

# Qualitative und quantitative Methoden zur systematischen Risikoanalyse von verfahrenstechnischen Anlagen

Ingo Teßmer

1.	Risikobegriff.....	141
2.	Zielsetzung der Gefahrenanalyse.....	141
3.	Methodenauswahl.....	142
4.	Grundlagen der Risikoanalyse – Durchführung .....	143
4.1.	Gefahrenermittlung.....	144
4.2.	Abschätzen der Eintrittswahrscheinlichkeit.....	145
4.3.	Klassifizieren des Schadensausmaßes.....	145
4.4.	Gefahrenbewertung.....	146
4.5.	Einschränkungen .....	146
5.	Vorgehen bei der qualitativen – deterministischen Risikoanalyse.....	147
6.	Vorgehen bei der quantitativen – probabilistischen Risikoanalyse.....	148
7.	Zusammenfassende Betrachtung.....	149
8.	Quellenverzeichnis.....	151

Der Ausfall/die nicht Nichtverfügbarkeit einer chemischen Anlage bzw. der durch medienwirksame Ereignisse hervorgerufene Imageverlust verursacht in der chemischen Industrie jährlich erhebliche Kosten. [1] Gewachsene Anforderungen durch den Gesetzgeber und der zunehmende Druck durch die Öffentlichkeit machen die Durchführung immer umfangreicherer Sicherheitsanalysen erforderlich.

Die sicherheitstechnische Begutachtung von Anlagen soll zunächst Aussagen dafür liefern, ob und unter welchen Bedingungen ein sicherer Anlagenbetrieb prinzipiell möglich ist.

Gem. Art. 5 der Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen – Seveso II Richtlinie [2] gilt für die allgemeine Betreiberpflichten, dass alle notwendigen Maßnahmen zur Verhinderung und Begrenzung von *major accidents* zu treffen sind.

Die Umsetzung des Artikel 3 und 9 der Seveso II Richtlinie in nationales Recht erfolgt gemäß den Bestimmungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes, [3] wonach Anlagenbetreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen nach der 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Störfall-Verordnung, [4] zur Durchführung einer ausführlichen Sicherheitsanalyse verpflichtet sind. Ziel dieser Analyse ist die Ereignis- bzw. Störfallvorsorge und Störfallabwehr zum Schutz vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und Belästigungen sowie zur Vorbeugung des Entstehens schädlicher Umwelteinwirkungen.

Dazu müssen alle möglichen Ursachen (Gefahrenquellen) ermittelt werden. Der Betreiber muss systematisch nach Gefahrquellen suchen, die Auswirkungen beurteilen und angemessene Gegenmaßnahmen festlegen, d.h. eine systematische Risikoanalyse durchführen.

Systematisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass nach sachlichen und logischen Gesichtspunkten gegliedert vorgegangen wird.

Somit stellt die systematische Risikoanalyse ein Mittel zur Erfüllung der Betreiberpflicht im Sinne der Störfall-Verordnung dar.

Abgesehen von den rein technischen Problemen, bei der Entwicklung und beim Bau verfahrenstechnischer Anlagen ergeben sich zwei Problemschwerpunkte.

Erstens, wie groß kann der mögliche wirtschaftliche Verlust bei einem Ausfall oder einer Störung sein (z.B. durch Imageverlust).

Zweitens, wie groß sind die Gefahren und Risiken für die in den Anlagen beschäftigten Mitarbeiter und die in der Umgebung der Anlagen lebenden Menschen, sowie für die Umwelt, insbesondere wenn der Ausfall mit einer Freisetzung explosiver bzw. toxischer Substanzen verbunden ist.

Aus diesen und anderen Überlegungen heraus wurden verschiedene Risikoanalysemethoden entwickelt, um Anlagen der chemischen Industrie möglichst sicher zu bauen.

Die praxisbewährten, systematischen Methoden zur Gefahrenermittlung und Bewertung des daraus erwachsenden Gefahrenpotentials sind zu einem festen Bestandteil bei Risikoanalysen verfahrenstechnischer Anlagen geworden. Ausgehend von verschiedenen Fragestellungen und Zielrichtungen haben sich nebeneinander diverse Methoden mit unterschiedlichen Stärken und Grenzen entwickelt.

Die Verfügbarkeit einer verfahrenstechnischen Anlage und ihrer Sicherheitssysteme ist ein wichtiger Faktor bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit. Demzufolge spielt die Frage nach einer möglichst hohen Verfügbarkeit während der Planung und des Betriebes eine entscheidende Rolle.

Die Anwendung entsprechender Analysemethoden umfasst nicht nur den Aspekt der Sicherheit von Mensch und Umwelt, sondern auch von Sachschäden, Produktqualität und sonstige Vermögensschäden (z.B. schlechter Absatz eines Produktes oder Imageverlust).

Bei allen bekannten Methoden herrscht ein Ziel vor:

Der ökonomische Einsatz von Spezialisten bei größtmöglicher Diskussionstiefe und die Nachvollziehbarkeit der Ereignisse.

Hierzu dienen, eine sorgfältige Vorbereitung, eine nachvollziehbare Dokumentation sowie eine interdisziplinäre Teamzusammensetzung und ein Zeitplan.

Ein solches Team setzt sich üblicherweise aus Mitarbeitern der Abteilungen Produktion, Ingenieurtechnik, Mess- und Regeltechnik, Sicherheit und Umweltschutz zusammen. Wichtig ist dabei, dass die Handlungsfähigkeit des Teams durch die Teamgröße nicht eingeschränkt wird.

## 1. Risikobegriff

Im Sinne einer systematischen Betrachtungsweise wird der Begriff Risiko häufig als das Produkt aus der Schadenseintrittswahrscheinlichkeit und aus dem Gefahrenpotential (d.h. aus der Tragweite eines Ereignisses) definiert. [5, 6]

Mit dem Gefahrenpotential ist hierbei ein implizit ausgedrücktes potentiell Schadensmaß verbunden. Das Risiko kann daher als der Erwartungswert eines bestimmten Schadens innerhalb eines bestimmten Zeitraumes verstanden werden.

Oder anders ausgedrückt, Risiko ist die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb einer bestimmten Zeitspanne oder unter bestimmten Umständen eine bestimmte Wirkung eintritt.

Diese rein mathematische Betrachtungsweise kann problematisch bei fehlender bzw. unzureichender Datenbasis für seltene Ereignisse, bei neuen Technologien, deren potentielle Auswirkungen erst in ferner Zukunft beurteilt werden können, im Falle sehr kleiner Häufigkeit oder großer Tragweite und bei stark subjektiv geprägten Bewertungen werden.

Durch das persönliche Gefahrenempfinden einer Person bzw. eines Personenkreises entsteht eine subjektive Bewertung. Diese kann durch die verschiedensten Einflüsse geprägt sein. Beispiele für solche Einflüsse sind sichtbare und unsichtbare Gefahren, persönliche Nutzempfindung, gesellschaftliche Akzeptanz von Gefahren durch ethische, religiöse, politische Einstellung, die Art des potentiell betroffenen Personenkreises (z.B. Kinder und pflegebedürftige Personen) und die Frage, ob die unter Umständen gefährdeten Personen selbst Einfluss auf das Prozessgeschehen haben.

## 2. Zielsetzung der Gefahrenanalyse

Ziel der Gefahrenanalyse ist eine vollständige, systematische Erfassung und Bewertung der Risiken eines Verfahrens bzw. einer Anlage, die nach Maßgaben der Vernunft nicht ausgeschlossen werden können. Dies geschieht, um Auswirkungen infolge von Abweichungen vom Normalbetrieb entweder zu vermeiden oder hinreichend zu begrenzen.

Dabei ist jedes Konzept zur Anlagensicherheit durch eine Vielzahl von spezifischen Vorgaben und Maßnahmen geprägt, um den sicheren Anlagenbetrieb auch bei vorstellbaren Störungen zu gewährleisten.

Es hängt sehr stark von der Erfahrung, der subjektiven Einstellung und Risikobereitschaft des Anwenders bzw. des bearbeitenden Teams ab, wie intensiv einzelne Gefährdungen untersucht werden. Selbstverständlich ist hierbei auch die Schwere des Gefahrenpotentials der Anlage bzw. der eingesetzten Stoffe zu berücksichtigen.

Eine grundlegende Überprüfung des Anlagensicherheitskonzeptes sollte sich daher sowohl auf das spezifische Gefahrenpotential einer Anlage, als auch auf die möglichen Störungen konzentrieren, die zum Wirksamwerden der Gefahrenquelle führen können.

Besonderes Augenmerk ist auf die Möglichkeit der frühzeitigen Erkennung einer Störung zu legen.

Hier sei explizit der Vorsorgeaspekt durch technische Maßnahmen erwähnt, der vorrangig vor den organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen durch ein Ereignis anzuwenden ist (Sicherheitstechnische Einrichtungen wie z.B. PLT).

Nur so ist gewährleistet, dass die nachfolgenden Maßnahmen (insbesondere organisatorischer Art) effizient in den Ereignisablauf eingreifen werden.

Wird die Gefahrenanalyse zur Aufarbeitung von Ereignissen wie z.B. Unfällen, Beinahe-Unfälle oder ähnlichen Vorfällen genutzt, ist bei der Störungsbetrachtung besonders darauf zu achten, inwieweit *glückliche* Umstände den Ablauf des Ereignisses positiv beeinflusst haben. Diese *glücklichen* Umstände sind im Sinne einer sicherheitsgerichteten (vorsorglichen) Betrachtung nicht zu berücksichtigen. So ist sichergestellt, dass das zugrunde liegende Gefahrenpotential umfassend bedacht wird und die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen sinnvoll nachgerüstet werden können.

Die Anwendung einer Risikoanalyse setzt eine gute Kenntnis ihrer verwendeten Methodik, des zu beurteilenden Verfahrens bzw. der Anlage und der sicherheitstechnischen Stoffdaten voraus. [7]

Je höher das Potential an theoretischen Kenntnissen und praktischen Erfahrungen auf dem Gebiet der Anlagensicherheit ist, desto geringer wird der zeitliche Aufwand sein und dennoch zu einer hohen Verlässlichkeit der Ergebnisse führen.

### 3. Methodenauswahl

Die bisher bekannten in der Literatur vorgeschlagenen und beschriebenen Verfahren zur Risikoanalyse können unterteilt werden in identifizierende (qualitative, deterministische) und bewertende (quantitative, probabilistische = Probabilität, lat. Wahrscheinlichkeit) Methoden, welche sich alle auf wenige grundlegende Arbeitsprinzipien zurückführen lassen. [8]

Der wesentliche Unterschied bei den Methoden ist ein induktives Vorgehen bei den quantitativen (probabilistischen) Risikoanalyseverfahren. Während sich die qualitativen, deterministischen Verfahren durch ein deduktives Vorgehen auszeichnen.

Wesentliches Kriterium für die Auswahl der Methode/n ist die Frage, ob Fehlermöglichkeiten identifiziert oder bewertet werden sollen und ob qualitative oder quantitative Aussagen erwartet werden. [5]

Es ist zweckmäßig, die Methoden weiterhin entsprechend ihrer Anwendungsbereiche zur Suche nach Einzelfehlern oder Fehlerverknüpfungen, sowie nach Anwendbarkeit für Detailuntersuchungen einzuteilen. Die Eignung der Anwender (Experte oder Laie) ist für die Methodenauswahl ebenfalls maßgeblich.

Probabilistische Methoden werden in Deutschland in der Chemie bislang nur im geringen Umfang eingesetzt, da die vorhandene Datenbasis als nicht ausreichend oder gesichert erachtet wird. In anderen europäischen Ländern werden zum Teil quantitative Methoden zur generellen Risikoabschätzung eingesetzt.

In der Praxis der Sicherheitstechnik sind Risikoabschätzungen mit halbquantitativem Charakter seit langem gebräuchlich. Als Beispiel für solche Risikoabschätzungen, basierend auf technischem Sachverstand und langjährigen Erfahrungen, sei hier nur die Zoneneinteilung im Explosionsschutz genannt.

### 4. Grundlagen der Risikoanalyse – Durchführung

Risikoanalysen, als systematische Vorgehensweisen für die sicherheitstechnische Überprüfung von Verfahren und Anlagen dienen der Vervollständigung und Optimierung von Sicherheitskonzepten.

Am Beginn einer Risikoanalyse steht die umfassende systematische Erfassung des zu betrachteten Systems, um anhand der Erfahrung des Analytikers und in Verbindung mit dem z.B. in technischen Regeln niedergelegten Wissen, die besonderen Gefahrenquellen zu ermitteln. [5]

Unter Gefahrenquellen sind diejenigen Anlagenteile oder Komponenten zu verstehen, deren Ausfall allein oder zusammen mit anderen ausgefallenen Komponenten, zum Anlagenversagen (unerwünschtes Ereignis/Störfall) führen. Dabei existiert immer ein fließender Übergang von ausgeprägten Gefahrenquellen über weniger bedeutende zu solchen Komponenten oder Anlagenbereichen, die nicht mehr als Gefahrenquellen anzusehen sind. Notwendige Hilfsmittel für die Entscheidung, wo hier eine Grenze zu ziehen ist, liefern einerseits die Forderung nach einer Begrenzung des mit dem Anlagenbetrieb verbundenen Risikos auf ein vertretbares Maß und andererseits der für die Risikobegrenzung erforderliche Aufwand. Sind die Schwachstellen eines Systems definiert, können diese mit geeigneten Systemerhaltungsmaßnahmen bzw. mit Maßnahmen zur Änderung des Systems entweder beseitigt oder entschärft werden.

Die zweckmäßige Anwendung der bekannten Methoden erfolgt im Rahmen einer Arbeitsgruppe und zwar vorwiegend im Planungsstadium einer Anlage. Flankierend zu anderen Sicherheitsuntersuchungen sind die qualitativen und quantitativen Methoden fast überall anwendbar.

Generell kann eine Risikoanalyse im Rahmen der Planung einer neuen Anlage/eines neuen Verfahrens, bei wesentlichen Änderung einer bestehenden Anlage oder eines bestehenden Verfahrens, bei der Überprüfung einer bestehenden Anlage bzw. eines

bestehenden Verfahrens und der Untersuchung von sicherheitstechnisch relevanten Ereignissen (Unfälle, Beinahe-Unfällen, Emissionen usw.) durchgeführt werden.

Es ist üblich und notwendig, die Analysemethoden interaktiv anzuwenden, weil sich durch getroffene Maßnahmen immer wieder neue Aspekte ergeben können.

Der Einsatz der Risikoanalysemethode/n muss im Zusammenhang mit dem Analyseablauf optimal geplant werden, d.h. es muss ein Einklang hergestellt werden zwischen den im Planungsablauf verfügbaren Daten und einer möglichst frühzeitigen Beurteilung der Gefahrenpotentiale.

Der Zusammenhang zwischen qualitativen und quantitativen Analyseverfahren sowie deren Einbindung in den Prozess einer umfassenden Risikoanalyse lässt sich in die Bereiche Gefahrenidentifikation, Gefahrenauswertung, Risikobestimmung, Risikobewertung und Maßnahmenplanung unterteilen. Die Gefahrenidentifikation erfolgt mit Hilfe qualitativer Methoden in Verbindung mit den Daten und Beschreibungen des Untersuchungsobjektes.

Nach der Gefahrenidentifikation werden bei der Gefahrenauswertung spezielle Szenarien hinsichtlich der Eintrittshäufigkeit und der möglichen Schadenspotentiale untersucht. Aus den hierbei gewonnenen Daten wird eine spezielle Möglichkeit der Risikobestimmung, die auch qualitativ oder halbquantitativ erfolgen kann.

Das ermittelte Risiko wird im nächsten Analyseschritt durch Vergleiche mit Akzeptanzgrenzen bewertet (Risikobewertung und Maßnahmenplanung) und bildet so die Grundlage für die Beurteilung der Notwendigkeit zusätzlich zu treffender Maßnahmen.

Diese Maßnahmenplanung wird häufig mit Terminen hinterlegt, bis wann die Maßnahmen zu ergreifen sind (Zeitplan).

Bei Systemveränderungen oder zur Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen ist eine erneute Risikoanalyse erforderlich.

## 4.1. Gefahrenermittlung

Aufgabe der Gefahrenanalyse ist es, in einer Systemanalyse die logische Struktur des betrachteten Systems sichtbar zu machen. Hierzu dient folgende Vorgehensweise:

Nach einem gründlichen Studium des R & I Fließbildes (Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema) werden die relevanten unerwünschten Ereignisse definiert und hierfür die logische Struktur entwickelt, die im einzelnen zeigt, welche Verknüpfungen zum jeweils betrachteten unerwünschten Ereignis führen.

Sind die unerwünschten Ereignisse, die Störfälle hervorrufen können ermittelt, so kann das Systemverhalten unter Voraussetzung dieser Ereignisse untersucht werden. Sind die erforderlichen Daten vorhanden, so kann diese Gefahrenanalyse quantitativ weitergeführt werden.

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

Die Gefahrenermittlung kann entweder retrospektivisch (z.B. auf der Basis bekannter Ereignisse) erfolgen, oder prognostizierend auf der Basis eines (gelenkten) Brainstormings.

Die Verwendung von Checklisten zur Prüfung der Vollständigkeit (z.B. von Ausrüstungsteilen und/oder konzeptionellen Gedanken) ist recht verbreitet und nicht auf verfahrenstechnische Anlagen beschränkt.

### 4.2. Abschätzen der Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Ermittlungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten werden in den Analyseverfahren teilweise in Anlehnung an die DIN EN 61508 (VDE 0803) ehemals DIN V 192501<sup>1</sup> und VDI/VDE 2180 vorgenommen. Aufgrund der in der Regel sehr komplexen Ereignisketten, der großen Unterschiede zwischen den einzelnen verfahrenstechnischen Anlagen sowie dem Fehlen von zuverlässigem Datenmaterial, z.B. über Ausfallzeiten, ist die Quantifizierung von Eintrittswahrscheinlichkeiten mit großen Unsicherheiten behaftet. [10, 11, 12]

Auch die Möglichkeiten zur Erkennung der Abweichung vom Normalbetrieb spielt für die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Störung eine große Rolle. Eine strukturierte Darstellung des Ereignisablaufes kann das Verständnis bei der Diskussion erleichtern.

Erfahrungswissen muss gerade in besonderem Maße bei speziellen Problemstellungen eingeholt werden.

Diese Erfahrungs- und Eintrittswahrscheinlichkeitsaussagen müssen aber trotzdem mit Vorsicht behandelt werden, da sie subjektiv bleiben und je nach Erfahrung und Wissensstand des Beurteilenden in unterschiedlichste Einschätzungen und Bewertungen enden können.

### 4.3. Klassifizieren des Schadensausmaßes

Bei der Klassifizierung des Schadensausmaßes sind zunächst die möglichen Auswirkungen auf Personen und die Umwelt zu untersuchen. Bei der Gefährdung von Personen wird empfohlen, zwischen Personen im Betrieb bzw. der Nachbarbetriebe und der Nachbarschaft jenseits des Werkszaunes nicht zu differenzieren. Dies kann jedoch vorgenommen werden, falls eine strenge Begrenzung auf den Geltungsbereich der TRGS 300<sup>2</sup> gewünscht wird.

Die Vorgehensweise bei der Abschätzung des Schadensausmaßes auf Personen und Umwelt kann analog nach DIN EN 61508 (VDE 0803) und VDI/VDE 2180 erfolgen.

---

<sup>1</sup> Normenreihe DIN EN 61508 (VDE 0803): Funktionale Sicherheit, Zurückziehung der nationalen Vornormen DIN V VDE 0801 (VDE 0801), DIN V VDE 0801/A1 (VDE 0801/A1), DIN V 19250 und **DIN V 19251**, Stand: 25.03.2011

<sup>2</sup> **Hinweis:** Die **TRGS 300** wurde aufgehoben, die beschriebenen Methoden können jedoch unter der Berücksichtigung der Hinweise und der vorgeschlagenen Vorgehensweise im Bericht zum Forschungsprojekt F 2100: **Grundlagen für die Neukonzeption einer technischen Regel Sicherheitstechnik für eine Sicherheitsbetrachtung weiterhin herangezogen werden.**[13]

Die Bewertung des Risikos für Personen ist im Rahmen einer Gefahrenanalyse zwingend durchzuführen. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung der Anlagensicherheit hat es sich bewährt, auch die Umweltrisiken zu bewerten. Darüber hinaus können im Rahmen der Risikobewertung optimal auch materielle Verluste sowie Imageschäden berücksichtigt werden, wenn weder eine Gefährdung von Personen noch der Umwelt vorliegt. [7]

#### 4.4. Gefahrenbewertung

Werden durch systematische Methoden Gefahren ermittelt, so muss zur Findung adäquater (Gegen-) Maßnahmen eine Bewertung vorgenommen werden. Zunächst ist eine Betrachtung (bzw. Berechnung) des potentiellen Schadensausmaßes erforderlich. [5]

Es ist Fakt, dass aus ethischen und moralischen Gründen, Menschenleben nicht in einem direkten Vergleich mit Sachschäden gesehen werden dürfen. Trotzdem sind potentielle Schäden nach eingetretenen schweren Störungen bzw. Störfällen an Sachen, Personen und der Umwelt in der Regel relativ leichter abzuschätzen, als darüber hinausgehende Nutzungs- oder gar dauerhafte Imageverluste.

Schwieriger wird die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Versagens verfahrenstechnischer Anlagen, da stets nur mit sehr kleinen absoluten Werten gearbeitet wird, weil es sich hierbei um seltene Ereignisse handelt.

Speziell auf die Chemie bezogen ist zusätzlich problematisch, dass die Ermittlung statistisch untermauerter Ausfalldaten extrem aufwendig ist.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens für das Gesamtsystem wird maßgeblich durch den *Faktor Mensch* beeinflusst, so dass die Aussagefähigkeit rein technischer Daten dadurch annähernd entwertet wird.

Interessant können aber quantitative Vergleiche einzelner Funktionselemente bzw. -einheiten bei gleichen Einsatzbedingungen sein.

Die *absoluten* Zahlen erlauben so einen relativen Vergleich auch hinsichtlich der Verfügbarkeit.

Im zunehmenden Maße werden zur Qualitätssicherung und bei innerbetrieblichen Sicherheitsbetrachtungen halbquantitative Methoden eingesetzt.

Grundlegendes Merkmal dieser halbquantitativen Methoden ist das Abschätzen von Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß und ggf. weiteren Kriterien in vorgegebenen Abstufungen.

#### 4.5. Einschränkungen

In vielen Fällen sind für das Versagen von Anlagenteilen nur sehr allgemeine Daten verfügbar, deren Signifikanz oft schlecht ist. Oder es sind nur sehr wenige Daten vorhanden.



Für das Eintreten eines Ereignisses aufgrund menschlichen Fehlverhaltens basieren die Daten auf Schätzungen und sind nicht repräsentativ.

Dies gilt besonders für den Quantifizierungsversuch von menschlichem Fehlverhalten, dem sogenannten *human factor*.

Deswegen besteht bei Analytikern die Tendenz, sich *zur sicheren Seite hin zu irren*, wodurch die Beurteilung absichtlich beeinflusst wird und das Risiko überschätzt wird.

Die analytischen Risikoanalysemethoden sind entwickelt worden, um zu versuchen, die physikalische Wirklichkeit, die voll von Ungewissheit ist, abzubilden. Ein kleines Ereignis kann zu einem großen Schaden führen oder einfach abklingen (z.B. die Freisetzung brennbarer Kohlenwasserstoffe). Diese Arten von Ungewissheiten existieren und müssen im jeweiligen Modell zu beschreiben oder zu berechnen sein.

Der Umfang einer Risikoanalyse muss daher auf die zu analysierende Situation zugeschnitten sein, und die Gründlichkeit sollte das Maß für eine vernünftige Entscheidung nicht überschreiten.

### 5. Vorgehen bei der qualitativen – deterministischen Risikoanalyse

Mit der qualitativen Risikoanalyse soll durch die Systembetrachtung einer technischen Anlage ein umfassender Überblick über alle Faktoren gewonnen werden, die für die Sicherheit des Systems von Bedeutung sind und sie beeinträchtigen können.

Die Ermittlung des Gefahrenpotentials erfolgt im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung der Anlage und ihrer Umgebung unter Berücksichtigung des Einzelfalls.

Alle sicherheitsrelevanten Komponenten sind zu bestimmen, und daraufhin zu untersuchen, welche gefährlichen Systemzustände und resultierenden Störfälle möglich sind.

Dabei werden alle sicherheitsrelevanten Komponenten und sicherheitstechnisch bedeutsamen Anlagenteile bestimmt und die damit verbundenen möglichen Gefahrenquellen, die Störfalleintrittsvoraussetzungen und die Störfallauswirkungen ermittelt.

Dem Verfahrensablauf folgend, wird systematisch geprüft, ob Gefahrenquellen realistischerweise vorliegen können. Dazu wird zunächst insbesondere das aufgrund der Stoffeigenschaften theoretisch mögliche Gefahrenpotential ermittelt. Ein wesentliches Element, auch hinsichtlich der Praktikabilität der Methode ist es, dass bereits jetzt die Gefahrenquellen eliminiert werden.

*Zu den sicherheitstechnisch bedeutsamen Anlagenteilen zählen beispielsweise solche mit besonderem Stoffinhalt, Schutzeinrichtungen aber auch prozesstechnische Einrichtungen und Prozessleitsysteme, soweit sie sicherheitsrelevante Funktionen haben, sowie störfallbegrenzende Einrichtungen. Hinsichtlich der Störfallauswirkungen werden u.a. Auswirkungsbetrachtungen auf Basis von Ausbreitungsrechnungen sowie Grenz- und Richtwerten (z.B.: IDLH<sup>3</sup>-, ERPG<sup>4</sup>-Werte) vorgenommen. [9]*

---

<sup>3</sup> Immediately Dangerous to Life and Health

<sup>4</sup> Emergency Response Planning Guidelines

Auf die Ermittlung der Häufigkeiten oder Eintrittswahrscheinlichkeiten von Systemzuständen wird dabei verzichtet.

Die qualitative Analyse wird schrittweise soweit durchgeführt, bis eine Eindeutige Beurteilung möglich ist.

Für die qualitative Sicherheitsanalyse sind eine Reihe von Verfahren entwickelt worden, die sich in der praktischen Anwendung bewährt haben. Die Auswahl des Analyseverfahrens, der darin eingesetzten speziellen Methoden ihre Anwendungsreihenfolge und der erforderliche Arbeitsumfang richten sich nach der jeweiligen Aufgabenstellung.

Dabei sind das Ausmaß der Gefährdung, die von der technischen Anlage erwartet wird, die Größe der Anlage, das Stadium der Konkretisierung und der Aufwand an Zeit und Kosten zu beachten.

## 6. Vorgehen bei der quantitativen – probabilistischen Risikoanalyse

In vielen Fällen ist der Mensch versucht, das Risiko, welches aus dem Betreiben einer Chemieanlage resultiert, zu quantifizieren. [14]

Ziel der quantitativen Risikoanalyse ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für ein definiertes Ereignis innerhalb eines technischen Systems zu bestimmen.

Die Risikoanalyse, wie sie für die Beurteilung von Gefahren benutzt wird, die mit verfahrenstechnischen Anlagen und Lagereinrichtungen verbunden sind, kann in vier Fragen zusammengefasst werden:

1. Was kann falsch laufen?
2. Wie oft wird dies erfolgen?
3. Was sind die Auswirkungen und Folgen?
4. Muss das Risiko verringert werden, und wie kann dies geschehen?

Für die Identifizierung von Gefahren und damit zur Beantwortung der ersten Frage wurden verschiedene qualitative Methoden entwickelt. Danach wenden diese Verfahren der Risikoanalyse quantitative Methoden an, um Antworten auf die zweite und dritte Frage zu erhalten. Die erhaltenen Informationen helfen bei der Beantwortung der vierten Frage.

*Es handelt sich demnach bei der quantitativen Risikoanalyse nicht um eine alternative Vorgehensweise zur qualitativen Risikoanalyse, sondern um eine zusätzliche Analyse, die bei besonders gefahrenträchtigen Anlagen durchgeführt wird.*

*Bei der Durchführung einer quantitative Risikoanalyse werden für eine Anlage die Häufigkeit unerwünschter Ereignisse und deren Tragweite festgestellt. Für die Anlagenumgebung können daraus ein individuelles Risiko und ein Gruppenrisiko bestimmt werden.*

*Ein individuelles Risiko ist ortsgebunden und wird für eine fiktive Person berechnet, die sich ungeschützt 24 Stunden pro Tag an gleicher Stelle in der Umgebung der Anlage aufhalten*

würde. Dieses Risiko wird in sogenannten ISO-Risiko-Linien in einer topographischen Karte dargestellt. Das Gruppenrisiko ist nicht grundsätzlich ortsgebunden und bezieht sich auf Ereignisse mit einer größeren Anzahl von Menschen, die tatsächlich im Umkreis einer Anlage anwesend sind. Das Gruppenrisiko wird in einer Graphik dargestellt. Dabei wird der Zusammenhang zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Anzahl der Betroffenen aufgezeigt. In den Niederlanden sind die maximal zulässigen Risiken durch Grenzwerte festgelegt. [9]

Bei den quantitativen Methoden werden in der Datenbasis betriebsinterne Spezifika nicht erfasst (z.B. Qualitäts-Management-Systeme, vorbeugende Wartung).

Es besteht die Gefahr, dass unsichere Ergebnisse mit definierten Grenzwerten verglichen werden.

Vergleichbarkeit von quantitativen Risikoanalyseverfahren ist daher nur gegeben, wenn unter gleichen Kriterien mit der gleichen Datenbasis gearbeitet wird.

Dadurch ergibt sich eine verschlechterte Anwendbarkeit durch Erhöhung der Fehlerquote bei individuellen Prozessen, da die Randbedingungen und Störungsabläufen nicht exakt quantifizierbar sind.

Auf der Basis einer an die lokalen Verhältnisse angepassten Datenbasis und bei sorgfältiger Schulung der Anwender können sicherheitstechnische Risiken quantifiziert werden. Hierdurch besteht die Möglichkeit des Vergleichs mit objektiven Akzeptanzkriterien.

Vorteil dieser Methoden liegt in der Beurteilung von Baugruppen unter definierten Einsatzbedingungen mit klar definierten Störungsabläufen.

Quantitative Risikoanalysen können einen wesentlichen Beitrag zu Auslegungsentscheidungen von Anlagen leisten und dienen nicht nur zum übergeordneten Nachweis der Einhaltung von vorgegebenen Akzeptanzkriterien.

## 7. Zusammenfassende Betrachtung

Alle Risikoanalyseverfahren haben zum Ziel, die systematische Erfassung und Auswertung sicherheitsrelevanter Ereignisse im verfahrenstechnischen Betrieb zu verbessern, um die Möglichkeiten zur weiteren Optimierung der Anlagensicherheit zu nutzen.

*Wenn es ausschließlich darum geht, die Sicherheit einer Anlage zu beurteilen und Maßnahmen aufzuzeigen, um die Sicherheit zu erhöhen, genügt die qualitative Vorgehensweise. Voraussetzung hierfür ist, die Anwendung bewährter systematischer Prüfmethode und deren gründliche und verantwortungsbewusste Durchführung. Die zusätzliche Durchführung einer Quantitativen Risikoanalyse kann weiteren Zielen dienen, z.B. der Herbeiführung von Akzeptanz in der Nachbarschaft der Anlage durch Aufzeigen der Restrisiken. Die Festlegung von Risikogrenzwerten kann die Entscheidungsfindung bei der Erteilung von Genehmigungen erleichtern. Die Ermittlung von Abständen zwischen Anlagen und Schutzobjekten in Verbindung mit einem akzeptierbaren Risiko für die Schutzobjekte kann eine Hilfe für die Bauleitplanung sein. [9]*

Die Gefahrenidentifikation und Beurteilung sind die wichtigsten Teile einer Risikoanalyse.

Festzustellen bleibt, dass die jeweils verwendete Methode systematisch anwendbar sein sollte. Jede Methode weist Stärken und Grenzen auf, wobei es keine Methode für alle Fragestellungen gibt und die Methodenwahl abhängig vom Ziel ist.

Eine Fortentwicklung der Risikoanalysemethoden und ihrer Anwendung ist in verschiedenen Richtungen denkbar. Zum einen können die Vorgehensweisen sicher noch verfeinert, dem einzelnen Anwendungsfall spezifischer anpassbar und untereinander – ähnlich einem Baukastensystem – stärker aufeinander abstimmbar weiterentwickelt werden. Zum anderen empfiehlt sich eine direkte Kombination und Verknüpfung einzelner Risikoanalyseverfahren oder eine Verkettung von induktiver und deduktiver Analysetechnik. Wesentliche Veränderungen in der Anwendung der Methoden werden durch einen weiteren Einsatz von Rechnern zur Unterstützung sowohl bei den qualitativen Methoden, als auch zur Durchführung von quantitativen Methoden zu erwarten sein.

Aus den Einschränkungen der einzelnen Methoden folgt, dass die Methoden nur eine Hilfe für einen Teil des Sicherheitsproblems in verfahrenstechnischen Anlagen sein können. Ihr Einsatz muss weiter optimiert werden und es wird sich als sinnvoll und erforderlich erweisen Kenntnisse der Verfahren und der Eigenschaften der gehandhabten Stoffe noch effizienter einsetzbar zu machen.

Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass mit allen Methoden jeweils nur Teile des gesamten Sicherheitsproblems gelöst werden können. Vorangehende Laboruntersuchungen und die ingenieurmäßige Auslegung der als notwendig erkannten Sicherheitseinrichtungen müssen selbstverständlich hinzukommen, denn eine gute Analyse alleine macht noch keine sichere Anlage.

Damit ist Risikoanalyse auch immer ein Umgang mit Unsicherheiten.

Erfahrungen haben gezeigt, dass gerade aus Risikoanalysen gewonnene Beurteilungen teilweise dazu führen, dass das Interesse auf die Ereignisse mit großen Auswirkungen, aber niedriger Wahrscheinlichkeiten konzentriert wird, deren Eintrittswahrscheinlichkeit aber sehr gering ist. Sie führen daher zu unerreichbaren Forderungen (der vollständigen Eliminierung solcher Risiken), wobei es keine einzige logische Folgerung aus Risikoanalysen gibt, die alle Menschen überzeugt.

Die abschließende Risikobewertung muss folglich mit dem Ziel erfolgen, einen unter Umständen erforderlichen Handlungsbedarf so festzulegen, dass er zum ermittelten Risiko adäquat ist.

Die Anwendung von Risikoanalysemethoden, zusätzlich zur Anwendung von technischen Regeln und technischem Sachverstand, werden in Deutschland weiterhin die Verfahren bleiben, mit denen die Sicherheit der Anlagen in der Industrie erreicht werden soll.

*Zwischen absolut unerreichbarer absoluter Sicherheit und absolut unverantwortlicher absoluter Unsicherheit liegt ein breites Spektrum an Möglichkeiten für verantwortungsvolle und wirtschaftliche Sicherheit. [15]*

## 8. Quellenverzeichnis

- [1] BASF: Umwelt, Sicherheit, Gesundheit 2000, Umweltbereich, Ludwigshafen, 2001
- [2] Seveso II Richtlinie
- [3] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Gerüche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S 3830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 01. März 2011 (BGBl. I S. 282, 286)
- [4] 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung – 12 BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 08. Juli 2005 (BGBl. I, S. 1598, (FNA 2129-8-12-1)
- [5] Gefahrenermittlung Gefahrenbewertung, Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie, Heidelberg, 1997
- [6] Jäger, P. (Technischer Überwachungsverein Reinland, Köln): Chemische Rundschau 34 (1981), Nr. 16
- [7] Flanz, J.: Methoden zur Risikoquantifizierung verfahrenstechnischer Anlagen. Diss. Uni-Dortmund, 1998
- [8] Rindfleisch, H.-N.: Untersuchung zur Methodik von Sicherheitsanalysen, Diss. Uni-Dortmund
- [9] Katzer, H.: LUA-Jahresbericht 2001
- [10] DIN EN 61508 (VDE 0803) ehemals DIN V 19250, Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme, Stand 2011
- [11] VDI /VDE 2180 Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik, ICS: 25.040.40, 35.240.50, Stand 2011
- [12] <http://www.dke.de/de/DKE-Arbeit/MitteilungenzurNormungsarbeit/2011/Seiten/NormenreiheDINEN61508.aspx>
- [13] <http://www.baua.de/de/Publikationen/Regelwerke/Rw27.html>
- [14] Schön, G.: Was ist Risiko? Bundesarbeitsblatt 2/1979
- [15] Maus, T.: Inventarisierung und Bewertung von (IT-) Risiken 1985



Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Immissionsschutz** – Band 3

– Aktuelle Entwicklungen im anlagenbezogenen

Planungsprozess und Immissionsschutz –

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Andrea Versteyl, Stephanie Thiel,

Wolfgang Rotard, Markus Appel.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2012

ISBN 978-3-935317-90-0

ISBN 978-3-935317-90-0 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2012

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M. Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Ulrike Engelmann LL. M.

Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Foto auf dem Buchdeckel: [www.bajstock.com](http://www.bajstock.com) (bearbeitet)

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.