

Die Anwendung systemanalytischer Methoden zur Beurteilung der Sicherheit von Flüssiggasanlagen

Dr.-Ing. Manfred Jansen

Einführung

Heute werden immer komplexere Anlagen mit zum Teil erheblichem und häufig unbekanntem Gefahrenpotential geplant und betrieben. Daher ist es erforderlich, die Sicherheit solcher Anlagen systematisch zu untersuchen und zu bewerten.

Schon seit einiger Zeit werden zur Beurteilung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von verfahrenstechnischen Anlagen qualitative Methoden, wie Checklisten, Ausfalleffektanalysen oder Hazard and Operability Studies, angewandt. Neuerdings wird versucht, die aus der Kerntechnik und Raumfahrt stammende Fehlerbaumanalyse zu nutzen. Als Ergebnis einer Fehlerbaumanalyse erhält man dann Wahrscheinlichkeitskenngrößen, die Aussagen über die Verfügbarkeit von Anlagenteilen oder die Zuverlässigkeit von Gesamtsystemen erlauben. Mit Hilfe solcher Aussagen kann eine Risikostudie erstellt werden.

Das Wort Risiko wird heute von der Bevölkerung und den Technikern in verschiedenen Zusammenhängen benutzt¹⁾. Mathematisch ist das Risiko folgendermaßen definiert.:

Risiko = Ereignishäufigkeit x Schadensausmaß

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen Störfall kann aus technischen und wirtschaftlichen Gründen niemals „null“ werden. Durch den Einbau zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen (Redundanzen oder diversitäre Auslegung) entstehen möglicherweise derart komplexe Anlagen, daß die Zahl der abhängigen Fehler zunimmt und die Anlage unsicherer wird. Darüber hinaus wird ein wirtschaftlicher Betrieb einer solchen Anlage sicherlich nicht möglich sein. Aus diesen Gründen verbleibt immer ein nicht zu vernachlässigendes Restrisiko. Aufgabe der Sicherheitstechnik ist es, dieses Restrisiko zu bestimmen und zu minimieren²⁾.

Aufgabe der Genehmigungsbehörden und der Politiker ist es, dieses Restrisiko als „akzeptabel“ oder „nicht akzeptabel“ zu bewerten. Insbesondere bei kleinen Ereignishäufigkeiten aber großem Schadensausmaß wird eine solche

Bewertung außerordentlich schwierig.

Neben der Definition des Risikos ist der Begriff der Zuverlässigkeit (DIN 40 041) in der Sicherheitstechnik von zentraler Bedeutung. Je nach Anlagentyp kann sie folgende Bedingungen einschließen: Ausfallsicherheit, lange Lebensdauer, Bedienungsfreundlichkeit oder Reparaturfähigkeit. Die Zuverlässigkeit einer Anlage muß im Rahmen einer Sicherheitsanalyse nachgewiesen werden.

Die Anlagenbetreiber scheuen sich häufig, im Rahmen einer Sicherheitsanalyse nach der StörfallVO (12. BImSchV vom 19. 5. 1988) Aussagen über denkbare Schadensfälle zu machen³⁾, da nach Anfertigung der Sicherheitsanalyse alles ingenieurmäßige getan wäre, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. „Horror szenarien“ in einer Sicherheitsanalyse würden nur die Bevölkerung beruhigen. Diese Auffassung ist aber falsch, denn nur durch die Vorgabe verschiedener denkbarer Schadensereignisse können die für die Schadens- und Katastrophenbekämpfung zuständigen Stellen die notwendigen Informationen erhalten. Der Betreiber hat daher betriebliche Alarm- und Gefahrenabwehrpläne, die mit den für den Katastrophenschutz und die allgemeine Gefahrenabwehr zuständigen Behörden abgestimmt sind, aufzustellen, fortzuschreiben und den Inhalt den Behörden bekanntzumachen. Nur bei Kenntnis möglicher Schadensfälle können geeignete Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden⁴⁾.

Nachdem in der Vergangenheit die Diskussion über die Sicherheit und das Risiko von Flüssiggaslagern überwiegend an Schadensbeispielen⁵⁾ geführt wurde, soll nunmehr das Bild durch eine probabilistische Untersuchung abgerundet werden.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes des Bundesministeriums für Forschung und Technologie wurde unter anderem eine Sicherheitsanalyse für ein Flüssiggaslager in einer Raffinerieanlage durchgeführt⁶⁾. Die Untersuchungen beschränken sich hierbei auf ein typisches (idealisiertes) Flüssiggaslager, welches in der Realität nicht existent ist.

Einige Ergebnisse dieser Studie sollen hier wiedergegeben und kommentiert werden. Aus redaktionellen Grün-

den mußte dieser Beitrag stark gekürzt werden. Die Arbeit wird daher durch zahlreiche Literaturhinweise ergänzt.

Methoden der Systemanalyse

Sicherheits- und Risikoanalysen dienen einer systematischen Überprüfung geplanter oder vorhandener Anlagen im Hinblick auf eine Identifizierung oder Bewertung gefährlicher Anlagenzustände und der möglichen Schadensauswirkungen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung systemanalytischer Methoden ist die genaue Kenntnis der Anlage und der darin ablaufenden Prozesse. Erfahrungen mit dem Anlagentyp sowie Normen, Technische Regeln oder Richtlinien sind weitere Grundlagen für die Untersuchung. Zum Ablauf siehe Bild 1.

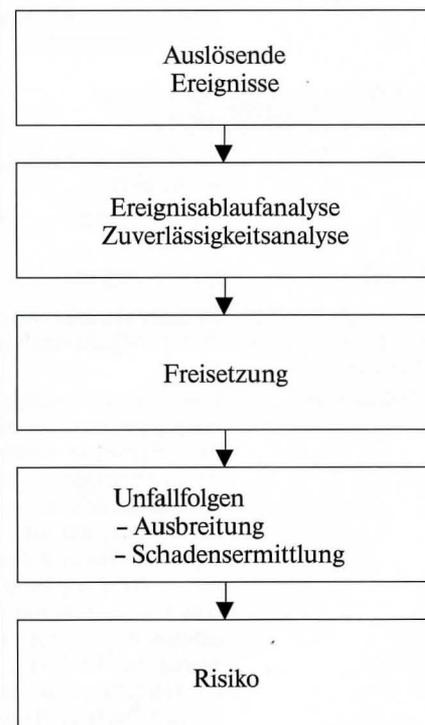


Bild 1:
Zeitlicher Ablauf einer Risikoanalyse

Im einzelnen sind Angaben über folgende Punkte erforderlich:

- Anlagen- und Systemaufbau,
- Betriebsbedingungen,
- betriebliche Abläufe,
- Standort und Umgebung.

Darüber hinaus benötigt man Kenntnisse über

- die vorhandenen gefährlichen Stoffe,
- die Mengenverteilung dieser Stoffe in der Anlage,
- gefährliche Anlagenzustände und
- vorhandene Sicherheits- oder Schutz-einrichtungen.

Methoden der Systemanalyse sind Gefährdungsindizes^{7) 8)}, Checklisten⁹⁾, HAZOP-Studien^{10) 11)}, Ausfalleffekt- und Ereignisablaufanalysen.

Die Methode der Fehlerbaumanalyse soll nachfolgend beschrieben werden:

Bei der Fehlerbaumanalyse nach DIN 25 424 wird das unerwünschte Ereignis (TOP-Ereignis) vorgegeben und nach allen Ursachen gesucht, die zu diesem Ereignis führen können.

Ziel der Analyse ist die systematische Identifizierung aller möglichen Ausfallkombinationen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen und die Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen, wie zum Beispiel Eintrittshäufigkeit des unerwünschten Ereignisses oder die Nichtverfügbarkeit des Systems bei Anforderung.

Die Verfahrensschritte werden an dieser Stelle kurz erläutert:

1. Die für eine Zuverlässigkeitsuntersuchung notwendigen Systembestandteile werden definiert und abgegrenzt. Das System wird in Untersysteme und diese in einzelne Elemente unterteilt. Aufgrund der spezifischen Systemaufgaben und der an das System gestellten Anforderungen werden ein oder mehrere „unerwünschte Ereignisse“ definiert.
2. Anschließend müssen eine Ausfalleffekt- und eine Ereignisablaufanalyse durchgeführt werden.
3. Die Fehlerbaumanalyse geht nun von dem unerwünschten Ereignis aus, dessen Ursachen schrittweise immer detaillierter aufgeschlüsselt werden. Aufgrund der vorab (1. und 2.) gewonnenen Erkenntnisse über das Systemausfallverhalten und über die möglichen Ausfallarten (einschließlich Fehlbedienung) werden alle Ereignisketten in einem Diagramm, dem Fehlerbaum, übersichtlich graphisch dargestellt.
4. Die zur Beschreibung der Systemelemente benutzte Logik ist binär, d. h., das Ausfallereignis ist eingetreten

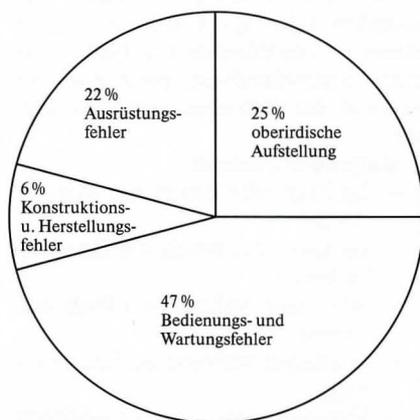
oder nicht eingetreten, so daß die Gesetze der Booleschen Algebra angewendet werden können.

5. Zur quantitativen Auswertung des Fehlerbaumes müssen statistische Daten über das Ausfall- bzw. Reparaturverhalten der Systemelemente vorliegen.
6. Der Fehlerbaum wird anschließend analytisch oder simulativ mittels geeigneter Rechenprogramme ausgewertet. Eine Auswertung per Hand scheidet in den meisten Fällen aus. Nähere Angaben hierzu würden den Rahmen dieser Ausführung sprengen.

Aufbau von Flüssiggaslagern in Raffinerien

Flüssiggas (nach DIN 51 622) ist ein Sammelbegriff für eine Gruppe von Kohlenwasserstoffen aus der Reihe der Alkane, wie Propan, Propen, Butan und Buten und deren Gemische¹²⁾. Sie werden in der Regel unter Druck verflüssigt, gelagert, umgefüllt oder befördert. Der jährliche Umsatz liegt in der Bundesrepublik bei über 3 Mio. t bei steigender Tendenz.

Die Statistik¹³⁾ weist für die Bundesrepublik etwa 70 Unfälle mit Flüssiggas in den letzten 5 Jahren aus. Bei diesen Gasunfällen, die sowohl Klein- als auch Großanlagen betreffen, stellt sich immer die Frage nach den Unfallursachen. Nach Untersuchungen des TÜV ist menschliches Fehlverhalten dominierend, hierbei dominieren Unfälle bei Umfüllvorgängen¹⁴⁾. Siehe hierzu Bild 2.



Quelle: [14]

Bild 2: Ursachen für Fehler und Störungen an Druckbehältern

Anm.: Diese Untersuchung berücksichtigt bereits die Druckbehälterverordnung vom Mai 1989, d. h., den Druckbehälter einschließlich Ausrüstungsteile und Zuleitungen.

Nachfolgend wird der Aufbau und die Betriebsweise eines „typischen“ Flüssiggaslagers in Raffinerien beschrieben.

Flüssiggas wird in Raffinerien in Kugeltanks oder zylindrischen Tanks gelagert. Kugeltanks sind meistens auf Stützen gelagert, während Zylindertanks zu 45 % oberirdisch stehend oder liegend und zu 55 % erdgedeckt verwendet werden. Die Behältervolumina der Kugeltanks reichen von 500 bis 4000 m³, die der Zylindertanks von 100 bis 300 m³¹⁵⁾.

Die Anzahl der Tanks in den einzelnen Lagern ist verschieden. Im Mittel bilden 8 Kugelbehälter mit je 1000 m³ Inhalt und 6 oberirdische zylindrische Lagertanks mit jeweils 200 m³ Inhalt ein Tankfeld. Die Kugeltanks sind nur zur Aufnahme des Butan/Buten vorgesehen, während in den Zylindertanks Propan/Propen gelagert wird. Die zulässigen Betriebsüberdrücke sind auf eine Lagertemperatur von 40 °C ausgelegt. Für die Kugeltanks ergibt sich ein Betriebsüberdruck von 6,5 bar, für die Zylindertanks ein Betriebsüberdruck von 18,5 bar.

Für den Transport des Flüssiggases innerhalb des Lagers und zu den einzelnen Verladestationen für Bahnkesselwagen oder Straßentankwagen stehen Pumpen und Kompressoren zur Verfügung. Transportiert wird das Gas in der flüssigen Phase. Das Lager soll 2 Pumpengruppen mit je 4 Kreiselpumpen von 60 m³/h und 120 m³/h besitzen. Die Rohrleitungsanlage ist für einen Überdruck von 25 bar ausgelegt. Für jedes Produkt sind getrennte Leitungen von der Produktionsanlage zu den Tanks und von den Lagertanks zu den Pumpenanlagen vorhanden.

Der Versand des Flüssiggases aus einem Raffinerielager erfolgt in etwa 40 % aller Fälle per Eisenbahnkesselwagen, zu etwa 25 % per Straßentankwagen, der Rest wird über Pipelines direkt an Großverbraucher geleitet¹⁵⁾. Ein Abtransport per Schiff spielt mit 5 % praktisch keine große Rolle. Das gedachte Lager soll daher über je 2 Verladestationen für Bahnkesselwagen und Straßentankwagen verfügen.

Die gesetzlichen Regelungen und technischen Vorschriften¹⁶⁾ ermöglichen einen sicheren Betrieb der Anlagen. Die Sicherheitseinrichtungen sind so eingerichtet, daß gefährliche Betriebszustände sofort erkannt werden können. Mit Hilfe von „Not-Aus“-Schaltssystemen können alle Förderpumpen und mit Hilfsenergie angetriebenen Absperrarmaturen abgeschaltet werden. Bei Ausfall der Hilfsenergie gehen die Absperrarmaturen automatisch in die sichere Stellung (Fail-Safe-Schaltung), so daß unkontrollierte Gasfreisetzungen begrenzt werden.

Zum Erkennen von Leckagen an Rohrleitungen oder Armaturen sind Gaswarngeräte installiert, die Alarm

geben, wenn unzulässige Konzentrationen im Freien erreicht werden.

Die Kontrolle des Füllstandes aller Behälter erfolgt über Standgläser, die den derzeitigen Füllstand direkt anzeigen. Der Füllstand der Kugeltanks wird über Schwimmer ermittelt, die einen Meßwert am Kugeltank anzeigen. Zum Schutz gegen Drucküberschreitung sind alle Tanks mit je zwei Sicherheitsventilen ausgestattet, die über ein Wechselventil angeschlossen sind, so daß immer ein Ventil auf den Behälter geschaltet ist. Die beim Ansprechen der Ventile freigesetzten Gase werden in die Atmosphäre abgeleitet.

Die Anlagenbeschreibung muß noch durch eine Darstellung der wichtigsten Betriebsvorgänge in einem Flüssiggaslager ergänzt werden.

Die Betriebsvorgänge umfassen den Normalbetrieb und die außergewöhnlichen Ereignisse. Das Befüllen von Lagertanks, das Entnehmen von Gas, das Umfüllen und die Probeentnahme sowie die Entwässerung von Anlagenteilen sind dem Normalbetrieb zuzurechnen. Die vollständige Entleerung eines Tanks zur planmäßigen Revision kann den außergewöhnlichen Ereignissen zugeordnet werden. Darüber hinaus ist der stationäre Lagerzustand von Bedeutung. In diesem Zustand ist der Lagerbehälter gefüllt und abgesperrt. Während des stationären Lagerzustandes werden nur Entwässerungsvorgänge oder eine Probenentnahme durchgeführt.

Die nachfolgende Übersicht zeigt die wichtigsten Betriebsvorgänge in einem Tanklager:

- Füllen der Lagertanks
- Verladen aus den Lagertanks
 - * Beladen von Bahnkesselwagen aus dem Kugeltank
 - * Beladen von Straßentankwagen aus dem Kugeltank
 - * Beladen von Bahnkesselwagen aus dem Zylindertank
 - * Beladen von Straßentankwagen aus dem Zylindertank
- Außerbetriebnahme eines Tanks
- Inbetriebnahme eines Tanks
- Sonstige Arbeiten

Diese Aufzählung zeigt, daß in einem Tanklager zahlreiche Betriebsvorgänge ablaufen können. Darüber hinaus muß an dieser Stelle verdeutlicht werden, daß jeder Betriebsvorgang mit zahlreichen Handgriffen verbunden ist. Zur Befüllung eines Bahnkesselwagens beispielsweise sind über 30 Bedienvorgänge notwendig, die in einer korrekten Reihenfolge abgearbeitet werden müssen.

Eine Risikobetrachtung kann nur dann angestellt werden, wenn Angaben über die umgesetzten Mengen an Flüssiggas vorliegen. Diese sollen aus der folgenden Überlegung gewonnen werden:

In den insgesamt 22 deutschen Raffinerien werden jährlich etwa 1,5 Mio t

Propan/Propen und etwa 1,6 Mio t Butan/Buten erzeugt. Geht man von einem 24stündigen Betrieb aus, so werden in jeder Raffinerie (Gleichverteilung der Stoffmengen in den 22 Raffinerien unterstellt) stündlich 8 t Propan und 8,5 t Butan in jeder Raffinerie umgesetzt. Diese Menge soll das gedachte Lager umsetzen.

Hiervon werden etwa 40 % in Bahnkesselwagen verladen und transportiert. Bei einem Ladegewicht von 40 t je Kesselwagen ergeben sich je etwa 700 Füllungen Propan und Butan jährlich in dem gedachten Lager. Etwa 25 % werden mit Straßentankwagen abgefahren. Bei einer Ladekapazität von etwa 17 t je Tankwagen ergeben sich für Propan und Butan je 1000 Abfüllvorgänge pro Jahr. Da auf dem Schiffswege nur 5 % der erzeugten Menge transportiert werden, spielt dieser Transportweg keine große Rolle. Der Rest von etwa 30 % wird per Pipeline transportiert, so daß sich hierbei Produktströme (für alle Raffinerien) in der Größenordnung von 1 Mio t jährlich ergeben.

Definition unerwünschter Ereignisse

Zur weiteren Untersuchung sollen nunmehr unerwünschte Ereignisse definiert werden. Hierunter sollen solche Betriebszustände verstanden werden, die einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Ereignissen Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb darstellen und zu einer Gefährdung der Umgebung führen.

Unerwünschte Ereignisse werden durch Fehlbedienung, Versagen von Bauteilen oder durch Kombinationen ausgelöst. Die folgende Übersicht zeigt einige unerwünschten Ereignisse, die während des Betriebes auftreten können:

1. stationärer Zustand

- Leckage oder Bruch von Rohrleitungen
- Leckage oder Bruch von Druckbehältern
- Störungen während der Probeentnahme
- Störungen während der Entwässerung
- Versagen von Druckbehältern durch äußere Einwirkung
- BLEVE*)

2. Füllen der Lagertanks

- Leckage oder Bruch der Fülleitung
- Überfüllen des Lagertanks
- Wechseln der Stoffe Propan und Butan
- BLEVE

*) Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion

3. Beladen von Bahnkesselwagen

- Falsches Anschließen der Ladearme
- Falsches Entgasen der Anschlußstücke
- Leckage oder Bruch der Fülleitung
- Leckage oder Bruch der Gaspendelleitung
- Überfüllen des Bahnkesselwagens
- Aufprall eines anderen Bahnkesselwagens
- Verschieben des Bahnkesselwagens während des Befüllens
- Explosion an der Verladestation

4. Beladen von Straßentankwagen

- Falsches Anschließen der Ladearme
- Falsches Entgasen der Anschlußstücke
- Leckage oder Bruch der Fülleitung
- Leckage oder Bruch der Gaspendelleitung
- Überfüllen des Straßentankwagens
- Abfahren des Straßentankwagens während des Abfüllens
- Auffahrunfall mit einem anderen Straßentankwagen

An dieser Stelle können aus Platzgründen keine Aussagen über das Verhalten von Flüssiggasen bei Störfällen gemacht werden, obwohl die Kenntnis dieser Grundlagen für eine Risikoanalyse unabdingbar ist. Der interessierte Leser findet hierzu weitere Angaben in der zitierten Originalliteratur¹⁷⁾. Für eine weitergehende Beschäftigung mit diesem Problemfeld wird auf zusätzliche Literatur^{18) 19)} und weitergehende Darstellungen von Berechnungsgrundlagen^{20) 21) 22)} verwiesen.

Störfallanalyse

Die folgende Störfallanalyse soll einige der vorab genannten unerwünschten Ereignisse zur Grundlage haben. Diese Ereignisse werden als einleitende Ereignisse für eine Ereignisablaufanalyse verwendet.

Die einzelnen Störfälle müssen dann in ihrem Ablauf beschrieben werden. Anschließend sollen die Ergebnisse einer probabilistischen Auswertung der zugehörigen Fehlerbäume dargestellt werden. Die hierfür notwendigen Komponentendaten für die Ausfallwahrscheinlichkeit oder die Unverfügbarkeit stammen aus Untersuchungen des TÜV Rheinland. Weitere Angaben und Hinweise auf weiterführende Literatur findet der Leser in 23).

Eine Analyse des menschlichen Fehlverhaltens (menschliches Versagen) bei der Bedienung komplexer Anlagen ergibt eine Fehlerquote von etwa 1 bis 5 Fehlern pro 1000 Aktivitäten²⁴⁾.

Verlust einer Verladestation

Verschiedene Sicherheitssysteme verhindern ein Ausströmen aus dem Lager-tank. Auf der Flüssigkeitsseite steht hier-für ein druckluftbetriebenes, ferngesteu-ertes Schnellschlußventil und zusätzlich ein handbetätigtes Ventil am Tank zur Verfügung. An der Gaspendelleitung sind eine automatische Rückschlag-klappe und ein Handventil am Tank montiert. Zusätzliche Ventile direkt am Lade-arm werden nicht betrachtet, da sie bei einem Störfall an der Verladestation sicherlich nicht mehr betätigt werden können oder auch durch den Störfall zerstört werden.

Als auslösendes Ereignis für das Aus-strömen von Flüssiggas aus einem Stra-ßentankwagen und den folgenden Ver-lust der Verladestation wird ein vorzeiti-ges Anfahren des Tankwagens ($1 \cdot 10^{-4} / \text{h}$) und ein Auffahrunfall mit einem nachfolgenden Tankwagen ($2 \cdot 10^{-4} / \text{h}$) vor Beendigung des Füllvor-ganges angenommen. Die Verschiebung des Tankwagens soll dann zur Zer-störung des beweglichen Ladearms füh-ren. Eine Absperrung soll in diesem Stör-fall nur mit dem Bodenventil des Tank-wagens möglich sein. Hierzu muß eine Reißleine gezogen werden. Bis zur Betäti-gung der Reißleine sollen etwa 20 Sekun-den vergehen. Die Schließzeit des Bodenventils wird auf etwa 5 Sekunden abgeschätzt, d. h., der Tankwagen ist für etwa 25 Sekunden nicht abgesperrt.

Zur Bestimmung der freigesetzten Mengen wird von einem bereits erreichten Füllungsgrad im Tankwagen von 50 % ausgegangen. Diese Annahme ist optimistisch, da mit einem vorzeitigen Anfahren eher zum Ende des Belade-vorganges zu rechnen ist. Das Bild 3 zeigt den dazugehörigen Ereignisbaum und die errechneten freigesetzten Massen.

Als auslösendes Ereignis für das Aus-strömen von Flüssiggas aus einem Bahn-kesselwagen wird eine Verschiebung des Kesselwagens durch Ziehen oder durch Aufprall eines anderen Kesselwagens infolge falscher Weichenstellung ange-nommen ($1 \cdot 10^{-4} / \text{h}$). Ein solcher Unfall führt zur Zerstörung des Ladearms.

Eine Absperrung des Kesselwagens soll nur mit dem kombinierten Boden-ventil für die Flüssig- und Gasleitung möglich sein. Zusätzlich zu der vorhan-denen Reißleine kann das Bodenventil automatisch durch einen eingehängten Schienenhaken betätigt werden. Die Annahmen der Schließzeiten entspre-chen denen des Straßentankwagens. Die Reaktionszeit des Schienenhakens wird verzögerungsfrei auf 0 Sekunden geschätzt. Auch der Bahnkesselwagen soll zum Zeitpunkt des Störfalles nur mit 50 % gefüllt sein.

Versagen die Schnellschlußventile ($1,2 \cdot 10^{-3} / \text{h}$), so ist mit erheblichen Frei-setzungsmengen zu rechnen, denn dann

Vorgang:	Reißleine	Bodenventil flüssig gasf.	Propan	Butan
Schließzeit:	20 s	5 s 5 s		
Verlust der Verlade- station			2,1 t	869 kg
Tankwagen- ausströmen			2,1 t	869 kg
			8,5 t	10,0 t
			8,5 t	10,0 t
maximal	8,5 t Propan oder 10,0 t Butan bei 50 % Füllung			

Bild 3: Ereignisbaum für den Störfall „Ausströmen aus dem Straßentankwagen“

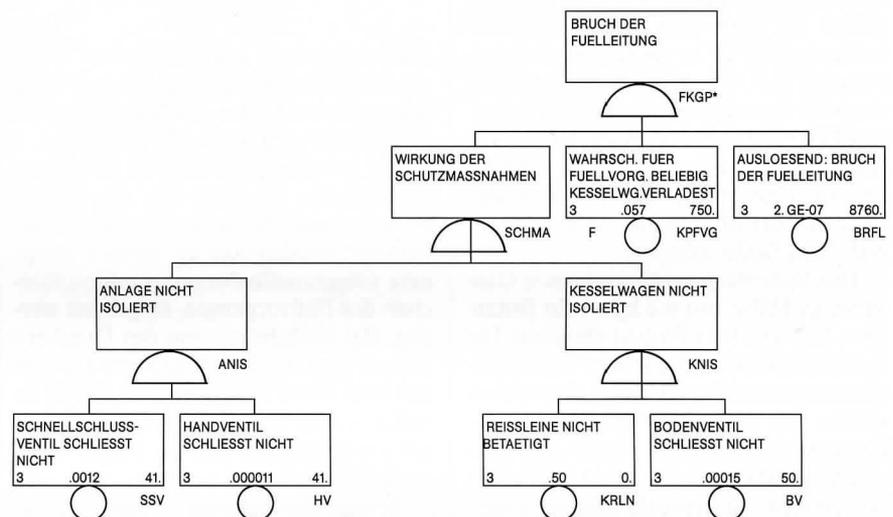


Bild 4: Fehlerbaum „Bruch der Fülleitung während der Verladung“

müssen bei einem Störfall die Handven-tile am Tank geschlossen werden. Hier-bei kann eine erhebliche Zeit vergehen, denn diese Ventile müssen erst im Tank-feld aufgesucht werden.

Da die entsprechenden Dimensionen der Rohrleitungen bekannt sind, kann mit geeigneten Rechenverfahren eine maximale Freisetzungsrates berechnet werden. Sie beträgt (für das hier ange-nommene Modellager) für Propan etwa 170 kg s^{-1} und für Butan etwa 70 kg s^{-1} .

Bei Koppelvorgängen des Ladearms kann Flüssiggas in kleinen Mengen aus-treten. Infolge seiner hohen Dichte kann es sich unter dem Kesselwagen im Wä-ge-raum sammeln, wenn es nicht durch eine Belüftung abgesaugt wird. Bei aus-gefallener Belüftung oder bei einem Bedienungsfehler kann sich unkontrol-liert Gas ansammeln. Eine Zündung hätte ebenfalls ein Verschieben des Kes-selwagens und einen Verlust der Verlade-station zur Folge.

Bruch von Rohrleitungen während der Verladung

Bei einem Bruch der Rohrleitungen (Fülleitung: $2,6 \cdot 10^{-7} / \text{h}$ oder Gaspen-

delleitung: $2,6 \cdot 10^{-7} / \text{h}$) während eines Füllvorganges werden für jeden Störfall zwei Freisetzungspfade geöffnet: Zum einen die Verbindung zum Lagertank und zum anderen die Verbindung zum Tankfahrzeug. Die freigesetzten Massen-ströme lassen sich auch für diese Fälle berechnen. Die Sicherheitssysteme gegen gebrochene Leitungen wurden schon vorab im Störfall „Verlust der Ladestation“ beschrieben.

Das Bild 4 zeigt einen Fehlerbaum mit dem TOP-Ereignis „Bruch der Fülleitung“. Er zeigt auf der rechten Seite das einleitende Ereignis mit der entspre-chen Wahrscheinlichkeit eines Stör-falleintrittes ($2,6 \cdot 10^{-7} / \text{h}$) und der Jah-resstundenzahl (8760 Stunden) als Beob-achtungszeitbasis. Die Wahrschein-lichkeit für eine Unverfügbarkeit der Kes-selwagenabfüllstation wird mit $0,057 / \text{h}$ während eines Zeitraumes von 750 Stun-den (Füllzeit) angegeben. Auf der linken Seite sind die menschlichen Aktionen bzw. das Versagen von Sicherheitsein-richtungen dargestellt. Auch hierfür wurden Eintrittswahrscheinlichkeiten neben den entsprechenden Inspektions-intervallen in Stunden angegeben.

Störfall bei Lagertankfüllung – Internes Leitungsversagen

Während eines Füllvorganges können infolge des inneren Überdruckes in den Leitungen an den Verbindungsstellen (Flanschen, Schieber) kleinere Leckagen entstehen. Wenn sich diese entzünden können, so kann durch Temperaturerhöhung der Druck im Tank bzw. im System ansteigen.

Ein Störfallablauf ist wie folgt denkbar: Auf das Leitungsversagen in Tanknähe erfolgt keine Reaktion, ebenso bleiben Löschmaßnahmen erfolglos. Der Brand heizt den Kugeltank mit Butanfüllung auf eine Temperatur von 63 °C auf. Dies führt zu einer Drucksteigerung auf 6,5 bar mit der Folge, daß das Sicherheitsventil abbläst. Für den gleichartigen Störfall am Zylindertank, der mit Propan gefüllt ist, führt eine Temperaturerhöhung auf 45 °C zu einer Drucksteigerung auf 18,5 bar, so daß das Sicherheitsventil in diesem Falle ebenfalls abbläst. Auf Grund der hohen Wärmekapazität der flüssigen Phase von Butan und Propan ist eine solche Temperatursteigerung nur bei Bränden in unmittelbarer Nähe des Tanks möglich.

Das Sicherheitsventil wird einen Gasstrom in Höhe von 8,7 kg s⁻¹ für Butan bzw. 22,7 kg s⁻¹ für Propan abblasen. Da das Sicherheitsventil auf dem Tank montiert ist, ist eine Entzündung dieses Gasstrahls nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit möglich. Sollte die Entzündung stattfinden, so wird keine erfolgreiche Brandbekämpfung unterstellt.

Erfolgt keine Zündung des Abblasestromes, so hängt die Dauer der Freisetzung vom Füllungsgrad des betroffenen Behälters ab, dieser wird zu 100 % angenommen. Es ergibt sich daher für den Kugeltank eine Abblasezeit von über 18 Stunden. In dieser Zeit werden mit Sicherheit geeignete Gegenmaßnahmen getroffen werden können.

Bei defektem Sicherheitsventil (0,011/h) wird Tankbersten unterstellt. Dies kann dadurch begründet werden, daß mit steigender Brandeinwirkungsdauer der Dampfdruck im Tank steigt und andererseits durch die Temperatureinwirkung eine Materialschwächung auftritt. Eine eventuelle Behälterkühlung wird vernachlässigt. Da das Volumen des Flüssiggases schlagartig expandiert, ist mit einer sofortigen Entzündung des freiwerdenden Gases zu rechnen. Es liegen daher die Bedingungen für einen BLEVE vor.

Störfall bei Kugeltankfüllung – Propan statt Butan

Propan hat einen wesentlich höheren Dampfdruck als Butan. Wird bei einem Füllvorgang versehentlich Propan in einen Butantank eingefüllt, so wird

Störfall	Häufigkeit pro Jahr
Verlust der Verladestation durch vorzeitiges Anfahren des Tankwagens	0,21 * 10 ⁻³
durch Aufprall eines Kesselwagens mit Ausströmung	0,11 * 10 ⁻³
Bruch der Fülleitung	0,22 * 10 ⁻⁷
Bruch der Gaspendelleitung	0,27 * 10 ⁻⁷
Entwässerungsfehler	0,54 * 10 ⁻¹
Tankbersten infolge Falschfüllens Propan statt Butan	0,16 * 10 ⁻³
BLEVE infolge Falschfüllens	0,91 * 10 ⁻⁴
brennender Abblasestrom	0,27 * 10 ⁻²
Abblasen Zylindertank	0,22 * 10 ⁻⁰
BLEVE am Zylindertank	0,36 * 10 ⁻⁴

Tabelle 1: Störfallhäufigkeiten

bereits bei einer Temperatur von 20 °C ein Dampfdruck von 8,5 bar erreicht. Der Ansprechdruck des Sicherheitsventils von 6,5 bar wird daher überschritten.

Bei korrekter Arbeitsweise und Beobachtung der Druckanzeige des Kugeltankmanometers wird dieser Fehler bemerkt werden und es können geeignete Gegenmaßnahmen, wie Unterbrechen des Füllvorganges, eingeleitet werden. Bei Nichtbeachtung des Druckanstieges wird das Sicherheitsventil abblasen und einen Gasstrom (bei 20 °C) in Höhe von 23,9 kg s⁻¹ freisetzen. Es muß unterstellt werden, daß der Fehler dann entdeckt wird.

Versagt das Sicherheitsventil und öffnet nicht innerhalb der vorgesehenen Zeit, so wird davon ausgegangen, daß der Behälter dem Innendruck nicht standhält und birst. Trifft die expandierende Flüssigkeit auf eine Zündquelle, so liegen auch für diesen Störfall die Bedingungen eines BLEVE vor.

Diese Störfälle wurden in der Fehlerbaumanalyse ausgewertet. Die Rechenergebnisse sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Störfall bei Lagertankfüllung – Überfüllung

Wird bei der Befüllung der Kugel- oder Zylindertanks die Füllstandsanzeige nicht beachtet (1 * 10⁻⁴ / h) oder ist das Schwimmersystem defekt (9,6 * 10⁻³ / h), so besteht die Gefahr der Überfüllung. Bei voll gefülltem Tank und laufenden Förderpumpen entsteht bei defektem Überstromventil (0,011 / h) ein stationärer Durchlauf durch den Tank über das Sicherheitsventil ins Freie. Unterstellt man, daß nach einer bestimmten Zeit der Fehler entdeckt wird und die Förderpumpen abgestellt werden, so stellt sich nach kurzer Zeit wieder ein normaler Betriebsdruck im Tank ein. Die maximale Ausblaserate liegt bei 23,9 kg s⁻¹ für Propan und 9,55 kg s⁻¹ für Butan.

Der Operator überwacht den Füllvorgang direkt über ein Schauglas. Bei intaktem Schauglas wird er sofort die Ventile schließen, wenn der Füllstand erreicht ist. Ein Nichtfunktionieren der Absperrventile (2,19 * 10⁻³ / h) ist bei intaktem Schwimmer sofort bemerkbar. Der Bediener wird daher dann eine „Not-Aus“ Abschaltung einleiten. Versagt das Not-Aus System, werden größere Mengen Flüssiggas freigesetzt bis weitere geeignete Maßnahmen ergriffen werden.

Störfall am Lagertank – fehlerhafte Entwässerung

Ein Störfall durch eine fehlerhafte Entwässerung kann durch einen Bedienungsfehler oder durch das Versagen von zwei Handventilen eintreten. Eine mögliche Freisetzung von Flüssiggas erfolgt dann über die Entwässerungsleitung in flüssiger Form. Die austretenden Massenströme liegen bei 11,4 kg s⁻¹ für Butan und 21,4 kg s⁻¹ für Propan.

Ein möglicher Bedienungsfehler besteht in einer vollständigen Öffnung der Entwässerungsschleuse, indem das zweite Handventil geöffnet wird, während das erste noch nicht geschlossen wurde. Ein solcher Fehler wird vom Bediener sicherlich sehr schnell bemerkt werden. Sind die Handventile defekt und lassen sich nicht mehr schließen, kann die Freisetzung nicht mehr gestoppt werden. Eine Verminderung der Freisetzungsrates ist in diesem Falle nur über ein Abpumpen des Behälterinhaltes möglich.

Darstellung der Ergebnisse

Zur probabilistischen Auswertung der dargestellten Störfälle wurde die Fehlerbaumethode angewandt. Die notwendigen Komponentendaten wurden aus der Literatur entnommen (vgl. hierzu Literaturangabe 6 und 23). Die Rechnungen wurden mit Hilfe des am Institut für Kerntechnik der Technischen Universität Berlin entwickelten EDV-Pro-

grammes RISA durchgeführt²⁵⁾. Auf Einzelheiten der Rechnung kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Die Ergebnisse können der Tabelle 1 entnommen werden.

Die Ergebnisse der Tabelle 1 geben die erwarteten Häufigkeiten der Störfälle pro Jahr wieder. Diese Häufigkeiten beinhalten noch keine Auswirkung auf die Umgebung, d. h., sie besitzen nicht den Charakter einer Risikokenngröße.

Die Störfälle „Abblasen des Sicherheitsventiles“ weisen eine sehr große Häufigkeit auf. Der Grund liegt in der Zusammenfassung mehrerer Teilstörfälle.

Vergleich mit anderen Studien

Die im Rahmen dieser Untersuchung errechneten Störfallhäufigkeiten werden nun mit Ergebnissen anderer Studien verglichen. Hierzu wurden zwei niederländische Arbeiten herangezogen.

Im Rahmen einer Pilotstudie²⁶⁾ zur Risikoermittlung an sechs Industrieanlagen im niederländischen Rijnmond-Gebiet bei Rotterdam wurde ein Propylenlager untersucht. Das Lager hat zwei Kugeltanks mit einer Kapazität von je 600 Tonnen. Die Arbeitsweise in diesem Lager ist mit der in dem hier beschriebenen Modellager vergleichbar. Die folgende Tabelle 2 gibt einige Werte für Störfallhäufigkeiten wieder.

Im Rahmen einer umfangreichen Risikostudie über Lagerung, Transport, Verschiffung und Verbrauch von Flüssiggas und Benzin²⁷⁾ wird von der TNO ein Flüssiggaslager untersucht. Das Lager besteht aus einem Kugeltank mit einer Kapazität von 1300 m³ und drei Zylindertanks mit je 165 m³ Speichervolumen. Das Tanklager ist in den Betriebsabläufen ebenfalls mit dem hier beschriebenen Modellager vergleichbar.

Das Ergebnis zeigt die Tabelle 3.

Ein direkter Vergleich der Werte in den Tabellen 1, 2 und 3 ist nur bedingt möglich. Dies hat seine Ursache in den unterschiedlichen Szenarien, die zu einem unerwünschten Ereignis führen können. Ein Vergleich ähnlicher Störfälle anhand der Freisetzungsraten ist wegen der verschiedenen zugrundegelegten Ausströmmodelle und den geometrischen Ausströmbedingungen ebenfalls nur schwierig möglich. Trotzdem sind die Abweichungen zum Teil relativ gering.

Die großen Unterschiede für die Häufigkeit eines BLEVE um drei Zehnerpotenzen als Ursache des Falschfüllens des Kugelbehälters kann unter anderem durch einen anderen Komponentenwert für das Versagen des Sicherheitsventiles erklärt werden. Dieser wird im Rijnmond-Report mit $6 \cdot 10^{-7}$ wesentlich geringer als in der hier durchgeführten Studie ($1,1 \cdot 10^{-2}$) angegeben.

Störfall	Häufigkeit / a
Bruch des Kugeltanks mit spontaner Freisetzung	$2,3 \cdot 10^{-7}$
Versagen einer Flüssigkeitsleitung, kontinuierliche Freisetzung	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Versagen einer Pipeline, kontinuierliche Freisetzung	$6,6 \cdot 10^{-6}$
Verbindungsversagen, kontinuierliche Freisetzung	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Fehler bei Rohrleitungsarbeiten	$7,3 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 2: Störfallhäufigkeiten nach der Rijnmond-Studie

Störfall	Häufigkeit / a
Verbindungsversagen am Tank	$5,0 \cdot 10^{-6}$
BLEVE des Tanks	$4,0 \cdot 10^{-7}$
Fehler bei der Entwässerung	$5,2 \cdot 10^{-3}$
Versagen der Fülleitung	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Versagen der Gaspendelleitung	$4,0 \cdot 10^{-5}$
BLEVE des Tankwagens	$4,0 \cdot 10^{-5}$
vorzeitiges Anfahren des Tankwagens mit Gasausströmung	$5,0 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 3: Störfallhäufigkeiten nach der TNO-Studie

In der TNO-Studie wurden über die Störfallhäufigkeiten hinaus auch Risikokenngrößen angegeben. Viele Schadensfälle mit geringer Auswirkung führen dabei zu gleichen Risikokennwerten wie wenige schwere Schadensfälle. In der Studie wird für das Tanklager ein Risikokennwert für die Erwartung von Todesfällen mit $1,5 \cdot 10^{-3}$ für industrielle Umgebung und $1,2 \cdot 10^{-2}$ in der Nähe von Wohngebieten angegeben.

Im Rijnmond-Report werden ebenfalls Risikokennwerte für die Erwartung von Todesfällen in der Umgebung der Anlage angegeben. Sie liegen bei $1,1 \cdot 10^{-4}$ und $1,5 \cdot 10^{-4}$ für Industrie- bzw. Wohngebiete. Die Abweichung vom TNO-Report läßt sich durch die wesentlich geringere Anzahl der Ladevorgänge erklären. Gleichwohl liegen diese Werte in vergleichbarer Größenordnung.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden einige Arbeitsmethoden der Sicherheitstechnik dargestellt und diskutiert sowie am Beispiel eines Flüssiggaslagere erläutert. Ausgehend von einer fiktiven Anlage zum Speichern und Abfüllen von Flüssiggas und gedachten (realistischen) Betriebsabläufen wurden einige spezielle Störfälle untersucht und mittels Fehlerbaumanalyse ausgewertet. Für einige Störfälle wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit pro Jahr ermittelt. Diese Ergebnisse wurden abschließend mit anderen Studien verglichen.

Die Untersuchung hat gezeigt, daß die Anwendung der Fehlerbaumethode auch auf Flüssiggaslager mög-

lich ist. Durch detaillierte Untersuchung der Fehlerbäume können Möglichkeiten gefunden werden, die die Anlagensicherheit erheblich erhöhen, z. B. Redundanzen oder diversitäre Auslegung von Anlagenteilen. Dies sollte in der vorgelegten Arbeit allerdings nicht geschehen.

Die hier durchgeführte Untersuchung ermöglicht aber in Verbindung mit Schadensszenarien die Erstellung einer Risikoanalyse. Auf diese Art und Weise ist dann ein Vergleich mit anderen industriellen oder natürlichen Lebensrisiken möglich.

Probabilistische Untersuchungen haben im Bereich der Verfahrenstechnik noch nicht die Bedeutung gewonnen, wie dies z. B. in der Kerntechnik heute der Fall ist. Eine solche Untersuchung sollte aber in keiner Sicherheitsanalyse fehlen, denn hieraus können Rückschlüsse auf die Anlagensicherheit gezogen werden. Anschließend kann aufgrund von Risikovergleichen ein ausgewogenes Sicherheitskonzept erstellt werden. Weitere Arbeiten zur Erstellung einer Datenbasis mit Komponentenausfalldaten müssen aber noch durchgeführt werden, um die Sicherheit des vorhandenen Datenmaterials zu erhöhen, da fehlerhafte Eingaben das Ergebnis erheblich verfälschen können.

¹⁾ Weise, E.: Zum Verständnis von Sicherheit und Risiko - Erwartungen der Praxis an die Sicherheitswissenschaften, VFDB-Zeitschrift, 4 (1981), S. 146 ff.

²⁾ Peters, O. H.; Meyna, A.: Handbuch der Sicherheitstechnik, Band I, Carl Hanser Verlag, München, 1985

³⁾ Wietfeldt, P.: Beschreibung möglicher Störfallauswirkungen in einer Sicherheitsanalyse. TÜ Band 28, Nr. 1 (1987), S. 17 ff.

- 4) Dolle, H. E.: Ereignisorientierter Einsatzplan für Flüssiggasunfälle und -brände, Brandschutz, Nr. 10 (1987), S. 413 ff.
Weitere allgemeinere Hinweise findet der Leser in:
Theorie und Praxis der Gefahrenabwehrplanung bei gefährlichen Industrieanlagen nach der Störfall VO, Hrsg.: Bundesumweltamt
- 5) Jansen, M.: Risiken bei der Lagerung brennbarer Flüssiggase in großvolumigen Behältern, „schadenprisma“, Nr. 4 (1983), S. 57 ff.
- 6) Petsch, C.: Probabilistische Sicherheitsanalyse einer Anlage zur Speicherung von Flüssiggas, Diplomarbeit, TU-Berlin (1988)
- 7) Dow Chemical Company Fire and Explosion Index, Hazard Classification Guide, 4th Edition, Midland, Michigan, 1976
- 8) Lewis, H. D.: The Mond Fire, Explosion and Toxicity Index - A Development of the Dow Index, AIChE Loss Prevention Symposium, Houston, 1979
- 9) Mize, G.: Vorläufige Gefahrenanalyse, Kerntechnik, 9 (1971), S. 381 ff
- 10) Lawly, H. G.: Operability Studies and Hazard Analysis, CEP, Vol. 70, Nr. 4 (1974), Page 45-60
- 11) Der Störfall im chemischen Betrieb - Verhütung durch Prognose, Auffinden der Ursachen, Abschätzen der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen, Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg (1980)
- 12) Radscheik, W.: Flüssiggas, Werner Verlag, Düsseldorf (1981)
- 13) VDI-Nachrichten vom 17. 8. 1989
- 14) Strouhal, W.: Schäden an Flüssiggasanlagen, TÜ, Band 30, Nr. 3, (1989)
- 15) Quelle: Erhebung des TÜV Rheinland
- 16) Marschall, H.W.: Verzeichnis technischer Regeln und Rechts- und Verwaltungsvorschriften zur StörfallVO, Forschungsbericht 104 09 104/01 UBA-FB 83-098, Umweltbundesamt
- * Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.
- 17) Petsch, C., a. o. a. O., Seite 21 ff
- 18) Helpenstein, J.: Gefahren, die beim Umgang mit Flüssiggas entstehen können, Diplomarbeit, TFH-Berlin, 1989, Seite 30 ff
- 19) Jansen, M.: Ist die Berufsfeuerwehr einer Großstadt in der Lage, das Risiko, das von der Lagerung brennbarer Flüssiggase in großvolumigen Behältern ausgeht, zu beherrschen bzw. zu mindern, Fachdok. Brandschutz TH Karlsruhe, 1982
- 20) Wesenigk, H., Hrsg.: Brandschutz Explosionschutz. Aus Forschung und Praxis, Band 17, Staatsverlag der DDR, 1988
- 21) Kiehr, B.; Müller, G.: Technisch wissenschaftliche Grundlagen zur Gefahrenabwehrplanung in der Umgebung von Anlagen der chemischen Industrie, Forschungsbericht 104 09 302, Hrsg. vom Umweltbundesamt 1986, sowie Umweltbundesamt, Hrsg.: Ausbreitungsrechnungen im Rahmen des Vollzuges der Störfallverordnung, Texte I/1989, Berlin, 1989
- 22) Methods for the estimating of the consequences of the release of dangerous material (Liquids and Gases), "The Yellow Book", Part II, Bureau of Explosives Safety, T. N. O., 1977, P. 5 ff
- 23) Hauptmanns, U.: et. al.: Ermittlung von Kriterien für die Anwendung systemanalytischer Methoden zur Durchführung von Sicherheitsanalysen für Chemieanlagen, Forschungsbericht 104 09 267, Hrsg. Umweltbundesamt, 1984
- 24) Umweltbundesamt, Hrsg.: Stand der Sicherheitstechnik in Anlagen zur Lagerung und zum Umschlag verflüssigter, brennbarer Gase, Forschungsbericht 104 09 209, 1985
- 25) Becker, A.; Camarinopoulos, L.: Description of Program RISA, CD-Usermanual, 1981, Control-Data, Frankfurt
- 26) Risk Analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond Area, a pilot study, D. Reidel publishing company, 1982
- 27) LPG, A comparative analysis of the risk inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and Motor spirit. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research TNO Appeldoorn, 1983

*Brandoberrat
Dr.-Ing. Manfred Jansen
Berliner Feuerwehr*

Normung in der Bundesrepublik Deutschland - Tradition und Wandel -

Dr. Hartwig Berghaus

DIN - Träger der deutschen Normung

1. Normung wird in der Bundesrepublik Deutschland traditionell in Selbstverwaltung der an der Normung interessierten Kreise betrieben.

Das DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., mit Sitz in Berlin, ist Träger der deutschen Normung. Gegründet im Jahre 1917, kann es inzwischen auf eine 73jährige Tradition zurückblicken.

Das DIN ist der runde Tisch, an dem sich Hersteller, Handel, Verbraucher, Banken, Wissenschaft, Gewerkschaften, Technische Überwachung, der Staat, kurz: Jedermann, der ein Interesse an der Normung hat, zusammenfinden, um den Stand der Technik zu ermitteln und in deutschen Normen niederzuschreiben.

Das DIN hat rund 750 hauptamtliche Mitarbeiter; sein Budget beläuft sich auf rund 90 Millionen DM. Die Zahl der ehrenamtlichen Mitarbeiter, die in den weit über 100 Normenausschüssen die eigentliche Normungsarbeit leisten, beläuft sich auf rund 40 000. Sie stammen zum überwiegenden Teil aus den Unternehmen der Wirtschaft.

Die elektrotechnische Normung erfolgt in den Gremien der Deutschen elektrotechnischen Kommission im DIN und VdE (DKE). Die DKE ist sowohl Organ des VdE als auch größter Normenausschuß des DIN.

2. Das DIN hat in der Welt einen guten Namen. Es gibt zahlreiche Ingenieure innerhalb und außerhalb Europas, die meinen, das deutsche Normenwerk sei am systematischsten aufgebaut.

Es gibt aber auch Stimmen, insbesondere im eigenen Lande, die die angeblich zu große Regeldichte und -tiefe des deutschen Normen-

werks kritisieren. Nähere Untersuchungen haben allerdings ergeben, daß der Umfang des deutschen Normenwerks - gemessen an der Seitenzahl - nicht größer ist, als der Umfang etwa des britischen und des französischen Normenwerks.

Hohe Akzeptanz der DIN-Norm

3. DIN-Normen sind, wie alle Normen, grundsätzlich technische **Empfehlungen**. Daß sie in der Bundesrepublik Deutschland in der Praxis eine hohe Akzeptanz besitzen und tatsächlich angewandt werden, dürfte in folgendem liegen:

Einmal spiegeln DIN-Normen die Bedürfnisse der technischen Praxis weitgehend wider; sie wirken durch ihre Sachautorität.

Zum anderen hat die Technik des Verweises auf Normen in der deut-