

Störfallablaufszenarien als Prognoseinstrumente

von Hans-Joachim Uth, Berlin

Übersicht

1. Aktuelle Rechtslage
2. Störfallablaufszenarien (Grundsätze, Verhältnis "Auslegungs-Störfall" und "Dennoch-Störfall", Genehmigungsfähigkeit und "Dennoch-Störfall")
3. Quellterme nach der 3. StörfallVwV
4. Das Konzept der Störfallkommission (Bestimmung der Quellrate / Menge, Fazit für die Gefahrenabwehrplanung, Anwendung des Konzepts für die Betrachtung von Domino-Effekten, Bestimmung von Sicherheitsabständen im Rahmen der Bauleitplanung)

Anhang 1 Beispiele von Störfallszenarien für die Gefahrenabwehrplanung "Gefahr durch eine Freisetzung von Brom aus einer Polyproduktionsanlage"

1 Aktuelle Rechtslage

Mit Veröffentlichung der neuen Störfall-Verordnung v. 26.04.2000, die die Anforderungen der RL 96/82/EG (SEVESO II Richtlinie) umsetzt wird an verschiedenen Stellen auf szenarische Betrachtungen über angenommenen Störfallabläufe Bezug genommen. Tabelle 1 zeigt hier eine Übersicht.

Tabelle 1 Übersicht der geforderten szenarischen Betrachtungsweisen in der Störfall-Verordnung

Fundstelle Störfall-Verordnung	Anforderungen	Bemerkung
§ 6 Abs. 4	"Der Betreiber hat ...alle ...Informationen zu liefern, (um die)... Möglichkeit des Eintritts eines Störfalls in voller Sachkenntnis (zu) beurteilen, die mögliche erhöhte Wahrscheinlichkeit und die mögliche Vergrößerung der Folgen von Störfällen (zu) ermitteln, ..."	Informationen über eine mögliche Gefährdung durch den Domino-Effekt
§ 8 i.V.m. Anhang III Nr. 3 b	"Ermittlung und Bewertung der Gefahren von Störfällen" "Festlegung und Anwendung von Verfahren zur systematischen Ermittlung der Gefahren von Störfällen bei bestimmungsgemäßem und nicht bestimmungsgemäßem Betrieb sowie Abschätzung der Wahrscheinlichkeit und der Schwere solcher Störfälle"	Im Rahmen des "Konzepts" werden szenarische Betrachtungen gefordert.
§ 8 i.V.m. Anhang III Nr. 3 e	"Planung für Notfälle" "Festlegung und Anwendung von Verfahren zur Ermittlung vorhersehbarer Notfälle aufgrund einer systematischen Analyse und zur Erstellung, Erprobung und Überprüfung der Alarm- und Gefahrenabwehrpläne, um in Notfällen angemessen reagieren zu können"	Im Rahmen des "Konzepts" werden szenarische Betrachtungen gefordert.
§ 9 Abs. 1 Nr. 2	"...die Gefahren von Störfällen ermittelt sowie alle erforderlichen Maßnahmen zur Verhinderung derartiger Störfälle und zur Begrenzung ihrer Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ergriffen wurden.."	Szenarische Betrachtungen im Rahmen des Sicherheitsberichts
§ 9 Abs. 1 Nr. 4	"...interne Alarm- und Gefahrenabwehrpläne vorliegen, und die erforderlichen Informationen zur Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erbracht worden sind, damit bei einem Störfall die erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden können..."	Szenarische Betrachtungen im Rahmen des Sicherheitsberichts
§ 9 Abs. 1 Nr. 5	"...ausreichende Informationen bereitgestellt werden, damit die zuständigen Behörden Entscheidungen über die Ansiedlung neuer Tätigkeiten oder Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche treffen können..."	Szenarische Betrachtungen im Rahmen des Sicherheitsberichts
§ 9 Abs. 2 i.V.m. Anhang II Nr. II.3	"Beschreibung der Bereiche, die von einem Störfall betroffen werden könnten"	Szenarische Betrachtungen im Rahmen des Sicherheitsberichts
§ 9 Abs. 2 i.V.m. Anhang II Nr. IV.1 und 2	"Eingehende Beschreibung der Szenarien möglicher Störfälle nebst ihrer Wahrscheinlichkeit und den Bedingungen für ihr Eintreten, einschließlich einer Zusammenfassung der Vorfälle, die für das Eintreten jedes dieser Szenarien ausschlaggebend sein könnten, unabhängig davon, ob die Ursachen hierfür innerhalb oder außerhalb der Anlage liegen"	Szenarische Betrachtungen im Rahmen des Sicherheitsberichts

	"Abschätzung des Ausmaßes und der Schwere der Folgen der ermittelten Störfälle"	
§ 10 Abs. 1 i.V.m. Anhang IV Nr. 3	"Für vorhersehbare Umstände oder Vorfälle, die für das Auslösen eines Störfalls ausschlaggebend sein können, in jedem Einzelfall eine Beschreibung der Maßnahmen, die zur Kontrolle dieser Umstände bzw. dieser Vorfälle sowie zur Begrenzung der Auswirkungen zu treffen sind, sowie eine Beschreibung der zur Verfügung stehenden Sicherheitsausrüstungen und Einsatzmittel"	Szenarische Betrachtungen im Rahmen der Notfallplanung

Darüber hinaus werden szenarische Angaben auch in Bereichen, die nicht durch die Störfall-Verordnung umgesetzt wurden, gefordert. Dies sind insbesondere Angaben für die externe Gefahrenabwehrplanung, die aufgrund länderspezifischer Rechtsvorschriften, z.B. Landes-Katastrophenschutzgesetzen gefordert sind, als auch Szenarien zur Festlegung von Sicherheitsabständen im Rahmen der Bauleitplanung für Betriebsbereiche. Letztere setzen Art. 12 der Seveso II Richtlinie um und werden auf der Grundlage des § 50 BImSchG gemacht.

Die szenarische Technik wird in der neuen Störfall-Verordnung systematisch angewendet. Dabei sind die Angaben z.B. bei der Erstellung des "Konzepts zur Verhinderung von Störfällen" nicht so ausführlich zu machen, wie etwa bei der Erstellung im Rahmen des Sicherheitsberichts. Dennoch ist sicher schwer vorzustellen, wie "Gefahren durch Störfälle", ermittelt und bewertet oder "Planung für Notfälle" durchgeführt oder die "Gefahr eines Domino-Effektes" ausgeschlossen werden sollen, wenn keine Modellannahmen zugrunde gelegt werden.

Eine nützliche Anleitung zur Erstellung von Störfallablaufszenarien enthält die 3. StörfallVwV von 1995, deren rechtliche Wirkung aber durch die Neufassung der Störfall-Verordnung vom April 2000 formell aufgehoben wurde¹.

Ebenso eignet sich das Verfahren der Störfall-Kommission, welchen im Bericht SFK-GS-26 dargelegt ist, zur Bestimmung der Rahmenbedingungen für szenarische Betrachtungen².

Im folgenden werden die systematischen Schritte bei der Auswahl und Aufstellung von Störfallablaufszenarien am Beispiel der Gefahrenabwehrplanung auf der Grundlage der 3. StörfallVwV und der Methodik der Störfall-Kommission dargelegt. Anschließend wird noch kurz auf die Anwendung der Methodik auf die Problemfelder "Domino-Effekt" und "Sicherheitsabstände bei der Bauleitplanung" eingegangen.

2 Störfallablaufszenarien

Grundsätze

Bei der Bildung von Szenarien als Grundlage der Gefahrenabwehrplanung ist zu beachten, daß Störfallabläufe angenommen werden, die vernünftigerweise ausgeschlossen werden können, es geht um "Dennoch-Störfälle". Bezüglich ihrer möglichen Ursachen werden bewusst keine Betrachtungen angestellt, weil diese vom Zweck des Szenarios ablenken: sie würden in den Kreislauf der Betrachtung zur Verhinderung der Ursachen durch weitere Sicherheitsmaßnahmen münden. Sinn des Szenarios ist es aber zu einer realistischen

¹ Die 3. StörfallVwV regelte die Gefahrenabwehrplanung bei Anlagen, die den erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung 1991 unterlagen. Inhaltlich werden die Positionen vorraussichtlich in die derzeit in Arbeit befindliche allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung übernommen.

² Störfallkommission, SFK-GS-26 »Schadensbegrenzung bei Dennoch-Störfällen - Empfehlungen für Kriterien zur Abgrenzung von Dennoch-Störfällen und für Vorkehrungen zur Begrenzung ihrer Auswirkungen« Stand Oktober 1999

Beschreibung des räumlichen und zeitlichen Verlaufs der gefährlichen Auswirkungen zu kommen, worauf Betreiber und Kommunen relevante Gefahrenbereiche ableiten können.

Verhältnis "Auslegungs-Störfall" und "Dennoch-Störfall"

Die Rechtsvorschrift des § 3 Abs. 1 StörfallVO verpflichtet den Betreiber eines Betriebsbereiches oder einer genehmigungsbedürftigen Anlage grundsätzlich zur Verhinderung von Störfällen. Maßstab, wieweit dies zu erfolgen hat, ist dabei die "praktische Vernunft". (Vergl. Bild 1) Zwei Fälle werden unterschieden:

1. Ereignisse, die "vernünftiger Weise nicht ausgeschlossen werden können, sind durch geeignete Vorkehrungen zu verhindern.
2. 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 P_a i.S. des § 3 Abs. 2 StörfallVO) liegenden Störfälle zu begrenzen, sind Maßnahmen nach § 3 Abs.3 StörfallVO vorgesehen. Diese Maßnahmen mindern lediglich die Folgen von Störfällen, verhindern sie aber nicht.

Mit dieser abgestuften Vorgehensweise wird der "Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes" umgesetzt. Je weniger wahrscheinlich, desto weniger Aufwand für Sicherheits- und Schutzmaßnahmen. Maßnahmen im Bereich $1 > P > P_a$ sind Maßnahmen zur Verhinderung des "Auslegungs-Störfalls", Ereignisse im Bereich $P_a > P > 0$ können als "Dennoch-Störfälle" oder "Worst-Case-Störfälle" bezeichnet werden.

Die Gefahrenabwehrplanung ist eine Maßnahme zur Begrenzung der Auswirkungen i.S. des § 3 Abs. 3 StörfallVO. Durch Störfallablaufszszenarien im Bereich ($P_a > P > 0$) werden praktische Punkte zur Gefahrenabwehrplanung gesetzt.

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 ($P > P_a$) vorgebeugt wurde, steht einer Genehmigung der Anlage nichts entgegen. Dies schließt aber die Existenz von Maßnahmen nach § 3 Abs. 3 StörfallVO, insbesondere einer Gefahrenabwehrplanung einschließlich ihrer materiellen und personellen Vorbereitung ein.

3 Quellterme nach der 3. StörfallVwV

Bei der Anfertigung von Störfallablaufszszenarien nach der 3. StörfallVwV ist von einer emissionsbezogenen Betrachtungsweise auszugehen. Ergebnisse der szenarischen Betrachtungen sind Angaben über die toxischen, thermischen und mechanischen Belastungen durch den angenommenen "Dennoch-Störfall". Die Analyse der durch diese Belastungen ausgelösten Wirkungen obliegt grundsätzlich der für die externe Gefahrenabwehr zuständigen Behörde. Sie legt unter Berücksichtigung der konkreten Verletzlichkeit der Schutzobjekte die Gefährdungsbereiche fest.

Anhang 5 der 3.StörfallVwV enthält "*Beispiele für Mindestannahmen von Abläufen und Auswirkungen im Rahmen von Störfallszenarien nach Nr. 2.3*". 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 zu beteiligenden Mengen,
2. Aussagen zu Quelltermen,
3. Aussagen zu Emissionskategorien.

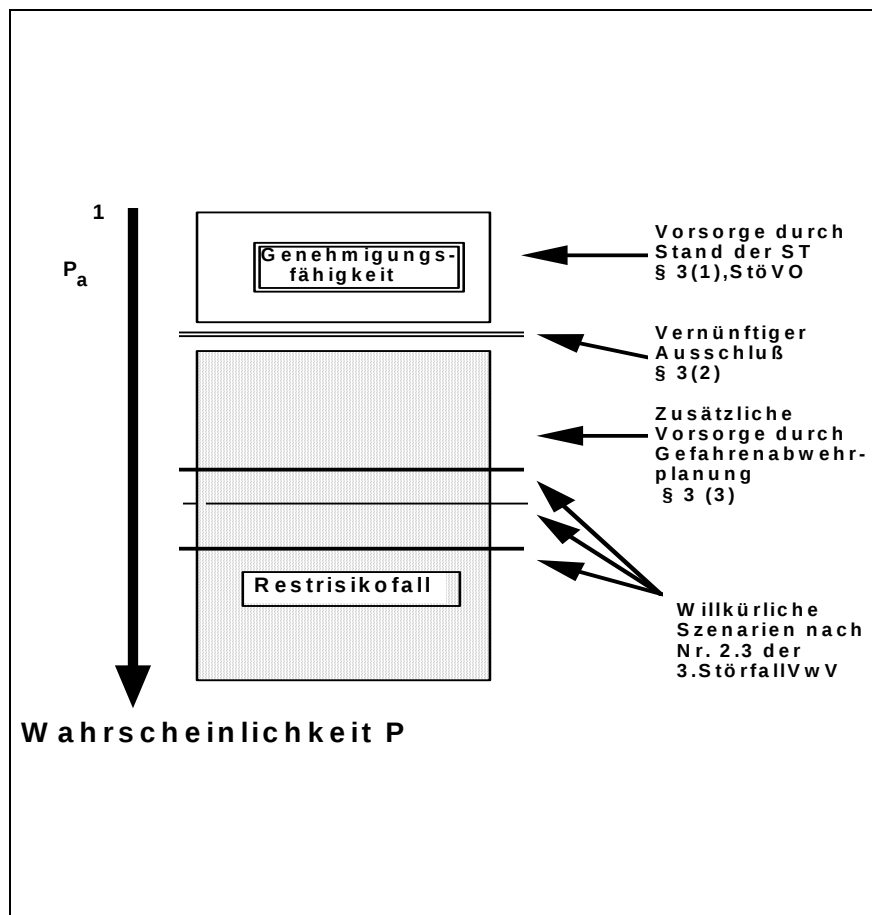


Bild 1 Bereiche der Gefahrenabwehr

In der Tabelle 2 ist eine Zuordnung der Emissionskategorien zu den Quelltermen vorgenommen. Dabei wurde stets die wesentliche Auswirkung zugrunde gelegt.

Tabelle 2 Zuordnung von Emissionskategorien zu Quelltermen

Emission/ Quellterm	Wärmestrahlung	Druckwelle	Toxische Belastung	Trümmer- wurf
Freisetzung			X	
Lachenverdampfung			X	
Brand (feste Stoffe)	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

Emission/ Quellterm	Wärmestrahlung	Druckwelle	Toxische Belastung	Trümmer- wurf
Deposition			X	

* toxische Wirkung bei Beteiligung toxischer Brandmasse zu erwarten.

** kurzfristige Wärmestrahlung durch Flammenbildung (flash) möglich.

Zu 1:

Die VwV spricht von der Menge im gestörten Anlagenteil als Mindestannahme. Die Menge der Stoffe von benachbarten Anlagenteilen, 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 Absperurmaßnahmen“³ zu. Für die Modellierung kann die Zeit, die bis zur wirksamen Absperung/Unterbrechung vergeht eine wichtige Größe sein. Hinweise auf die Abgrenzung von Anlagenteilen finden sich in der Sicherheitsanalyse, insbesondere kommen die *"Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt"* nach Nr. 3.2.3.1 der 2. StörfallVwV⁴ in Betracht.

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 sind neben der Charakteristik der beteiligten Stoffe auch die energetische Situation mit zu berücksichtigen. Letztere beeinflusst wesentlich das Ausbreitungsverhalten, z.B. Menge, Impuls und Aggregatzustand der an der Ausbreitung teilnehmenden Stoffe.

Die VwV enthält auch komplexe Quellterme, etwa das Bersten von Behälter durch Wärmeeintrag. Maßgebend für die Auswahl eines solchen Szenarios könnte z.B. die Verletzlichkeit eines Behälters mit LPG 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

³ Aktive Absperreinrichtungen sind mit Fremdenergie betriebene Absper- und Regelarmaturen sowie handbetätigbare Armaturen.

⁴ 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

Annahmen beim Brand eines Pflanzenschutzmittels ist in der Reihe UBA-Texte veröffentlicht⁵.

Für die Berechnung der Massenströme bei der Freisetzung aus druckführenden Systemen⁶, bei der Lachenverdampfung⁷, den Sonderformen (jet-, pool-, flashfire, BLEVE) und den Explosionen (verdämmte- und unverdämmte Gaswolkenexplosion⁸, Staubexplosion⁹ und Massenexplosion¹⁰) sind eine Fülle von Modellen veröffentlicht. Gleichwohl stehen in Deutschland verbindliche Konventionen für alle Spezialfällen noch nicht zur Verfügung.

Zu 3:

Für die Ausbreitung von Gasen und Aerosolen stehen in der Praxis bewährte und kodifizierte Ausbreitungsmodelle¹¹ zur Verfügung.

Die Ausbreitung in Oberflächengewässern (Fließgewässer) kann nach dem Rheinalarmmodell Ver 2.1 simuliert werden¹².

Zu 4:

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

Wärmestrahlung

Angaben zur Reichweite der durch Wärmestrahlung ausgelösten Belastung in [KJ·sec/m²]. 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 [hPa/m²], 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.

Bei

- inhalativer Wirkung Angabe der Spitzenkonzentrationen in [mg/m³] und/oder der Dosis in [mg·min/m³],
- Depositionen auf Oberflächengewässer, Böden, Gebäuden, etc. in [mg/m²],

⁵ Sicherheitsanalyse eines Pflanzenschutzmittellagers, TÜV v. Bayern, UBA-Texte 39/90

⁶ 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

⁷ Yellow Book, aaO. Part II, Kap. 5

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

⁹ Vergl. VDI 2263, VDI 3673

¹⁰ Vergl. SprengG v. 17.4.1986, 2. SprengV v. 5.9.1989

¹¹ VDI 3783, Blatt 1+2

¹² Informationen über das Rheinalarmmodell können bezogen werden über: KHR-Sekretariat, Postfach 17, NL-8200 AA Lelystad, Tel. +31 3200 70432

- Kontamination von Gewässern in [mg/l] oder der kontaminierten Menge¹³.

Es sind geeignete Stufungen in Abhängigkeit von den Wirkkonzentrationen für z.B.

- schwere(tödliche)- und leichte Gesundheitsgefährdung, Belästigung von Menschen, Tieren,
- Gefährdung der Umweltmedien,
- Schädigung von Kulturgütern.

Die ISO-Kurven sind bei Ausbreitung über den Luftpfad für die ungünstigste und mittlere Wetterlage in Form von „Ausbreitungskeulen“ anzugeben.

Trümmerwurf

Neben der Emission von Druckwellen und Erschütterungen durch CVE, Staub- und Massenexplosionen sind die Möglichkeit des Trümmerwurfes zu beachten. Der Bericht des TAA¹⁴ zu "Explosionsfähige Staub-Luftgemische und Störfall-Verordnung" gibt hierzu Hinweise.

Ebenso sind die einschlägigen Vorgaben der 2.SprengV¹⁵ zu beachten.

4 Das Konzept der Störfallkommission

Die Planungen erfolgen grundsätzlich auf der Grundlage angenommener Störfallverläufe (Störfallablaufszenarien). Dabei hat sich in der Praxis die Festlegung dieser konkreten Ereignisse als schwierig herausgestellt. Um in der großen Variationsbreite zwischen katastrophalen- und Bagatell-Ereignissen zu vernünftige Annahmen zu kommen wurde von der Störfallkommission¹⁶ folgende Vorgehensweise vorgeschlagen. Folgende Fälle sind zu unterscheiden:

1. Vernünftigerweise nicht auszuschließende Störfälle ("*Auslegungs-Störfälle*" **Typ SA**), die im Rahmen der Sicherheitsanalyse beschrieben werden.
2. Vernünftigerweise auszuschließende Störfälle, zu deren Auswirkungsbegrenzung anlagenbezogene Vorkehrungen und spezielle Gefahrenabwehrmaßnahmen getroffen werden („*Dennoch-Störfälle*“, **Typ DS**).
3. „Vernünftigerweise auszuschließende Störfälle“ zu deren Begrenzung nur allgemeine Gefahrenabwehrmaßnahmen getroffen werden („*Worst-Case-Störfälle*“).

Grundsätzlich sind die Übergänge zwischen den Fällen fließend, aus pragmatischen Gründen werden Kernbereiche festgelegt. Die verschiedenen Störfalltypen können innerhalb eines allgemein gültigen Schemas¹⁷ (*Bild 2*) dargestellt werden.

Für jeden Fall kann eine untere und obere Grenze zugeordnet werden:

1. **Typ SA** hat seine *untere Grenze* in der Menge, die zu einer unzulässigen Überschreitung von Belastungswerten des Arbeitsschutzes führen, z.B. MAK-

¹³ Bestimmung der kontaminierten Menge (m_k) nach EU-Vorschlag einer Störfallschwereskala: $m_k = m/LC_{50}$ mit m der Menge des ausgelaufenen Stoffes, LC_{50} der toxischen Konzentration für ausgewählte Wasserorganismen.

¹⁴ TAA-Bericht "Leitfaden Explosionsfähige Staub/Luft-Gemische und Störfall-Verordnung", Teil II, TAA 1995

¹⁵ aaO

¹⁶ Störfallkommission, SFK-GS-26 »Schadensbegrenzung bei Dennoch-Störfällen - Empfehlungen für Kriterien zur Abgrenzung von Dennoch-Störfällen und für Vorkehrungen zur Begrenzung ihrer Auswirkungen« Stand Oktober 1999

¹⁷ Die Auswirkungsbetrachtungen sind hier für den Luft-Pfad dargelegt, analoge Betrachtungen können für den Wasser- und Bodenpfad, ebenso für Explosions- und Brandwirkungen angestellt werden.

- Wert¹⁸. Der *obere Grenze* wird durch die Menge M_{SA} festgelegt, die zur Überschreitung z.B. des AEGL-2¹⁹ Wertes an der Betriebsgrenze führt.
2. **Typ DS** hat seine *untere Grenze* in der kritische Menge M_K , die zu einer unzulässigen Überschreitung von Belastungswerten²⁰ (z.B. AEGL-2 Wert) am kritischen Aufpunkt, z.B. der nächstgelegenen Wohnbebauung führt²¹. Die *obere Grenze* wird durch die „größte zusammenhängende Menge“²² M_{GZM} bestimmt.
 3. Der „Worst-Case-Störfall“ hat seine *untere Grenze* in der M_{GZM} , er schließt an den oberen Grenzbereich von Typ DS an. Der *obere Grenzbereich* wird durch das gesamte Inventar der Anlage M_i , ggf des Betriebs (mögliche Domino-Effekte sind hierbei zu berücksichtigen) festgelegt. Dieser Störfalltyp wird für die Gefahrenabwehrplanung i.A. nicht weiter betrachtet.

Die Bereiche werden durch das Erreichen bestimmter Immissionskonzentrationen einerseits und der Festlegung von bestimmten Mengen in der Anlage andererseits festgelegt (s. *Bild 2*) und in Form einer Quellrate (QR) ausgedrückt. Der Massenfluß der Quellrate wird durch anlagenbezogene störfallbegrenzende Maßnahmen abgemildert zu einem korrespondierenden Quellterm (QT). Mit diesem Quellterm wird die Ausbreitungsrechnung unter Berücksichtigung der spezifischen Umgebung durchgeführt. Es ergibt sich die korrespondierende Immissionskonzentration.

Bestimmung der Quellrate / Menge

Die kritische Quellrate QR_K wird durch Rückrechnung aus der zulässigen Immissionskonzentration AEGL-2 vom kritischen Aufpunkt bestimmt (*Bild 3*). Dabei ergibt sich zunächst die Quellrate QR_K' und daraus unter Berücksichtigung der Wirksamkeit der anlagenbezogenen Maßnahmen zur Begrenzung der Störfallauswirkungen der Quellterm QT_K' . Die kritische Quellrate QR_K , die unter Berücksichtigung der störfallbegrenzenden Maßnahmen am kritischen Aufpunkt zur Immissionskonzentration AEGL-2 führt, wird durch graphische Parallelverschiebung bestimmt. Das Verfahren zeigt *Bild 3*. Es wird davon ausgegangen, daß der Beitrag der störfallbegrenzenden Maßnahmen zur Abschwächung im Bereich $QR_K > QR > QR_K'$ linear ist. Der kritischen Quellrate QR_K wird nach *Bild 2* die kritische Menge M_K zugeordnet.

¹⁸ MAK Maximale Arbeitsplatzkonzentration, die über 8 h ohne negative Auswirkungen ertragen werden kann.

¹⁹ Acute Exposure Guideline Limit, AEGL-2 ist die luftgetragene Stoffkonzentration, ab der die allgemeine Bevölkerung, inklusive empfindliche, aber exklusiv hyperempfindliche Individuen, irreversible oder andere schwerwiegende langandauernde Schädigungen oder eingeschränkte Fluchtmöglichkeit erleiden können. Luftgetragene Stoffkonzentrationen unterhalb des AEGL-2-Wertes, aber oberhalb des AEGL-1-Wertes repräsentieren Expositionsschwellen, die spürbares Unwohlsein hervorrufen können.

²⁰ Bei Nichtverfügbarkeit von AEGL-Werten sind auch andere Toleranzwerte wie IDLH, ERPG, LD/LC, etc. in dem Modell anwendbar.

²¹ „Störfallsschwelle“ i.S. des § 2 Abs. 1 Störfall-Verordnung, d.h. eine „ernste Gefahr“ liegt vor.

²² Vergl. Anhang 5, 3. StörfallVwV

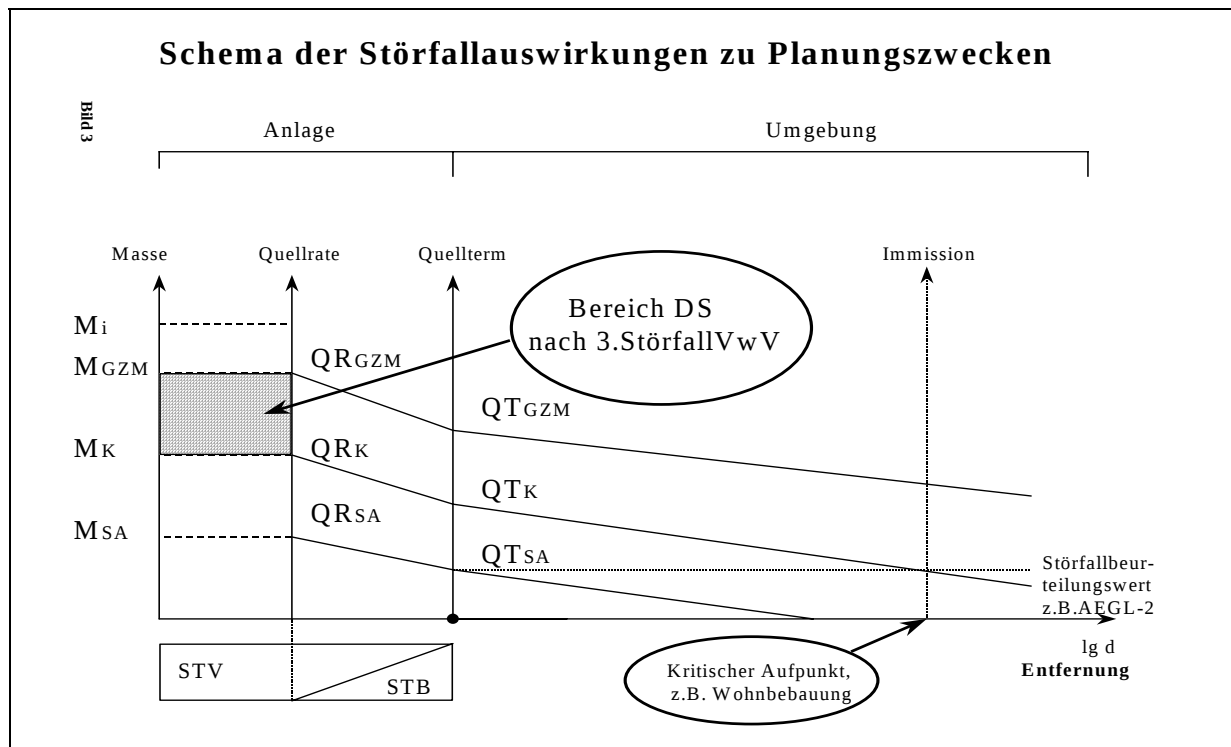


Bild 2 Schematische Darstellung der Quellterme bei Störfallablaufszenarien

M_i = Masse des Inventars, M_{GZM} = größte zusammenhängende Menge, M_K = Kritische Masse M_{SA} = Masse aus SA, QR = Quellrate, QT = Quellterm, DS = "Dennoch-Störfall", SA = "Sicherheitsanalyse", AEGL = Acute Exposure Guideline Limit, STV = Störfallverhindernde Maßnahmen, STB = Störfallbegrenzende Maßnahmen

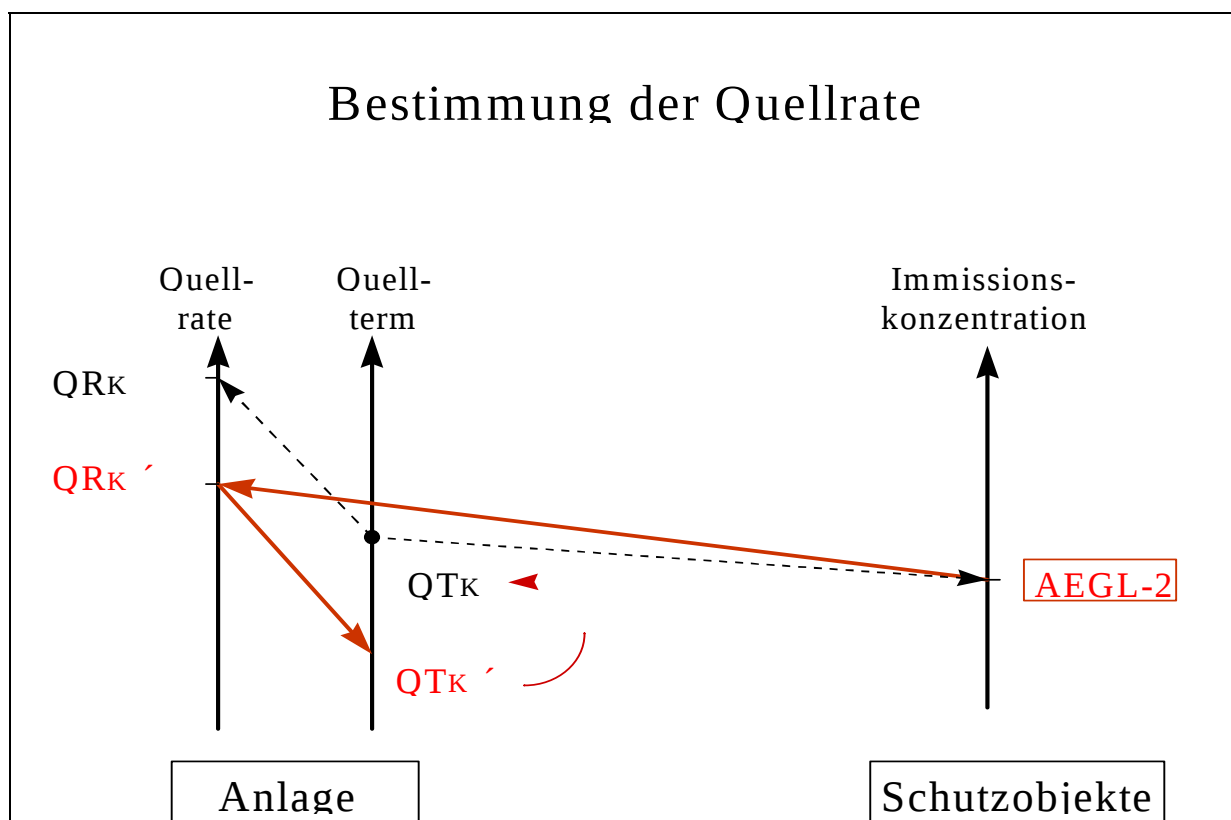


Bild 3 Bestimmung der kritischen Quellrate QR_K durch Rückrechnung der Immissionskonzentration AEGL-2
QR = Quellrate, QT = Quellterm, K = "Dennoch-Störfall", AEGL = Acute Exposure Guideline Limit

Fazit für die Gefahrenabwehrplanung

Der Bereich der Gefahrenabwehrplanung erstreckt sich grundsätzlich von der Anlage bis zu dem Aufpunkt, an dem der AEGL-2-Wert für den oberen Grenzbereich des Störfalls Typ DS gerade unterschritten wird. Abhängig von den durch Ausbreitungsrechnung zu ermittelnden Konzentrationsverläufen zwischen dem Aufpunkt des unteren Grenzbereiches z.B. Beginn der Wohnbebauung und dem Aufpunkt des oberen Grenzbereichs werden abgestufte Gefahrenabwehrmaßnahmen vorgesehen.

Anwendung des Konzepts für die Betrachtung von Domino-Effekten

Nach einer Empfehlung des LAI soll zur Bestimmung der Möglichkeit eines Domino-Effekts²³ insbesondere berücksichtigt werden:

- die Bedingungen des Standortes des(r) Betriebsbereiche(s),
- der Abstand zwischen den Betriebsbereichen und
- das stoffliche Gefahrenpotential.

Bei der Beurteilung, ob die Gefährdung durch einen Domino-Effekt ausgeschlossen werden kann, wird schrittweise vorgegangen:

1. Auf der Grundlage der nach § 7 Störfall-Verordnung erhaltenen Informationen legt die zuständige Behörde fest, dass ein Domino-Effekt offensichtlich nicht ausgeschlossen werden kann bei:
 - Betriebsbereichen mit **erweiterten Pflichten**, deren Abstand zwischen den zugewandten Betriebsgrenzen kleiner als **500 m** ist oder bei
 - Betriebsbereichen mit **Grundpflichten**, deren Abstand zwischen den zugewandten Betriebsgrenzen kleiner als **200 m** ist.
2. Der endgültige Ausschluß des Vorliegens einer erhöhten Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von Störfällen bleibt einer **Einzelfallbetrachtung** vorbehalten. Die Beurteilung des Domino-Effekts erfolgt dabei durch szenarische Betrachtungen der Auswirkungen innerhalb der Anlage (Arbeitsschutz) und der Umgebung (Nachbarschaft und Umwelt)²⁴.

Das Abschätzungsverfahren geht von folgenden Voraussetzungen aus:

- Als DE kommen Wechselwirkungen zwischen benachbarten oder durch gemeinsame Einrichtungen verbundene Betriebsbereiche in Betracht. Es wird zwischen einer den Störfall verursachenden Anlage oder Tätigkeit (*Donator*) in einem Betriebsbereich und den hierdurch betroffenen anderen Betriebsbereichen (*Akzeptor*) unterschieden.
- Ein Ereignis, welches einen DE in einem Donator-Betrieb auslösen kann, ist in der Regel als Freisetzung, Brand oder Explosion der größten **zusammenhängenden Menge (GZM)** definiert. Dabei sind die zur Begrenzung der Störfallauswirkungen vorgesehenen Maßnahmen zu berücksichtigen.

²³ Mit der Vorschrift nach Art. 8 der Seveso II Richtlinie zur Betrachtung eines Domino-Effekts zwischen Betrieben wird die so genannte 500-m-Regel der alten Seveso-I-Richtlinie zu Gunsten einer grundsätzlichen Einzelfallentscheidung ersetzt. Dabei ist die zuständige Behörde verpflichtet aufgrund der ihr vom Betreiber vorgelegten Informationen zu entscheiden, ob bei einem Betriebsbereich oder einer Gruppe von Betriebsbereichen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von Störfällen bestehen kann oder die Auswirkungen von Störfällen verstärkt werden können.

²⁴ Art. 8 der Seveso-II-Richtlinie wird dahingehend interpretiert, dass unter dem Geltungsbereich nur Betriebe mit unterschiedlichen Betreibern zu verstehen sind (externer Domino-Effekt). Die internen Wechselwirkungen von Anlagen innerhalb eines Betriebsbereiches sind im Rahmen des »Konzepts zur Verhinderung von Störfällen« oder im »Sicherheitsbericht« als »Gefahren durch benachbarte Anlagen« zu behandeln. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Wechselwirkung über den Raum oder über gemeinsame Versorgungsstrukturen, z. B. Rohrleitungen, Förderer, stattfindet.

- Der Akzeptor-Betrieb muss grundsätzlich durch Vorsorgemaßnahmen sicherstellen, dass die Einwirkungen weder zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von Störfällen, noch zur Verstärkung der Auswirkungen von Störfällen führt. Dies setzt die hinreichend genaue Kenntnis der zu erwartenden Belastung durch den Nachbarbetrieb voraus. Diese sind aus der szenarischen Annahme des Donator-Betriebs zu ermitteln.
- DE-relevante Gefährdungsarten können sein:
 - im Nahbereich: Toxizität²⁵, Druckwelle, Trümmerflug, Wärmeeintrag (durch Strahlung oder über Medien), Brandausweitung, Chemische Einwirkung
 - im Fernbereich: Toxizität, Trümmerflug

Mit Abstand die meisten Fälle, in denen ein DE beobachtet wurde beziehen sich auf die Folgewirkungen von Explosionen (Druckwelle, Trümmerflug) und Bränden (Wärmestrahlung). Als Belastungstoleranzwerte werden angegeben²⁶:

- **Brand:** Wärmestrahlung über 5,0 kW/m²
- **Explosion:** Überdruck von 120 mbar

Werden diese Werte überschritten ist ein DE nicht mehr auszuschließen und muss in der Regel genauer untersucht und beschrieben werden.

Bestimmung von Sicherheitsabständen im Rahmen der Bauleitplanung

Damit in allen Mitgliedstaaten der Europäischen Union Wohngebiete, öffentlich genutzte Gebiete und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle bzw. besonders empfindliche Gebiete besser vor den Gefahren schwerer Unfälle (Störfälle) geschützt werden können, sieht die Seveso-II-RL in Artikel 12 besondere Regelungen zur "Überwachung der Ansiedlung" vor.

Die Anforderungen des Artikel 12 werden auf der Grundlage des Immissionsschutzrechts und des Bauplanungsrechts umgesetzt. Dabei sind im Rahmen der Bauleitplanung die Anforderungen des § 50 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) zu berücksichtigen. Die Seveso II Richtlinie fordert, dass langfristig zwischen den Betrieben und den Schutzobjekten ein "angemessener Abstand gewahrt bleibt".

Abstände zwischen Wohnbebauung und Industriegebieten können sowohl für Planungen "auf der grünen Wiese" als auch bei der Überplanung bereits bestehender Gebiete (Industriegebiete, Wohngebiete) erforderlich sein. Im ersten Fall wird eine vorsorgende Regelung angestrebt, im zweiten Fall sind in der Regel detaillierte Einzeluntersuchungen erforderlich, um den Mindestabstand zu ermitteln. Für die Einzelfallbetrachtung empfiehlt sich die Methode, vorsorgende Sicherheitsabstände im Sinne des § 3 Abs. 3 der StörfallVO zu ermitteln. Der Sicherheitsabstand soll die Auswirkungen von Störfällen "so gering wie möglich" halten und gilt als Maßnahme im Sinne des § 3 Abs. 3 StörfallVO.

Die Ermittlung "Angemessener Abstände" können für Anlagen, die der StörfallVO unterliegen, nach dem SFK-Verfahren ermittelt werden :

²⁵ Als toxische Belastung im Hinblick auf den DE sind indirekte Wirkungen, wie z. B. Verlust der Handlungsfähigkeit von Bedienpersonal denkbar, die bei der Auslegung von Akzeptor-Anlagen berücksichtigt werden müssen. Sie stellen einen Sonderfall dar. Grundsätzlich muß der Schutz von Beschäftigten in Nachbarbetrieben über die GAP sichergestellt werden. In diesem Rahmen sind auch die sicherheitsbedeutsamen Handlungen, z. B. Evakuierung von Leitwarten oder Bedienständen, abzusichern.

²⁶ Arbeitshilfen des StMLU zum Vollzug der Störfall-Verordnung in Bayern, Stand 27.09.2000, Veröffentlichung im INTERNET

- Für die Dimensionierung eines Sicherheitsabstandes muss ein Ereignis unterstellt werden, das einerseits vernünftigerweise auszuschließen ist, andererseits aber nicht jenseits jeder Erfahrung und Berechenbarkeit liegt ("*Dennoch-Störfall*")
- Der größte Auswirkungsradius aller in einem Betriebsbereich möglichen *Dennoch-Störfälle* sollte den Mindestabstand zwischen einem Betriebsbereich und einem Schutzobjekt darstellen.
- Der Mindestabstand wird für die Bauleitplanung in das Baulastenverzeichnis aufgenommen, d.h. im fraglichen Planungsbereich sind nur bestimmte Höchstmengen (GZM) für bestimmte Gefahrstoffe zulässig. Im Bauzulassungs- bzw. immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren ist von den Regelabständen auszugehen, es sei denn, dass im dann konkret planbaren Einzelfall geringere Abstände als zulässig ermittelt werden.

Gefahr durch eine Freisetzung von Brom aus einer Polyproduktionsanlage

I. Abgrenzung von Dennoch-Störfällen (untere Grenze)

I.1. Schritt: Auswahl des Störfallbeurteilungswertes

In einer Polyproduktionsanlage für anorganische Präparate wird u.a. Brom in größeren Mengen verwendet. Als Grenzwert wird der VCI-Störfallbeurteilungswert

$C_{s(\text{Brom})} = 3.56 \text{ mg/m}^3$ oder 0,5 ppm verwendet.

I.2. Schritt: Auswahl des Immissionsaufpunktes

Die Anlage liegt in einem Industriegebiet am Rande einer Kleinstadt. Die nächste Wohnbebauung ist 2000 m von der Anlage entfernt, in 1000 m Entfernung verläuft eine öffentliche Straße.

I.3. Schritt: Ermittlung des Quellterms

Ermittlung des Quellterms durch Rückrechnung unter Verwendung der VCI-Nomogramme für Brom. Es wird die ungünstigste Wetterlage mit:

- Ausbreitungsklasse 1, stabile Schichtung mit Inversion in 20 m Höhe
- Windgeschwindigkeit von $v = 1 \text{ m/sec}$
- Bezugsdosis für Brom ist 30 [ppm x min] (VCI- Störfallbeurteilungswert x 60 Minuten)

gewählt.

Die Abschätzung ergibt folgende Größenordnung für die Mengen, die zur Ausbreitung zur Verfügung stehen müssen um den Störfallbeurteilungswert am kritischen Aufpunkt gerade zu erreichen:

Entfernung zum kritischen Aufpunkt	1000 m	2000 m
Menge für die Ausbreitungsrechnung (Quelltermrelevante Menge)	90 kg	150 kg

I.4. und I.5. Schritt: Ermittlung der Quellrate und der kritischen Menge

Die Quellrate ermittelt sich aus dem Quellterm und den angenommenen Freisetzungsbedingungen. Das stoffspezifische Nomogramm ermöglichen Abschätzungen zur Freisetzung von Brom (in flüssiger Phase) mit anschließender Verdampfung bei 20 C und unterschiedlichen Zeiten. Es ergeben sich folgende Mengen für die Quellrate, die bei der Verdunstungsdauer t die quelltermrelevanten Mengen liefern:

Verdunstungsdauer t	Entfernung = 1000 m	Entfernung = 2000 m
Verdunstungsdauer von 1 h	200 kg	450 kg
Verdunstungsdauer von 15 min	2000 kg	4000 kg

Die kritische Menge Brom in der Anlage, die am kritischen Aufpunkt gerade zur einer Überschreitung des Störfallbeurteilungswertes führen kann, beträgt bei einer Verdunstungsdauer von 1 h: $M_k = 450 \text{ kg}$.

II. Abgrenzung von Dennoch-Störfällen (obere Grenze)

II.1. Schritt: Ermittlung der größten zusammenhängenden Menge GZM in der Anlage

Es wurde ein Destillationsapparat mit 250 kg Brom (Angabe aus der Sicherheitsanalyse) identifiziert.

II.2. Schritt: Berechnung des Quellterms aus der GZM

Durch eine Explosion wird das gesamte Brom im Produktionsraum (258 m³, 25 °C) fein verteilt und verdampft. Der Austritt erfolgt durch das von der Explosion aufgesprengte Eingangstor (5,4 m², Luftwechselfaktor 5/h).

- 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.

II.3. Schritt: Rechnung der Ausbreitung anhand spezifischer Bedingungen in der Anlage und der Umgebung

Ausbreitungsrechnung nach VDI 3783 mit der:

- ungünstigste Wetterlage (Ausbreitungsklasse 1, stabile Schichtung mit Inversion in 20 m Höhe, Windgeschwindigkeit $v = 1$ m/sec)
- mittlere Wetterlage (Ausbreitungsklasse 2 indifferente Schichtung ohne Inversion, Windgeschwindigkeit 3 m/sec)
- Zur Berücksichtigung der Umgebung des Freisetzungsortes (von Produktionsgebäuden eingeschlossene Werksstraße in Ausbreitungsrichtung) Umgebungsmodellierungen durch hohe Windparallele Schlucht (3,7m hoch, 4,2m breit) nach Ergänzungsblatt III zu VDI 3783-2

Ermittlung der Gefährdungsbereiche:

Ergebnis s. Bild 1 und 2. Bei den Planungen zur Gefahrenabwehr (Ermittlung der Gefährdungsbereiche) muß mit einer Überschreitung des Störfallbeurteilungswertes in Abständen bis ca. 4000 m bei ungünstigster Wetterlage bzw. mit ca. 1000 m bei mittlerer Wetterlage gerechnet werden.

Hinweis:

Die Ergebnisse der spezifischen Ausbreitungsrechnung ergeben weitere Abstände im Vergleich mit den unter Punkt I.3 verwendeten Nomogrammen. Dies liegt im wesentlichen an der unterschiedlichen Normierung auf die Bezugsdosis von 30 [ppm x min] (bei den Nomogrammen) und auf die Spitzenkonzentration von 0,5 ppm (bei den Ausbreitungsrechnungen). Ein weiterer Beitrag liefert die unterschiedliche Ausbreitungsart: Den Nomogrammen liegt ein dichteneutrales Ausbreitungsmodell zugrunde, die spezifische Betrachtung des o.g. Störfallablaufszenariums legt eine Schwergasausbreitung zugrunde. Dies hat insbesondere Auswirkung auf das Ausbreitungsverhalten im Nahbereich.

Freisetzung von Brom, ungünstigste Wetterlage

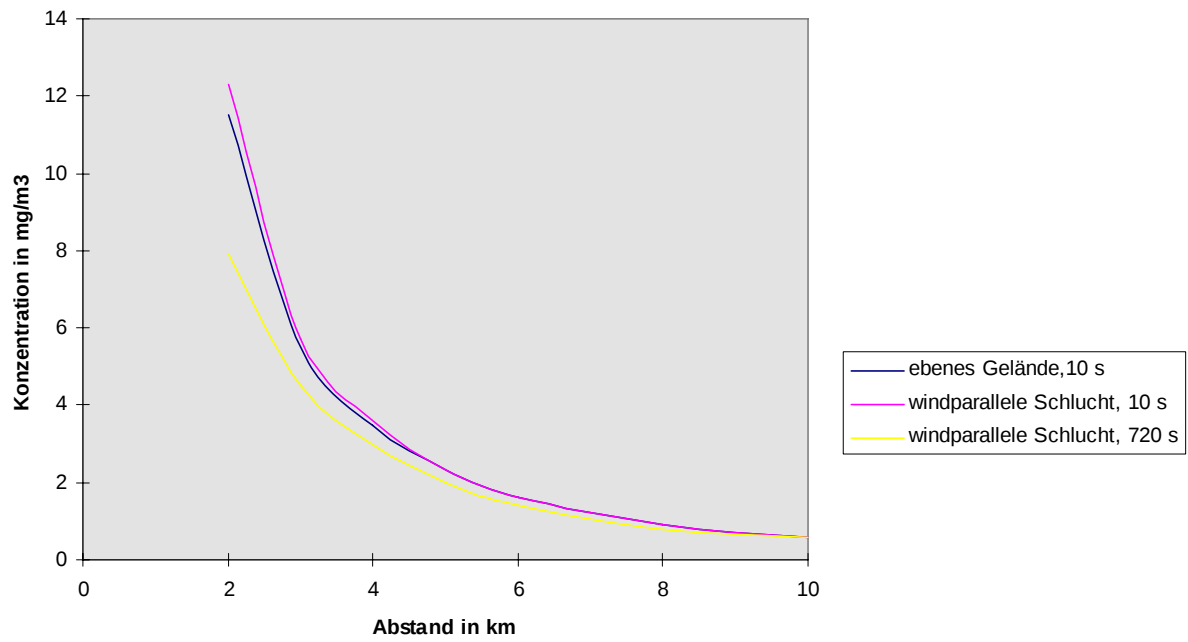


Bild 1

Freisetzung von Brom, mittlere Wetterlage

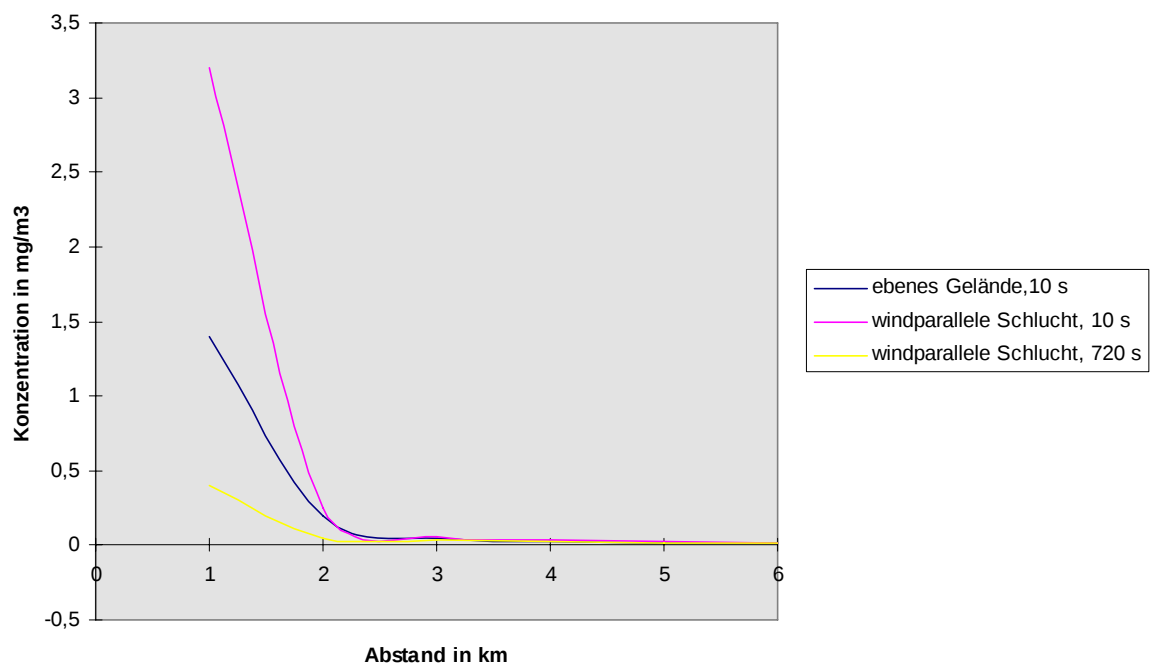


Bild 2