

# Risiken bei der Lagerung brennbarer Flüssiggase in großvolumigen Behältern

Manfred Jansen

Flüssiggase sind durch den hohen Heizwert und die umweltfreundliche Verbrennung in den letzten Jahren zu einem wichtigen Energieträger geworden. An dieser Stelle sei nur die Verwendung von Propan/Butan als Vergaserkraftstoff genannt. In der Bundesrepublik Deutschland wird seit einigen Jahren am Aufbau eines dichten Flüssiggastankstellennetzes gearbeitet. Die gelagerten und beförderten Mengen an Flüssiggasen werden sich daher mit Sicherheit erhöhen. Die chemische Industrie benötigt die Flüssiggase schon seit langem als Rohstoff und Energieträger. Hier sind größere Umsätze und erhöhte Lagerkapazitäten festzustellen.

Die Risiken, die von Flüssiggaslagern ausgehen, sind nicht übermäßig hoch, wie die Erfahrung der letzten Jahrzehnte zeigt. Die bisher geltenden Vorschriften für die Lagerung und Handhabung von Flüssiggasen haben sich in der Vergangenheit bewährt. Bei der Entwicklung immer größerer Anlagen werden die Risiken jedoch zunehmen. Es ergibt sich für die Verantwortlichen die Aufgabe, gemeinsam an Richtlinien für die Zukunft zu arbeiten, um auch künftig den bisher erreichten Sicherheitsstandard zu halten.

Die Erhaltung einer lebenswerten Umwelt und die Schaffung einer möglichst hohen objektiven Sicherheit ist ein erstrebenswertes Ziel. Es darf aber nicht der Blick für das technisch und wirtschaftlich Mögliche verloren gehen. Kein technisches System ist absolut sicher. In der heutigen industrialisierten Welt gibt es ein erhöhtes Risiko – wir haben uns daran gewöhnt, und wir müssen damit leben. Es gilt aber, die Eintrittswahrscheinlichkeit für große Störfälle zu minimieren. Dies ist durch technische und organisatorische Maßnahmen möglich. Auch durch eine geeignete Standortwahl muß darüber hinaus an eine Begrenzung des Schadens gedacht werden. Die geltenden Vorschriften beinhalten keine Einschränkungen bezüglich der Standortwahl. Großanlagen in bewohnten Gebieten sind bisher möglich. Die Feuerwehren haben im Rahmen des vorbeugenden Brandschutzes als beratende Behörde mitzuwirken. Die Auswirkungen eines Störfalles muß sie als unmittelbar zuständige Dienststelle in eigener Verantwortung beherrschen.

In der folgenden Arbeit wird aus der Sicht der Feuerwehr dargelegt, wie große Flüssiggastankanlagen zu beurteilen sind. Es stellt sich die Frage, ob das durch immer größer werdende Lagerkapazitäten erhöhte Risiko beherrscht werden kann.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Flüssiggase werden als bekannt vorausgesetzt. Die Tabelle 1 gibt noch einmal die wichtigsten Daten wieder.

Zu Beginn soll ein kurzer Überblick über die Gesetze, Verordnungen und techni-

4. Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung) v. 27. 6. 1980 BGBl I S. 772

Darüber hinaus gibt es zahlreiche technische Regeln, Arbeitsschutzgrundsätze, Prüfgrundsätze der TÜV, DIN-Normen und VDE-Bestimmungen. Diese gelten alle als „anerkannte Regeln der Technik“ und werden jeweils dem neuesten Stand angepaßt.

Tabelle 1: Eigenschaften der Flüssiggase

	Propan	Propylen	Butan	iso-Butan	Butylen
Molekulargewicht	44	42	58	58	56
Dichteverhältnis (Luft = 1)	1,55	1,48	2,1	2,1	1,95
Siedetemperatur in °C (1013 mbar)	-42,1	-47,7	-0,5	-11,7	-6,2
kritische Temperatur in °C	96,8	91,8	152,0	135,0	146,4
untere Zündgrenze in %	2,1	2,0	1,5	1,8	1,6
obere Zündgrenze in %	9,5	11,7	8,5	8,5	10,0
Zündtemperatur in °C	470	455	465	460	440
Dichte gasf. 0°C in kg/m <sup>3</sup>	2,02	1,91	2,70	2,66	2,50
Dichte flsg. 0°C in kg/dm <sup>3</sup>	0,53	0,55	0,60	0,58	0,61
unterer Heizwert in MJ/kg	46,35	46,05	45,72	45,59	45,32
Verdampfungswärme in kJ/kg	427,1	458,5	384,56	367,56	391,1
spez. Wärmekapazität in kJ/kg K	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3

schon Regeln für die Verwendung von Flüssiggas gegeben werden.

Bei Flüssiggasanlagen (in der hier diskutierten Größenordnung) handelt es sich um „überwachungsbedürftige Anlagen“. Dieser Begriff ist durch die Gewerbeordnung eingeführt worden und umfaßt verschiedene gefährliche Einrichtungen und Anlagen.

Die vier wesentlichen Rechtsquellen für die Verwendung von Flüssiggasen sind:

1. Gewerbeordnung i. d. F. d. Bekanntmachung vom 1. 1. 1978 BGBl I S. 97, zuletzt geändert durch das Gesetz v. 17. 3. 1980 BGBl I S. 321
2. Verordnung über Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen (Druckbehälterverordnung) i. d. F. v. 27. 2. 1980 BGBl I S. 173
3. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) v. 15. 3. 1974 BGBl I S. 721, zuletzt geändert am 4. 3. 1982 BGBl I S. 281

Der § 24 der Gewerbeordnung ermächtigt die Bundesregierung, nach Anhörung beteiligter Kreise zum Schutze der Arbeitnehmer und der Allgemeinheit für die überwachungsbedürftigen Anlagen notwendige Vorschriften durch Rechtsverordnung zu erlassen. In diesen Rechtsverordnungen kann bestimmt werden,

daß Anzeigen erstattet werden müssen,

daß Anlagen der Erlaubnis bedürfen, daß die Anlagen bestimmten Anforderungen genügen müssen,

daß die Anlagen bestimmten Prüfungen unterliegen,

welche Gebühren für die Prüfung zu entrichten sind.

Die Überwachung der Anlagen wird durch die Gewerbeaufsichtsämter durchgeführt (§ 24d Satz 1 GewO). Für die technische Beurteilung können sie sich eines Gutachters des TÜV bedienen.

Das Bundesimmissionsschutzgesetz bestimmt in § 4, daß Anlagen, von denen eine besondere Umweltgefährdung ausgehen kann, einer Genehmigung bedürfen. Näheres wird in Rechtsverordnungen geregelt (Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – vom 14. 2. 1975 BGBl I S. 499, 727).

In § 10 BImSchG wird das förmliche Verfahren beschrieben. Die Antragsunterlagen müssen öffentlich ausgelegt werden, damit betroffene Bürger ihre Einwände vorbringen können. Für kleinere Anlagen gilt nach § 19 ein vereinfachtes Verfahren – die öffentliche Auslegung und Anhörung entfällt hierbei. Der Genehmigungsbescheid als Abschluß des Verfahrens berücksichtigt auch die Stellungnahme anderer Fachbehörden und Institutionen (Gewerbeaufsicht, Bauaufsicht, Feuerwehr, TÜV).

Flüssiggasanlagen unter 6 m<sup>3</sup> Behältergröße unterliegen nicht dem BImSchG. Für Anlagen von 6 m<sup>3</sup> bis zu 60 m<sup>3</sup> Inhalt (1500 m<sup>3</sup> bis 15000 m<sup>3</sup> Gasvolumen unter Normbedingungen) gilt das vereinfachte Verfahren. Größere Anlagen müssen ein Verfahren nach § 10 BImSchG durchlaufen. Darüber hinaus unterliegen Anlagen zum Speichern brennbarer Gase in Behältern mit einem Fassungsvermögen von insgesamt mehr als 500 Tonnen (ca. 1000 m<sup>3</sup> Flüssiggas) der Störfallverordnung (Anhang I Störfall VO). Sie unterliegen ebenfalls der Störfallverordnung, wenn mehr als 50 Tonnen in einer sonstigen Anlage nach Anhang I vorhanden sein können (Anhang II Störfall VO).

Ein Störfall ist eine Störung des bestimmungsgemäßen Betriebes durch eine Freisetzung gefährlicher Stoffe, durch in Brand geratene Stoffe oder durch eine Explosion, bei der eine Gemeingefahr hervorgerufen wird. Eine Gemeingefahr ist eine Gefahr für das Leben oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen für Menschen, die nicht zum Betriebspersonal der gestörten Anlage gehören. Eine Gemeingefahr liegt auch dann vor, wenn eine große Anzahl von Menschen eine gesundheitliche Schädigung erleiden oder erhebliche Sachwerte beschädigt würden.

Während die Gesetze und Verordnungen nur generell den Willen des Gesetzgebers widerspiegeln, wurden mit den „Technischen Regeln“ konkrete Planungsunterlagen geschaffen. Sie werden von den durch die Verordnungen ermächtigten Ausschüssen aufgestellt. Die technischen Regeln lassen im allgemeinen genügend Spielraum für technische Weiterentwicklungen. Die Neufassung einer technischen Regel ist leichter und schneller möglich, als eine bestehende Rechtsverordnung zu ändern. So kann der heute übliche hohe Sicherheitsstandard gehalten werden.

Folgende Regeln in der derzeit gültigen Fassung müssen beachtet werden:

Technische Regeln Druckbehälter (TRB), Bekanntmachung des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung vom 21. 5. 1980

Technische Regeln Druckgase (TRG), Bekanntmachung des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung vom 27. 10. 1972

Technische Regeln Flüssiggase (TRF 1969), herausgegeben vom Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern DVGW und Verband für Flüssiggas VFG, Fassung Oktober 1975.

Nach dem III. und V. Buch der Reichsversicherungsordnung müssen zur Unfallverhütung Berufsgenossenschaften eingerichtet werden. Diese sind beauftragt (§ 708 RVO), Unfallverhütungsvorschriften zu erstellen. Diese UVV sind für den Betreiber von Flüssiggasanlagen bindend. Maßgebend sind die VBG 17 (Druckbehälter) und VBG 61 (Gase).

Die vorgenannten Vorschriftenwerke sind insgesamt so umfangreich, daß hier auf Einzelheiten nicht eingegangen werden kann. Nachfolgend werden aber wesentliche sicherheitstechnische Aspekte dargestellt und diskutiert.

#### **Versagen der Behälterwandung als Folge von Herstellungs- oder Werkstofffehlern**

Gemäß der Druckbehälterverordnung müssen Druckbehälter durch Sachverständige des Technischen Überwachungsvereines überprüft werden. Diese Überprüfung umfaßt:

Rechnerische Vorprüfung aufgrund eingereicherter Zeichnungsunterlagen vor der Bestellung.

Prüfung der Werkstoffe beim Stahlhersteller. Die Gütewerte sind nachzuweisen.

Überprüfung der Fertigungsbetriebe durch fertigungsbegleitende Arbeitsprüfungen.

Bauprüfung der einzelnen Druckbehälter auf Übereinstimmung mit den Bauzeichnungen.

Wasserdruckprüfung der Druckbehälter nach ihrer Herstellung mit einem Prüfüberdruck, der das 1,3-fache des zulässigen Betriebsüberdruckes beträgt.

Durch diese Prüfungen sollen Schäden als Folge von Herstellungs- oder Werkstofffehlern ausgeschlossen werden.

#### **Korrosionsschäden von innen und außen**

Innenkorrosion kann an Flüssiggasbehältern nur bei Ansammlung von Wasser, das zu einem geringen Prozentsatz im Gas enthalten sein kann, oder durch geringe Mengen Schwefelverbindungen im Gas auftreten. Flüssiggase selbst wirken nicht korrosiv und wirken auch nicht auf das Gefüge des Werkstoffes ein. Eine

unter Umständen eintretende Innenkorrosion würde bei den regelmäßig alle fünf Jahre durchzuführenden inneren Prüfungen durch den Sachverständigen erkannt werden. Eine ausreichende Festigkeit wird durch die alle zehn Jahre wiederkehrende Wasserdruckprüfung nachgewiesen.

Korrosion von außen kann bei oberirdisch aufgestellten Behältern sofort erkannt werden. Bei unterirdisch verlegten oder erdgedeckten überirdischen Behältern sorgt eine Bitumenisolierung für einen ausreichenden Korrosionsschutz. Die Erfahrung zeigt, daß auch hier über längere Zeit keine Schäden auftreten.

#### **Ansprechen der Sicherheitsventile**

Die Sicherheitsventile können öffnen, wenn die Behälter beim Betanken überfüllt werden. Die Behälter dürfen, damit ein ausreichendes Gaspolster über der flüssigen Phase auch bei ungünstigen Temperaturverhältnissen bestehen bleibt, nur zu 85 % mit Flüssiggas befüllt werden. Bei einer Erwärmung auf die Auslegungstemperatur von 40 °C hat sich die Flüssigkeit auf 95 % ausgedehnt, so daß dann immer noch eine Sicherheitsreserve bleibt.

Zur Kontrolle des Füllstandes sind Peilrohre vorhanden. Darüber hinaus sind Flüssigkeitsstandmesser vorgesehen, die den jeweiligen Füllstand angeben. Das Befüllen darf nur von besonders ausgebildetem Personal durchgeführt werden.

Die Sicherheitsventile sollten möglichst zweifach vorhanden sein und über ein Wechselventil angeschlossen werden, damit bei einem Versagen eines Ventiles sofort auf das zweite Sicherheitsventil umgeschaltet werden kann. Die Sicherheitsventile unterliegen der regelmäßigen Überprüfung durch den TÜV.

Bei Temperatursteigerung kann der Behälterdruck so stark ansteigen, daß die Sicherheitsventile ansprechen. Dies ist aber erst bei Temperaturen über 64 °C möglich. Gegen eine Aufheizung durch Sonneneinstrahlung schützt ein weißer Farbanstrich oder ggf. ein Sonnendach. Eine Temperatursteigerung auf kritische Werte ist daher nur durch Brandeinwirkung möglich. Vor einer direkten Befeu- rung (Unterfeuerung) schützt eine Lagerung auf einem Sockel. Eine Unterfeuerung ist nur bei Aufsetzen des Behälters auf Stelzen möglich. Solche Konstruktionen sollten daher nicht angewandt werden. Ein weit besserer Schutz gegen Brandeinwirkung ist durch eine Erdbe- deckung oder eine unterirdische Lagerung möglich. Ein feuerhemmender Anstrich kann bei oberirdischen Anlagen nur einen geringen Schutz bieten.

Zur Kühlung oberirdischer Tankanlagen ist eine Berieselungsanlage nach DIN 14 495 erforderlich. Eine ausrei-

chende Kühlung wird durch eine Beaufschlagung mit mindestens 200 l/m<sup>2</sup> h erreicht. Die Berieselungsanlage muß von einer ungefährdeten Stelle aus bedienbar sein und frostfrei verlegt werden.

Zur Bekämpfung von Kleinbränden sollten ausreichend Pulverlöscher P 12 zur Verfügung stehen.

Die Folge eines kurzzeitigen Ansprechens eines Sicherheitsventiles wäre eine Gasfreisetzung in der Größenordnung von einigen Kilogramm. Diese Gaswolke verdünnt sich sofort in der freien Atmosphäre und richtet kaum Schaden an.

Bei einer Feuereinwirkung von außen wird das austretende Gasvolumen sofort gezündet. Es würde bei Austritt sofort abbrennen und könnte keine Explosion hervorrufen. Der verursachende Brand an der Außenhaut des Behälters könnte von der Feuerwehr gelöscht werden, die Berieselungsanlage kühlt den Behälter ab, und der Gasaustritt kommt zum Erliegen. Sind die Sicherheitsventile für den Brandfall ausgelegt, so ist mit einer Gefährdung der Umgebung nicht zu rechnen.

#### **Undichte Rohrleitungen oder Einbauten**

Die Rohrleitungsanlage wird nach den Regeln der Technik von Fachleuten erstellt und gewartet. Es werden regelmäßig Dichtigkeits- und Druckprüfungen durchgeführt.

Schon bei der Planung ist darauf zu achten, daß Rohrleitungen abschnittsweise abgesperrt werden können, um beschädigte Teilstücke jederzeit stilllegen zu können. Durch sorgfältige Anlagenplanung lassen sich Schäden an Rohrleitungen vermeiden. Dazu gehören u. a.:

Schutz vor Erschütterungen, Vibrationen und gefährlichen Temperaturen

Korrosionsschutz von außen

Vermeiden von Temperaturspannungen beim An- oder Abfahren der Anlage

soweit möglich, Ersatz von Flanschverbindungen durch Schweißverbindungen

Da in allen Anlagenteilen Überdruck herrscht, ist ein Eindringen von Luft in das System nicht möglich. Auch bei Fehlschaltungen ist der Luftzutritt ausgeschlossen. Eine Zündung im Inneren der Anlage ist wegen Luftmangels nicht denkbar.

Bei kleineren Undichtigkeiten an Flanschen oder Ventilen strömt Gas in geringen Mengen aus. Eine Zündung dieser kleinen Gaswolke ist wegen der sofortigen starken Verdünnung und des engen Zündbereiches der Flüssiggase kaum zu erwarten. Innerhalb der Schutzzone sind

keine Zündquellen vorhanden. Alle elektrischen Anlagenteile sind explosionsgeschützt. Bei ordnungsgemäßer Installation (VDE 0165) ist die Bildung von Zündfunken ausgeschlossen.

Eine provisorische Abdichtung undichter Rohrleitungen oder Behälter ist mit Dichtmanschetten oder Dichtkissen möglich. Gegebenenfalls wird die beschädigte Rohrleitung abgesperrt oder der Behälterinhalt umgepumpt. Der Fahrzeug- und Fußgängerverkehr ist in der Umgebung aus Sicherheitsgründen einzustellen.

Sollte es zu einer Zündung des ausgetretenen Gasvolumens innerhalb der Schutzzone kommen (z. B. durch Schweißarbeiten), so entsteht ein örtlich begrenzter Brand. Bei einer späten Zündung und einem größeren Gasvolumen käme es zu einer Verpuffung mit einer geringen Druckwelle. Folgeschäden an der Anlage sind in diesem Falle auszuschließen. Das Gas fackelt an der Austrittsstelle ab. Ein solcher Brand ist von der Feuerwehr zu beherrschen. Er braucht nur dann gelöscht zu werden, wenn die Flammen eine Gefahr für die übrige Anlage darstellen (Behälteraufheizung!). In vielen Fällen genügt es, die Gaszufuhr abzustellen – die Flamme erlischt dann von selbst. Ein Flammenrückschlag in die Anlage ist nicht zu erwarten, denn sie enthält kein zündbares Gemisch.

Undichtigkeiten der Rohrleitung innerhalb baulicher Anlagen (z. B. Meßwarte oder Verdampferstation) haben bei einer Zündung sicherlich die Zerstörung des betreffenden Gebäudes zur Folge. Eine Ansammlung eines zündbaren Gemisches im Innern von Gebäuden ist daher durch bauliche Maßnahmen zu vermeiden. Bei einer ordnungsgemäßen Anlageninstallation und Beachtung der Sicherheitsvorschriften ist auch hier eine Zündung auszuschließen.

Gaswarngeräte, Flammenmelder oder sonstige Warneinrichtungen können dazu beitragen, bei nicht ständig bewachten bzw. beaufsichtigten Anlagen die Auswirkung möglicher Schäden durch unkontrollierten Gasaustritt zu begrenzen. Die Störungsmeldungen müssen natürlich an eine ständig besetzte Zentrale geleitet werden. Von dort aus muß die Anlage dann abgeschaltet werden, d. h. sämtliche Ventile sind auf eine Sicherheitsstellung zu fahren.

Um eine Explosionskatastrophe großen Ausmaßes zu vermeiden, könnte eine gewollte Zündung eines kleineren Gasvolumens notwendig werden, wenn die Austrittsstelle nicht abgedichtet werden kann. Diese Zündung muß jedoch so rasch wie möglich erfolgen, damit sich die Gaswolke nicht unkontrolliert ausbreiten kann. Die Folge der Zündung wäre im schlimmsten Fall ein Großbrand, der in der Auswirkung aber auf die Anlage begrenzt bleibt.

#### **Schäden durch äußere Einwirkungen**

Zu den äußeren Einwirkungen gehören naturbedingte und zivilisatorische Einflüsse.

Zu den natürlichen Einwirkungen zählen Erdbeben, Hochwasser oder Unwetter. Mit stärkeren Erdbeben ist in der Bundesrepublik kaum zu rechnen (mit Ausnahme einiger Gebiete in Süddeutschland).

Gegen Hochwasser schützen einfache bauliche Maßnahmen. Eine Unwettereinwirkung durch Blitzschlag ist denkbar. Die Anlage muß deshalb mit einer Blitzschutzanlage gemäß den bestehenden Bestimmungen ausgerüstet werden.

Schäden durch Sturm sind bei uns nahezu auszuschließen. Selbst orkanartige Böen sind hier nicht in der Lage, eine Flüssiggasanlage zu beschädigen.

„Zivilisatorische“ Einwirkungen lassen sich am besten durch Einhaltung eines ausreichenden Sicherheitsabstandes einschränken. Denkbare Gefahrenquellen sind:

Flugzeugabstürze

Eisenbahnunglücke in unmittelbarer Umgebung der Anlage

Anfahren durch Kraftfahrzeuge

Brand- oder Explosionsunglücke in der Nachbarschaft

Flugzeugabstürze sind sehr selten. Das Hauptrisiko liegt bei der Start- und Landephase, so daß Tankanlagen nicht in der Einflugschneise von Flughäfen liegen sollten.

Eisenbahnunglücke in unmittelbarer Umgebung einer Tankanlage sind nicht auszuschließen, aber unwahrscheinlich. Die Flüssiggasanlagen haben häufig einen Gleisanschluß, so daß der erforderliche Abstand meist unterschritten wird. Ein solcher Unfall wird aber nur dann für das Tanklager gefährlich, wenn es zu einem Brand oder einer Explosion der transportierten Güter kommt. Ein einfaches Entgleisen oder Umstürzen eines Zuges hat sicherlich noch keine Auswirkungen, wenn die Schutzzone entsprechend den gültigen Regeln eingehalten wird.

Gegen unbeabsichtigtes Anfahren durch Kraftfahrzeuge schützt als erste Barriere ein Zaun, der die Schutzzone umschließt. Rammpfähle innerhalb der Schutzzone schützen gefährdete Anlagenteile noch zusätzlich.

Eine erhöhte Sicherheit wird auch hier durch eine Erdbedeckung oder eine unterirdische Anlage erreicht.

Als Schutzmaßnahme gegen Einflüsse von Hauptverkehrsstraßen ist eine Betonmauer empfehlenswert.

Die Tankanlagen sollten nicht unter oder in unmittelbarer Nähe von Brücken aufgestellt werden, um einen Fahrzeugabsturz auf die Anlage zu vermeiden.

Tabelle 2: Sicherheitsabstände nach einem Runderlaß des Sozialministers von Niedersachsen

Lagermenge		Schutzzone in m VGB 61	Sicherheitsabstand in m	
kg	l		überirdisch	erdgedeckt
507	1 000	5	31,9	9,6
1 267	2 500	5	43,3	12,9
2 535	5 000	5	54,5	16,3
5 070	10 000	10	68,7	20,6
10 140	20 000	10	86,6	26,0
20 280	40 000	10	109,8	32,9
40 560	80 000	10	137,4	41,2

Die Schutzzone von 5 m bis zu 20 m ist bei Bränden oder Explosionen in der Nachbarschaft sicherlich nicht ausreichend. Hier sollte über diese Schutzzone hinaus ein „Sicherheitsabstand“ festgelegt werden. Z. B. ein Runderlaß des Sozialministers von Niedersachsen (v. 28. 9. 1981) schreibt vor, daß der in Tabelle 2 genannte Abstand von Tankanlagen für Flüssiggas von der Nachbarschaft eingehalten werden soll:

Die Berechnung geschieht nach der aus der Risikostudie Kernkraftwerke (Band 4) entnommenen Gleichung

$$R = 4 \sqrt[3]{L} \text{ [m]}$$

L ist die Lagermenge in kg. Sie scheint als Abstandsformel zur Festlegung eines Sicherheitsabstandes gut geeignet. Hierdurch ist sowohl ein Schutz der Anlage vor Einwirkungen von außen als auch ein Schutz der Nachbarschaft vor Störungen in der Anlage gewährleistet.

#### Schutz gegen den Zugriff Unbefugter

Die Behälteranlage kann vor dem Zutritt Unbefugter nur durch einen erschwerten Zutritt zu der Anlage geschützt werden. Ein Zaun mit einer verschließbaren Tür ist sicher nur ein minimaler Schutz.

Eine Gefahrenkennzeichnung der Anlage ist vorgeschrieben:

Flüssiggasanlage! Betreten verboten!  
Rauchen und offenes Feuer verboten!

Dieses Hinweisschild in Verbindung mit den genormten Verbotsschildern



und dem entsprechenden Sicherheitszeichen mit dem Symbol „Flamme“



bezweckt, daß von Unbefugten in Unkenntnis der Anlage kein Schaden angerichtet wird.

Die Anlage sollte auch nachts hell beleuchtet sein. Bei nicht ständig bewachten Anlagen ist eine Raumschutzanlage (Radar, Ultraschall, Infrarot oder Fernsehüberwachung) sinnvoll. Die Meldung

muß natürlich an eine ständig besetzte Zentrale übertragen werden. Eine Mauer als Abschirmung von öffentlichen Wegen, ein Zaun aus speziellem, engmaschigem Draht, der auch panzerbrechenden Waffen standhält, und eine regelmäßige Begehung durch den Werkschutz oder eine Wachgesellschaft sind weitere Einzelmaßnahmen. Diese haben aber nur abschreckende Wirkung. Ein wirksamer Schutz ist dadurch nicht gewährleistet.

Ein absoluter Schutz der Anlage vor vorsätzlichen Eingriffen Unbefugter ist nicht möglich. Nach geltender Rechtsprechung kann das Bundesimmissionschutzgesetz auch nicht die Aufgabe haben, den Bürger vor den Auswirkungen von Sabotageakten zu schützen.

#### Gefahren und Schäden durch Bedienungsfehler

Die Anlage darf nur von einem begrenzten Personenkreis betreten und bedient werden. Unbefugte haben zum Bereich innerhalb der Schutzzone keinen Zutritt.

Die Bedienungsanleitung der Herstellerfirma (verbunden mit den Hinweisen für das Verhalten bei Störfällen) muß jedem Mitarbeiter vertraut sein. Durch ständige Nachschulung sind die Mitarbeiter auf die besonderen Gefahren, die von dieser Anlage ausgehen können, hinzuweisen.

Eine sorgfältige Anlagenplanung bietet eine maximale Sicherheit gegenüber Fehlbedienungen. Die Befüllung der Anlage ist der Zustand, der die meisten Eingriffe durch Bedienungspersonal erfordert. Das Befüllen und Entleeren darf daher nur von besonders ausgebildetem Personal durchgeführt werden.

Ein innerbetrieblicher Alarmplan muß sicherstellen, daß jeder Mitarbeiter weiß, was im Falle einer Anlagenstörung zu tun ist. Dieser Alarmplan muß an der Anlage gut sichtbar angebracht werden.

Insgesamt sind Schäden durch Fehlbedienung nicht auszuschließen. Sie bilden das größte Risiko. Es ist aber nicht quantifizierbar, da sich menschliches Versagen nicht durch Formeln oder Erfahrungswerte beschreiben läßt.

#### Hypothetische Störfälle durch Flüssiggasanlagen

Es wurde aufgezeigt, daß der Betrieb von Flüssiggasanlagen in der Bundesrepublik aufgrund umfangreicher technischer Regeln mit ausreichender Sicherheit möglich ist. Trotz aller betrieblichen und konstruktiven Maßnahmen ist eine absolute Sicherheit vor großen Unglücksfällen aber nicht erreichbar.

Ausgehend von der Definition Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadensausmaß

folgt, daß hier das Risiko nicht vernachlässigbar klein ist: Die äußerst geringe, aber vorhandene Wahrscheinlichkeit für das Entstehen eines explosiven Gas-Luft-Gemisches in Verbindung mit den erheblichen Folgen durch Raumexplosionen erfordert an dieser Stelle eine eingehende theoretische Betrachtung.

Eine Risikoanalyse beinhaltet große Unsicherheiten aus folgenden Gründen:

- Begrenzte Vorhersehbarkeit der Ereignisabläufe
- Schwierigkeiten bei der Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit
- Schwierigkeiten bei der Abschätzung des Schadensausmaßes

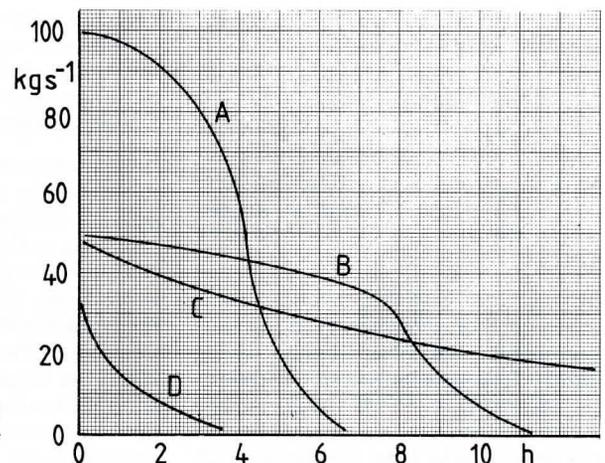


Bild 1. Ausströmraten aus einem 5000 m<sup>3</sup> fassenden Propylentank.

### Ausströmen aus einem Leck

Tritt an einem Behälter oder einer Rohrleitung eine Undichtigkeit oder ein Riß auf, so kann Flüssigkeit oder Gas austreten. Bei bekannten geometrischen Abmessungen der Austrittsöffnung, Stoffdaten und Lagerbedingungen ( $T$  = Temperatur,  $p$  = Druck,  $V$  = Volumen) lassen sich mit den Gesetzen der Strömungslehre und Thermodynamik die Strömungsgeschwindigkeit und damit der Volumen- bzw. Massenstrom des austretenden Fluides berechnen.

Im Bild 1 sind Ausströmraten aufgetragen, die für einen 5000 m<sup>3</sup> fassenden Propylentank berechnet wurden. Es ist zu erkennen, daß der Flüssigkeitsaustritt zu größeren Volumenverlusten führt, als dies bei reiner Gasströmung möglich wäre. Die Austrittsöffnung ist ein Rohr mit einem Durchmesser von 150 mm.

Es bedeuten:

- A = Riß im Flüssigkeitsraum, teilweiser Siedeverzug, 20 bar
- B = wie A, es strömt aber Dampf-Flüssigkeitsgemisch im Gleichgewicht aus
- C = Riß im Dampfraum
- D = Behälter enthält nur Gas mit dem Anfangsdruck 15 bar

### Behälterbersten

Nach dem Aufreißen eines Behälters verdampft das freigesetzte verflüssigte Gas je nach Siedepunkt und Menge mehr oder weniger spontan. (Flash-Verdampfung). Die Menge kann nach der Gleichung

$$\frac{m}{m_0} = \frac{\Delta T \cdot c_p}{h}$$

berechnet werden. Hierbei bedeuten  $m$  die Masse in kg,  $m_0$  der Behälterinhalt in kg,  $\Delta T$  die Differenz zwischen Behältertemperatur und Siedetemperatur des Flüssiggases,  $c_p$  die spezifische Wärme des Flüssiggases und  $h$  die Verdampfungswärme des Flüssiggases.

Die Verdampfung kommt in dem Moment zum Erliegen, wenn die Flüssigkeit unter die Siedetemperatur abgekühlt wurde. Es verdampfen ca. 40 bis 60 % des Behältervolumens spontan. Durch die Verdampfung und die damit verbundene Expansion wird eine erste Druckwelle (Flash-Druckwelle) erzeugt, sie wirkt jedoch nur in unmittelbarer Umgebung der Ausbruchsstelle.

Bild 2 zeigt einen Zusammenhang zwischen Behältergröße und Spitzenüberdruck beim Bersten aufgrund experimenteller Untersuchungen.

Hierbei bedeutet  $r^*$  der reduzierte Radius

$$r^* = a / \sqrt[3]{2m}$$

mit  $a$  dem Abstand in Meter und  $m$  der Masse in kg.

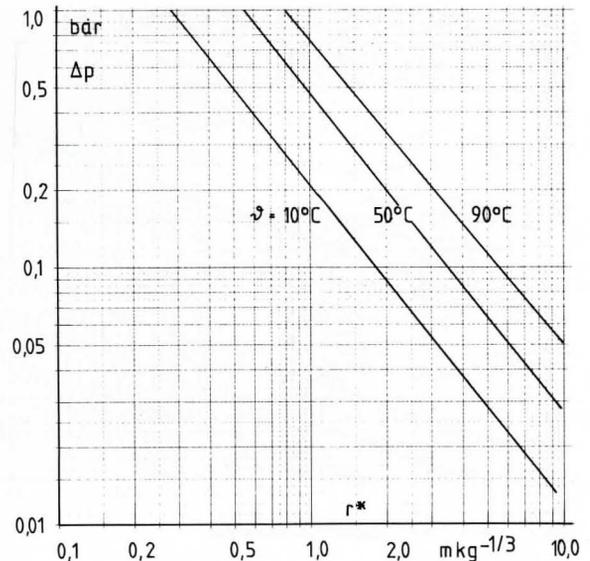


Bild 2. Verlauf der Flash-Druckwelle beim Behälterbersten.

### Raumexplosionen

Das aus dem Leck austretende Gas vermischt sich durch starke Turbulenz beim Ausströmen mit Luft. Erfahrungsgemäß befinden sich ca. 70 % des austretenden Gases in einem zündbaren Bereich. Im Falle der Zündung könnte es zu einer explosionsartigen Verbrennung kommen. Wahrscheinlicher ist aber eine deflagrative Reaktion. Hierbei verbrennen 50 % spontan, der Rest verzögert. Die Auswirkungen einer solchen Druckwelle nehmen mit der Entfernung ab. Hierzu wurden schon umfangreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Das Bild 3 zeigt einen Zusammenhang zwischen reagierender Stoffmenge und Auswirkung auf die Umgebung.

In den USA wurde die Wirkung von Druckwellen nach Atombombenexplosionen systematisch erforscht.

Trifft eine Druckwelle auf ein Bauwerk, so werden die Außenflächen einem sich

zeitlich und örtlich ändernden Druck ausgesetzt. Bei Flächen, die parallel zur Ausbreitungsrichtung liegen, entspricht er demjenigen Druck, der sich aus der frei laufenden Welle ergibt. Alle übrigen Flächen sind darüber hinaus noch einem zusätzlichen Druck, der sich aus der Umströmung des Bauwerkes und aus Reflexionen ergibt, ausgesetzt. Bei Flächen, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung liegen, kann sich der Druck nach der Gleichung

$$\Delta p_{res} = 2 \Delta p \frac{7 + 4 \Delta p}{7 + \Delta p}$$

mehr als verdoppeln.

Die Tabelle 3 gibt Werte für verschiedene Überdrücke und die daraus resultierenden Schäden an. Es ist zu beachten, daß diese Werte auf eine Detonation bezogen wurden, bei einer Deflagration sind die erwarteten Schäden (wegen des langsameren Druckanstieges) möglicherweise geringer.

Tabelle 3: Schadensauswirkungen bei Explosionsdruckwellen

Überdruck $\Delta p$ in bar	Schadensauswirkung
0,015	Schäden an 50% aller Fensterscheiben
0,03	Schäden an allen Fensterscheiben und am Rahmen
0,15	Erste Schäden am Gebäude, Steine lockern sich
0,3	Dächer werden abgehoben, Wände werden zerstört
0,5	Zerstörung von Gebäuden
1,0	Eisenbahnwaggons werden umgekippt, 150 kg schwere Gegenstände fliegen umher

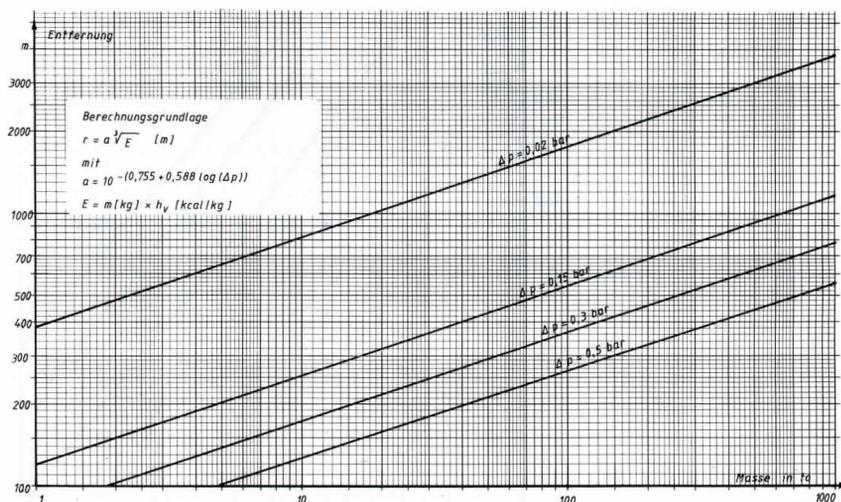


Bild 3. Verlauf der Explosionsdruckwelle.

### Beispiele

Nach diesen mehr oder weniger theoretischen Betrachtungen soll an zwei Beispielen das mögliche Schadensausmaß bei Unglücksfällen an Flüssiggasanlagen aufgezeigt werden.

Die Bilder 4 und 5 zeigen einen innerstädtischen Güterbahnhof. Hier haben sich zahlreiche Betriebe angesiedelt. Eine Schreinerei, ein Altpapierhändler, Brennstoffhändler, Autoreparaturbetriebe u.a.m. Eine solche Häufung von Betrieben in der Nähe eines Güterbahnhofes ist nicht untypisch. Ein erhöhtes Risiko besteht aber darin, daß Wohnhäuser in nur geringem Abstand stehen. Die Bilder zeigen zwei große Flüssiggaslager und eine beachtliche Ansammlung von Kesselwagen. Es ist denkbar, daß vom Betreiber der Anlagen diese zahlreichen Kesselwagen als zusätzliche Lagerkapazität genutzt werden. Damit bleibt die Anlage immer noch unter der Grenze nach der Störfall-VO, obwohl die 20 Waggons zusammen 1800 m<sup>3</sup> Flüssiggas beinhalten.

Diesem „Trick“ wird man zukünftig besondere Aufmerksamkeit schenken müssen.

Drei Kesselwagen werden, wie das Bild 4 zeigt, gerade entladen. Bei deutschen Tankwagen kann man sicherlich von einem hohen technischen Standard ausgehen. Die Ausrüstung und die Wartung wird in der Regel ordnungsgemäß sein. Bei zahlreichen ausländischen Waggons, besonders aus dem osteuropäischen Raum, kann diese Annahme sicher nur beschränkt gelten. Z. B. ist die Farbe oft nicht mehr weiß, sondern grau-schwarz.

#### Beispiel 1:

Es wird folgender Störfall angenommen: Auf dem firmeneigenen Bahnanschluß werden Kesselwagen entleert. Die Sicherung geschieht durch angezogene Bremse und Hemmschuhe (Punkt A im Bild 6).

Durch eine falsch gestellte Weiche wird beim Rangieren ein Zug auf das Gleis mit den abgestellten Kesselwagen geschoben. Es kommt zu einem Zusammenstoß, bei dem ein Waggon umkippt und aufreißt. Durch die Flash-Verdampfung werden ca. 50% des Behälterinhaltes von 90 m<sup>3</sup> freigesetzt. Die Flash-Druckwelle beträgt in unmittelbarer Umgebung 1 bar. In 50 m Entfernung wird nach einer



Bild 4. Ansicht eines Güterbahnhofes mit Flüssiggasanlage. Man beachte die großen Kesselwagenansammlung (20 x 90 m<sup>3</sup>).

Sekunde ein Überdruck von 0,2 bar gemessen. Die Wolke wird durch eine offene Flamme gezündet.

Es wird angenommen, daß sich von der Wolke etwa 70% in einem zündbaren Bereich befinden. Von dieser Menge sollen nur 50% spontan gezündet werden, der Rest reagiert verzögert. Die anderen Kesselwagen und die Tankanlage sollen nicht betroffen werden.

Der Verlauf der zu erwartenden Druckwelle ist in Bild 6 dargestellt.

Mit großer Sicherheit werden die benachbarten Betriebe (Schreinerei, Altpapierlager, Heizöllager) betroffen. Durch die starke Strahlungswärme werden die Lager in Brand gesetzt. Die Baracken und Bürogebäude werden einstürzen und zahlreiche Personen verschütten. Die Wohnhäuser in der unmittelbaren Nachbarschaft werden in Mitleidenschaft gezogen. Hier ist ebenfalls mit verletzten oder verschütteten Personen zu rechnen.

Die Auslösung eines 10. Alarms (10 Löschzüge + Führungs- und Sonderfahrzeuge) ist sicherlich zu erwarten. Die Krankenhäuser sind möglicherweise nicht in der Lage, die zahlreichen Schwerverletzten (Verbrennungen) aufzunehmen. Neben der Feuerwehr sind die Einheiten des THW und der Sanitätsorganisationen zu alarmieren. Eine solche Einsatzstelle kann nicht in wenigen Stunden unter Kontrolle gebracht werden.

#### Beispiel 2:

In einem zweiten Tanklager stehen vier senkrechte Flüssiggasbehälter dicht nebeneinander. Die Türme sind etwa 25 m hoch und mit je 90 m<sup>3</sup> Propan gefüllt (Punkt B auf Bild 6).

Der Störfallablauf wird wie folgt angenommen:

Nachts legt ein Saboteur unter den vier Tanks ein Feuer. Die Tanks und die Bodenentleerungsventile heizen sich auf. Die Dichtungen an den Flanschverbindungen werden beschädigt. Gas strömt aus und entzündet sich sofort. Die Tanks heizen sich weiter auf, auch wenn das vom Saboteur gelegte erste Feuer schon erloschen ist, weil genügend Gas nachströmt.

Nach einiger Zeit sprechen die Sicherheitsventile an. Die austretende Gaswolke entzündet sich aber in 25 m Höhe nicht sofort. Es strömt weiteres Gas nach, die Wolke wird größer und erreicht nach einiger Zeit den Erdboden. Jetzt erst kann sie verpuffungsartig verbrennen. Durch die kleine Druckwelle wird ein Sicherheitsventil beschädigt. Es schließt und läßt kein Gas mehr austreten. Der Behälterdruck steigt an. Nach einiger Zeit reißt der Behälter längs auf. Durch die Wucht der Flash-Druckwelle stürzen die drei

anderen Behälter um und reißen auf. Der Tankinhalt wird frei und sofort gezündet. Es wird angenommen, daß nur 35% des Gesamtinhaltes im richtigen Mischungsverhältnis mit Luft reagieren können. Ein weiterer Teil wird verzögert reagieren.

Die Auswirkungen auf die Umgebung werden katastrophal sein. Im Bild 6 sind die Druckverläufe zu erkennen. Mit ziemlicher Sicherheit wird nicht alles innerhalb der ersten Kreise zerstört sein, da die Energie der Druckwelle an der ersten Häuserreihe schon geschwächt wird. Trotzdem werden die Auswirkungen so erheblich sein, daß Katastrophenalarm ausgelöst werden muß.

### Maßnahmen der Feuerwehr

Sicherheit wird fast ausschließlich durch vorbeugende Maßnahmen erreicht. Die abwehrenden Schutz- und Rettungsarbeiten können das Schadensausmaß nur wenig mindern. Es müssen daher

Vorbeugende Maßnahmen (Begutachtung, Alarmplan, Einsatzplan, Übungen)

und

Abwehrende Maßnahmen (Einsatztechnik und -taktik)

unterschieden werden.

### Vorbeugende Maßnahmen

Die Feuerwehr wird im Rahmen des Genehmigungsverfahrens als beratende Behörde tätig.

Das Gutachten der Feuerwehr enthält unter anderem:

Angaben zur Zugänglichkeit: Anfahrt, Zufahrt, Durchfahrt, Bewegungsf lächen

Stellungnahme zur Löschwasserversorgung: Abstand und Lieferleistung der Hydranten, Berieselungsanlage, zusätzliche unabhängige Löschwasserversorgung

Feuerlöscheinrichtungen: Kleinlöschgerät, P 50

Feuermeldeeinrichtungen: Objektgebundene Brandmelderanlage, Objektgebundene Warnanlagen, Anschaltung an öffentliche Feuerwehr-Notrufmelderanlagen

sonstige Auflagen: Hinweisschilder, Rauchverbot, Verbot der Lagerung brennbarer Gegenstände in der Schutzzone, Alarmplan, Schulung der Mitarbeiter in der Bedienung der Löscheinrichtungen.

Bedenken grundsätzlicher Art, die über die gesetzlichen Bestimmungen hinausgehen, können in das Brandschutzgutachten einfließen. Hierzu gehört eine Stellungnahme zur Standortwahl oder zum Abstand von Nachbargebäuden, wenn der Nachbarschaftsschutz möglicherweise nicht voll gewährleistet ist.

Ein Alarmplan ist vom Betreiber einer Anlage in Zusammenarbeit mit der Feuerwehr zu erstellen. Er wird zweckmäßigerweise in Form von Alarmstufen konzi-



Bild 5. Beispiel eines Flüssiggaslagers in einer Großstadt. Die Wohnhäuser stehen in unmittelbarer Nähe.

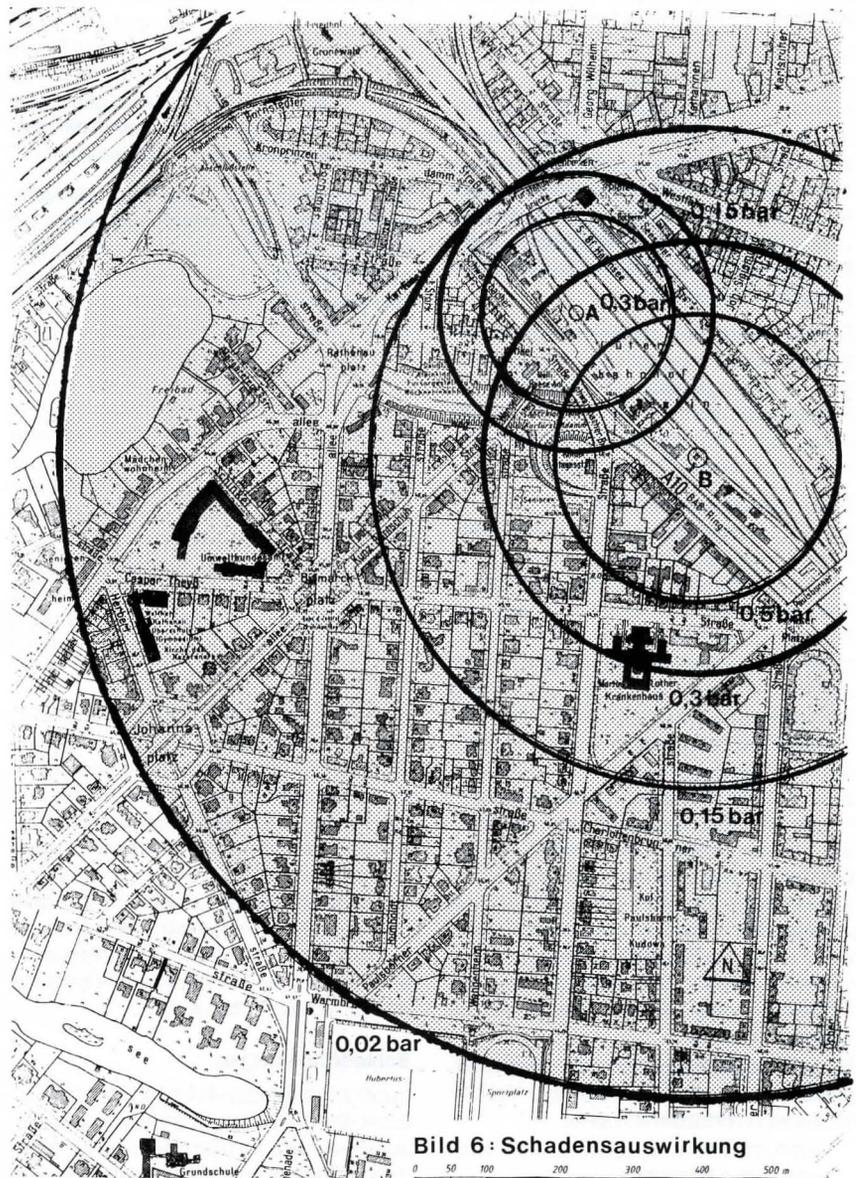


Bild 6: Schadensauswirkung

piert, die je nach Größe des Schadensereignisses ausgelöst werden.

Eine sinnvolle Abstufung bei Flüssiggaslagern wäre:

1. Stufe: Ausströmen geringer Mengen Gas
2. Stufe: Ausströmen größerer Mengen Gas
3. Stufe: Brand, Explosion oder Schadensereignis, das über die Werksgrenzen wirkt.

Ein Einsatzplan wird von der Feuerwehr für bestimmte Objekte und Schadensereignisse erstellt. Zu diesen besonderen Objekten gehören mit Sicherheit auch größere Flüssiggaslager.

Der Einsatzplan muß Angaben über den Betrieb, die besonderen Gefahren der gelagerten Stoffe, die Zufahrtswege, Bereitstellungsräume, Löschwasserversorgung, Verletzensammelstelle u.v.a.m. enthalten. Ein Anschriftenverzeichnis mit den Adressen und Telefonnummern der zuständigen Behörden, sachkundiger Personen und sonstigen wichtigen Stellen ist dem Einsatzplan beizufügen.

Denkbare Schadensereignisse müssen nach Einsatzstichworten geordnet in die Ausrückeordnung übernommen werden. Hierzu gehört auch ein Evakuierungsplan, der im Notfall in Kraft tritt. Texte zur Warnung der Bevölkerung sind vorzubereiten. Die Verbreitung dieser Texte über Lautsprecherwagen, Rundfunk oder Regionalfernsehen muß im Einsatzfall reibungslos funktionieren.

Die Notwendigkeit, schon vor Schadenseintritt Abwehrmaßnahmen zu diskutieren, ist unumgänglich. Dies gilt auch für Anlagen, die nicht der Störfallverordnung unterliegen (für diese ist ein Sonder-schutzplan ohnehin vorgesehen).

#### **Abwehrende Maßnahmen**

Eine gut ausgerüstete und ausgebildete Großstadtfeuerwehr ist in der Lage, zahlreiche Einsatzfälle ohne externe Hilfe zu bewältigen. Es ist für eine Großstadt kein Problem, innerhalb kurzer Zeit 10 Löschzüge an eine Großschadensstelle zu entsenden. Ebenso sind Rettungs- und Notarztwagen in ausreichender Zahl vorhanden. Bei den möglichen Schadensfällen an Flüssiggasanlagen sind jedoch auch solche mit katastrophalen Auswirkungen nicht ausgeschlossen. Hier stößt auch eine Großstadtfeuerwehr an die Grenzen, denn neben diesem Schadensereignis müssen auch die normal anfallenden Einsätze abgewickelt werden. Neben der Berufsfeuerwehr müssen in einem solchen Schadensfall auch die Einheiten des Katastrophenschutzes alarmiert werden.

Es wird zusammenfassend aufgezählt, welche Einsatzmaßnahmen und Verhaltensweisen erforderlich sind:

Rettung von u. U. gefährdeten oder verletzten Personen

Bei Gasausströmungen weiträumiges Absperrn des Einsatzbereiches

Messung der Gaskonzentration im Einsatzbereich

Provisorisches Abdichten des Lecks, wenn ein Absperrn nicht möglich ist  
Bereitstellen von Tankkapazität zum Umpumpen beschädigter Behälter

Schließen von Kanaldeckeln

Warnung und u. U. Evakuierung der Bevölkerung

Abstellen von Heizungsanlagen im bedrohten Gebiet

Vermeiden von Zündquellen

Sperren der Kellerräume vor Zutritt Unbefugter

Benachrichtigung der zuständigen Behörden

Viele dieser Maßnahmen müssen gleichzeitig erfolgen, so daß bei einem Ausströmen großer Gasmengen zahlreiche Einsatzkräfte benötigt werden. Erschwerend kommt hinzu, daß der Einsatzbereich nicht von Fahrzeugen befahren werden kann, daher müssen lange Wege zu Fuß zurückgelegt werden. Reparaturen unter Hitzeschutzanzügen (als Schutz vor Verpuffungen) sind darüber hinaus beschwerlich und zeitraubend.

Bei Großbränden muß der Behälter gekühlt und die Umgebung geschützt werden. Dies muß aus sicherer Entfernung und unter Ausnutzen von Deckungen geschehen. Der kritische Moment bei einem Brand eines Flüssiggasbehälters ist dann erreicht, wenn ein Mißverhältnis zwischen Wärmezufuhr aus der Umgebung und Kühlung durch Verdampfung und Berieselung entsteht. Dies ist dann der Fall, wenn der Behälter fast leer ist. Er heizt sich dann sehr stark auf. In diesem Fall ist eine Explosion mit Behälterzerknall nicht ausgeschlossen. Im Ausland ist es hierbei schon zu tödlichen Unfällen von Feuerwehrmännern gekommen. Ob sich die Feuerwehr vorher (wann ist das?) zurückziehen soll, möchte ich an dieser Stelle nicht diskutieren.

Vorhersagen über Einsatzmaßnahmen bei schon erfolgter Explosion können nicht gemacht werden, denn keine Einsatzstelle gleicht einer anderen. Grundsätzlich ist es für die Feuerwehr natürlich möglich, verschüttete Personen zu bergen oder zu retten. Probleme bei Flüssiggasunfällen werden sicherlich die über das normale Schadensausmaß hinausgehenden Dimensionen der Schadensstelle aufwerfen. Dies ist in erster Linie ein organisatorisches Problem.

#### **Schlußfolgerungen**

In der vorliegenden Arbeit wurde das Problem der Lagerung brennbarer Flüssiggase aus der Sicht der Feuerwehr behandelt. Es wurde nachgewiesen, daß auf-

grund umfangreicher technischer und gesetzlicher Vorschriften ein sicherer Betrieb von Flüssiggaslagern möglich ist.

Die Feuerwehr ist in der Lage, durch brandschutztechnische Beurteilung der Anlagen ihre Vorstellungen in das Genehmigungsverfahren einfließen zu lassen. Bei strikter Beachtung aller Auflagen können dennoch auftretende kleinere Störungen beim Betrieb von Flüssiggaslagern durch Maßnahmen der Betreiber und der Feuerwehr beherrscht werden.

Es bleibt aber ein nicht zu vernachlässigendes Restrisiko, das Störfälle mit erheblichen Auswirkungen auf die Umgebung nicht ausschließt.

Diese Störfälle können die Feuerwehr vor Probleme stellen, die sie allein nicht mehr bewältigen kann. Hier sind katastrophale Auswirkungen auf die Umgebung zu erwarten.

Um das Restrisiko solcher nicht beherrschbarer Störfälle zu minimieren, wird vorgeschlagen:

Festlegung einer realistischen Abstandsformel, die die Anlage vor äußeren Einwirkungen und die Umgebung vor Auswirkungen von Störfällen schützt.

Festlegung von Standortparametern, die eine Großanlagenplanung innerhalb von Wohngebieten ausschließt. Erdgedeckte Tankanlagen sind oberirdischen Anlagen vorzuziehen.

Einflußnahme auf die Anlieferung durch die Eisenbahn, um große Kesselwagenansammlungen auszuschließen.

Bei großen Tankanlagen muß eine Reservekapazität zum Umpumpen bereitgehalten werden.

Diese Vorschläge müßten ggf. auch in die Vorschriften einfließen.

#### **Literaturverzeichnis:**

1. 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? 1982, Fachdokumentationsstelle für Brandschutz an der TH Karlsruhe
2. Glasstone, S.: Die Wirkung von Kernwaffen, Köln, Heymann, 1964
3. Giesbrecht, H. u.a.: Analyse der potentiellen Explosionswirkung von kurzzeitig in die Atmosphäre freigesetzten Brenngasmengen, Teil 1, in: Chemie Ingenieur Technik 52, 1980, Nr. 2, Seite 114-122
4. Schrödter, W.: Sicherheitsprobleme beim Umgang mit Flüssiggas, Vortrag gehalten auf dem Kongress für Arbeitsschutz am 13.-15. Okt. 1982 im ICC Berlin