktspezifische Hinweise, betriebliche Mitbenutzung Sensoren/Aktoren)						
bauartzugelassene Überfüllsicherung						
Festlegung zu Abschalt- und Prozesssicherheitszeit (Nachlaufmengen, Abschaltzeiten)						
Volumenstrom 10 m³/h = 0,17 m³/min. Freies Restvolumen bei Schaltwert 85% 0,75 m³, Zeit bis zum Überlauf 4,5 min						
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 (Angaben zu Teilprüfungen, Prüfhilfen, weitere Rahmenbedingung)						
Teilnehmer der Sicherheitsbetrachtung: Name (Klartext) / Unterschrift / Datum						
Technische Überwachung			Datum	Sicherheitsingenieur	Datum	
Planungsingenieur / Anlagenplanung			Datum	Betriebsingenieur	Datum	
Planungsingenieur / PLT-Planung			Datum	PLT-Fachbetriebsingenieur	Datum	
			Datum	Betreiber	Datum	

Abbildung 40: Klassifizierung von PLT-Einrichtungen in Anlehnung an die Sicherheitsrichtlinie 4 der Infracore Höchst

9.2 Risikograph der DIN EN 50156-1

Die DIN EN 50156-1 „Elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen und zugehörige Einrichtungen – Bestimmungen für die Anwendungsplanung und Errichtung“ verwendet zur Risikoabschätzung einen Risikographen mit den Parametern:

- C Folgen des gefährlichen Vorfalls,
- F Häufigkeit der Gefahr und Expositionsdauer,
- P Möglichkeit der Vermeidung des gefährlichen Vorfalls,
- W Wahrscheinlichkeit eines unerwünschten Eintritts.

Ergebnis der Klassifizierungen sind konkrete Sicherheitsanforderungen:

- Standard-Leittechnik (a),
- Sicherheits-Integritätslevel (1–4),
- ein einziges sicherheitsbezogenes System reicht nicht aus (b).

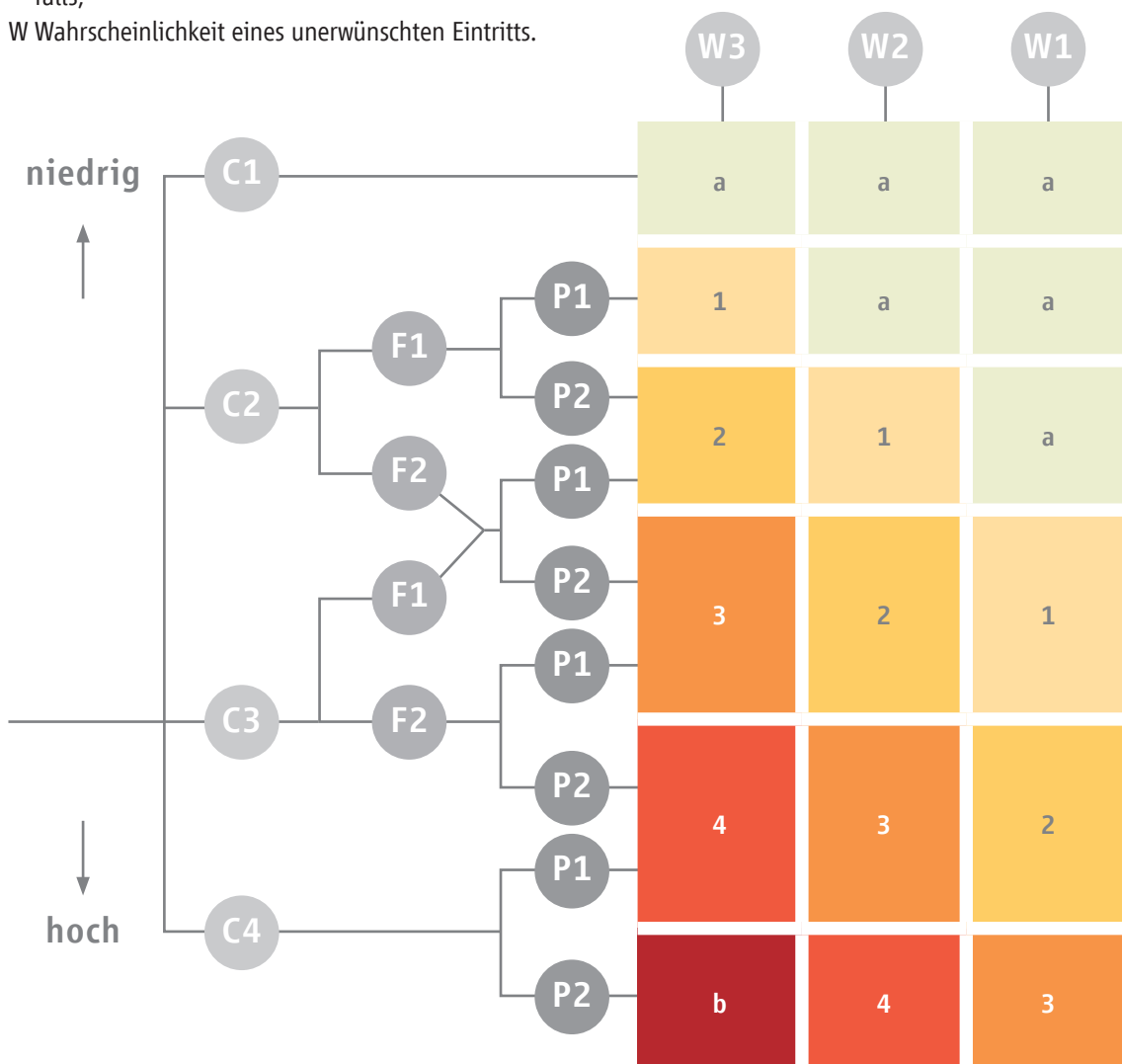


Abbildung 41: Risikograph gemäß DIN EN 50156-1 (Stand März 2016)



9.3 Risikograph der DIN EN 62061

Die DIN EN 62061 „Sicherheit von Maschinen – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme“ verwendet zur Risikoabschätzung eine Matrix mit den Parametern:

- S Schwere,
- F Häufigkeit und Dauer der Exposition,
- W Wahrscheinlichkeit,
- P Wahrscheinlichkeit 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 Sicherheits-Integritätslevel (SIL) bzw. die Empfehlung, andere Maßnahmen zu ergreifen (AM).

Schwere (S)	Klasse (K)				
	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 42: Risikograph gemäß DIN EN 62061-1 (Stand Mai 2016)

10 Risikoprioritätszahl

10.1 Grundlagen

Ein bewährtes Vorgehen zur Risikobeurteilung ist die Ermittlung der Risikoprioritätszahl (RPZ). Diese beschreibt das mathematische Produkt aus drei Zahlenwerten für die Einstufung von Szenarien hinsichtlich

- Auftreten **A** (d. h. die Auftrittswahrscheinlichkeit),
- Entdeckung **E** (d. h. die Wahrscheinlichkeit der Fehlererkennung vor Schadenseintritt) und
- Bedeutung **B** (d. h. die Tragweite) von Fehlern bzw. Abweichungen.

Da die Einstufung für alle drei Kategorien üblicherweise jeweils mit Zahlenwerten zwischen 1 und 10 vorgenommen wird, liegt die RPZ somit theoretisch im Bereich zwischen 1 und 1000. Die Kriterien zur Differenzierung können in Abhängigkeit der betrieblichen Gegebenheiten definiert und zur Vereinfachung der Feinabstufung in Bereiche zusammengefasst werden.

In der Praxis werden darüber hinaus häufig 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 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 die Anlage 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 darlegen.



Auftreten von Fehlern (A-Bewertung), die zum Ergebnis 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									

Entdecken von Fehlern (E-Bewertung), die zum Ergebnis 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 auffindbar							X			
Personenschaden bis 6 Wochen								X		
Hoher Sachschaden, Zerstörung des Gebäudes										X
Hoher Personenschaden, viele Verletzte, Tote										X

Abbildung 43: Beispiele für die Vergabe von Bewertungsfaktoren in der Prozessindustrie



10.2 Das Festlegen der Szenarien: die Fehlermöglichkeiten- und -einflussanalyse (FMEA) sowie die 5 M-Methode

Ausgangspunkt für eine Risikobeurteilung mittels der RPZ bildet die Auswahl der Szenarien, die zu unerwünschten Ereignissen führen. Dieser der Risikoanalyse vorgelagerte Schritt kann in verfahrenstechnischen Anlagen beispielsweise mittels der PAAG/HAZOP-Analyse durchgeführt werden.

Der ursprüngliche Ansatz der RPZ-Methode kommt aus der Fehlermöglichkeiten- und -einflussanalyse (FMEA), einer induktiven Analyse zur Fehlererkennung und -bewertung in Konstruktion und Fertigung. Eine Beschreibung findet sich erstmals 1949 in einer United States Military Procedure (MIL-P-1629). Eine zivile Nutzung ist ab 1959 bei der NASA, ab den 1980er Jahren in Deutschland in der Automobilindustrie im Rahmen der Qualitätssicherung bekannt.

Die Zergliederung des betrachteten Prozesses und das Festlegen der betrachteten Szenarien erfolgt beispielsweise über die Schritte „fehlerfolgenrelevantes Strukturelement → fehlerartenrelevantes Strukturelement → fehlerursachenrelevantes Strukturelement“ (Abbildung 44). Die auslösenden Ursachen können in Anlehnung an Ishikawa in den fünf Kategorien „Mensch, Methode, Material, Maschine und Mitwelt“ (im Englischen „Man, Method, Means, Machine, Milieu“, daher auch der Name „5M-Methode“) geclustert und daran die Risikoermittlung durchgeführt werden.

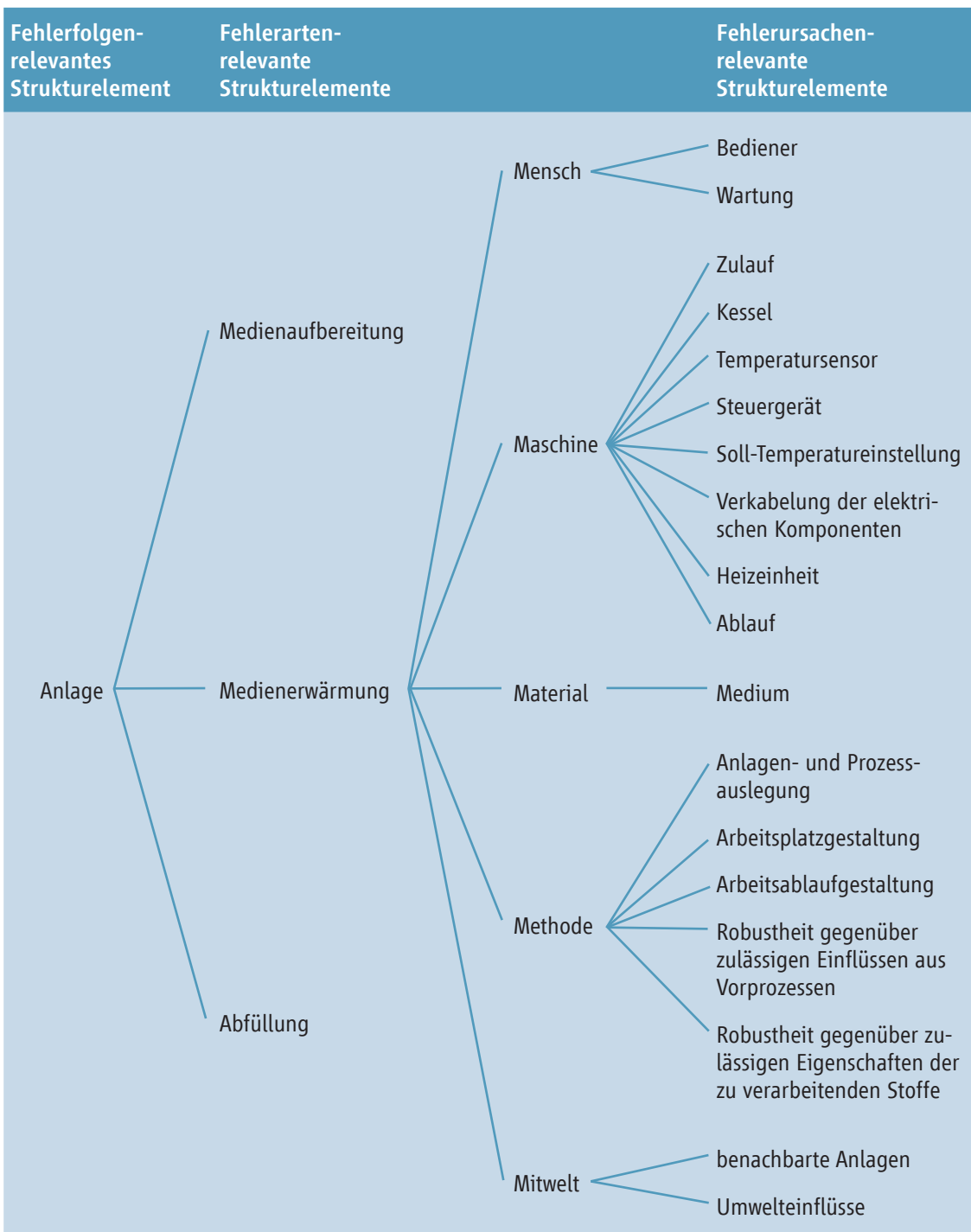


Abbildung 44: Strukturanalyse der FMEA bezogen auf eine einfache verfahrenstechnische Anlage





11 Layers of Protection Analysis (LOPA)

11.1 Grundlagen

Die Layers of Protection Analysis, kurz LOPA genannt, ist eine von DOW Chemical entwickelte und angewandte Methode zur Bestimmung von Anforderungen für PLT-Sicherheitseinrichtungen („Safety Instrumented Systems“, SIS). Veröffentlicht und detailliert beschrieben wurde das Vorgehen erstmals 2001 in einer Broschüre des Center for Chemical Process Safety (CCPS) des American Institute of Chemical Engineers (AIChE). Zur Erstellung des Risikokonzeptes bezieht die LOPA dabei die Norm IEC 61511-1⁵ ein.

Der Grundgedanke der LOPA beruht darauf, dass jede verfahrenstechnische Anlage über verschiedene Ebenen der Sicherheit verfügt: beginnend beim Design von Anlage und Prozess, über Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen der Prozessleittechnik, dokumentierten Betriebsanweisungen und unterwiesenen Handlungen des Betriebspersonals bei eingehenden Meldungen und Alarmen, Druckentlastungseinrichtungen sowie Einrichtungen zum Auffangen austretender Medien bis hin zu den Maßnahmen der Schadensbegrenzung und der internen sowie der externen Gefahrenabwehr. Jede dieser Ebenen verfügt über eine Schutzwirkung im Sinne der Störfallverhinderung und wirkt damit – jede für sich – risikoreduzierend (siehe Abbildung 45).

Voraussetzung für die Schutzwirkung jeder einzelnen „Schicht“ ist, dass hierfür klare Regeln eingehalten werden. Somit können diese den Ansprüchen gesetzlicher Vorgaben zur Störfallvermeidung und Prozesssicherung genügen.

⁵ IEC 61511-1, Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector

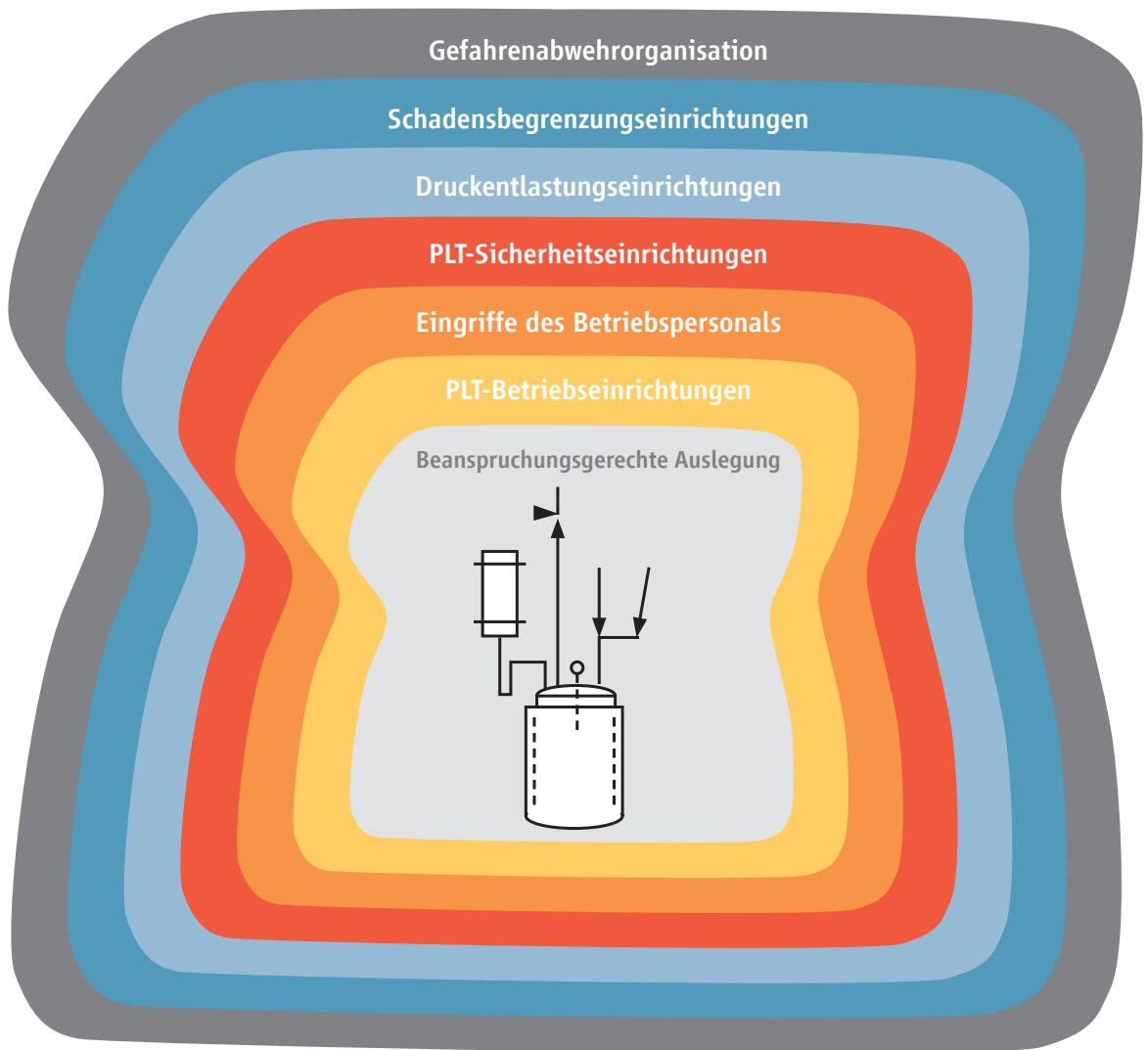


Abbildung 45: Modell der unabhängigen Schutzschichten



11.2 Durchführung einer LOP-Analyse

Eine LOP-Analyse wird innerhalb des DOW-Konzerns vom Betreiber der Anlage gemeinsam mit Vertretern der Bereiche Process Safety, Process Control, Process Engineering, Maintenance und ggf. anderen betroffenen Bereichen auf der Grundlage einer internen Richtlinie durchgeführt. Bestandteil der Richtlinie ist das LOPA-Workbook, das alle erforderlichen Anweisungen für die Handhabung, einschließlich einer Stoffdatensammlung enthält.

Ausgangspunkt der LOPA bildet die Auswahl der Szenarien, die zu unerwünschten Ereignissen führen können. Dieser der Risikoanalyse vorgelagerte Schritt kann erfahrungsbasiert oder beispielsweise mittels der PAAG/HAZOP-Analyse durchgeführt werden.

Jedem Szenario wird ein „Target-Faktor“ zugeordnet, der das Risiko bewertet und damit die Zielgröße darstellt, um die das bestehende Risiko zur Erreichung des zulässigen Restrisikos mindestens gesenkt werden muss.

Der Target-Faktor wird mit Hilfe von Tabellen zum einen stoff- und mengenabhängig (siehe Abbildung 46), zum anderen in Abhängigkeit der möglichen Folgen für Personen oder Umwelt (siehe Abbildung 47) ermittelt. Im ersten Fall definieren stoffspezifische Merkmale, wie Brennbarkeit, Toxizität und Reaktionsverhalten die Einstufung in Gefahrenkategorien; diese sind im LOPA-Workbook für alle gängigen Chemikalien festgeschrieben. Die Gefahrenkategorien bestimmen dann in Verbindung mit möglichen Stoffaustrittsmengen bzw. in Verbindung mit möglichen freien Querschnitten infolge von Schäden den Target-Faktor.



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 46: 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 (RMTC) 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 47: Tabelle zur Bestimmung der Folgen des unerwünschten Ereignisses („Consequences“)

Abbildung 48 zeigt das Grundprinzip der LOPA. Ausgehend von dem höheren der beiden ermittelten Target-Faktoren ist eine Risikoreduzierung durch die verschiedenen getroffenen Schutzschichten nach-

zuweisen, wobei die „Kreditfaktoren“ für die unterschiedlichen Maßnahmen (entsprechend ihrer Verfügbarkeit und Wirksamkeit) ebenfalls in dem LOPA-Handbuch aufgezeigt sind.

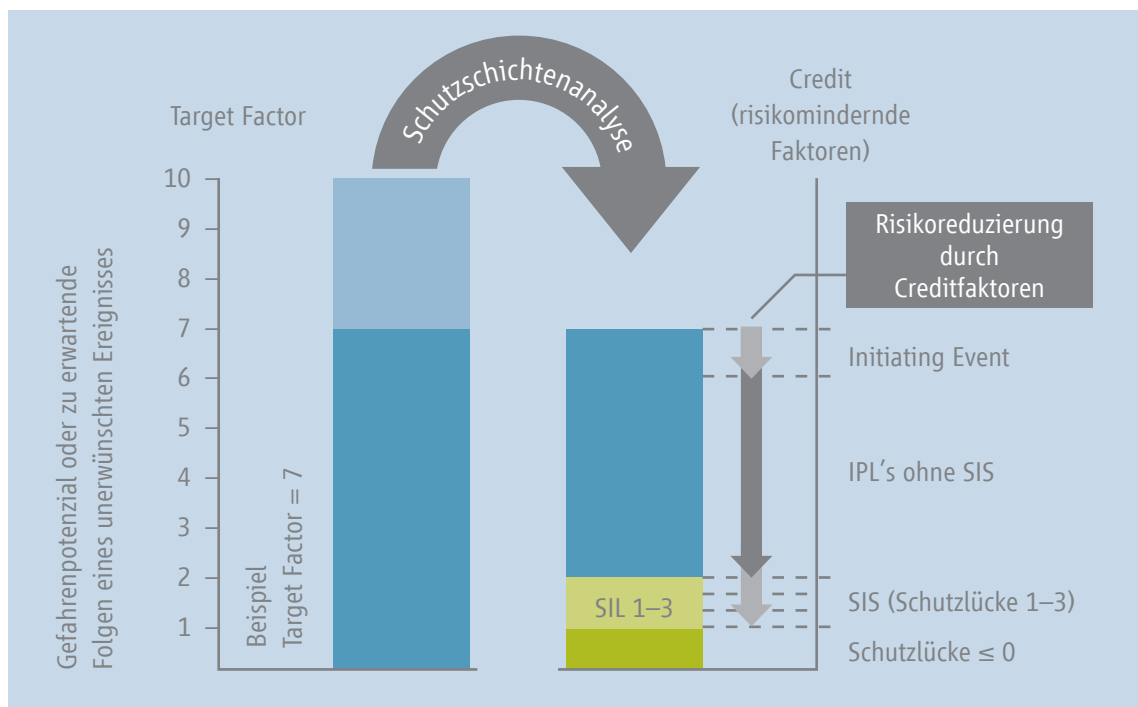


Abbildung 48: LOPA – Grundprinzip

Risikoreduzierende Faktoren im Sinne der LOPA:

- Häufigkeit des Szenario-auslösenden Ereignisses,
- Ursache („Enabling Factor“), die – wenn zutreffend – für die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre verantwortlich ist (z. B. elektrostatische Entladungen oder Blitzeinschlag),
- die im konkreten Fall vorliegenden unabhängigen Schutzschichten („Independent Protection Layers, IPL's“).

Unabhängige Schutzschichten im Sinne der LOPA:

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



Die wichtigste Voraussetzung für die Auswahl von IPL's ist deren Unabhängigkeit gegenüber den anderen Schutzschichten und gegenüber der das unerwünschte Ereignis auslösenden Ursache („Initiating Event“). Für jedes betrachtete Szenario muss dabei die Differenz zwischen dem Target-Faktor und der Summe der Werte für das Initiating Event und den IPL's am Ende gleich Null sein. Dies bedeutet, dass es keine Schutzlücke gibt und das unerwünschte Ereignis ausreichend sicher verhindert wird.

Gibt es eine Schutzlücke, kann das Sicherheitsdefizit beispielsweise durch eine PLT-Sicherheitseinrichtung (SIS) geschlossen werden. Die Größe der Schutzlücke bestimmt dabei die Zuverlässigkeitsanforderungen, die die SIS erfüllen muss, um das unerwünschte Ereignis ausreichend sicher zu verhindern. Dies wird durch die Zuordnung zu Sicherheitsebenen („Safety Integrity Levels“, SIL) erreicht, wobei in der LOPA die Level SIL1 bis SIL 3 möglich sind. Verbleibt eine Schutzlücke mit dem Wert 4 oder mehr, sind grundsätzliche Maßnahmen der Prozessgestaltung zur Reduzierung des Target-Faktors vorzusehen.

Die Zuverlässigkeitsanforderungen für SIL's sind in Normen festgelegt und werden durch die „Probability of Failure on Demand“ (PFD)⁶ bestimmt. Voraussetzung für das Sicherheitskonzept der LOPA ist, dass alle in der Analyse eingesetzten Kreditfaktoren die gleiche Bewertungsgrundlage besitzen wie die SIL's, 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 IPL's und der Multiplikation mit der geschätzten Häufigkeit für das Initiating Event wird ein Wert ermittelt, der eine Aussage darüber trifft, mit welcher Häufigkeit das unerwünschte Ereignis (pro Jahr) eintritt. In Abbildung 49 ist das Konzept der Schutzschichtenanalyse unter Einbeziehung der Verfügbarkeit für die IPL's dargestellt.

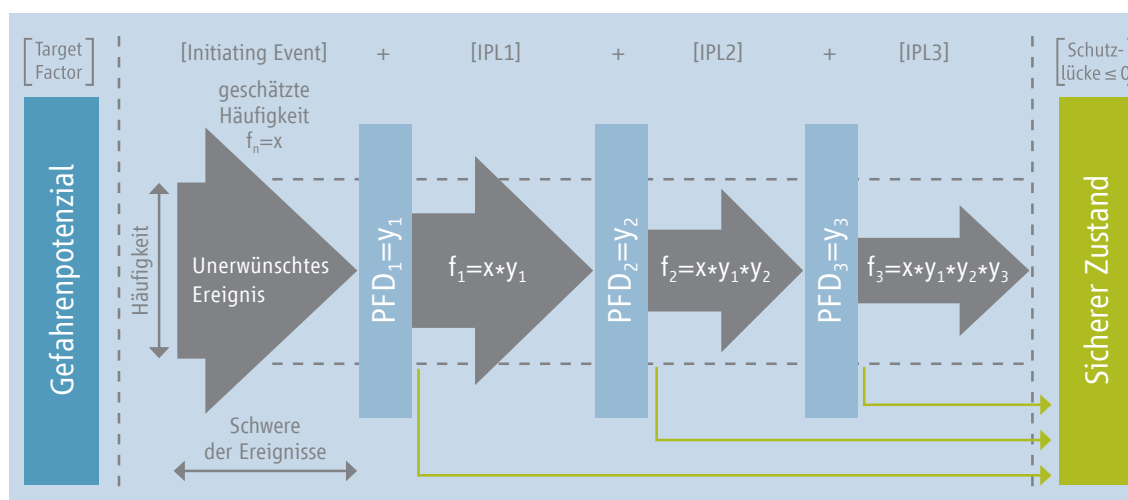


Abbildung 49: Konzept der LOPA unter Einbeziehung der Verfügbarkeit der einzelnen Schutzschichten

⁶ Ausfallwahrscheinlichkeit der geforderten sicherheitsgerichteten Funktion

Die IVSS

Soziale Sicherheit schaffen

Die IVSS, die Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit, ist die weltweit führende Dachorganisation für Institutionen, Regierungsstellen und Behörden, die sich mit dem Thema soziale Sicherheit befassen.

Soziale Sicherheit bedeutet im engeren Sinne Schutz vor den Folgen „sozialer Risiken“. Dazu zählen neben der Erwerbsminderung durch Arbeitsunfall, Berufskrankheiten und Berufsunfähigkeit auch Krankheit, Arbeitslosigkeit, Übernahme von Familienlasten, Altern und Tod von Erwerbstätigen. Im weiteren Sinne umfasst soziale Sicherheit auch eine aktive Arbeitsmarktpolitik, ein öffentliches Bildungswesen sowie eine ausgleichende Steuerpolitik.

Die IVSS wurde 1927 von 17 europäischen Nichtregierungsorganisationen als „Internationale Zentralstelle der Sozialversicherungsträger“ gegründet. Heute zählt die IVSS rund 350 Institutionen, Regierungsstellen und Behörden in über 150 Ländern auf allen Kontinenten und ist bei der Internationalen Arbeitsorganisation ILO der Vereinten Nationen in Genf angesiedelt. Die inhaltliche Arbeit erfolgt in 13 Fachausschüssen, unter anderem zu den Schwerpunktthemen Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten, Gesundheitsleistungen und Krankenversicherung, Beschäftigungspolitik und Arbeitslosenversicherung sowie Familienleistungen und Hinterbliebenenversicherung.

Arbeitsrisiken vorbeugen

Eine wichtige Rolle innerhalb der IVSS spielt der „Besondere Ausschuss für Prävention“. Dieser besteht aus 13 internationalen Sektionen und befasst sich mit arbeitsbedingten Risiken in verschiedenen Branchen wie chemische Industrie, Bergbau, Elektrizität und Transportwirtschaft, aber auch mit Querschnittsthemen wie Maschinen- und Systemsicherheit, Information und Präventionskultur. Der Besondere Ausschuss koordiniert die gemeinsamen Tätigkeiten der internationalen Sektionen für Prävention im Bereich Risiken sowie weitere Präventionstätigkeiten der IVSS.

Als eine der ersten Sektionen des Besonderen Ausschusses wurde im Juni 1970 in Frankfurt am Main die Internationale Sektion für Prävention in der chemischen Industrie gegründet. Sie engagiert sich für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen und verwandten Industrie, insbesondere in den Bereichen Kunststoffe und Gummi, Lacke und Farben, Pharmazie und Kosmetik sowie Spezialchemikalien und Mineralölverarbeitung. Vorsitz und Sekretariat liegen bei der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie in Heidelberg.



Chemische Industrie



Maschinen- und System-sicherheit



Transport-wesen



Bauwirtschaft



Information



Bergbau



Landwirt-schaft



Fachwissen kommunizieren

Ein besonderer thematischer Schwerpunkt in der chemischen Industrie ist der Umgang mit Gefahrstoffen und die daraus resultierenden Gesundheits- und Explosionsgefahren. 1978 wurden daher bei der Sektion Chemie die beiden Arbeitsgruppen „Gefährliche Stoffe“ und „Explosionsschutz“ gebildet.

In den Arbeitsgruppen werden intensive informelle Diskussionen geführt, darüber hinaus werden Broschüren und Unterweisungsmedien erarbeitet sowie Workshops organisiert, um einen internationalen Erfahrungsaustausch unter Fachleuten zu fördern und für ausgewählte Probleme zielführende Lösungen zu erarbeiten.

Die Sektion Chemie möchte auf diesem Weg einen Beitrag zu einem hohen und unter Industrieländern vergleichbaren Stand der Technik leisten und ihr Wissen auch den industriell noch weniger entwickelten Ländern weiterzugeben.

Impressum

Leitung

Joachim Sommer, Heidelberg

Mitarbeit

Michael Arend, Regensburg

Gunter Boßler, Karlsruhe

Wolfgang Bronner, Penzberg

Jörn Buhn, Leverkusen

Frank Diehl, Leverkusen

Anne-Kathrin Fiedler, Heidelberg

Margit Hahn, Marl

Rudolf Kappelmaier, Perach

Thomas Klein, Leverkusen

Clemens Meeßen, Frankfurt

Ronald Oertel, Merseburg

Sven Rust, Böhlen

Jochen Schäfer, Frankfurt

Hans-Volkmar Schwarz, Ludwigshafen

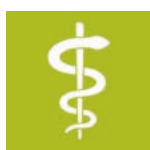
Hubertus Siegel, Speyer

Stefanie Stutzmann, Frankfurt

Andreas Thies, Darmstadt

Layout und Druck

Jedermann-Verlag GmbH, Heidelberg



Arbeitsschutz
im Gesund-
heitswesen



Elektrizität,
Gas, Wasser



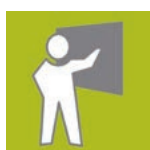
Forschung



Eisen-
und Metall-
industrie



Präventions-
kultur



Erziehung
und Ausbil-
dung



Handel

Risikobeurteilung in der Anlagensicherheit

Das PAAG-/HAZOP-Verfahren und weitere praxisbewährte Methoden

Im Lebenszyklus einer verfahrenstechnischen Anlage stehen neben Fragen der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit stets auch Sicherheitsaspekte im Fokus. Die Mitte der 1970er Jahre bei der Firma ICI entwickelte Methode der „Hazard and Operability Studies“ – kurz als HAZOP genannt – stellt einen weltweit anerkannten Ansatz für die systematische Risikoermittlung von Gefahren in Prozessanlagen dar. 1980 wurde von der Sektion Chemie der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) unter dem Namen PAAG-Verfahren eine wortgetreue Übersetzung der HAZOP-Broschüre für den deutschen Sprachraum herausgegeben.

Damit ein Risikomanagement gelingt, bedarf es neben der Risikoermittlung auch die Schritte der Analyse, Bewertung und Bewältigung von Risiken. Hierfür haben sich eine Reihe anderer Methoden etabliert, die jeweils unterschiedliche Vorgehensweisen nutzen.

Die vorliegende Broschüre fasst im Sinne eines ganzheitlichen Risikokonzeptes die Methoden der Risikoermittlung, Risikoanalyse und Risikobewertung zusammen und stellt die Sicherheitsbetrachtung als einen mehrstufigen Prozess dar, bei dem verschiedene Methoden zum Einsatz kommen.

ISBN 92-843-7037-X