Das Instrument der Störfallablaufszenarien

von Hans-Joachim Uth, Berlin

Übersicht

1 Allgemeines
2 Störfallablaufszenarien
2.1 Grundsätze
2.2 Verhältnis "Auslegungs-Störfall" und "Hypothetischer Dennoch-Störfall"
2.3 Genehmigungsfähigkeit und "Dennoch-Störfall"
3 Quellterme nach der 3. StörfallVwV
3.1 Grundsätze
3.2 Mindestannahmen nach Anhang 5
3.3 Auswirkungskategorien

Anhang: -Anhang 5 der 3.StörfallVwV
-Beispiele von Störfallscenarien für die Gefahrenabwehrplanung

22.01.1996/FGU961.DOC

1 Allgemeines

Industrieanlagen, in denen mit Gefahrstoffen umgegangen wird unterliegen unter bestimmten Bedingungen der Störfall-Verordnung. Für die als besonders gefährlich eingestuften Anlagen nach § 1 Abs.2 Störfall-Verordnung sind hierfür Alarm- und Gefahrenabwehrpläne vorgeschrieben. In Deutschland sind davon ca. 2000 Anlagen vorwiegend aus dem Bereich der Chemischen Industrie in ca. 1000 Standorten betroffen. Zur bundeseinheitlichen Ordnung dieser Alarm- und Gefahrenabwehr-planung hat das Bundeskabinett nach Beteiligung des Bundesrats die dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung (3.StörfallVwV) erlassen und am 8. November 1995 veröffentlicht. Die AVV tritt am 1.März 1996 in Kraft.

Die 3.StörfallVwV regelt schwekpunktmäßig die Gefahrenabwehrplanung bei Anlagen, die den erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung unterliegen. Die detaillierte Beschreibung der Betreiberpflichten zur Aufstellung und Pflege betrieblichen Alarm- und Gefahren-abwehrpläne erfordert dabei als Folgewirkung die Durchführung einer entsprechenden Planung auf der Seite der Kommunen. Betriebliche- und kommunale Maßnahmen zur Gefahrenabwehr müssen schließlich in einem integriertem Planungssystem minutiös aufeinander abgestimmt sein. Dazu müssen die für die außerbetriebliche Gefahrenabwehr zuständigen Behörden vernünftige Planungsgrundlagen zur Verfügung haben. Die AVV gibt hierfür Hilfestellung, insbesondere die Verpflichtung des Betreibers zur Aufstellund von Störfallablaufscenarien. Die Anforderungen dafür sollen im folgenden näher erläutert werden.

2 Störfallablaufszenarien

2.1 Grundsätze

Der betriebliche GAP ist aufgrund konkreter Gefahrenanalysen anlagenbezogen zu erstellen. Dabei sind Einwirkungen auf die Anlage als auch Auswirkungen durch einen Störfall zu betrachten. Letztere werden in sog. Szenarien modelliert. Der Anhang 5 enthält Beispiele für Quellterme, die der Modellierung zugrundegelegt werden sollen. Entscheidend für die Modellierung ist die Annahme von Ereignisabläufen, die i.S.d. § 3 Abs.2 Störfall-VO vernünftigerweise ausgeschlossen werden können.

Bei der Bildung von Szenarien als Grundlage der Gefahrenabwehrplanung ist zu beachten, daß hypothetische Fälle ausgewählt werden, d.h. Störfallabläufe angenommen werden, die vernünftigerweise ausgeschlossen werden können.

Es liegt in der Natur der Sache, daß beispielsweise die Sicherheitsmaßnahmen, die zur Verhinderung, etwa der Freisetzung toxischer Stoffe aus einem Druckbehälter, dienen, teilweise oder vollständig versagen können. Sind diese Sicherheitsmaßnahmen aber nach dem Stand der Technik durchgeführt, ist ein solcher Fall nach herrschender Rechtsauffassung "vernünftigerweise" ausgeschlossen. Denkgesetzlich jedoch nicht, und, ein Blick auf das alltägliche Störfallgeschehen bestätigt dies, auch praktisch nicht.

Bei der Bildung der Szenarien geht es um "hypothetische Dennoch-Störfälle". Dabei werden bezüglich ihrer möglichen Ursachen bewußt keine Betrachtungen angestellt. Solche Betrachtungen würden vom Zweck des Szenarios ablenken und in den Kreislauf der Betrachtung zur Verhinderung der Ursachen durch weitere Sicherheitsmaßnahmen münden. Deshalb wurden -also unabhängig von möglichen Ursachen- feste Annahmen zur Bildung der Szenarien vorgeschrieben. Diese Annahmen beziehen sich auf die Festlegungen der zu betrachtenden Quellterme und der Bedingungen zur Ausbreitung (Vergl. Nr.2.3 und Anhang 5 der 3. StörfallVwV). Das Ergebnis der Szenarien ist die Beschreibung des räumlichen und zeitlichen Verlaufs der gefährlichen Auswirkungen. Aus diesen Informationen können Betreiber und Kommunen die für ihre Gefahrenabwehrplanung relevanten Gefahrenbereiche ableiten.

Mit der Szenarientechnik wird eine neue Betrachtungsweise eingeführt. Dies hat im Vorfeld der VwV zu Irritationen und Mißverständnissen geführt. Insbesondere wurde befürchtet, daß durch die Annahme von Auswirkungen im Störfall der (weitere) Betrieb der Anlage aufgrund öffentlicher Proteste gefährdet sei oder als Anlaß für nachträgliche Anordnungen genommen werden könnte. Dazu ist folgendes zu beachten.

2.2 Verhältnis "Auslegungs-Störfall" und "Hypothetischer Dennoch-Störfall"

Die Rechtsvorschrift des § 3 Abs. 1 StörfallVO verpflichtet den Betreiber einer Anlage rechtskategorisch zur Durchführung aller technischen- und organisatorischen Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen. Maßstab ist dabei die sog. "praktische Vernunft"**,** d.h. es wird ein Wahrscheinlichkeitsmaßstab zugrunde gelegt. (Vergl. Bild 1)
Denkbaren Ereignissen, deren Wahrscheinlichkeit so gering eingeschätzt wird, daß sie "praktisch" nicht berücksichtigt werden müssen (und können), ist nicht vorzubeugen, diese müssen nicht verhindert werden. Um mögliche Auswirkungen dieser denkbaren, aber jenseits des "vernünftigen Ausschlusses" (Wahrscheinlichkeit **Pa** i.S. des § 3 Abs. 2 StörfallVO) liegenden Störfälle zu begrenzen, sind Maßnahmen nach §3 Abs.3 vorgesehen. Diese Maßnahmen mindern lediglich die Folgen von Störfällen, verhindern sie aber nicht.
Mit dieser abgestuften Vorgehensweise wird im Sinne des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes die zu treffenden Maßnahmen der Wahrscheinlichkeit **P** des Eintritts des Ereignisses angepaßt. Je weniger wahrscheinlich, desto weniger Aufwand für Sicherheits- und Schutzmaßnahmen. Maßnahmen im Bereich **1>P>Pa** sind Maßnahmen zur Verhinderung des "Auslegungs-Störfalls", Ereignisse im Bereich **Pa>P>0** können als "Hypothetische Dennoch-Störfälle" bezeichnet werden.
Die Gefahrenabwehr ist eine Maßnahme zur Begrenzung der Auswirkungen i.S. des § 3 Abs. 3 StöVO. Da sie sich auf den weiten Wahrscheinlichkeitsbereich (**Pa>P>0**) jenseits des "vernünftigen Ausschlusses" bezieht, ist es aus praktischen Erwägungen notwendig, diesen Bereich durch einzelne Punkte zu strukturieren und handhabbar zu machen. Deshalb werden Szenarien abgeleitet, die als Hilfestellung für die Planung und Organisation der Gefahrenabwehr gedacht sind. Dabei geht es nicht um die Ableitung der "Horrorszenarien" wie z.B. einen Absturz eines Verkehrsflugzeugs auf einen Großchemiekomplex. Ein solches Ereignis wäre auch planerisch nicht in den Griff zu kriegen. Es muß als „sozial adäquate Last“ (BVerfG) vom Bürger im Gegenzug zu dem Nutzen durch die technische Zivilisation in Kauf genommen werden („Restrisiko-Fall“).

Im Anhang sind Beispiele für Daten zur Abschätzung von Gefährdungsbereichen aus realen Anlagen aufgeführt.

2.3 Genehmigungsfähigkeit und "Dennoch-Störfall"

Für die Betrachtung der Genehmigungsfähigkeit einer Anlage ist der von BVerfG gesetzte Maßstab der "praktischen Vernunft" maßgeblich, d.h. wenn allen vernünftigerweise nicht auszuschließenden Störfällen (**P>Pa**) vorgebeugt wurde, steht einer Genehmigung der Anlage nichts entgegen. Dies schließt aber die Existenz von Maßnahmen nach § 3 Abs. 3, insbesondere einer Gefahrenabwehrplanung einschließlich ihrer materiellen und personellen Vorbereitung ein.

3 Quellterme nach der 3.StörfallVwV

3.1 Grundsätze

Bei der Anfertigung von Störfallszenarien nach der 3.StörfallVwV ist von einer emissionsbezogenen Betrachtungsweise auszugehen. Ergebnisse der szenarischen Betrachtungen sind stets Angaben über die toxischen, thermischen und mechanischen Belastungen durch den angenommenen Störfall. Die Analyse der durch diese Belastungen ausgelösten Wirkungen obliegt der für die externe Gefahrenabwehr zuständigen Behörde. Sie legt unter Berücksichtigung der

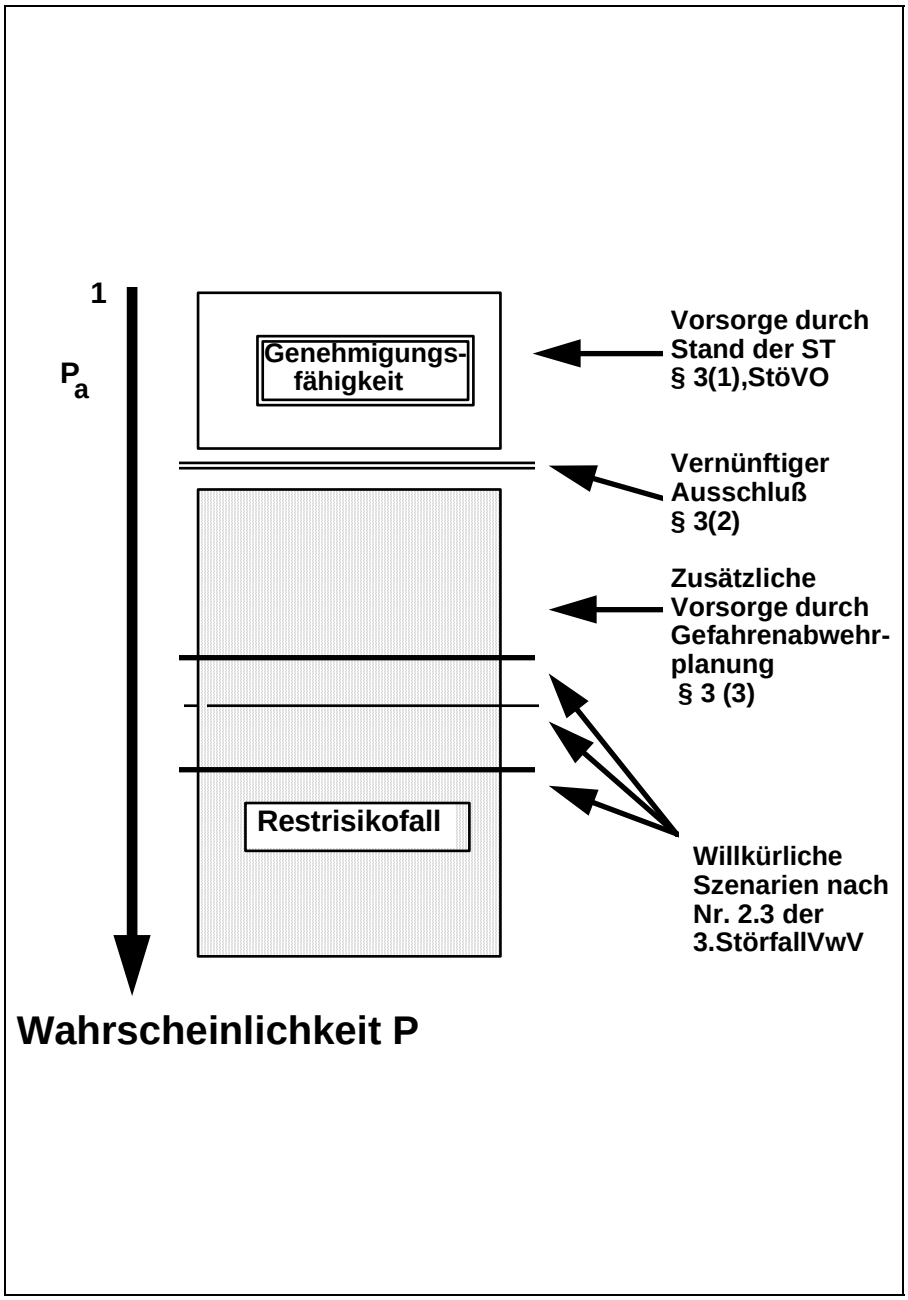

Bild 1 Bereiche der Gefahrenabwehr

konkreten Verletzlichkeit der Schutzobjekte die Gefährdungsbereiche fest[1].

[1]Dies bedeutet, daß der Betreiber keine immissionsseitige Betrachtung möglicher Schäden vornehmen muß. Insofern ist er entlastet von der Angabe kritischer Immissionswerte (Störfallbeurteilungswerte). Es ist aber die Nr. 3.2.2.2 c der 2. StörfallVwV zu beachten, wonach der Betreiber gehalten ist Wirkungsdaten über die

3.2 Mindestannahmen nach Anhang 5

Anhang 5 der 3.StörfallVwV enthält "Beispiele für Mindestannahmen von Abläufen und Auswirkungen im Rahmen von Störfallszenarien nach Nr. 2.3" (Wortlaut s. Anhang 1). Diese Annahmen sind als Hilfestellung bei der Auswahl der spezifischen anlagenbezogenen Szenarien zu verstehen. Der Anhang enthält insbesondere:

1. Aussagen zu den an einem zu betrachtenden Störfall beteiligten Mengen, wie
    - größte zusammenhängende Menge in dem gestörten Anlageteil bei Freisetzungen aus umschlossenen Behältnissen, Rohrleitungen, etc.,
    - Masse des gesamten Brandabschnitts bzw. Gebäude bei Bränden,
    - größte zusammenhängende Stoffmenge bei Massenexplosionen.

1. Aussagen zu Quelltermen, wie
    - Freisetzung aus stoffführenden Systemen, Quellhöhe 5m, Impuls senkrecht nach oben[2],
    - Lachenverdampfung,
    - Brand v. festen Stoffen,
    - jet fire,
    - pool fire,
    - Feuerball,
    - Behälterbersten durch Wärmeeintrag (BLEVE)
    - Gaswolkenexplosionen (Raumexplosion),
    - Staubexplosion,
    - Massenexplosion,
    - Deposition von toxischen Stoffen auf Wasser und Boden.

1. Aussagen zur Ausbreitung, wie
    - für Gas-, Staub-, Aerosolausbreitung die ungünstigste und mittlere Wetterlage,
    - Ausbreitung in Oberflächengewässer,Ausbreitung in Grundwasser.

1. Die Emissionen werden in folgende Kategorien gefaßt:
    - Wärmestrahlung,
    - Druckwelle (Spitzenüberdruck),
    - Toxische Belastung (Spitzenkonzentrationen, Dosis),
    - Trümmerwurf durch Explosionen.

In der Tabelle 1 ist eine Zuordnung der Emissionskategorien zu den Quelltermen vorgenommen. Dabei wurde stets die wesentliche Auswirkung zugrunde gelegt.

Tabelle 1 Zuordnung von Emissionskategorien zu Quelltermen

---

verwendeten Stoffe in der Anlage zu ermitteln und anzugeben. Diese werden sich auch auf -soweit vorhanden- Störfallbeurteilungswerte z.B. ERPG-Werte beziehen.

[2] Als Freisetzungsquellterm nennt die VwV beispielhaft: Undichtigkeit, Rohr- und Behälterbrüche. Damit ist eine große Spannweite der möglichen szenarischen Annahmen aufgezeigt. Vor dem Hintergrund, daß Szenarien angenommen werden sollen, die insbesondere von Bedeutung für die außerbetriebliche Gefahrenabwehr sind müssen z.B. die „Undichtigkeiten“ schon erheblich sein, um die „ernste Gefahr“ auszulösen. Zu den diese „ernste Gefahr“ qualifizierenden Stoffmengen vergl. Kap. 3.

Emission/ Quellterm	Wärmestrah-lung	Druckwelle	Toxische Belastung	Trümmer-wurf
Freisetzung			X	
Lachenverd.			X	
Brand	X		(X)*	
jet fire	X			
pool fire	X		(X)*	
Feuerball	X		(X)*	
BLEVE	X	X	(X)*	
UCVE	(X)**	X		
CVE	(X)**	X		X
Staubexp.	(X)**	X		X
Massenex.		X		X
Deposition			X	

* toxische Wirkung bei Beteiligung toxischer Brandmasse zu erwarten.
** kurzfristige Wärmestrahlung durch Flammenbildung (flash) möglich.

zu 1:
Bei der zu betrachtenden Mengen sind die anlagenspezifischen Situationen zu berücksichtigen. Die VWV spricht von der Menge im gestörten Anlageteil als Mindestannahme. Dadurch wird schon deutlich, daß dem "Dennoch-Störfall" ein eher größeres als kleineres Gefahrenpotential zugrundeliegen soll. Die Menge der Stoffe von benachbarten Anlageteilen, die einen betriebstechnischen Zusammenhang haben z.B. durch Rohrleitungen, Förderbänder verbunden sind, sind nur dann nicht zu berücksichtigen, wenn diese Verbindungen wirksam unterbrochen werden können. Die VwV läßt ausdrücklich die aktiven Absperrmaßnahmen zu, d.h. deren Funktion wird im angenommenen Störfall vorausgesetzt. Für die szenarische Modellierung kann die Zeit, die bis zur wirksamen Absperrung/Unterbrechung vergeht eine wichtige Größe sein. Hinweise auf die Abgrenzung von Anlageteilen finden sich in der Sicherheitsanalyse. In der Praxis wird es sich insbesondere um die "Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt" nach Nr. 3.2.3.1 der 2. StörfallVwV handeln[3].
Bei der Betrachtung der an einem Brand bzw. einer Explosion beteiligten Stoffmengen dürfen die passiven (baulichen) Sicherheitsvorkehrungen berücksichtigt werden. So darf beispielsweise das Brandgeschehen auf den Brandabschnitt begrenzt bleiben, eine Ausbreitung des Feuers auf benachbarte Abschnitte, also die Betrachtung etwaige Domino-Effekte ist nicht gefordert.
Bei Massenexplosionen wird keine Betrachtung der Möglichkeit von Sekundärexplosionen gefordert.

Zu 2:
Bei der Festlegung der Quellterme haben die anlagenspezifischen Bedingungen das größte Gewicht, da neben der Charakteristik der beteiligten Stoffe auch die energetische Situation mitberücksichtigt werden muß. Letztere beeinflußt wesentlich das Ausbreitungsverhalten, z.B. Menge, Impuls und Aggregatzustand der an der Ausbreitung teilnehmenden Stoffe.

[3] Zur Problematik der Abgrenzung der „Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt“ s. Uth, H.J. Sicherheitsanalysen in verfahrenstechnischen Produktions- und Lageranlagen -Erfahrungen und Zielrichtungen- Teil 1+2, Arbeitsschutz Aktuell 1+2/95 S.17-22

Die VwV enthält auch komplexe Quellterme, etwa das Behälterbersten durch Wärmeeintrag. Bei der Betrachtung dieser Quellterme sei an die Vorgabe der Nr.2.3 der 3. StörfallVwV erinnert: man darf nicht der Versuchung erliegen nach möglichen Ursachen für z.B. die Unterfeuerung der Behälters zu suchen! Maßgebend für die mögliche Auswahl dieses Szenarios könnte z.B. die Verletzlichkeit eines Behälters mit druckverflüssigten brennbaren Gasen aufgrund fehlender Wärmeschutzisolierung, ungeschützter Aufstellung, etc. sein.
Bei Raumexplosionen (Gase,Dämpfe) müssen die spezifischen Anlagenbedingungen, ggf. auch die nähere Umgebung hinsichtlich ihres Verdämmungsbeitrags berücksichtigt werden.
Bei Staub- und Massenexplosionen können die Wirksamkeit konstruktiver (passiver) Bergrenzungsmaßnahmen, wie z.B. Ausblasbauweise, Explosionsdruckentlastung Berücksichtigung finden.
Die VwV schließlich berücksichtigt auch "gekoppelte Quellterme", d.h. den Niederschlag von toxischen Stoffen auf z.B. Oberflächengewässer mit anschließender Ausbreitung in dem Gewässer.
Die Betrachtung von Bränden mit z.B. Stückgutlagern, auch unter Beteiligung von Gefahrstoffen ist schwierig, da die Branddynamik von einer Fülle von Parametern beeinflußt wird, die anlagen- und stoffspezifisch festgelegt werden müssen. Ein Beispiel für szenarische Annahmen beim Brand eines Pflanzenschutzmittels ist in der Reihe UBA-Texte veröffentlicht[4].
Für die Berechnung der Massenströme bei der Freisetzung aus druckführenden Systemen[5], bei der Lachenverdampfung[6] und den Explosionen (verdämmte- und unverdämmte Gaswolkenexplosion[7], Staubexplosion[8] und Massenexplosion[9]) sind eine Fülle von Modellen veröffentlicht. Gleichwohl stehen in Deutschland verbindliche Konventionen noch nicht für alle Spezialfällen zur Verfügung. Es ist zu hoffen, daß die z.Zt. in der Überarbeitung befindliche 2.StörfallVwV hiezu weitere Klarheit und Rechtssicherheit schafft.

Zu 3:
Für die Ausbreitung von Gasen und Aerosolen stehen in der Praxis bewährte und kodifizierte Ausbreitungsmodelle[10] zur Verfügung.
Die Ausbreitung in Oberflächengewässern (Fließgewässer) kann nach dem Rheinalarmmodell Ver 2.1 simuliert werden[11].

Zu 4:
Für die zu ermittelnden Gefährdungsbereiche sollten -ggf. nach Absprache mit den für die öffentlichen Gefahrenabwehr zuständigen Behörden- die Ergebnisse der szenarischen Betrachtungen wie folgt dargestellt werden:

3.3 Auswirkungskategorien

Wärmestrahlung

---

[4] Sicherheitsanalyse eines Pflanzenschutzmittellagers, TÜV e.V. Bayern, UBA-Texte 39/90

[5] Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous material (Yellow Book), Directorate General of Labour, Ministry of Social Affairs, Voorberg NL, 1979, Part I,Kap.1-4

[6] Yellow Book, aaO. Part II, Kap.5

[7] Yellow Book, aaO. Part II, Kap.6,8-10

[8] Vergl. VDI 2263, VDI 3673

[9] Vergl. SprengG v. 17.4.1986, 2.SprengV v.5.9.1989

[10] VDI 3783, Blatt 1+2

[11] Informationen über das Rheinalarmmodell können bezogen werden über: KHR-Sekretariat, Postfach 17, NL-8200 AA Lelystad, Tel. +31 3200 70432

Angaben zur Reichweite der durch Wärmestrahlung ausgelösten Belastung in [KJ·sec/m^2]. Sinnvolle Stufungen sind z.B. bei

- Verbrennungen 1.,2. und 3.Grades von Menschen (unbedeckt),
- Entzündung von Kleidung
- Entzündung von Baumaterialien (z.B. Holz,Kunststoffe)
- Schädigung von Umgebung (z.B. Pflanzen, Bäume)

Druckwelle

Angaben zur räumlichen Ausbreitung von Druckwellen, Darstellung der Verläufe (ISO-Kurven) der Spitzenüberdrücke in [hP/m^2], Sinnvolle Stufungen sind z.B. bei

- Zersplittern von Fensterscheiben
- Tödliche Wirkung auf Menschen
- Zerstörung von Wohnbebauung

Toxische Belastung

Die Belastung durch Gefahrstoffe ist je nach Wirkart in Form von ISO-Kurven anzugeben. Sinnvolle Stufungen sind z.B. bei

- inhalativer Wirkung Angabe der Spitzenkonzentrationen in [mg/m^3] oder der Dosis in [mg·min/m^3]
- bei Depositionen auf Oberflächengewässer, Böden, Gebäuden, etc. in [mg/m^2]

Es sind geeignete Stufungen in Abhängigkeit von den Wirkkonzentrationen für schwere(tödliche)- und leichte Gesundheitsgefährdung, Belästigung von Menschen oder anderen Schutzobjekten zu wählen.

Trümmerwurf

Neben der Emission von Druckwellen und Erschütterungen durch CVE, Staub- und Massenexplosionen sind die Möglichkeit des Trümmerwurfes zu beachten. Im Bericht des TAA[12] zu "Explosionsfähige Staub-Luftgemische und Störfall-Verordnung" wird hierzu ausgeführt:

„Der in Räumen oder Gebäuden auftretende Explosionsdruck wird durch das Versagen der Hüllkonstruktion bestimmt. (Die Druckentlastung durch sich öffnende oder berstende Flächen der Hüllkonstruktion kann aber gleichzeitig auch ein Schutzprinzip darstellen. Hierdurch kann die Beanspruchung der Struktur in vertretbaren Grenzen gehalten werden.)

Die Wurfweite von Bruchstücken ist im wesentlichen abhängig von deren Beschleunigung beim Berstvorgang, ihrer Masse, ihren Flugeigenschaften, der Wurfhöhe und dem Wurfwinkel. Bruchstücke mit guten "Segeleigenschaften" können sehr weit fliegen, haben aber in der Regel keine große kinetische Energie. Je höher die Wurfhöhe, also z.B. je höher explosionsgefährdete Bereiche liegen, desto weiter können Bruchstücke fliegen (z.B. bei hohen Bauwerken wie Silos).

Bei Gebäuden und Räumen aus normalem Mauerwerk u.ä. ist im Falle des Berstens der Hüllkonstruktion mit Trümmerwurf zu rechnen. Aus Untersuchungen von Explosionsereignissen und aus Großfeldversuchen kann man entnehmen, daß bei Gebäuden bis max. 30 m Höhe

ca. 2/3 der Fragmente innerhalb von 20 m,
ca. 1/3 der Fragmente je nach Segeleigenschaften innerhalb von 50 m

zu finden wären. Dies gilt für Strukturen (Hüllkonstruktionen) mit Festigkeíten bis zu 20 kN/m^2. Höhere Festigkeiten (jedoch noch unterhalb von Explosionsfestigkeit) führen ebenfalls zu größeren Flugweiten.“

[12] TAA-Bericht Leitfaden Explosionsfähige Staub/Luft-Gemische und Störfall-Verordnung, Teil II, TAA 1995

Ebenso sind die Vorgaben der 2.SprengV[13]hinsichtlich der Gefährdung durch Trümmerwurf bei Massenexplosionen zu beachten.

[13] aaO

Anhang 1

Beispiele für Mindestannahmen von Abläufen und Auswirkungen im Rahmen von Störfallszenarien nach Nr. 2.3 (Anhang 5 der 3. StörfallVwV)

1. Freisetzung aus stofführenden Systemen
mit großem Massenstrom (druckführend, drucklos)
Austritt von Stoffen durch größere Schäden an stofführenden Systemen (wie z. B. Undichtigkeit, Rohr- und Behälterbrüche). Dabei sind zu beachten bzw. zugrundezulegen

- Quellhöhe und Richtung des Quellstrahls unter ungünstigen Bedingungen (z. B. bei druckführender Leitung Annahme einer Quellhöhe von 5 m und eines senkrechten Quellstrahls),
- größte zusammenhängende Stoffmenge unter Berücksichtigung der aktiven Absperreinrichtungen außerhalb des gestörten Anlageteils.

1.1 B*rennbare* oder *explosionsfähige Stoffe/Stoffgemiscbe*
Folgende Fälle sind in Betracht zu ziehen und ggfs. zu unterscheiden

- unmittelbare Zündung bei Austritt (jet-fire),
- Bildung einer explosionsfähigen Wolke (z.B. aus Lachen-verdampfung) mit verzögerter Zündung; unverdämmte Gaswolkenexplosion (UCVE), verdämmte (CVE) oder teilweise verdämmte Gaswolkenexplosion je nach Umgebungsbedingungen),
- Bersten eines Behälters mit brennbaren druckverflüssigten Gasen nach Wärmeeintrag,
- Brand in einer Auffangwanne/Fläche (pool fire),
- Feuerball durch boil-over-Phänomen.

Auswirkungen
- Wärmestrahlung bei offener Flammenbildung,
- Entstehen und Ausbreitung gefährlicher Brandprodukte,
- Ermittlung der zeitlichen und räumlichen Verläufe der Spitzenkonzentrationen und der Dosis,
- räumlicher Verlauf der Spitzenüberdruckwerte,
- Abschätzung der Gefahr von Trümmerwurf.

1.2 *Luftgetragene* toxiscbe *Stoffe (Gase, Gaswolken aus Lachenverdampfung, Stäube, Aerosole)*
Es ist in Betracht zu ziehen:
Ausbreitung bei ungünstiger und mittlerer (durchschnittlicher) Wetterlage.

Auswirkungen
- Ermittlung der zeitlichen und räumlichen Verläufe der Spitzenkonzentrationen und der Dosis,
- Ablagerung auf dem Boden (Angabe der Bodenober-flächenkonzentrationen).

1.3 Wasser- und bodengefährdende Stoffe

Folgende Fälle sind in Betracht zu ziehen und ggfs. zu unterscheiden:
Direkter Stoffeintrag oder mit vorheriger Ausbreitung nach 1.2 mit

- Ausbreitung auf Oberflächengewässern,
- Ausbreitung in Grundwasserströmen.

Auswirkungen

- Angabe der zeitlichen und räumlichen Verläufe der Schadstoffkonzentrationen im Gewässer,
- Abschätzung der Grundwasserbelastungen,
- Angabe von Bodenkontaminationen.

2. Brände
Folgende Fälle sind in Betracht zu ziehen und ggfs. zu unterscheiden
Brand von

- festen Stoffen (inklusive Verpackung),

- Brand der Masse des gesamten Brandabschnitts bzw. Gebäudes; bauliche (passive) Maßnahmen können berücksichtigt werden.

Auswirkungen

- Wärmestrahlung bei offener Flammenbildung,
- Entstehen gefährlicher Brandprodukte,
- Ausbreitung toxischer Brandprodukte (Spitzenkonzentration, Dosis).

3. Explosion
Explosion der in Betracht kommenden größten zusammenhängenden Stoffmenge; bauliche (passive) Maßnahmen können berücksichtigt werden.

Auswirkungen

- Beschreibung des räumlichen Verlaufs der Spitzrenüber-druckwerte,
- Abschätzung der Gefahr des Trümmerwurfes.

Anhang 2

Beispiel 1

Daten für die Ermittlung von Gefährdungsbereichen nach der 3.StörfallVwV

Beispiel: Freisetzung von Brom aus einer Polyproduktionsanlage

Festlegung des Quellterms:
Ein Destillationsapparat mit 250 kg Brom (Angabe aus der Sicherheitsanalyse) wird durch eine Explosion zerstört, wobei das gesamte Brom im Produktionsraum (258 m3, 25 C) fein verteilt wird und verdampft. Der Austritt erfolgt durch das von der Explosion aufgesprengte Eingangstor (5,4 m2, Luftwechselfaktor 5/h).

Anwendung physikalischer Gesetzmäßigkeiten:
1. Bei Verdampfen von 250 kg Brom in 258 m3 ergibt sich bei 25 C ein Sättigungspartialdruck von 0,13 bar.
2. Die Verdunstung von Bromaerosolen bewirkt einen Wärmeentzug. Die ermittelte Temperatur liegt bei -8 C. Dadurch sinkt der Sättigungspartialdruck auf 0.05 bar, im Gasraum sind lediglich 80 kg Brom enthalten.
3. das kalte Brom/Luftgemisch (Dichte ca. 1.6 kg/m3) fließt innerhalb von 10 Sekunden aus der Türöffnung. Die Emissionszeit unter zugrundelegung des Luftwechselfaktors 5/h ergäbe 720 s.

Ermittlung der Ausbreitungsbereiche:
Ausbreitungsrechnung nach VDI 3783 mit verschiedenen Ausbreitungsklassen und Umgebungsmodellierungen. Als Grenzwert wird der VCI-Störfallbeurteilungswert verwendet (Cs(Brom) = 3.56 mg/m3).

Ergebnis:
Bei den Planungen zur Gefahrenabwehr (Ermittlung der Gefährdungsbereiche) muß mit einer Überschreitung des Störfallbeurteilungswertes in Abständen bis ca.1000 m bei mittlere Wetterlage bzw. mit ca. 4000m bei ungünstigster Wetterlage gerechnet werden.

Beispiel 2

Daten für die Ermittlung von Gefährdungsbereichen nach der 3.StörfallVwV

Beispiel: Anlage zur Herstellung von Schwefelsäure

Festlegung des Quellterms:
Abreißen der größten masseführenden Leitungen für flüssiges SO2, SO3 und Oleum< 38 %. Leckquerschnitte: SO2 A=19,6 cm2; SO3 A=79 cm2; Oleum A=177 cm2

Anwendung physikalischer Gesetzmäßigkeiten und spezifischer Anlagenbedingungen:
1. Durch das Auslaufen auf Beton werden nur Teile der Leckagemenge verdampft.
2. Durch betriebliche Reaktion (Nachweis in der Sicherheitsanalyse) wird die Reaktionszeit der innerbetrieblichen Gefahrenabwehr z.B. Einblocken des gestörten Anlageteils, Abdeckung der ausgelaufenen Flüssigkeiten mit Planen, Wasserschleier zu 30 Minuten abgeschätzt. Die Entsorgung (Aufnahme) der ausgetretenen Flüssigkeiten nimmt weiter 20 Minuten in Anspruch.
3. Daraus ermitteln sich folgende Quellterme (Tabelle 1):

Ermittlung der Ausbreitungsbereiche:
Ausbreitungsrechnung nach VDI 3783 für die mittlere und ungünstigste Wetterlage (Windgeschwindigkeit 2 m/s). Angabe der Immissionskonzentrationen bei bestimmten Aufpunkten. Als Grenzwert wird der VCI-Störfallbeurteilungswert verwendet (Cs(SO2) = 80 mg/m3).

Ergebnis:
Bei den Planungen zur Gefahrenabwehr (Ermittlung der Gefährdungsbereiche) müssen mit einer Überschreitungen des Störfallbeurteilungswertes bei den in der Tabelle 2 angegebenen Abständen gerechnet werden.

Tabelle 1

Freisetzungsort	SO_2-Lagerung, Abfüllung und Pumpstation	SO_3-Lagerung, Abfüllung	SO_3-Absorption, Druckleitung am Rieselkühler
Leckagemenge in 30 Minuten	15,2 t	63,4 t	70,5 t
Emittierte Menge in 50 Minuten	6,8 t	12,6 t	5,1 t

Tabelle 2

Entfernung/ Gefahrstoff	Entfernung [m]	Konzentration [mg/m^3] mittlere Wetterlage	Konzentration [mg/m^3] ungünstigste Wetterlage
SO_2	250 450 700	156 56 26	5780 858 205
SO_3	360 530 850	1028 732 469	6808 2770 1085
Oleum	360 500 810	398 298 191	1698 694 417

Beispiel 3

Daten für die Ermittlung von Gefährdungsbereichen nach der 3.StörfallVwV

Beispiel: Anlage zur Herstellung von Viskose

Festlegung des Quellterms:
Leckage bei der Entleerung eines EKW mit Schwefelkohlenstoff in den Lagerbehälter der Viskose-Anlage. CS_2 Läuft an der Außenwand des KW und bildet eine Lache von 10 m^2. Verdunstung bei hochsommerlichen Temperaturen (Luft) von 30 C aus der Lache.

Anwendung physikalischer Gesetzmäßigkeiten und spezifischer Anlagenbedingungen:
1. Die Bodentemperatur beträgt 25 C, durch Verdunstungskälte stellt sich eine Lachentemperatur von 20 C ein.
2. Durch betriebliche Reaktion (Nachweis in der Sicherheitsanalyse) wird die Reaktionszeit der innerbetrieblichen Gefahrenabwehr Einblocken des gestörten Anlageteils, Abdeckung der ausgelaufenen Flüssigkeiten zu 20 Minuten abgeschätzt.
3. Daraus ermitteln sich als Quellterm ein dm/dt = 25,5 g/s.
4. Das CS_2/Luftgemisch verhält sich wie ein Schwergas.
5. Das CS_2/Luftgemisch ist im Bereich 0,6-60 Vol-% explosionsfähig.

Ermittlung der Ausbreitungsbereiche:
Ausbreitungsrechnung nach VDI 3783 Blatt 2 für die mittlere und ungünstigste Wetterlage (Windgeschwindigkeit 1 m/s). Angabe der Immissionskonzentrationen bei bestimmten Aufpunkten. Als Grenzwert wird der VCI-Störfallbeurteilungswert verwendet ($C_s(CS_2)$ = 500 ppm.
Die Explosionswirkung wird mir dem Modell EFFECTS der TNO ermittelt.

Ergebnis:
Bei den Planungen zur Gefahrenabwehr (Ermittlung der Gefährdungsbereiche) müssen mit einer Überschreitungen des Störfallbeurteilungswertes bei den in der Tabelle 1 angegebenen Abständen gerechnet werden.
Die UZG wird in einer Entfernung von 24 m unterschritten. Tabelle 2 zeigt die Wirkungs-Abstandsbeziehung.

Tabelle 1 Maximale CS_2- Konzentrationen

Entfernung in [m]	Konzentration in [ppm]	Bemerkungen (Wirkung)	Bemerkungen (Ausbreitung)
24,7	10000	Tödliche Gefahr	1 Vol-%-Grenze
30	4489	Tödliche Gefahr	Interpolation
35	2270	Irrevers. Schäd	Interpolation
40	1257	Irrevers. Schäd	Interpolation
50	468	Revers.Schäden	Interpolation
60	209	Revers.Schäden	Interpolation
80	58	Revers.Schäden	Interpolation
100	22	Revers.Schäden	Interpolation
125	8	Keine Gefahr	VDI 3783
150	6	Keine Gefahr	VDI 3783
200	5	Keine Gefahr	VDI 3783

Tabelle 2 Schadenwirkung durch Druckwelle der CS_2-Wolkenexplosion.

Art der Schädigung	Überdruck in [bar]	Entfernung zum Zentrum der GW mind.	Entfernung zum Zentrum der GW max.
Schwere Schäden an Gebäuden	0,3	2	5
Reperable Sch. an gebäuden	0,1	5	11
Glassplitter	0,03	18	29
Bruch 10% der Fensterscheiben	0,01	54	81

Beispiel 4

Daten für die Ermittlung von Gefährdungsbereichen nach der 3.StörfallVwV

Beispiel: Anlage zur Ammoniaklagerung in VT-Anlage

Festlegung des Quellterms:
Leckage an einer Ammoniak-Leitung (Flanschverbindung) mit einem Querschnitt von 7 mm^2. Leitung har Verbindung mit der Gasphase eines Lagerbehälters (Max. Temperatur 42 C, Druck 16.8 bar).

Anwendung physikalischer Gesetzmäßigkeiten und spezifischer Anlagenbedingungen:
1. Der Massenstrom wird zu 205 g/s berechnet.
2. Durch betriebliche Reaktion (Nachweis in der Sicherheitsanalyse) wird durch die innerbetrieblichen Gefahrenabwehr das Lecks nach 30 Minuten abgedichtet.
3. Die Quellhöhe beträgt 3 m.

Ermittlung der Ausbreitungsbereiche:
Ausbreitungsrechnung nach VDI 3783 Blatt 1 für die ungünstigste Wetterlage (Windgeschwindigkeit 3 m/s). Angabe der Immissionskonzentrationen bei bestimmten Aufpunkten. Als Grenzwert wird der VCI-Störfallbeurteilungswert verwendet ($C_s(NH_3)$ = 500 ppm.

Ergebnis:
Bei den Planungen zur Gefahrenabwehr (Ermittlung der Gefährdungsbereiche) müssen mit einer Überschreitungen des Störfallbeurteilungswertes bei den in der Tabelle 1 angegebenen Abständen gerechnet werden.

Tabelle 1 Maximale Konzentrationen für die ungünstigste Ausbreitung

Entfernung in [m]	Konzentra-tion[ppm]	Bemerkungen (Wirkung)	Bemerkungen (Ausbreitung)
10	5578	Irreversible Sch.	Interpolation
20	4615	Irreversible Sch	Interpolation
30	2949	Irreversible Sch	Interpolation
40	1818	Irreversible Sch	Interpolation
50	1325	Irreversible Sch	Interpolation
60	964	Irreversible Sch	Interpolation
70	777	Irreversible Sch	Interpolation
80	600	Irreversible Sch	Interpolation
90	477	Reversible Sch.	Interpolation
100	398	Reversible Sch.	VDI 3783
200	193	Reversible Sch.	VDI 3783
300	140	Keine Gefahr	VDI 3783
500	94	Keine Gefahr	VDI 3783
1000	55	Keine Gefahr	VDI 3783