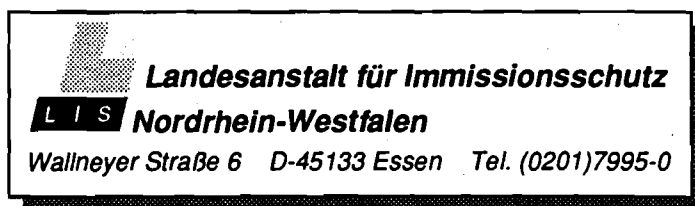


LIS-Berichte

Nr. 115

**Ermittlung des Gefährdungspotentiales
ereignisbezogener Stofffreisetzungen
unter dem Aspekt der Störfall-Verordnung**

Herausgeber



ISSN 0720-8499

1994

Landesanstalt für Immissionsschutz
Nordrhein-Westfalen
Bibliothek

100 % Altpapier, chlorfrei gebleicht

**Ermittlung des Gefährdungspotentials
ereignisbezogener Stofffreisetzungen unter dem
Aspekt der Störfall-Verordnung**

Steffen Delling, Sabine Limperich-Menzel und Armin Ertl

Inhalt	Seite
Zusammenfassung	7
Summary	7
1. Einführung	8
2. Abschätzung von Leckgrößen	9
2.1 Ansätze und Vorgehensweise zur Ermittlung von Leckgrößen	10
2.2 Konsequenzen für die Anlagentechnik	11
2.3 Störfallvorsorge	12
2.4 Mögliche Freisetzungsförmn	12
3. Konfigurierung eines Quellterms für die Ausbreitungsrechnung	12
4. Stofffreisetzung aus Flüssigkeitslachen	13
4.1 Verdampfung von druckverflüssigten bzw. kaltverflüssigten Gasen	14
4.1.1 Berechnung des spontan verdampfenden Flüssigkeitsanteils (Flashverdampfung)	14
4.1.2 Anteil durch Verdampfung aus der Lache	15
4.2 Verdunstung aus einer nicht siedenden Flüssigkeitslache	15
4.2.1 Übersicht über Berechnungsmöglichkeiten für den Verdampfungsmassenstrom	15
5. Ausbreitung von Gasen in der Atmosphäre	17
5.1 Ausbreitung schwerer Gase	17
5.1.1 Schwergasmodell VDI 3783, Blatt 2	17
5.1.2 DEGADIS-Modell	19
5.2 Leichtgasausbreitung	20
5.2.1 Leichtgasmodell VDI 3783, Blatt 1	20
6. Bewertung störfallbedingter Immissionen	22
6.1 Grenzwerte zur Bewertung zulässiger Konzentrationen/Dosen störungsbedingter Stofffreisetzungen - Übersicht und Anmerkungen zur Eignung -	23
7. Literatur	26

Ermittlung des Gefährdungspotentials ereignisbezogener Stofffreisetzungen unter dem Aspekt der Störfall-Verordnung

Steffen Delling, Sabine Limperich-Menzel, Armin Ertl

Zusammenfassung

Betreiber von Industrieanlagen müssen für die Errichtung und den Betrieb ihrer Anlage eine Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) beantragen. Industrieanlagen mit besonders hohem Gefahrenpotential unterliegen der 12. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (12. BImSchV oder Störfall-Verordnung). In der Störfall-Verordnung sind spezielle Anforderungen an diese Anlagen festgeschrieben. Eine Anforderung ist die Pflicht zur Erstellung einer Sicherheitsanalyse, in der u.a. eventuell von der Anlage ausgehende Gefahren sowie Gegenmaßnahmen geschildert werden müssen.

Zur Beschreibung der möglicherweise von der Anlage ausgehenden Gefahrenfälle müssen in der Sicherheitsanalyse "Störfallauswirkungsbetrachtungen" durchgeführt werden. Wie man diese Betrachtungen zweckmäßigerweise aufbauen kann, wird in diesem Bericht erläutert. Ausgehend von der Emission (Leckgröße, Leckrate, Lachenabdampfung) wird der Weg über die Transmission (Schwer-/Leichtgasausbreitung) bis zur Immission (toxikologische Bewertung störfallbedingter Expositionen) beschrieben.

Dieser Bericht soll u.a. zeigen, daß es zur Durchführung der Störfallauswirkungsbetrachtungen noch keine "normierte" Vorgehensweise gibt. Vielmehr ist eine Betrachtungsweise zu wählen, in der die Denk- und Rechenansätze sowie die Auswahl der Rechenmodelle möglichst genau an das Störfall-szenario angepaßt werden. Der Anwender muß sich ein Gefühl für die Fehlermöglichkeiten und -größenordnungen der einzelnen Betrachtungsschritte verschaffen. Dieser Bericht soll dabei eine Hilfestellung geben.

Summary

Determination of the hazardous potential of chemical substances' accidental releases in regarding the Störfall-Verordnung (chemical hazard directive)

The Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG, German air pollution control act) requires that plant-managers secure the approval to build and to run their chemical plants. Industrial sites with extremely hazardous potentials are liable to the Störfall-Verordnung (chemical hazard directive; 12th regulation of the air pollution control act, BImSchG). The Störfall-Verordnung makes special demands on the plants. One of these demands is the presentation of a safety analysis, describing possible hazards, which may occur in the plant, as well as actions to provide them.

In the safety analysis the effects of accidental releases have to be discussed. The report shows how this can be realized. The way of toxic substances is described from emission (leak-dimensions, flowrate, evaporation from a pool) to transmission (heavy gas/light gas dispersion) and finally to immission (assessment of toxic exposures).

This report shows that there is no standardized method to calculate the effects of accidental releases. It is to choose a way of consideration consisting of models for further discussions and calculation models near by the real disturbance scenario. The user has to procure himself a feeling about the possibilities of error and dimensions of error. This report can be used as an assistance calculating the effects of accidental releases.

Schlagwörter

Störfall, Stofffreisetzung, Leckgröße, Lachenabdampfung, Leichtgas, Schwergas

1. Einführung

In der Sicherheitsanalyse sind Angaben über die Auswirkungen zu machen, die sich aus einem Störfall ergeben können (vgl. § 7 Abs. 1 Nr. 5 Störfall-Verordnung). Ziel dieser vorausschauenden Betrachtungen ist es, die bei Schadensereignissen/Störfällen zu erwartenden Immissionen oder Belastungen zu bestimmen, um daraus gegebenenfalls notwendige Folgerungen für die Auslegung der Anlagen oder ergänzende organisatorische Maßnahmen zu ziehen bzw. eine Grundlage für die Beurteilung der Immissionseinwirkungen und damit für die Bewertung eines ausreichenden Gefahrenschutzes im Sinne vom § 5 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG zu erhalten. Wenn bei nicht ausschließbaren Ereignissen so hohe Immissionskonzentrationen ermittelt werden, daß eine ernste Gefahr besteht oder nicht auszuschließen ist, sind zusätzliche Vorkehrungen an der Anlage zu treffen. Die Wirkung dieser Maßnahmen kann durch eine erneute Ausbreitungsrechnung überprüft werden. Mit Hilfe dieses mehrfach durchführbaren Vorganges (iterativer Prozeß) kann die Schadstoffmenge ermittelt werden, bei deren Freisetzung unter den gegebenen örtlichen Verhältnissen eine ernste Gefahr vernünftigerweise ausgeschlossen werden kann. Aus diesem Nachweis ergibt sich, daß das Gefahrenpotential einer Anlage zwar theoretisch zu erheblichen Störfallauswirkungen führen könnte, die denkbaren Schadensfolgen jedoch infolge bestimmter und in ihrer Wirkung beschriebener Schutzvorkehrungen praktisch auszuschließen sind (vgl. hierzu Ziffer 3.2.7 der 2. StörfallVwV und Ziffer 7.5 der VwV Störfall-Verordnung NW).

Die Ausgangslage (Szenario), die den Auswirkungsbetrachtungen zugrunde zu legen ist, ist strittig und schwierig festzulegen. Die Möglichkeiten und Gründe, die zu einer Leckage mit einer freigesetzten Stoffmenge X führen können, sind außerordentlich vielfältig. Wie die Erfahrung zeigt, treten immer wieder Schadensereignisse mit störfallrelevanten Stofffreisetzungen in die Atmosphäre, den Boden oder in Gewässer sowie Brände und Explosionen auf. Es scheint deshalb nicht unrealistisch zu sein, die Frage nach dem "Szenario" mit dem Hinweis

auf solche Negativereignisse zu beantworten; dabei kann sowohl auf Erfahrungen aus der eigenen Anlage als auch aus fremden vergleichbaren Anlagen zurückgegriffen werden. Vor dem Hintergrund der Begriffe "Störfall" und "Ernste Gefahr" in der Störfall-Verordnung sind auch Ereignisse schwerwiegender Art den Betrachtungen zugrunde zu legen. Falls Stoffaustritt oder Energiefreisetzung als nicht denkbar oder nur in eingeschränkter Form als möglich erachtet wird (z.B. infolge besonderer sicherheitstechnischer Maßnahmen), muß dies eingehend und plausibel begründet werden.

Zweckmäßigerweise hält man bei der Durchführung der Auswirkungsbetrachtungen eine bestimmte Reihenfolge ein. Es sollte zuerst der Entstehungs- und Freisetzungspfad (Emission), danach der Ausbreitungspfad (Transmission) und schließlich der Bereich der Einwirkung (Immission) betrachtet werden. Alternativ besteht die Möglichkeit, zurückrechnend von den Beurteilungswerten (Immissionsseite) der einwirkenden Schadstoffe die Bedingungen (Emissionsseite) zu ermitteln, unter denen die Freisetzung von Schadstoffen noch Belastungen bis maximal in Höhe der Beurteilungswerte zur Folge hätte. Anschließend wäre zu prüfen, ob derartige Bedingungen als ausgeschlossen angesehen werden können.

Der Aufbau dieses Berichtes richtet sich nach der Betrachtungsweise "von der Emission zur Immission". Für die Vorgehensweise der Zurückrechnung, also "von der Immission zur Emission" ist dieser Bericht grundsätzlich ebenfalls anwendbar. Wichtig bei der Rückwärtsrechnung ist eine plausible und nachvollziehbare Begründung für den Ausschluß des Szenarios, welches zu Emissionen geführt hat, die in einem nicht sicheren Zustand enden.

Die Vorgehensweise bei der Durchführung von Auswirkungsbetrachtungen läßt sich wie folgt unterteilen:

- Abschätzung von Leckgrößen
- Konfigurierung eines Quellterms (Spontanverdampfung, Stofffreisetzung aus Flüssigkeitslachen)

- Gasausbreitung (schwere/leichte Gase)
- Bewertung störfallbedingter Immissionen.

2. Abschätzung von Leckgrößen

Hinsichtlich der freisetzbaren Stoffmenge ist grundsätzlich zunächst vom Austritt der gesamten in einer Anlage oder einem Anlageteil vorhandenen Menge in einer bestimmten Zeiteinheit auszugehen. Wird von geringeren Mengen ausgegangen, ist dies plausibel zu begründen. In der Regel ist durch entsprechende sicherheitstechnische Maßnahmen o.g. Szenario auf das Austreten einer Teilmenge zu reduzieren. Ein Ansatz zur Ermittlung dieser Teilmenge kann die Annahme einer Leckage in einem Anlageteil sein. Aus der Größe dieser Leckage ergeben sich häufig eine Reihe sicherheitstechnischer Maßnahmen, deren Kosten in der Regel im Verhältnis zur Leckgröße steigen. Aus diesem Grunde werden die getroffenen Annahmen zur Größe des Lecks und der sich daraus ergebenden Leckrate sehr häufig und kontrovers diskutiert. Um möglichst exakte und realistische Annahmen bei der Ermittlung einer Leckgröße zu treffen, müsste jeweils eine Einzelfallbetrachtung durchgeführt werden. Diese Einzelfallbetrachtung müsste anlagenspezifisch bzw. anlagenteilspezifisch durchgeführt werden. Zuerst sollte eine vernünftigerweise nicht auszuschließende Leckage betrachtet werden. Bei der Annahme des Schadensfalles, der zur Leckage führt, können z.B. die Ergebnisse aus Schadenshandbüchern der Sachversicherer [1] sowie Erkenntnisse aus realen Ereignissen aus der eigenen Anlage als auch aus fremden vergleichbaren Anlagen zugrunde gelegt werden.

Grundsätzlich läßt sich eine Einteilung in quantifizierbare und nicht quantifizierbare Leckagen vornehmen. Denkbare Ereignisse, die eine Leckage mit Stofffreisetzung nach sich ziehen können, sind z.B.:

- a) Beispiele für quantifizierbare Leckagen
 - a1) Schlauchabriß bei Umfüllvorgängen
 - a2) Abblasen größerer Mengen über Sicherheitsventil
 - a3) Freisetzung über Berstscheibe
 - a4) Überfüllen/Auslaufen eines Behälters in eine Tanktasse
 - a5) Leck durch Herausfliegen eines Dichtungssegmentes zwischen zwei Flanschen

- a6) Ausfall der Abgaskondensation/Abgasreinigung
- b) Beispiele für nicht quantifizierbare Leckagen
 - b1) Riß an der Schweißnaht eines längsgeschweißten Rohres
 - b2) Leckage an einer Pumpe mit einfachwirkender Gleitringdichtung
 - b3) Riß in der Wand eines Kompensators
 - b4) Riß in einer Rohrleitung/Flanschverbindung durch Druckstoß
 - b5) Allg.: Risse in Schweißnähten bzw in der Wärmeeinflußzone (WEZ) oder im Grundmaterial (interkristalline Korrosion, Lochfraß, Schwingungsrisse)
 - b6) Leck in einem Rohrkrümmer (durch abrasives Medium entstanden)
 - b7) Riß in der Wand einer Rohrleitung oder eines Behälters
 - b8) Aufreißen eines Schlauchanschlusses am Verbindungsstück
 - b9) Verschütten

Bei den quantifizierbaren Leckagen läßt sich in der Regel eine definierte Leckgröße angeben. Bei den nicht quantifizierbaren Leckagen ist die Angabe einer genauen Leckgröße schwierig. Es bietet sich einerseits die Möglichkeit einer konservativen Abschätzung "nach oben", andererseits kann man auf Erfahrungswerte zurückgreifen. Mit der Abschätzung nach oben lassen sich leicht "Horrorszenarien" konstruieren. Man denke z.B. an die Annahme: Aufplatzen (in Längsrichtung) einer chlorführenden Leitung!

Der "Wahrheit" am nächsten käme die Auswertung realer Ereignisse. Es müßte allerdings eine ausreichend große Anzahl entsprechender Ereignisse ausgewertet werden, um halbwegs zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Für Risse in Rohrleitungen, Kompensatoren, Behältern und Apparaten ist die Angabe definierter Leckgrößen besonders problematisch.

Im folgenden Bild 1 sind einige in der Literatur veröffentlichten Verfahren bzw. Erfahrungen bezüglich der Größenordnungen von Leckagen zusammengestellt. Erläuterungen zu diesem Bild folgen auf den nächsten Seiten.

Autor	Leckgröße (mm ²)	Bemerkungen
Prof. Dr. Strohmeier	2 - 100	gerechnet
Prof. Dr. Brötz	6 - 900	$A=0,01 \cdot D^2$ pauschale Angabe (DN80 - DN300)
Prof. Dr. Friedel/Westphal	1 - 100	Erfahrungswerte L = 10 - 100 mm b = 0,1 - 1 mm
Rhein-Westf. TÜV Essen	keine Angabe	kreis-/ellipsenförmige Rißfläche => kleine rißförmige Öffnung
V. Kefer et. al KWU	6 - 14	reale Lecks, Biege-/Zugbeanspruchung
R. P. Collier et. al	0,01 - 7	reale Lecks

Bild 1: Ergebnisse der Untersuchungen zu Leckgrößen in Rohrleitungen bzw. Behältern

2.1 Ansätze und Vorgehensweisen zur Ermittlung von Leckgrößen

Das von *Brandl/Wiedemann/Strohmeier* [2] entwickelte Modell zum "Öffnungsquerschnitt von Lecks in druckbelasteten Komponenten" geht von folgenden Annahmen aus:

- Vor dem Totalversagen eines Bauteiles (z.B. völliger und plötzlicher Totalabriß bzw. -aufriß einer Rohrleitung) entsteht in dem belasteten Teil ein rißförmig ausgebildetes Leck. Dieses "Leck vor Bruch"-Verhalten ist ein Warnsignal für ein bevorstehendes Versagen. Ein sofortiges Bauteilversagen ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen. Ein vollständiges spontanes Bauteilversagen, also z.B. ein Vollabriß, kann vernünftigerweise ausgeschlossen werden, wenn eine sachgerechte Fertigung und Qualitätssicherung gewährleistet ist.
- Als Modell des Bauteiles, in dem ein Riß entsteht, benutzen die Autoren eine Zylinder-Stutzen-Verbindung. Es wurde nachgewiesen, daß die Stutzeninnenkante die höchstbeanspruchte Stelle ist.
- In Versuchen unter Druckbeaufschlagung wurde ermittelt, daß die Maximalbeanspruchung an der Stutzeninnenkante liegt. Nach Anbringen einer 1 mm tiefen Rißstarterkerbe zeigt sich, daß der Riß senkrecht zur Tangentialspannung wächst und schließlich die Wand durchdringt.
- Das von den Autoren entwickelte Rechenmodell (Finite Elemente Analyse) basiert auf der Ermittlung der Änderung der potentiellen Gesamtenergie einer Struktur durch die Verformung bei Entstehen des Risses. Aus der Energiefreisetzungsrate G wird ein Spannungsintensitätsfaktor K_I ermittelt, der mit Hilfe von Diagrammen die Ermittlung der Leckgröße A ermöglicht.

Dieses Verfahren ist relativ aufwendig und somit für eine schnelle pragmatische Abschätzung nicht geeignet.

Brötz [3] dagegen geht in seinem "Gutachten zur Sicherheitstechnik NRW" von der Annahme aus, daß ein Leck von der Länge des Rohrdurchmessers und der Breite von 1/100 des Rohrdurchmessers nicht ausgeschlossen werden kann.

Die unterschiedlichen Ergebnisse beider Ansätze sollen in einem Beispiel verdeutlicht werden.

Beispiel:

Stutzen $d = 400$ mm, $s = 20$ mm

Rohr $d = 100$ mm, $s = 10$ mm

Druck: 100 bar

Leckgröße nach "Strohmeier": $A_{Str} = 1,8$ mm²
(aus [2])

Leckgröße nach "Brötz": $A_{Br} = 100$ mm²

Zwischen beiden Ergebnissen liegt ca. der Faktor 55!

Weitere Untersuchungen von *Strohmeier* [7] führen zu dem Ergebnis, daß bei zylindrischen Behältern mit Durchmessern bis zu 2000 mm Leckgrößen bis ca. 100 mm² auftreten können. Bei pauschaler Anwendung der *Brötz'schen* Theorie würde man bei diesen Dimensionen auf 40000 mm² kommen.

Hier wird deutlich, daß bezüglich der Leckgrößenannahme noch einiger Diskussionsbedarf besteht.

Friedel und *Westphal* [4] gehen in ihrem Bericht "Modelle für die Berechnung der Leckraten aus druckführenden Apparaten und Rohrleitungen" ebenfalls von einem "Leck vor Bruch"-Verhalten des Werkstoffes bzw. des Bauteiles aus. Die Entstehung dieser Risse wird mit herstellungsbedingt vorhandenen und nach einer zerstörungsfreien Werkstoffprüfung unerkannt gebliebenen Anrissen bzw. Materialfehlern begründet. Die Größe der Risse geben die Autoren mit einer Spaltweite von ca. 0,1 mm und einer Länge von ca. 50 mm an. Dies führt zu einer Leckgröße von ca. 5 mm². In einem weiteren Bericht gehen *Friedel* und *Westphal* [5] von Leckabmessungen mit 0,1 bis 1 mm Breite und 10 bis 100 mm Länge aus. Das ergibt Leckgrößen von ca. 5 mm² bis ca. 100 mm².

R.P. Collier und *V. Kefer* (KWU) gehen in Untersuchungen zur Rauigkeit der Rißwände [4],[6] bei realen Lecks (Zug-/Biegebeanspruchung) von Leckgrößen bis zu 14 mm² aus.

Eine für die Landesanstalt für Immissionsschutz (LIS) in Essen erstellte Studie des Rheinisch-Westfälischen Technischen Überwachungsvereines, Essen [8], schließt die Entstehung einer halbkreis- bzw. ellipsenförmigen Rißfläche für Risse von ca. 40 bis 50 mm Länge nicht aus. Das bestätigt die Annahme des "Leck vor Bruch"-Verhaltens, da der Rißquerschnitt nach der Öffnung erst klein sein wird. Eine Vergrößerung der Rißöffnung würde abhängig von der Anzahl der Lastwechsel verlaufen. In der Studie wird ein Grenzkriterium zum plötzlichen Versagen eines Behälters angegeben. Spontanes Bauteilversagen (Behälterbersten) wäre demnach erst bei sehr langen Rissen in der Behälterwand zu erwarten. Das wären, abhängig von Rißtiefe, Werkstoff und vorherrschender Spannung, Rißlängen von 400 - 500 mm an aufwärts. Spontanes Entstehen derartig langer Risse im bestimmungsgemäßen Betrieb ist praktisch auszuschließen. Ein Entstehen durch zyklischen Betrieb mit vielen Lastwechseln würde im Rahmen der wiederkehrenden inneren Prüfungen bemerkt werden.

Es wird deutlich, daß bezüglich der Leckgrößen sehr unterschiedliche Annahmen existieren. Diese Annahmen sind abhängig von der örtlichen Lage des Lecks, der Größe des Bauteils, der Betriebsweise des Bauteils und dem chemisch-physikalischen Vorgang, durch den das Leck entstanden ist.

2.2 Konsequenzen für die Anlagentechnik

Die Qualität der Bauausführung einer Anlage ist wesentliches Bestimmungskriterium für die Leckgröße. Hier ist die Einzelfallbetrachtung erforderlich. Für Komponenten in "einfacher Ausführung" läßt sich eine Leckgröße in der Größenordnung von ca. 200 mm² nicht ausschließen. Das entspräche z.B. einem Leck, das nach dem Herausfliegen eines Viertelsegments einer Weichstoffdichtung bei einer DN-150-Rohrleitung oder durch Aufplatzen einer nicht geprüften Rohrleitung entstehen könnte.

Beim Einsatz hochwertiger Qualität (bzw. dem stofflichen Gefährdungspotential entsprechender Sicherheitstechnik) in der Anlagentechnik kann die zu erwartende Leckgröße allerdings wesentlich minimiert werden. Beispiele für Ausführungen in hochwertiger Qualität wären z.B.:

- Flanschdichtungen mit metallischem Grundkörper
Der metallische Grundkörper dient der Stabilisierung der Dichtung. Damit ist das Herausfliegen eines Dichtungssegmentes, besonders bei druckbeaufschlagten Flanschverbindungen, vernünftigerweise auszuschließen. Die Anforderungen an die Bauart und Qualität der Dichtung von Flanschverbindungen steigen mit dem Gefahrenpotential des gehandhabten Stoffes.
- Magnettopfpumpen, Spaltrohrmotorpumpen
Bei diesen Pumpentypen sind betriebsmäßige Leckagen vernünftigerweise auszuschließen. Darüber hinaus genügen sie hohen Anforderungen in Hinsicht auf die Zuverlässigkeit. Große Leckagen durch Pumpendefekte sind im Rahmen der praktischen Vernunft auszuschließen. Bei der Festlegung des eingesetzten Pumpentyps ist das stoffbezogene Gefährdungspotential das bestimmende Kriterium.
- nahtlose Rohre
Bei längsgeschweißten Rohren ist das Aufreißen in axialer Richtung mit einer höheren Wahrscheinlichkeit anzunehmen als bei nahtlos gefertigten Rohren. Diese werden heute überwiegend eingesetzt.
- sicherheitsgerichtete MSR
Redundant bzw. diversitär ausgelegte MSR ist für sicherheitstechnisch bedeutsame Anlagenteile unerlässlich. Das Versagen einer MSR-Einrichtung der Über-

wachungsebene muß mindestens durch eine zweite Einrichtung kompensiert werden können. Die Qualitätsanforderungen an die MSR richten sich auch hier im wesentlichen nach dem stofflichen Gefahrenpotential.

- geeignete konstruktive Auslegung
- optimale Qualitätssicherung und -kontrolle
Auf die Maßnahmen der Anlagenplanung und Qualitätsüberwachung muß große Sorgfalt verwendet werden. Klare Zuständigkeitenregelungen vermeiden Mißverständnisse. Die Pflicht zur Erstellung einer sauberen Dokumentation mit klaren Vorgaben erleichtert nicht nur das Nachvollziehen einer geleisteten Arbeit, sondern motiviert gleichzeitig zur korrekten Ausführung der zu leistenden Arbeit.

Die o.g. Beispiele sind kein absolutes "Muß" für eine Anlage, die das Prädikat "hochwertige Qualität in der Ausführung" erhalten soll. Es muß vielmehr eine Einzelfallbetrachtung durchgeführt werden und dann eine dem Gefahrenpotential der Anlage entsprechende Bauausführung festgelegt werden. Das Gefahrenpotential der Anlage geht im wesentlichen vom gehandhabten Stoff aus. Für diesen Stoff muß eine geeignete, dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechende technische/organisatorische Maßnahme gewählt werden.

Führt die gründliche Analyse der Anlage zu dem Schluß, daß in sicherheitstechnischer Hinsicht alle dem stofflichen Gefährdungspotential entsprechenden Maßnahmen getroffen sind, so kann für die Auswirkungsbeurteilung mit einer Leckgröße von 10 - 30 mm² gerechnet werden. Diese Lecks können noch im Rahmen der praktischen Vernunft durch bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung unerkannt gebliebene Materialfehler entstehen.

Die folgende Aufstellung gibt einen Überblick über mögliche Größenordnungen von Leckagen in Abhängigkeit von der Anlagenqualität.

- Flansch, DN 150, Weichstoffdichtung
A ca. 200 mm²
- Pumpe mit einfachwirkender Gleitringdichtung (GRD)
A ca. 150 - 200 mm²
- Rohrleitung mit Schweißnähten, einfache Ausführung, keine QS nachgewiesen, wechselnd beansprucht
A ca. 200 mm²
- doppelwandiger Lagerbehälter mit Erddeckung, Optimale Qualitätssicherung (QS)
A --> 0 mm²
- Rohrleitung, qualitativ hochwertige Ausführung, teilweise zerstörungsfrei geprüft
A ca. 10 - 30 mm²

- Verladeschlauch, Verbindung: Schlauch/Anschlußstück aufgerissen
A \geq 200 mm² (max. Schlauchquerschnitt)
- doppelwandige Rohrleitung, hochwertig, mit zwei Flanschdichtungen, hochwertig, und lecküberwachtem Zwischenraum
A --> 0 mm²

2.3 Störfallvorsorge

Bisher wurden Ereignisse diskutiert, die im Rahmen der praktischen Vernunft nicht unbedingt auszuschließen sind. Über die Betrachtung einer vernünftigerweise nicht auszuschließenden Leckage hinaus ist in Sicherheitsanalysen zu beschreiben, ob ausreichend Vorsorge getroffen ist, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten. Diesem Vorsorgegedanken wird durch die Betrachtung eines "Dennoch-Szenariums" oder auch "worst-case-Szenariums" Rechnung getragen.

Durch das (gedankliche) Freisetzen z.B. einer einstellungsbedingt freisetzbaren Maximalmasse (Masse eines Wägeintervalles), Auslaufen eines Vorlagebehälters oder durch die Annahme eines großen Leckagemassenstromes (z.B. 5 oder 10 kg/s) kann ein "worst-case-Szenarium" gedanklich simuliert werden. Da dieses Szenarium vernünftigerweise auszuschließen ist, erübrigt sich der Versuch einer Begründung für die Ursache dieses Ereignisses. Hüten muß man sich davor, aus den Ergebnissen dieser Betrachtungen konkrete Forderungen an die Anlagentechnik abzuleiten. Diese Forderungen wären meistens nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand (z.B. Containment um die gesamte Anlage) erfüllbar.

Vielmehr sollte das "worst-case-Szenarium" Basis für die Beurteilung der Qualität der Vorsorgemaßnahmen sein. Es dient also als Hilfsmittel zu hinterfragen, ob bzgl. derartiger Szenarien zumindest ausreichende Vorsorgemaßnahmen getroffen sind. Diesbezügliche Vorsorgemaßnahmen (störfallbegrenzende Maßnahmen) wären z.B.: Werkfeuerwehr, Schulung der Belegschaft, Wasservorhänge, Ausbreitungshindernisse, Fluchtwege, Feuerlöscheinrichtungen, persönliche Schutzmittel, optische und akustische Warnmittel usw. Die Qualität und der Aufwand der Vorsorgemaßnahmen sind wesentlich vom Gefährdungspotential des gehandhabten Stoffes abhängig.

2.4 Mögliche Freisetzungsformen

Beim Austritt von Flüssigkeiten bzw. Gasen unterscheidet man zwischen den folgenden Freisetzungsformen:

- a) Ausfließen von Flüssigkeit aus einem Behälter, der nicht unter Druck steht
- b) Ausfließen von Flüssigkeit aus einem unter Druck stehenden Behälter
- c) Ausströmen von Gasen unterhalb der Schallgeschwindigkeit
- d) Ausströmen von Gasen mit Schallgeschwindigkeit
- e) Ausströmen von druckverflüssigten Gasen
 - Gasphase --> Hochgeschwindigkeitsgasstrahl
 - Flüssigphase --> 2-Phasen-Ausströmung
- f) Ausströmen von über den Siedepunkt erwärmten, unter Druck stehenden Flüssigkeiten

Für die Ermittlung der Leckagemassenströme wird auf die einschlägige Literatur bzw. Software z.B. [9], [10], [11] verwiesen

3. Konfigurierung eines Quellterms für die Ausbreitungsrechnung

Ob nach einer Stofffreisetzung eine Lachenabdampfung berechnet werden muß, oder ob direkt mit der Ermittlung des Ausbreitungsverhaltens mit einem Gasausbreitungsmodell begonnen werden kann, bedarf jeweils einer besonderen Überlegung. So ist z.B. zu unterscheiden, ob sich nach der Freisetzung eine Lache ausbilden kann oder ob der Stoff vollständig in Form einer Schwer- oder Leichtgaswolke (ohne Lachenbildung) abdriften wird. Findet eine Lachenbildung statt, so ist der Anteil der Abdampfung in Abhängigkeit von der Zeit zu berechnen. Gegebenenfalls muß ein spontan wegflashender Anteil berücksichtigt werden. Findet keine Lachenbildung statt, so kann direkt mit der Ermittlung des Ausbreitungsverhaltens begonnen werden.

Wichtig ist ebenfalls die Lage der Austrittsöffnung. So muß z.B. berücksichtigt werden, ob ein Austrittsstrahl senkrecht oder schräg nach oben gerichtet denkbar ist, oder ob die Austrittsrichtung parallel zum Erdboden bzw. direkt zum Erdboden gerichtet denkbar ist.

Weiterhin muß die Höhe des Freisetzungsortes berücksichtigt werden. Ein in z.B. 15 m Höhe austretendes Schwergas kann, zum Erdboden abgesunken, sein Schwergasverhalten schon verloren haben.

Diese Überlegungen sind in der Regel nicht mit exakten mathematisch, naturwissenschaftlichen Rechenmodellen berechenbar. In solchen Fällen muß eine ingenieurmäßig plausible Lösung durch sinnvolle Abschätzungen gesucht werden. Bei solchen Vorgehensweisen ist es allerdings wichtig, sich ein Bild über die Fehler bei der Abschätzung und deren Größenordnungen zu verschaffen. Annahmen sind "vernünftig konservativ" zu treffen.

4. Stofffreisetzung aus Flüssigkeitslachen

Kommt es infolge von Leckagen zur Freisetzung und Lachenbildung einer Flüssigkeit oder eines druck- bzw. kälteverflüssigten Gases so wird sich das Medium abhängig von der Form und Beschaffenheit des Untergrundes ausbreiten und langsam oder schneller verdampfen.

Der Verdampfungsvorgang ist ein instationärer Vorgang. Folgende Einflußgrößen und Parameter müssen berücksichtigt werden [12]:

- Freisetzungsart und zeitlicher Verlauf
- Topologie und Art des Untergrundes
- Physikalische Daten der Flüssigkeit (Siedetemperatur, Verdampfungsenthalpie, Molgewicht)
- Atmosphärische Bedingungen (Sonneneinstrahlung, Bodenrauhigkeit, Turbulenz, Windgeschwindigkeit)
- Struktur der Oberfläche (Schaum, Abdeckungen, Wellenbildung)

Treibende Kraft für die *Abdampfung von druck- bzw. kaltverflüssigtem Gas* ist die Wärmeaufnahme des Mediums aus der Umgebung (nach der Freisetzung).

Die Berechnung der Verdampfungsrate erfolgt mit Hilfe einer Energiebilanz um die Lache. Die bestimmenden Wärmeströme sind (Bild 2) [13]:

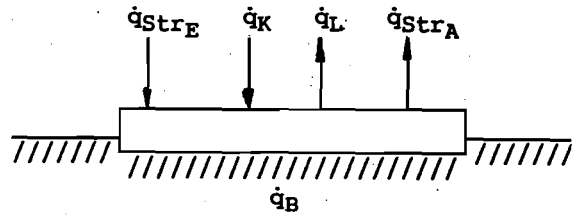


Bild 2: Wärmeströme bei der Verdampfung/Verdunstung aus offenen Flüssigkeitslachen

q_{Str} = Wärmestrom durch Strahlung (Ein- und Abstrahlung)

q_K = Wärmestrom durch Konvektion (bei Wind)

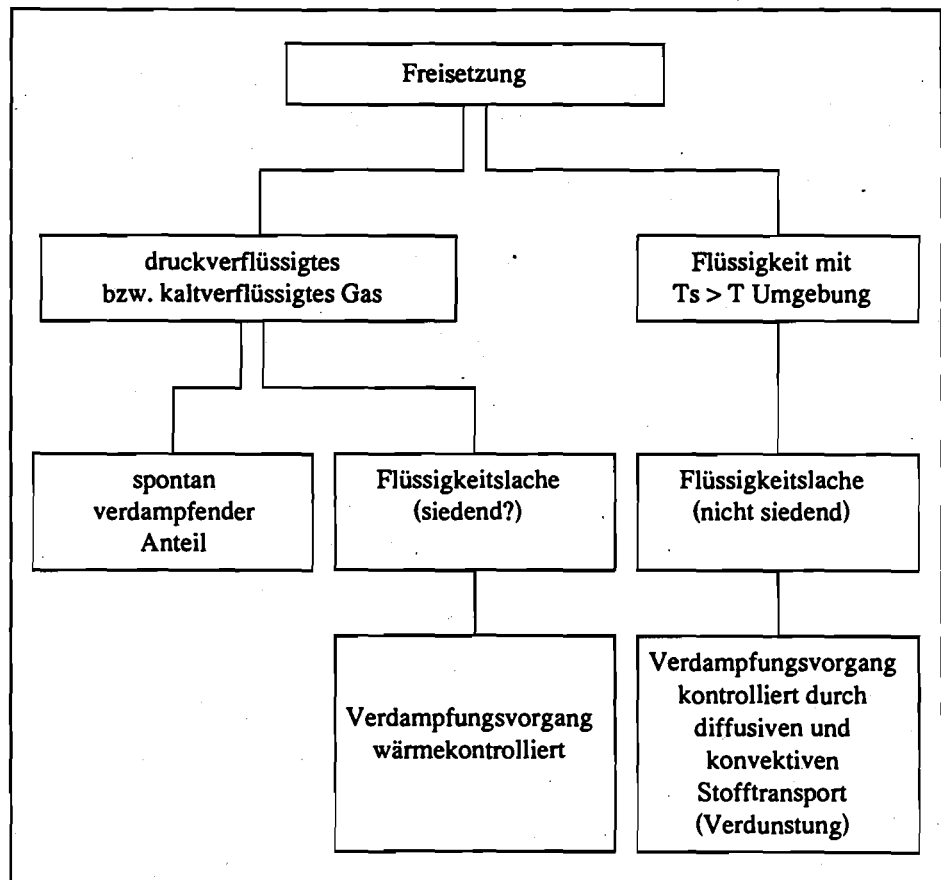
q_L = Wärmestrom durch Wärmeleitung (Lache an Luft)

q_B = Wärmestrom durch Wärmeübertrag aus dem Boden.

Auf weitere theoretische Grundlagen soll hier nicht eingegangen werden. Diese sind in der entsprechenden Fachliteratur nachzulesen.

Grundsätzlich muß unterschieden werden zwischen der Verdampfung von Flüssigkeiten, deren Siedepunkt über der Umgebungstemperatur liegt ("Verdunstung") und der Verdampfung von druck- bzw. kaltverflüssigten Gasen mit einem Siedepunkt unterhalb der Umgebungstemperatur (siehe Bild 3).

Bild 3: Übersicht über verschiedene Freisetzungsformen aus Lachen



Wesentlichen Einfluß auf den aus der Lache verdampfenden/verdunstenden Stoffstrom \dot{m} hat die Größe der Lachenoberfläche. In vielen Fällen ist die Ausbreitung der Lache durch äußere Hindernisse, wie z.B. Wände einer Tanktasse oder Aufkantungen, behindert und somit ist dann die Geometrie der Lache vorgegeben.

Bei unbehinderter Lachenausbreitung muß die Lachengröße für die jeweils herrschenden Randbedingungen errechnet werden. Die Flüssigkeit breitet sich unter Einwirkung der Schwerkraft durch unterschiedliche Schichthöhen und gehemmt durch Oberflächenkräfte und Bodenreibung aus, bis die Lache eine minimale Schichthöhe erreicht hat. Nach G. Opschoor [14] gilt für die minimale Höhe des Flüssigkeitsstandes bei unbegrenzter Lachenausbreitung:

Untergrund	$h_{L, \min}$
unebener, sandiger Boden	25 mm
ebener Sand, Kies	10 mm
Beton, Stein	5 mm

Aus bekanntem freigesetztem Stoffvolumen (V_{Stoff}) und bekannter Lachendicke $h_{L, \min}$ läßt sich nun die Lachenfläche (A_{Lache}) einfach errechnen:

$$A_{\text{Lache}} = \frac{V_{\text{Stoff}}}{h_{L, \min}} \quad (\text{Gl. 1})$$

4.1 Verdampfung von druckverflüssigten bzw. kaltverflüssigten Gasen

Der Verdampfungsvorgang von freigesetzten, unter Druck verflüssigten Gasen kann in die folgenden drei wesentlichen Schritte unterteilt werden:

1. Spontane Flash-Verdampfung eines bestimmten Anteils der Flüssigkeit und Abkühlung des verbleibenden Flüssigkeitsanteils auf Siedetemperatur bei Umgebungsdruck
2. Verdampfen der mitgerissenen Flüssigkeitstropfen infolge der Wärmezufuhr aus der umgebenden Luft.
3. Verdampfen der sich auf dem Boden ausbreitenden Flüssigkeitslache durch Wärmeleitung aus dem Boden, durch Sonneneinstrahlung und durch den Einfluß des Windes.

Bei Verdampfung von tiefkaltverflüssigten Gasen ist im wesentlichen nur der 3. Schritt zu beachten [12].

4.1.1 Berechnung des spontan verdampfenden Flüssigkeitsanteils (Flashverdampfung)

Unter den folgenden teilweise idealisierten Voraussetzungen:

- Siedetemperatur $T_{\text{sied}} < \text{Umgebungstemperatur } T_u$
- adiabatische Expansion
- die zur teilweisen Verdampfung der Flüssigkeit benötigte Wärmemenge wird ausschließlich der Flüssigkeit entzogen

ergibt sich aus der einfachen Energiebilanz für eine verdampfende Flüssigkeit:

$$dQ_{\text{Fl}}(T) = -dQ_{\text{Verdampfung}} \quad (\text{Gl. 2})$$

der spontan verdampfende Flüssigkeitsanteil zu:

$$m_{\text{Fl, verd.}} = m_{\text{Fl, ges.}} \left[1 - \exp \left[\frac{c_p}{h_v} (T_{\text{sied}} - T_{\text{Fl, 2}}) \right] \right] \quad (\text{Gl. 3})$$

Im Bild 4 ist der theoretisch berechnete flashverdampfende Anteil bei der Entspannung von verschiedenen druckverflüssigten Gasen graphisch dargestellt.

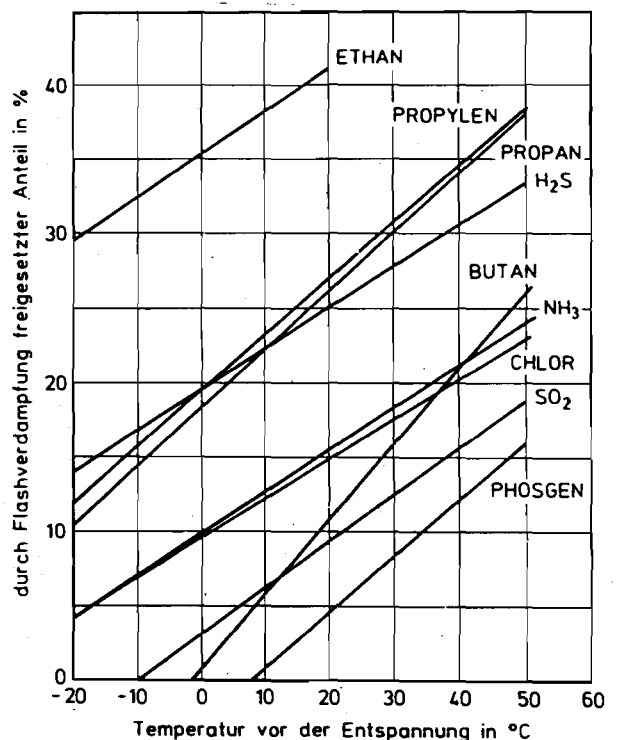


Bild 4: Entspannung von druckverflüssigten Gasen; durch Flashverdampfung freigesetzter Anteil (theoretisch) [15]

Das Mitreißen von Flüssigkeitströpfchen kann durch einen 50 %igen Aufschlag auf die spontan verdampfte Menge berücksichtigt werden [15]. Hierbei handelt es sich jedoch um eine grobe Abschätzung, durchgeführt aufgrund des Fehlens einer genaueren Methode.

Diesen theoretisch berechneten flashverdampfenden Flüssigkeitsanteilen liegen wenig praxisnahe Voraussetzungen zugrunde (plötzliches impulsfreies Freisetzen einer bestimmten Flüssigkeitsmenge). Sie sind daher kritisch zu betrachten.

Versuche von P. Wietfeldt, Beobachtungen bei der Freisetzung von unter Druck verflüssigtem Propan [16] durchzuführen zeigten, daß bei der Flüssiggasfreisetzung zwei grundlegende Phänomene zu unterscheiden sind. Die vom TÜV Norddeutschland e.V. durchgeführten Ausbreitungsversuche [16] mit Leckraten von 2 bis 36 kg/s aus der Flüssigphase ergaben:

- 1) für die *impulsbehaftete* Freisetzung aus runden und rißförmigen Lecks senkrecht nach oben und unten sowie parallel zum Erdboden nahezu keine Lachenbildung (Zerstäubung nach dem Austrittsquerschnitt),
- 2) für die *impulsfreie* Freisetzung eine relativ hohe Lachenbildung. Die vollständige Abdampfung aus der Lache dauerte Stunden.

4.1.2 Anteil durch Verdampfung aus der Lache

Zur Erstellung einer Berechnungsgleichung für die Verdampfungsrate wird eine Wärmebilanz um die Lache durchgeführt (siehe Bild 6):

$$\dot{m} = (\dot{q}_K + \dot{q}_B + \dot{q}_{Str})/h_v \quad (\text{Gl. 4})$$

Der Wärmestrom \dot{q}_B dient zur reinen Verdampfung der Flüssigkeit, so daß für den Fall eines undurchlässigen Untergrundes (z.B. Beton, Asphalt) die flächenspezifische Verdampfungsgeschwindigkeit sich wie folgt berechnen läßt [17]:

$$\dot{m} = \frac{s \cdot (T_B - T_{sied})}{h_v \sqrt{a \cdot \pi}} \cdot t^{-1/2} \quad (\text{Gl. 5})$$

- S : Wärmeleitfähigkeit des Bodens
- T_B : Bodentemperatur
- T_{sied} : Siedetemperatur
- h_v : Verdampfungsenthalpie
- a : Temperaturleitzahl des Bodens
- t : Zeit

Diese Gleichung wird auch von Brötz [3] zur Berechnung der Verdampfungsgeschwindigkeit tiefkalt verflüssigter Gase vorgeschlagen. Das Computerprogramm "EFFECTS" der TNO [9] enthält ein Teilprogramm, welches auf den oben beschriebenen theoretischen Grundlagen beruht. Es ermöglicht eine schnelle Berechnung der aus siedenden Flüssigkeitslachen abdampfenden Massenströme. Es berücksichtigt dabei auch den Einfluß der Beschaffenheit des Untergrundes.

4.2 Verdunstung aus einer nicht siedenden Flüssigkeitslache

Für die Verdampfung einer Flüssigkeit mit einem Siedepunkt oberhalb der Umgebungstemperatur ist die Dampfdiffusion infolge eines treibenden Dampfdruckgefälles zwischen der Flüssigkeitsoberfläche und der Umgebung die treibende Kraft.

Das folgende Bild 5 macht die Abhängigkeit des von einer Lache ausgehenden Emissionsmassenstromes vom Sättigungsdampfdruck p_D der Flüssigkeit bei Umgebungstemperatur sowie dessen Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit deutlich.

Es wurde jeweils eine 20-m²-Lache der folgenden Flüssigkeiten bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten betrachtet:

n-Pentan	: $p_D = 0,70$ bar
1-Hexen	: $p_D = 0,23$ bar
Dichlorethan	: $p_D = 0,095$ bar

4.2.1 Übersicht über Berechnungsmöglichkeiten für den Verdunstungsmassenstrom

Zur einfachen Abschätzung des aus einer Lache verdunstenden Massenstromes \dot{m} im Rahmen von Störfallauswirkungsbetrachtungen können z.B. die folgenden Berechnungsgleichungen und -programme herangezogen werden:

1. Berechnungsgleichung nach Brötz [3]:

Obergrenze für den Verdunstungsmassenstrom:

$$\dot{m} = A \cdot k \cdot p_D \cdot \frac{M}{22,4} \quad (\text{Gl. 6})$$

- mit \dot{m} = Verdunstungsmassenstrom (kg/h)
- A = Lachenfläche (m²)
- p_D = Dampfdruck der Flüssigkeit (bar)
- M = Molmasse (kg/kmol)
- k = Stoffübergangskoeffizient (m/h)

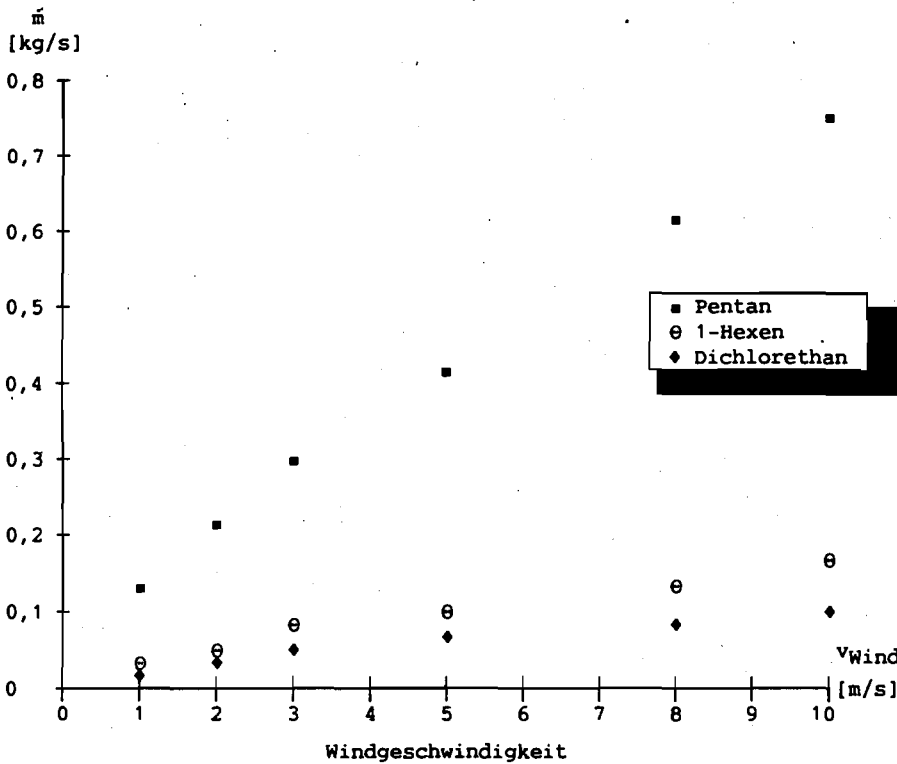


Bild 5: Abhängigkeit des Verdunstungsmassenstromes \dot{m} von der Windgeschwindigkeit v_{Wind} , Vergleich verschiedener Stoffe

Für den Stoffübergangskoeffizienten k ermittelte Brötz für die 3 hier beispielhaft ausgewählten Windgeschwindigkeiten die folgenden Werte:

Windgeschwindigkeit	k
0 (Windstille)	2 m/h
1 m/s	11 m/h
5 m/s	40 m/h

2. Berechnungsgleichung nach Lees [18]:

für rechteckige Lachen:

$$\dot{m} = 1,2 \cdot 10^{-10} \cdot v^{0,78} \cdot x^{0,89} \cdot y \cdot \left[\frac{M \cdot p_D}{T_{Fl}} \right] \quad (\text{Gl. 7})$$

für runde Lachen:

$$\dot{m} = 3,6 \cdot 10^{-10} \cdot v^{0,78} \cdot r^{1,89} \cdot \left[\frac{M \cdot p_D}{T_{Fl}} \right] \quad (\text{G. 8})$$

- mit
- \dot{m} = Verdunstungsmassenstrom (g/s)
 - M = Molmasse (g/mol)
 - p_D = Dampfdruck (dyn/cm² = 10⁻⁶ bar) (bei T_{Fl})
 - T_{Fl} = Flüssigkeitstemperatur (K)
 - v = Windgeschwindigkeit (cm/s)
 - x = Lachenabmessung in Windrichtung (cm)
 - y = Lachenabmessung quer zur Windrichtung (cm)
 - r = Lachenradius (cm)

3. Berechnung mit Hilfe des Computerprogrammes "EFFECTS"

Das Computerprogramm "EFFECTS" (Programm zur Berechnung von physikalischen Effekten bei der Freisetzung von gefährlichen Stoffen) der holländischen TNO [9] bietet ebenfalls die Möglichkeit zur Berechnung der Emissionsmassenströme bei der Verdunstung aus Flüssigkeitslachen. Grundlage der in diesem Modell verwendeten Berechnungsgleichungen sind Gleichungen für den einseitigen Stofftransport und die Theorie von Sutton [19] für den Stoffübergangskoeffizienten.

Vergleichsrechnungen für Flüssigkeiten mit verschiedenen Dampfdrücken zeigten, daß die Abschätzung nach Brötz die größten Emissionsmassenströme ergibt. Im Hinblick auf die Durchführung einer Störfallauswirkungsbetrachtung handelt es sich hierbei um eine konservative Abschätzung.

Die Unterschiede, die zwischen den nach Lees und mit "EFFECTS" errechneten Verdunstungsmassenströmen liegen, werden mit abnehmenden Dampfdruck der betrachteten Flüssigkeit geringer. Die mit "EFFECTS" berechneten Werte liegen jedoch für alle Beispiele über den nach Lees berechneten. Da die in "EFFECTS" verwendeten Berechnungsgleichungen im Vergleich mit experimentellen Werten vergleichbare oder höhere, d.h. konservativere Verdunstungsmassenströme liefern, liegt man bei Anwendung dieses oder vergleichbarer Modelle im Rahmen von Störfallauswirkungsbetrachtungen "auf der sicheren Seite".

5. Ausbreitung von Gasen in der Atmosphäre

Wegen der Vielfalt der bei einer Stoffausbreitung in der Atmosphäre möglichen Einflußgrößen ist eine annähernd exakte mathematische Berechnung des zu erwartenden Ausbreitungsverhaltens nur mit einem sehr großen Rechenaufwand möglich. Aus diesem Grunde müßte der häufig benutzte Ausdruck "Ausbreitungsrechnung" besser als "Ausbreitungsabschätzung" bezeichnet werden.

Grundsätzlich wird zwischen Schwer- und Leichtgasausbreitung unterschieden. Da die Ausbreitungsmechanismen beider Gase unterschiedlichen physikalisch/meteorologischen Bedingungen unterliegen, müssen jeweils entsprechende Berechnungsmodelle angewandt werden. Im folgenden sind einige wichtige Einflußgrößen auf das Ausbreitungsverhalten von Stoffen in der Atmosphäre genannt:

- Turbulenz der Atmosphäre
- Windgeschwindigkeit
- Wetterlage
- Temperaturschichtungen
- Struktur der Erdoberfläche (Bodentopographie)
- Gebäude, Hindernisse.
- Auftrieb durch Thermik (z.B. Brand).

5.1 Ausbreitung schwerer Gase

Als schwere Gase müssen alle Gase mit einer höheren Dichte als die Luftdichte betrachtet werden. Es handelt sich dabei überwiegend um Gase mit einem hohen Molekulargewicht, die häufig druckverflüssigt gelagert bzw. transportiert werden.

Das Ausbreitungsverhalten schwerer Gase in der Atmosphäre ist mit herkömmlichen Verfahren, wie sie für neutrale bis leichte Gase entwickelt worden sind, nicht berechenbar. Die wesentlichen Gründe dafür liegen in der Eigendynamik der Schwergaswolke sowie in der stark stabilen Schichtung (großer Dichtesprung am Wolkenrand) innerhalb der Wolke, die eine turbulente Vermischung mit der Umgebungsluft sehr erschweren.

5.1.1 Schwergasmodell VDI 3783, Blatt 2

Ein bei der Erstellung und Prüfung von Sicherheitsanalysen häufig angewandtes Schwergasausbreitungsmodell ist das Modell "VDI 3783, Blatt 2, Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse" [20].

Grundlage dieses Modells sind im Windkanal durchgeführte Versuche [21] mit dem Schwergas Schwefelhexa-

fluorid (SF_6 , Dichte $6,13 \text{ kg/m}^3$). Über eine Dimensionsanalyse wurden Modellgesetze abgeleitet, mit deren Hilfe die im Windkanal gewonnenen Ergebnisse auf reale Freisetzungen größeren Maßstabs übertragen werden können.

Das Modell berücksichtigt neben den Stoffeigenschaften und den Freisetzungsbedingungen auch das Ausbreitungsgebiet. In der Programmversion V4.00 können zur Zeit die folgenden Gebiete berücksichtigt werden:

- 1) Ebenes Gelände ohne Hindernisse
- 2) Hohe Windparallele Wand
- 3) Hohe Windparallele Schlucht
- 4) Schutzzaun in Lee fern
- 5) Schutzzaun in Lee nah
- 6) Schutzzaun in Luv nah
- 7) Schutzzaun in Luv fern
- 8) Schutzring nah
- 9) Schutzring fern
- 10)-18) unterbrochene Straßenschlucht Typ I bis IX
- 19)-21) lockere Bebauung Typ I bis III.

Es wird zwischen entflammaren und toxischen Gasen unterschieden, wobei für entflammare Gase meist die untere Zünddistanz und für toxische Gase die Maximalkonzentration von Interesse ist.

a) untere Zünddistanz (UZD)

Es wird eine mittlere und eine ungünstige untere Zünddistanz angegeben, die im Lee der Quelle liegt. Die Distanzen werden aus Bodenkonzentrationswerten abgeleitet.

Hindernisse, durch die die Zünddistanz herabgesetzt werden kann, müssen eine Mindesthöhe besitzen. Das Programm gibt diese Größe in Form der charakteristischen Länge L_c an.

b) Maximalkonzentration

Das Schwergasmodell kann explizit keine Konzentrationen angeben. Es gibt lediglich die Entfernung X_K von der Quelle an, in der die Gaskonzentration auf 1 Vol.% abgesunken ist.

Spätestens nach Absinken der Gaskonzentration auf 1 Vol.% liegt gem. Definition in der Richtlinie kein Schwergasverhalten mehr vor. Die Ausbreitung wird nun durch die Windgeschwindigkeit, Turbulenzen etc. beeinflusst. Aus diesem Grund wird vom Programm nun eine fiktive Punktquelle in der Entfernung X_K (1 Vol.%) von der Quelle angenommen, aus der ein Gas mit Leichtgasverhalten ausströmt. Das Programm gibt dazu Parameter für eine mittlere und eine ungünstige Ausbreitungssituation an, mit denen man im VDI-Rechenmodell 3783, Blatt 1 (Leichtgasmodell), weiterrechnen kann.

Bei der Interpretation der Ergebnisse des Rechenmodells sollte bedacht werden, daß Ergebnisangaben mit Kommastrichen bei genauer Betrachtung sämtlicher Ungenauigkeiten in der Vorgehensweise der Datenermittlung unsinnig sind.

Zum Einfluß von "Schutzzäunen" auf die Schwergasausbreitung:

Eine Reduzierung der UZD ist mit einem Schutzzaun nah oder fern zu erreichen.

Bild 6 zeigt den reduzierenden Einfluß eines Schutzzaunes auf die untere Zünddistanz (UZD) am Beispiel verschiedener Leckraten bei einer Propanfreisetzung. Dem Bild ist zu entnehmen, daß durch einen Schutzzaun eine Verringerung der UZD bis ca. um den Faktor 10 möglich ist. Diese Ergebnisse wurden durch weitere Berechnungen bestätigt [22].

Vorteile des Rechenmodells VDI 3783 Blatt 2 sind die einfache Handhabung und die Berücksichtigung einfacher Hindernisse.

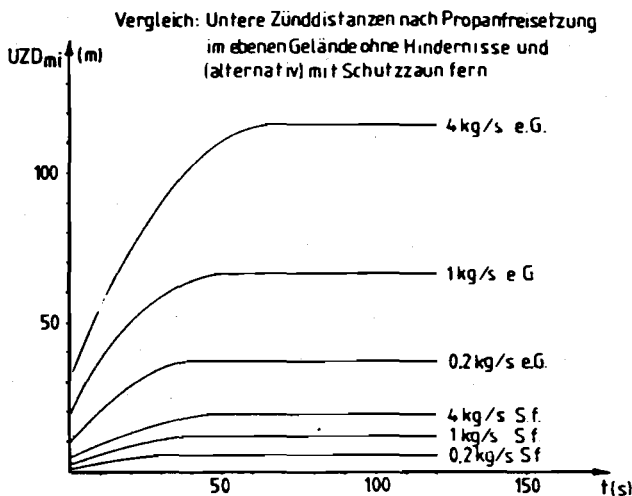


Bild 6: Reduzierender Einfluß eines Schutzzaunes fern (S.f.) auf die untere Zünddistanz (UZD_{mi}) für die mittlere Ausbreitungssituation im Vergleich mit einem ebenen Gelände ohne Hindernisse (e.G.)

Aus der Anwendungspraxis des VDI-Schwergasmodells ergaben sich nachstehend genannte Defizite:

- Die Ermittlung der Höhe der Schwergaswolke ist nicht möglich.
- Wirkungen bei Veränderungen der Höhe und der Entfernung eines Schutzzaunes in Richtung von der Quelle entfernt sind nicht beschrieben.
- In seltenen Einzelfällen unrealistisch hohe Ergebnisse.

Im folgenden wird noch auf zwei Freisetzungsfälle eingegangen werden, bei denen die Ausbreitung nicht

mehr durch schematische Anwendung der Richtlinie VDI 3783 Blatt 2 behandelt werden kann.

1. Abdampfung einer nicht siedenden Flüssigkeit

Bei der Abdampfung aus einer Lache nicht siedender Flüssigkeit befindet sich unmittelbar über der Flüssigkeitsoberfläche ein Dampf/Luft/Gemisch, dessen Zusammensetzung vom Partialdruck des Dampfes bei gegebener Temperatur abhängt.

Beispiel: Acrylnitril

Temperatur	: 20	°C
Partialdruck	: 0,11	bar
Dichte _{ACN_{gas}}	: 2,18	kg/m ³
Dichte _{Luft}	: 1,2	kg/m ³
Dichte _{ACN/Luft}	: 1,3078	kg/m ³
rel. Dichtedifferenz	: 0,09 < 0,16	

Das abdampfende Acrylnitril darf somit *nicht* mit dem Schwergasmodell behandelt werden, was bei ausschließlicher Betrachtung der Dampfdichte (2,18 kg/m³) nahelegen würde. Liest man den Richtlinien text genau, so entdeckt man im Abschnitt 2 "Anwendungsbereich" in den Definitionen den wichtigen Hinweis: "Bei vor der Freisetzung bereits mit Luft verdünnten Gasen ist hier, *abweichend* von Abschnitt 3.1, die Dichte des Gasgemisches zu verwenden."

Ähnliche Verhältnisse trifft man bei einer Reihe von Stoffen, je nach Umgebungstemperatur, an. Es ist daher erforderlich, bei der Abdampfung aus einer nicht siedenden Flüssigkeit vor der Anwendung des Rechenprogramms zunächst Dichtebetrachtungen anzustellen.

2. Sauerstoff

Die Dichte von gasförmigem Sauerstoff bei Siedetemperatur (-183°C) beträgt 4,28 kg/m³. Austretender tiefkalter Sauerstoff wäre somit bei oberflächlicher Anwendung der Richtlinie (Abschnitt 3.1) als Schwergas zu betrachten (nach Abschnitt 3.1 ist bei drucklos verflüssigten Gasen die Dichte bei Prozesstemperatur, max. Siedetemperatur, als Gasdichte an der Quelle einzusetzen). Dies führt auch noch in relativ großen Entfernungen zu so hohen Gesamtsauerstoffkonzentrationen in der Luft, daß eine erhebliche Steigerung der Verbrennungsgeschwindigkeit anzunehmen ist.

Beispiel: 10 kg Sauerstoff, drucklos freigesetzt

Siedetemperatur	: -183 °C
Gasdichte ₋₁₈₃	: 4,28 kg/m ³

Bis zu einer Entfernung von 20 m ergibt sich eine Sauerstoffkonzentration (gesamt) über 30 %. Überschlägige Messungen bei Freisetzungsversuchen ergaben aber viel geringere Konzentrationen. Bei genauem Studium der Richtlinie findet man in Abschnitt 4.1, Fallgruppe b

(Seite 15), folgenden Satz: "Bei flachen Lachen kann es realistischer sein, statt der Prozeßtemperatur die Temperatur des Untergrundes zu verwenden". Setzt man die Prozeßtemperatur z.B. mit 20 °C an, so ergibt sich eine relative Dichtedifferenz von ca. 0,09, bei der das Schwergasmodell nicht anwendbar ist.

5.1.2 DEGADIS-Modell

Das DEGADIS-Modell wurde an der Universität von Arkansas von J.A. Havens und T.O. Spicer entwickelt. Es fußt in wesentlichen Zügen auf dem von Colenbrander 1980 entworfenen Schwergasmodell HEGADAS, das besonders für Leckagen von Flüssiggas-Transportschiffen angepaßt war.

DEGADIS beschreibt die Ausbreitung einer Schwergaswolke in drei Phasen:

- I. Nahbereich : Auseinanderfließen infolge des Dichteunterschiedes
- II. Mittelbereich : stabil geschichteter Scherungsstrom
- III. Fernbereich : passive Ausbreitung durch atmosphärische Turbulenz

Nahbereich

Als "primäre Quelle" wird eine kreisrunde Fläche in Bodenniveau angenommen (im allgemeinen eine siedende Lache von verflüssigtem Gas), aus der mit einer gegebenen Quellstärke Gas kontinuierlich austritt. Dieses austretende Gas kann eine "sekundäre Quelle", einen auseinanderfließenden Gast Teppich, bilden. Ob die sekundäre Quelle gebildet wird, hängt vom Zustand der umgebenden Atmosphäre ab:

- erfolgt der Abtransport des austretenden Gases ausreichend schnell (durch turbulenten Wind), so bildet sich kein durch Schwerkraft auseinanderfließender Gasteppeich und die primäre Quelle speist mit ihrer Quellstärke direkt den Scherungsstrom (Ausbreitungsphase II, Mittelbereich).
- bleibt der Abtransport kleiner als die von der primären Quelle austretende Gasmenge, so entsteht eine Gaswolke, die unter dem Einfluß der Schwerkraft auseinanderfließt und einen Gasteppeich, die sekundäre Quelle, bildet (Ausbreitungsphase I).

Diese sekundäre Quelle hat Zylinderform. An ihrer Mantelfläche ebenso wie an der Deckfläche treten Gasverluste durch Mischung mit der Umgebungsluft auf, so daß ihre Ausdehnung ein Maximum erreicht, sobald Quellstärke und Verluste einander die Waage halten. Dieser Zustand wird auch "quasi stationär" genannt.

Bild 7 zeigt die schematische Darstellung eines auseinanderfließenden Gasteppeichs (Ausbreitungsphase I).

Innerhalb dieses Gasteppeichs wird eine homogene Konzentrationsverteilung angenommen. Beim Erreichen der Maximalausdehnung der sekundären Quelle bricht DEGADIS die Berechnungen der Ausbreitungsphase I ab, rechnet die Form der sekundären Quelle auf quadratischen Grundriß um und geht zur Ausbreitungsphase II (stabil geschichteter Scherungsstrom) über - außer, es wurde in den Eingangsdaten Windstille vorgegeben: in diesem Fall sind die Berechnungen mit der Simulation des entstehenden Gasteppeichs abgeschlossen (Phase I beschreibt die gesamte Ausbreitung).

Mittelbereich

Von der Sekundärquelle ausgehend erfolgt die weitere Ausbreitung in Form eines stabil geschichteten Scherungsstromes (Phase II). Die zugrunde gelegten Annahmen sind in Bild 8 veranschaulicht.

In der perspektivischen Skizze verläuft die Ausbreitungsachse von links hinten (quadratische Quelle) nach rechts vorne in Ausbreitungsrichtung. Das in die horizontale Ebene erstreckte, schraffierte Quadrat (Pos. 1, Bild 8) deutet die am Boden homogene Konzentrationsverteilung seitlich der Ausbreitungsachse an; die vertikale, schraffierte Fläche zeigt die Abnahme der Konzentration mit zunehmender Höhe über dem Boden und der Entfernung x .

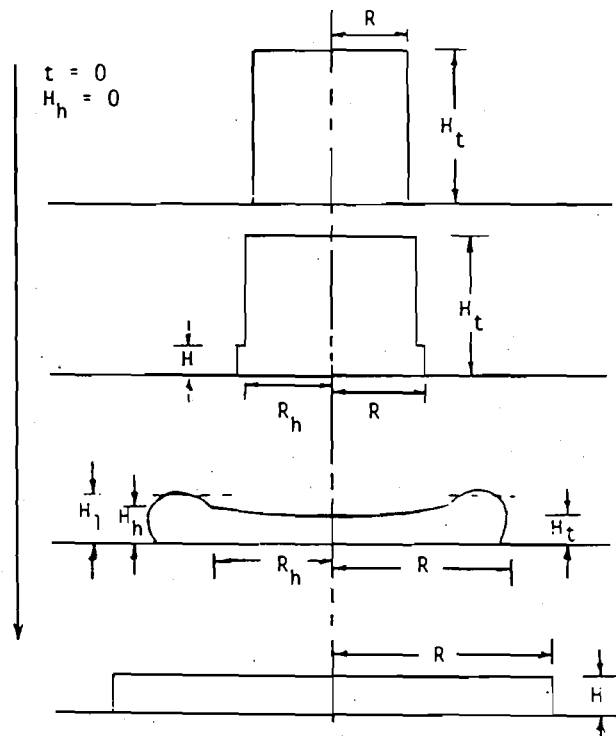


Bild 7: Schematische Darstellung eines auseinanderfließenden Gasteppeichs (Ausbreitungsphase I)

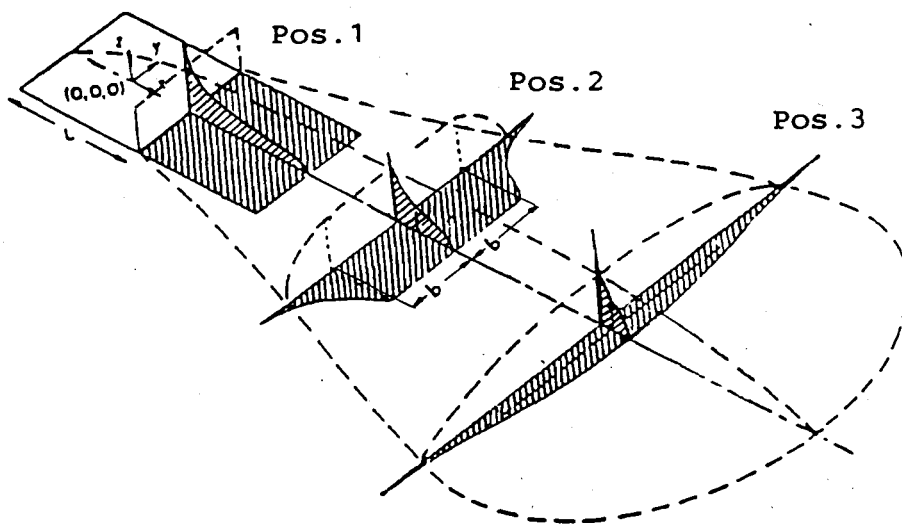


Bild 8: Schwergasausbreitung (Ausbreitungsphase II) oben links: quadratischer Grundriß der sekundären Quelle

Etwas weiter von der Quelle entfernt (Pos. 2, Bild 8) hat die horizontale Konzentrationsverteilung eine andere Form: an einem horizontal homogenen Bereich mit der Halbbreite b (beiderseits der Achse) schließen sich symmetrisch zwei Kurvenbereiche einer Gauß'schen Verteilung an, die die einsetzende Diffusion an den seitlichen Rändern der sich ausbreitenden Wolke charakterisieren. Die Maximalkonzentration in der Ausbreitungsachse hat gegenüber dem Wert am Quellenrand bereits deutlich abgenommen, die vertikale Konzentrationsverteilung zeigt einen steileren Verlauf.

Fernbereich

Folgt man weiter der Darstellung in Bild 8, so ist in noch größerer Entfernung von der Quelle (Pos. 3, Bild 8) ein drittes Konzentrationsprofil zu erkennen. Fortgesetzte seitliche Diffusion des Gases hat zum Verschwinden des homogenen Bereichs geführt (Halbbreite $b = 0$) und der seitliche Verlauf der Konzentration am Boden entspricht nun zur Gänze einer Gauß'schen Verteilung. An dieser Stelle - wenn $b = 0$ wird - beendet DEGADIS die Berücksichtigung des (nur noch minimalen) Dichteunterschiedes und rechnet den weiteren Ausbreitungsverlauf mit Modellannahmen, wie sie für passive Gasausbreitung (Leichtgasausbreitung) gebräuchlich sind.

DEGADIS ermöglicht die Berechnung einer zeitlich konstanten sowie einer zeitlich variablen Freisetzung. Darüber hinaus kann eine Wärme- sowie eine Wasserzufuhr berücksichtigt werden. Als Rechenergebnisse werden die Höhe der Schwergaswolke über der Entfernung, die jeweils herrschende Temperatur, Konzentration und Dichte des Gases sowie die Breite der Wolke ausgegeben. Die Digitalisierung der Rechenschritte erfolgt in ca. 1-m-Schritten (Nahbereich) bis zu ca. 20-m-Schritten (Fernbereich). Rückschlüsse auf Zündabstände sind (ortsabhängig) möglich.

5.2 Leichtgasausbreitung

Als dichteneutrale Gase, bzw. in der Umgangssprache auch "Leichte Gase" genannt, werden solche Gase bezeichnet, deren Dichte ungefähr gleich der Luftdichte ist. Im Gegensatz zu den schweren Gasen ist die bestimmende Größe für das Ausbreitungsverhalten die turbulente Diffusion des Gases in die Umgebungsluft.

5.2.1 Leichtgasmodell VDI 3783, Blatt 1

Ein weitgehend akzeptiertes Berechnungsverfahren für die Ausbreitung von dichteneutralen und leichten Gasen bietet die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1, "Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen - Sicherheitsanalyse" [23]. Die Berechnungsgrundlage ist ein Gauß'sches Ausbreitungsmodell. Es wird eine kurzzeitige Freisetzung einer "Punktvolke" in einer Höhe H über dem Erdboden angenommen, deren Mittelpunkt mit konstanter Windgeschwindigkeit fortbewegt wird. Durch die Zumischung von Luft wird die Wolke laufend verdünnt, wobei ihr Gesamtvolumen wächst. Dieser Ausbreitungs- und Verdünnungsprozess der Wolke wird im Gaußmodell durch die "Streuung" wiedergegeben.

Es können Konzentrationen und Dosen in einer Quellentfernung von mehr als 100 m (1. Aufpunkt) und weniger als 10.000 m berechnet werden. Diese Einschränkung besteht, da einige Programmparameter in Diffusionsexperimenten mit Quellentfernungen von 100 bis 10.000 m ermittelt wurden. Eine weitere Einschränkung bezüglich des 1. Aufpunktes X_A kann entstehen, wenn vor der Anwendung des "Leichtgasmodells" eine Berechnung mit dem VDI-Schwergasmodell durchgeführt wurde. Im Schwergasmodell wird dann ein "Mindestwert X_A für den ersten Aufpunkt im Blatt 1, X-Koordinate" angegeben. Dieser Wert für X_A kann durchaus größer als 100 m sein.

Es werden jeweils für eine ungünstigste und eine mittlere Ausbreitungssituation Konzentrationen bzw. Dosen berechnet. Die Maximalwerte werden jeweils separat ausgegeben. Ungünstigste bzw. mittlere Ausbreitungssituationen entstehen durch unterschiedliche Temperaturschichtungen in der Atmosphäre (charakterisiert durch die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche), Windgeschwindigkeiten, Quellhöhen und Bodenrauigkeiten. Zur Vermittlung eines grundsätzlichen Gefühles für unterschiedliches Ausbreitungsverhalten wird in Bild 9 das Ausbreitungsverhalten am Beispiel von Abgasfahnen aus Industrieschornsteinen bei verschiedenen vertikalen Temperaturschichtungen in der Atmosphäre gezeigt. Für weitergehende Vertiefungen dieses Themenbereiches wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

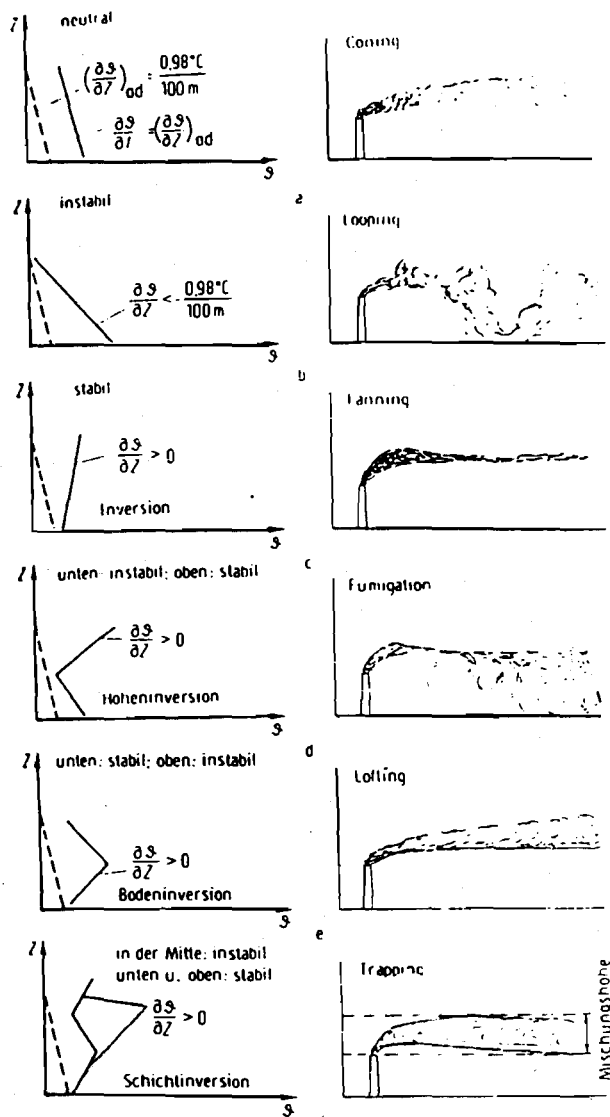


Bild 9: Ausbreitungsverhalten von Abgasfahnen bei verschiedenen atmosphärischen Temperaturschichtungen

Bei der Anwendung des Modells muß die mittlere Windgeschwindigkeit eingegeben werden. Die mittlere Wind-

geschwindigkeit kann zwischen 1 und 10 m/s variiert werden, wobei bei zunehmender Geschwindigkeit das Gas schneller verdünnt und somit die Konzentrationen geringer werden. Für konservative Rechnungen wird mit 1 bis 3 m/s gerechnet.

Mit den beiden Parametern Bebauungshöhe und Rauigkeitsklasse (die ebenfalls eingegeben werden müssen) wird die Quellumgebung berücksichtigt.

Die Bebauungshöhe ist entsprechend der Höhe der umgebenden Gebäude abzuschätzen (bei mehreren Gebäuden Mittelwert bilden).

Die Rauigkeitsklasse berücksichtigt die Geländeform, wobei eine Variation zwischen 1 bis 5 möglich ist:

- 1: extrem glatt = extrem ebenes Gelände und Wasserflächen
- 2: glatt = homogenes, ebenes Gelände, nur einzelne Gebäude und Bäume
- 3: wenig rau = relativ ebenes Gelände, nur wenige Gebäude und mäßiger Baumbewuchs
- 4: mäßig rau = unebenes Gelände; Ortschaften bzw. kleine Waldgebiete
- 5: sehr rau = Stadt- und Waldgebiet

Durch die Bodenrauigkeit wird der Windgradient und damit die effektive Windgeschwindigkeit beeinflusst.

Bei der Eingabe der Quelldimensionen und -höhe wird in die Quelle ein "fiktives" kartesisches Koordinatensystem gelegt, wobei die X-Achse mit der mittleren Windrichtung zusammenfällt. Die Richtung z entspricht der vertikalen Ausdehnung der Quelle. Im Gegensatz dazu wird vom Programm eine Quellhöhe abgefragt. Diese Höhe entspricht dem Abstand zwischen Quelloberfläche und dem Erdboden. Diese Höhen dürfen nicht verwechselt werden.

Analog zum Schwergasmodell kann man wiederum über die Wahl von Emissionsabschnitten zwischen einer spontanen, einer kontinuierlichen und einer zeitlich variablen Emission wählen. Entsprechend wird die Emissionsdauer und die Quellstärke abgefragt.

Durch einen Brand verursachte Emissionen können durch eine "thermische Überhöhung" des Quellterms berücksichtigt werden. Durch die "thermische Überhöhung" wird berücksichtigt, daß Gase durch erhöhte Temperatur in bezug auf die Außenluft einen Auftrieb erfahren. Abhängig von der Temperaturschichtung erhält man verschiedene Gleichungen (siehe TA-Luft) zur Berechnung dieser Überhöhung. Das vorliegende Programm kann jedoch nur Wärmeemissionen von größer als 6 MW berücksichtigen. (Anmerkung: Bei Rechnung mit ther-

mischer Überhöhung werden die Immissionskonzentrationen unterschätzt, also zu niedrig ermittelt.)

6. Bewertung störfallbedingter Immissionen

Aus der Bewertung von Immissionskonzentrationen resultieren häufig (bei lebens- und gesundheitsbedrohenden Konzentrationen) steigende Anforderungen an die Anlagentechnik. Diese Anforderungen müssen entsprechend dem stoffbezogenen Gefahrenpotential gewichtet werden. Die Wichtung ist stufenlos und bedingt eine genaue Kenntnis der auf dem Markt vorhandenen technischen bzw. sicherheitstechnischen Möglichkeiten.

In einer sachverständigen Gesamtbeurteilung müssen stoffbezogene Bewertung und die daraus resultierende Anlagensicherheitstechnik genau aufeinander abgestimmt werden. Um z.B. aus einer toxikologischen Bewertung anlagensicherheitstechnische Erfordernisse ableiten zu können, muß also der "Grad" des toxischen Gefahrenpotentials genau gewichtet werden können. Andererseits müssen genaue Kenntnisse über die real existierenden Möglichkeiten in sicherheitstechnischer Hinsicht bekannt sein. Nur mit diesen Kenntnissen können beide Themenkreise genau und schlüssig aufeinander abgestimmt werden.

Die Vorgehensweise muß so sein, daß sich eine Person detaillierte Kenntnisse über das Gefahrenpotential eines

Stoffes aneignet. Danach kann dieselbe Person (mit dieser Kenntnis) genau auf das Gefahrenpotential des Stoffes abgestimmte Anforderungen an die Sicherheitstechnik der Anlage ableiten bzw. bei der Festlegung dieser genaue Vorgaben machen.

Ob eine Stofffreisetzung eine ernste Gefahr herbeiführen kann, hängt von den Stoffeigenschaften und der Konzentration/Dosis des ausgetretenen Stoffes in der Umwelt ab. In der Regel sind bei störfallbedingten Freisetzungen die Verteilungspfade Luft und/oder Wasser zu berücksichtigen. Feste Rückstände bedürfen sicherlich einer besonderen Überprüfung im Rahmen der Aufräumarbeiten, sind jedoch hinsichtlich einer schnellen Bekämpfung von Störungen oder der Analyse für die Katastrophenschutzplanung von sekundärer Bedeutung.

Hinsichtlich der Verteilung über den Wasserpfad muß zumindest sichergestellt sein, daß nach den einschlägigen Regeln Schutzeinrichtungen zum Rückhalten von Stoffen und kontaminiertem Löschwasser vorhanden sind, deren Funktionstüchtigkeit durch z.B. Eignungsfeststellung belegt ist und darüber hinaus der Stand der Sicherheitstechnik eingehalten ist. Im Einzelfall können sich weitergehende sicherheitstechnische Erfordernisse ergeben.

Bei der Festlegung von Grenzkonzentrationen für die Vermeidung einer ersten Gefahr ist zuerst zu ermitteln, welcher Aufnahmeweg bei einer störungsbedingten Stofffreisetzung zu betrachten ist.

	H ₂ O-Löslichkeit	Angriffsorte	Stoffe	Früh- und Spätschäden
(1)	hoch	Auge Larynx Trachea	NH ₃	Augen- Rachen- und Trachealreizung ↓ Verätzung der oberen Atemwege ↓ chronische Entzündung und Narbenbildung
			HCl	
			HCHO	
			S ₂ Cl ₂	
			Acrolein F ₂	
(2)	mittel	Bronchien Bronchiolen	SO ₂	Bronchialreizung Schleimabsonderung ↓ Bronchitis, Bronchopneumonie Husten, Bronchospasmus
			Cl ₂	
			Br ₂	
			R-CO-Cl	
			R-N=C=O R-N=C=O	
(3)	gering	Bronchiolen Alveolen Kapillaren	O ₃	Lungenodem nach mehrstündiger Latenzzeit ↓ Tod durch Ersicken ↓ Bronchiolitis obliterans
			NO ₂	
			COCl ₂	
			CoC	

Bild 10: Beispiele für akute lokale Schädigungen des Atemtraktes durch Lungenreizstoffe

Trachea:	Luftröhre
Larynx:	Kehlkopf (in der mittleren Halsregion)
Bronchiolitis:	Entzündung der Bronchien
Bronchospasmus:	Krämpfe der Bronchialmuskulatur (lebensbedrohlich)
Bronchopneumonie:	Spez. Entzündung der Lunge
Bronchien:	Fortsetzung der Luftröhre
Bronchiolen:	Knorpellose Zweige der Segmentbronchien
Alveolen:	Lungenbläschen (0,2 mm Ø), Gasaustausch zwischen Atemluft und Blut

Folgende Arten einer Stoffaufnahme müssen im wesentlichen in Betracht gezogen werden:

- Inhalation
- Verschlucken
- Hautresorption.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei der Bewertung störungsbedingter Stofffreisetzungen in erster Linie die inhalative Aufnahme zu berücksichtigen ist. Direkter Stoffkontakt über die Haut oder ein Verschlucken ist meist nur für das Bedienungspersonal relevant. Dieses ist in der Regel ausreichend geschult und geschützt, so daß eine Gefährdung nur in besonderen Fällen anzunehmen ist.

Bei der Beurteilung der Wirkung eines Schadstoffes im Organismus müssen im wesentlichen folgende Punkte beachtet werden:

- 1) Art der Aufnahme
- 2) Verteilung im Körper
- 3) eventuelle Biotransformationen
- 4) Akkumulation/Abbau des Stoffes.

Bild 10 gibt die akute lokale Schädigung des Atemtraktes durch einige Lungenreizstoffe in Abhängigkeit von der Wasserlöslichkeit wieder. Während gut wasserlösliche Stoffe schon zu schweren Verätzungen in der Luftröhre führen, entfalten die schlecht wasserlöslichen Stoffe ihr Wirkungspotential erst im Bereich der Alveolen (Bläschen in der Lunge, verantwortlich für Gasaustausch zwischen Atemluft und Blut). Aus dem Wirkungsort sowie der Geschwindigkeit, mit der die Stoffe vom Körper adsorbiert werden, ergeben sich unterschiedliche Beziehungen hinsichtlich der zulässigen Spitzenkonzentration und Gesamtdosis.

6.1 Grenzwerte zur Bewertung zulässiger Konzentrationen/Dosen störungsbedingter Stofffreisetzungen - Übersicht und Anmerkungen zur Eignung -

MAK-Wert:

Die MAK-Werte werden von der Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe herausgegeben. Die Adresse der zuständigen Geschäftsstelle lautet:

Deutsche Forschungsgemeinschaft
Kennedyallee 40
5300 Bonn 2

oder das Sekretariat der Kommission:

Institut für Toxikologie
der Universität Würzburg
Versbacher Str. 9
8700 Würzburg

Definition: Der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatz-Konzentration) ist die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich achtstündiger Exposition, jedoch bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden (in Vierschichtbetrieben 42 Stunden je Woche im Durchschnitt von vier aufeinanderfolgenden Wochen) im allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belastigt.

In der Regel wird der MAK-Wert als Durchschnittswert über Zeiträume bis zu einem Arbeitstag oder einer Arbeitsschicht integriert. Bei der Aufstellung von MAK-Werten sind in erster Linie die Wirkungscharakteristika der Stoffe berücksichtigt, daneben aber auch - soweit möglich - praktische Gegebenheiten der Arbeitsprozesse bzw. der durch diese bestimmten Expositionsmuster. Maßgebend sind dabei wissenschaftlich fundierte Kriterien des Gesundheitsschutzes, nicht die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Realisation in der Praxis.

MAK-Werte werden ohne Anwendung von Sicherheitsfaktoren festgelegt. Sie stellen darum in der Regel den NOEL dar. Der NOEL (No Observed Effect Level) ist die Schwelle, unter der keine Effekte, bezogen auf das empfindlichste Organ, zu erwarten sind. Für krebserzeugende oder erbgutverändernde Stoffe lassen sich keine Wirkungsschwellen definieren.

Es wird hier ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der MAK-Wert nicht als Grenzkonzentrationswert für den Fall einer störungsbedingten Stofffreisetzung (also als Störfallbeurteilungswert) benutzt werden kann.

Soll aber der Nachweis erbracht werden, daß eine im Rahmen der Auswirkungsbetrachtungen errechnete Konzentration keine akute Gefährdung für Leib und Leben darstellt, so kann der MAK-Wert als "Hilfskonzentration" benutzt werden.

Beispiel: Eine Auswirkungsbetrachtung (bei der Planung der sicherheitstechnischen Ausrüstung einer Anlage) für Chlor ergab, daß durch ein Leck in einer Rohrleitung in 200 m Entfernung von der angenommenen Quelle

(Leckageort) gerade der MAK-Wert von 0,5 ppm erreicht wird. An dieser Stelle befindet sich die erste Wohnbebauung. Es soll hier angenommen werden, daß diese Konzentration über einen Zeitraum von ca. 10 min. anstehen wird.

Es ist also für einen Zeitraum von 10 min. der MAK-Wert erreicht. Da eine störungsbedingte Stofffreisetzung betrachtet wird, ist eine akute Gefährdung auszuschließen.

Die Festlegung der MAK-Werte wird ausführlich schriftlich begründet und zusammen mit den verwendeten Informationen veröffentlicht (Deutsche Forschungsgemeinschaft; Toxikologisch-Arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten; Verlag Chemie, ISSN 0930-1984). Da die Konzeption der Festlegung von MAK-Werten allgemein anerkannt ist, werden von ihnen häufig Grenzwerte für andere Bereiche abgeleitet. Dies ist nur dann zulässig, wenn die einzelnen Substanzen unter Berücksichtigung ihrer speziellen Eigenschaften und den jeweiligen Expositionsbedingungen betrachtet werden, nicht jedoch unter Verwendung konstanter Umrechnungsfaktoren.

Die "Toxikologisch-Arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten" kann bei der Bewertung von Immissionskonzentrationen recht hilfreich sein. In diesen Begründungen wird über den allgemeinen Wirkungscharakter des Stoffes und über die Erfahrungen mit Menschen und Tieren berichtet. Ausführliche Literaturangaben werden gemacht.

"Threshold Limit Values (TLV)" sind in den Vereinigten Staaten von Amerika verwendete Werte, die den MAK-Werten in der Bundesrepublik Deutschland entsprechen. Sie werden von der ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) veröffentlicht.

Bezug ist über die Aldrich Chemie GmbH & Co. KG, 7924 Steinheim, Tel.: 07329/87-110, möglich (ISBN: 0-036712-86-4).

LC₅₀-Wert:

Der **LC₅₀-Wert** ist die berechnete Konzentration in der Atemluft, bei der unter standardisierten Versuchsbedingungen 50 % der Versuchstiere nach inhalativer (einatmender) Applikation eines Giftes oder Schadstoffes über eine bestimmte Zeitspanne hinweg sterben. Die Angabe erfolgt in mg/l, mg/m³, g/m³ oder in ppm.

Neben Tierart und -geschlecht muß unbedingt die Expositionsdauer (die Zeit, die das Versuchstier der Konzentration ausgesetzt ist) angegeben werden. Sie beträgt z.B. für Mäuse 2 Stunden und für Ratten 4 Stunden. Der LC₅₀-Wert wird also in Konzentrationsangaben pro Zeiteinheit ausgedrückt.

LC₅₀-Werte gehören wie die LD₅₀-Werte zu den Toxizitätswerten, die zur Klassifizierung der Giftigkeit von Substanzen herangezogen werden. Sie sind keine Stoffkonstanten, sondern haben biologisch bedingte Schwankungsbreiten.

LD₅₀-Wert:

Der **LD₅₀-Wert** ist die berechnete Dosis (Menge), bei der unter standardisierten Versuchsbedingungen 50 % einer signifikant hohen Population einer definierten Tierart nach Gabe eines Giftes oder Schadstoffes starben. Es sind dabei die Applikationsart (Zuführungsart), Tierart und -geschlecht sowie die Zeitdauer der Applikation anzugeben (keine Inhalation).

LD₅₀-Werte gehören zu den Toxizitätswerten, die der Klassifizierung der Giftigkeit und damit dem Vergleich von Substanzen aus toxikologischer Sicht dienen. Es sind jedoch ebenfalls keine Konstanten, sondern sie haben biologisch bedingte Schwankungsbreiten. Die Angabe erfolgt in mg/kg Körpermasse (KM), selten in ppm.

LCL₀-Wert:

Der **LCL₀-Wert** ist die geringste Konzentration der Substanz in der Atemluft von der Todesfälle bei Mensch oder Tier bekannt sind. Die angegebenen Konzentrationen können mit Expositionen unter 24 Stunden (akut) oder darüber (subakut oder chronisch) verbunden sein. Der Wert der LCL₀ muß unterhalb dem der LC₅₀ liegen.

LDL₀-Wert:

Der **LDL₀-Wert** ist die niedrigste in der Literatur publizierte letale Dosis. Sie liegt unterhalb der LD₅₀-Schwelle. Es ist die niedrigste Dosis, bei der durch irgendeine Applikationsart über eine bestimmte Zeitspanne hinweg Todesfälle bei Mensch oder Tier bekannt sind, wobei die Applikation einmalig oder mehrmalig (in Portionen) erfolgte.

LC₅₀- und LD₅₀-Werte sowie LCL₀- und LDL₀-Werte sind für Stoffe gemäß Störfall-VO zum Teil dem "Handbuch Stoffdaten zur Störfall-Verordnung" [24] und/oder "RTECS" [25] zu entnehmen.

Als Immissionsgrenzwert für störfallbedingte Stofffreisetzungen sind LC₅₀ und LD₅₀ (auf Menschen übertragen) nicht anwendbar. Wie der Definition der Werte zu entnehmen ist, wären 50 % der Probanden bei Erreichen der LC₅₀/LD₅₀-Wertes schon tot.

Außerdem existiert nur in seltenen Fällen ein entsprechender Wert für Menschen. Wegen der bei der Umrechnung dieser Werte vom Tier zum Mensch entstehenden Unsicherheiten können die errechneten Werte schon aus diesem Grund nicht vollständig bedenkenlos übernommen werden.

Das gleiche gilt für LCL₀- und LDL₀-Werte, die zwar niedriger als LC₅₀- und LD₅₀-Werte sind, aber ebenfalls für Menschen nur für wenige Stoffe zur Verfügung stehen.

Falls Werte für Menschen zur Verfügung stehen, sind diese auf den sogenannten "Standardmenschen" bezogen. Die Daten dieses Menschen sind im folgenden aufgeführt.

Standardmensch:

Alter	20 - 30 Jahre
voraussichtliches Lebensalter	70 Jahre
Körpermasse (KM)	70 kg
Körperoberfläche	1,8 m ²
Größe	1,70 m
Kapazität der Lunge bei max. Ein- und Atmung	4,1 l (Männer) 4,3 l (Frauen)
Atemfrequenz (Erwachsener)	7 - 20 Atemzüge pro Minute
Atmungsvolumen	350 - 850 ml
Gesamtoberfläche der Atmungsorgane	70 m ²
Lungenoberfläche	50 m ²

TDL₀-Wert:

Der TDL₀-Wert ist die niedrigste Dosis einer Substanz, bei der durch irgendeine Verabreichungsart (außer Inhalation) über eine bestimmte Zeitspanne hinweg irgendeine akut toxische bzw. carcinogene (krebsbildende- oder -verursachende), mutagene (erbgutverändernde) oder teratogene (embryo- bzw. fötusschädigende) Wirkung an Menschen oder Tieren festgestellt wurde.

TCL₀-Wert:

Der TCL₀-Wert ist die geringste Konzentration einer Substanz in der Atemluft, bei der nach einer bestimmten Expositionsdauer irgendeine akut toxische bzw. carcinogene, mutagene oder teratogene Wirkung an Menschen und an Tieren festgestellt wurde.

TDL₀- bzw. TCL₀-Werte stehen teilweise in der Literatur (z.B. [26]) in der Regel auch für Menschen zur Verfügung. In Ermangelung besserer Werte können diese Angaben zur Beurteilung der hier betrachteten Immissionskonzentrationen/-dosen herangezogen werden.

Es empfiehlt sich jedoch, diese Angaben durch weitere Werte zu verifizieren. Geeignet wäre dazu z.B. der IDLH-Wert.

IDLH-Wert:

Das National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) in den USA hat Grenzwerte für eine Reihe von Stoffen herausgegeben, bei denen das Tragen von Atemschutzmasken nicht zulässig ist und umgebungsluftunabhängiger Atemschutz angelegt werden muß. Die Beschäftigten sollen auch bei einer Störung des Schutzgerätes in die Lage versetzt werden, den gefähr-

deten Bereich selbständig verlassen zu können und dabei *keine irreversible* Gesundheitsschädigung zu erleiden. Es wurde eine dreißigminütige Exposition unterstellt. Diese Immediately Dangerous to Life or Health-Werte (IDLH-Werte) wurden größtenteils schematisch durch Anwendung eines Sicherheitsfaktors aus den Tierversuchen zur Bestimmung der LC₅₀-Werte abgeleitet. Hierdurch ergeben sich Ausreißer, deren Konzentration bei kritischer Betrachtung zu hoch ist, wie auch andere Werte, die zu einer Absenkung bis in die Größenordnung des MAK-Wertes geführt haben. Die IDLH-Werte können daher nur eine Orientierung für die akzeptable Konzentration bei störungsbedingter Stofffreisetzung bieten, müssen jedoch für den konkreten Fall überprüft werden. Im Vergleich mit den TCL₀-Werten liegen IDLH-Werte in der Regel höher.

Störfallbeurteilungswert des VCI:

Der Störfallbeurteilungswert des VCI ist die Konzentration eines Stoffes, die nach einer Einwirkungszeit von bis zu 60 Minuten in der Regel nicht das Leben von Menschen bedroht oder zu schwerwiegenden, irreversiblen Gesundheitsschäden führt.

Der Störfallbeurteilungswert ist als eine Planungsgröße für die Auslegung von Betriebsanlagen, für die zu treffenden störfallbegrenzenden Maßnahmen sowie als Hilfsgröße für Katastrophenschutzmaßnahmen zu verstehen.

Entsprechend der Definition der Beurteilungswerte können bei der Festlegung der Werte nur Wirkungen, die zu erheblichen Belästigungen bzw. zu reversiblen Gesundheitsschäden führen, toleriert werden. Kumulative Wirkungen, die erst nach längerer Zeit und wiederholter Exposition zum Tragen kommen, werden nicht berücksichtigt. Die Störfallbeurteilungswerte sind auf der Basis von toxikologischen und/oder arbeitsmedizinischen Erfahrungen über akute Effekte nach einmaliger Einwirkung über die Atemwege festgelegt. Soweit Erfahrungen am Menschen vorliegen, wurden diese tiereperimentellen Untersuchungsergebnissen vorgezogen.

Entsprechend der Definition der Störfallbeurteilungswerte und der Art der Ableitung ergibt sich, daß keine Relation zu den MAK-Werten besteht.

Die derzeit erarbeiteten Störfallbeurteilungswerte können im Rahmen der Erstellung und Prüfung von Sicherheitsanalysen beim VCI angefordert werden (Verband der Chemischen Industrie, Karlstraße 21, 6000 Frankfurt 1, Stichwort: "Störfallbeurteilungswerte").

Bei der Festlegung der Störfallbeurteilungswerte wurden größtenteils die IDLH- bzw. die ERPG-3-Werte als Richtgrößen verwendet. Es wurde versucht, die "Ausreißer" bei den IDLH-Werten zu beseitigen. Es muß jedoch noch abschließend geprüft werden, ob dieses

vollständig gelungen ist. Diesbezügliche Zweifel ergeben sich z.B. beim Stoff "Tetrachlormethan".

Es ist davon auszugehen, daß die Zahl der Ausreißer bei der Festlegung der Störfallbeurteilungswerte weitgehend minimiert wurde. Ein Abgleich mit anderen Werten erscheint trotzdem sinnvoll.

TRK-Wert:

Unter der Technischen Richtkonzentration (TRK) eines gefährlichen Stoffes versteht man die niedrigste Konzentration als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann (§ 15 Abs. 6 GefStoffV) und die als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die meßtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen ist. Technische Richtkonzentrationen werden nur für solche gefährlichen Stoffe benannt, für die zur Zeit keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) aufgestellt werden können. Die Einhaltung der Technischen Richtkonzentration am Arbeitsplatz soll das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit vermindern, vermag dieses jedoch nicht vollständig auszuschließen.

Für die meisten kanzerogenen Stoffe kann bei einer störfallbedingten Freisetzung der TRK-Wert überschritten werden.

7. Literatur

- [1] Allianz Handbuch der Schadensverhütung
3. Auflage, VDI-Verlag (1984)
- [2] Brandl, H.; Wiedemann, G.; Strohmeier, K.:
Banspruchung und Öffnungsquerschnitt von
Lecks in druckbelasteten Komponenten
Forschungsjournal Verfahrenstechnik, Heft 1
(1990)
- [3] Brötz, W.:
Gutachten Sicherheitstechnik NRW im Auftrag
des MAGS, Stuttgart 1979
- [4] Friedel, L.; Westphal, F.:
Modelle für die Berechnung der Leckraten aus
druckführenden Apparaten und Rohrleitungen
Dechema Monographien Band 107, VCH
Verlagsgesellschaft (1987)
- [5] Friedel, L.; Westphal, F.:
Mechanistic prediction Model for leakage rates
through cracks
3Rinternational, 28. Jahrgang, Heft 7, Aug. 1989
- [6] Kefer, V., Kastner, W., Krätzer, W.:
Leckraten bei unterkritischen Rohrleitungsrissen
KWU, Hammerbacherstr. 12, 8520 Erlangen
- [7] Strohmeier, K., Wiedemann, G.; Risikenanalysen,
Maschinenmarkt, Würzburg 92 (1986)29
- [8] Rheinisch Westfälischer TÜV, Essen
Beurteilung von Schweißverbindungen an
Behältern mit druckverflüssigten Gasen,
April 1988
- [9] EFFECTS Computer Program for the Calculation
of the Physical Effects of the Release of
Hazardous Material
TNO Division of Technologie for Society,
Department of Industrial Safety, P.O.Box 342,
Lan van Westenenk 501, 7300 AH Apeldoorn,
The Netherlands
- [10] Becker, E.:
Technische Strömungslehre, 5. Auflage
B.G. Teubner, Stuttgart (1982) ISBN 3-519-
33019-9
- [11] Schade, H.; Kunz, E.:
Strömungslehre
De Gruyter Lehrbuch (1980) ISBN 3-11-007921-6
- [12] VDI-Bericht 558
Störfälle und Luftreinhalung
VDI-Verlag Düsseldorf (1985)
- [13] Vorlesungsscript Prof. Lukas:
Wärme- und Stoffübertragung
Universität Duisburg (1984)
- [14] Opschoor, G.:
Cryogenics (1981) 281
- [15] Schecker, H.-G.:
Sicherheitstechnik in der chemischen Industrie
DECHEMA-Kurs
- [16] Wietfeldt, P.:
Beobachtungen bei der Freisetzung von unter
Druck verflüssigtem Propan
Technische Überwachung, Band 30 (1989) Nr. 4 -
April
- [17] Opschoor, G.:
Verdampfung
TNO-Bericht, Ref. 78-08345, Feb. 1979
- [18] Lees, F.P.:
Loss Prevention in the Process Industries
Butterworths, London/Boston (1980)

-
- [19] Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous materials
Directorate-General of Labour, Ministry of Social Affairs (TNO), Holland (1979)
- [20] VDI 3783, Blatt 2:
Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse, September 1992
- [21] König-Langlo, G.; Schatzmann, M.:
Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase
Staub-Reinhaltung der Luft 49 (1989) 241-247
- [22] Herrmann, R.; Schwierczinski, A.:
Praxisbezogene Ermittlung von Sicherheitsabständen bei der Ausbreitung freigesetzter schwerer Gase
Siemens AG, Energietechnik KWU Offenbach, 1989
- [23] VDI 3783, Blatt 1:
Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen - Sicherheitsanalyse, November 1987
- [24] Handbuch Stoffdaten zur Störfall-Verordnung
Umweltforschungsplan des BMI - Luftreinhaltung
Forschungsbericht: 10409112 / UBA-FB 92-016, 4 Bände, Berlin 1992
- [25] RTECS
Registry of Toxic Effects of Chemical Substances and Users Guide
Aldrich Chemie Gesellschaft & Co. KG,
Postfach 1120, 7924 Steinheim
- [26] Katastrophenmedizin - Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall
Herausgeber: Der Bundesminister des Innern

LIS-Berichte

der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus dem Untersuchungs- und Forschungsprogramm der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Sie werden - soweit nicht vergriffen - Interessenten auf Anfrage hin kostenlos zur Verfügung gestellt. Alle LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Einsichtnahme und Ausleihe zur Verfügung.

Bestellungen sind zu richten an die



Die Titel der LIS-Berichte Nr. 1 bis 50 sind in einem Prospekt nachgewiesen, der auf Anfrage gerne zugesandt wird. Diese Berichte sind, bis auf teilweise noch verfügbare Überstücke, vergriffen.

- Berichte-Nr. 51: (vergriffen) Herpertz, E., J. Assmann, D. Krane, E. Hartmann, B. Steck, E. Brewig und J. Krochmann:
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: (vergriffen) Pfeffer, H.-U.:
Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions-Meß- und Erhebungsstellen in der Bundesrepublik Deutschland (STIMES).
Ergebnisse für die Komponenten SO₂, NO_x, O₃ und CO (1984).
- Berichte-Nr. 53: (vergriffen) Beier, R.:
Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983 (1985).
- Berichte-Nr. 54: (vergriffen) Bröker, G. und H. Gliwa:
Polychlorierte Dibenzodioxine und -Furane in den Filterstäuben und Schlacken der 12 Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger Sondermüllverbrennungsanlagen (1985).
- Berichte-Nr. 55: (vergriffen) Külske, S., J. Giebel, H.-U. Pfeffer und R. Beier:
Analyse der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.
Teil 1: Text- und Bildband (1985)
Teil 2: Meßergebnisse (1985).
- Berichte-Nr. 56: Splittgerber, H., M. Klein und P. Neutz:
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: (vergriffen) Prinz, B., J. Hradetzky, H.-U. Pfeffer, H.W. Zöttl und H.-K. Lichtenthaler:
Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden (1985).
- Berichte-Nr. 58: (vergriffen) Giebel, J. und W. Stramplatt:
Untersuchung über die Eignung des Korrelationspektrometers COSPEC V zur Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid (1986).

- Berichte-Nr. 59: Prinz, B., D. Schwela, E. Koch, S. Ganser und T. Eikmann:
(vergriffen) Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen (1986)..
- Berichte-Nr. 60: Manns, H. und H. Gies:
(vergriffen) Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH (1986).
- Berichte-Nr. 61: Splittergerber, H.:
(vergriffen) Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen - Vergleich verschiedener Verfahren - (1986).
- Berichte-Nr. 62: Buck, M. und P. Kirschmer:
(vergriffen) Immissionsmessungen polychlorierter Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane in Nordrhein-Westfalen (1986).
- Berichte-Nr. 62: Buck, M. und P. Kirschmer:
(vergriffen) Measurements of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Outdoor Air (1987).(Übersetzung des 1986 erschienenen LIS-Berichtes Nr. 62)
- Berichte-Nr. 63: Giebel, J.:
(vergriffen) Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells (K-Modell) für die Praxis der Immissionssimulation (1986).
- Berichte-Nr. 64: Winkler, H.D.:
(vergriffen) Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen - (1986).
- Berichte-Nr. 65: Wietlake, K.H.:
(vergriffen) Erschütterungseinwirkungen durch Exzenter-Schmiedepressen und ihre Minderung durch Direktabfederung (1986).
- Berichte-Nr. 66: Viertes Symposium über die Technik der Kernreaktorfernüberwachungssysteme am 8. und 9. Oktober 1985 in der LIS, Essen (bearb. von W. Fronz). (1986).
- Berichte-Nr. 67: Assmann, J.:
(vergriffen) Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (1986).
- Berichte-Nr. 68: Manns, H. und H. Gies:
(vergriffen) Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I 3 m³/h für die automatisierte Immissionsmessung (1986).
- Berichte-Nr. 69: Beine, H.:
(vergriffen) Phosphorsäureester und verwandte Verbindungen - Umweltrelevanz und luftanalytische Bestimmung (1987).
- Berichte-Nr. 70: Buck, M. und H.-U. Pfeffer:
(vergriffen) Air Quality Surveillance in the State North-Rhine-Westphalia (F.R.G.). (Vollständig neu bearbeitete Fassung LIS-Berichtes Nr. 46) (1987).
- Berichte-Nr. 71: Wefers, H. und H. Katzer:
Zusammenstellung von zusätzlichen sicherheitstechnischen Anforderungen an Anlagen zur Lagerung von druckverflüssigtem Ammoniak in Kraftwerken (1987).
- Berichte-Nr. 72: Beier, R., J. Kohlert und M. Buck:
(vergriffen) Entwicklung der Immissionsbelastung in der Umgebung der Aluminiumhütte im Essener Norden in den Jahren 1984 bis 1986 (1987).
- Berichte-Nr. 73: Schade, H.:
(vergriffen) Erstellung eines Emissionskatasters und einer Emissionsprognose für Feuerungsanlagen im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher des Belastungsgebietes Ruhrgebiet Ost. (1987).

- Berichte-Nr. 74: Beier, R. und M. Buck:
(vergriffen) Möglichkeit und Grenzen der Nutzung von Luftqualitätsdaten aus diskontinuierlichen Messungen gemäß TA-Luft (1988).
- Berichte-Nr. 75: Koch, E. und P. Altenbeck:
(vergriffen) Prinzipien des prophylaktischen Immissionsschutzes (1988).
- Berichte-Nr. 76: Giebel, J.:
(vergriffen) Eine vereinfachte Methode zur Immissionssimulation (1988).
- Berichte-Nr. 77: Külske, S., R. Beier und H.-U. Pfeffer:
(vergriffen) Die Smoglage vom 14. bis 22. Januar 1987 in Nordrhein-Westfalen und ihre Ursachen. (1988).
- Berichte-Nr. 78: Geueke, K.-J. und H. Niesenhaus:
(vergriffen) Bestimmung von Benzol in Abgasen (1988).
- Berichte-Nr. 79: Wietlake, K.-H.:
(vergriffen) Geräuschminderung durch Teilkapselung von Schmiedehämmern (1988).
- Berichte-Nr. 80: Krause, G.H.M. und B. Prinz:
Experimentelle Untersuchungen der LIS zur Aufklärung möglicher Ursachen der neuartigen Waldschäden (1989).
- Berichte-Nr. 81: Goldberg, K.H.:
(vergriffen) Untersuchungen zur Geräuschemission und -ausbreitung von Schußsignalen bei Kleinkaliberschießständen (1988).
- Berichte-Nr. 82: Buck, M. und K. Ellermann:
(vergriffen) Die Immissionsbelastung durch Benzol in Nordrhein-Westfalen (1988).
- Berichte-Nr. 83: Wefers, H., S. Delling und T. Schulz:
Hinweise zur Erstellung und Prüfung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen nach der Störfall-Verordnung (1988).
- Berichte-Nr. 84: Wefers, H., T. Schulz und R. John:
(vergriffen) Hinweise und Suchstrategien zu den Stoffen der Störfall-Verordnung (1988).
- LIS-Bericht-Nr. 84 wurde ersetzt durch den LIS-Bericht-Nr. 105 (1992)!
- Berichte-Nr. 85: Krause, G.H.M.:
Untersuchungen zum Vegetationszustand im Umgebungsbereich der nordrhein-westfälischen Aluminiumhütten mit Hilfe der Falschfarbenfotografie (1988).
- Berichte-Nr. 86: Katzer, H. und R. John:
Einsatz von Ammoniakwasser in katalytischen DeNO_x-Anlagen - Ergebnisse an einer Versuchsanlage - (1989).
- Berichte-Nr. 87: Kirschmer, P. und A. Gerlach:
Immissionsmessungen von Chlorkohlenwasserstoffen - Probenahme, Analyse, Ergebnisse - (1989).
- Berichte-Nr. 88: Euteneuer, U., H. Katzer und H. Wefers:
Sicherheitstechnische Überprüfung einer verfahrenstechnischen Anlage nach einem modifizierten PAAG-Verfahren am Beispiel eines Flüssiggaslagers (1989).
- Berichte-Nr. 89: Beier, R. und A. Doppelfeld:
Analyse der räumlichen Repräsentativität automatischer Meßnetze der Luftqualität (1989).
- Berichte-Nr. 90: Beier, R. und J. Kohlert:
Pilotstudie zur Überwachung von Tetrachlorethen in der Nachbarschaft von Chemisch-Reinigungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1989).

- Berichte-Nr. 91: Gem. Hrsg: Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Niedersächsisches Landesamt für Immissionsschutz, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen.:
Asbest-Immissionsbelastung durch Abwitterung.
Fachkolloquium am 06. Juli 1989 in der LIS NRW, Essen ,
Tagungsbericht. (bearb. von M. Buck) (1989).
- Berichte-Nr. 92: Kirschmer, P. und P. Eynck:
Meßverfahren mit automatisierter Probenahme zur Bestimmung von Aldehyden in der Luft (1989).
- Berichte-Nr. 93: Ehl, W. und A. Ertl:
Kriterien-Katalog zur "Prüftiefe" bei Sicherheitsanalysen am Beispiel eines Flüssig-
gaslagers. (1990).
- Berichte-Nr. 94: Manns, H., G. Nitz und B. Striefler:
Weiterentwicklung und Erprobung von Immissionsmeßverfahren für gesundheitsge-
fährdende organische Stoffe. (1990).
- Berichte-Nr. 95: Splittgerber, H. und R. Hillen:
Wahrnehmungsschwelle für Ganzkörperschwingungen in sitzender Körperhaltung.
(1991).
- Berichte-Nr. 96: Großvolumige Behälter zur erdgedeckten Lagerung von druckverflüssigtem
Propan, Butan und Ammoniak (verfaßt von F. Mang und F. Wolfmüller,
bearb. von W. v. Borries und H. Katzer) (1991).
- Berichte-Nr. 97: Hansmann, G. und H. Wefers:
Sicherheitstechnik bei Aktivkoksfiltren an Abfallverbrennungsanlagen
- Hinweise und Anforderungen aus der Sicht der Störfall-Verordnung (1991)
- Berichte-Nr. 98: Koch, E. und P. Altenbeck:
Umsetzung der Großfeuerungsanlagen-Richtlinie der EG in den Mitgliedstaaten.
(1992)
- Berichte Nr. 99: Beisheim, K., A. Ertl und H. Wefers:
Sicherheitsanalysen zu Pflanzenschutzmittellägern
- gutachterliche Bewertung zweier Beispiele (1992)
- Berichte Nr. 100: Pfeffer, H.-U., H. Dobrick und R. Junker:
Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Anforderungen an die Telemetrischen Echtzeit-Immissionsmeßsysteme TEMES und
MILIS in NRW (1992)
- Berichte Nr. 101: Beier, R. und A. Doppelfeld:
Räumliche Übertragbarkeit und Interpolation von Luftqualitätsdaten im
Meßnetz TEMES (1992)
- Berichte Nr. 102: Essers, K.-H.:
Praxiserfahrungen mit dem LIS-Olfaktometer MEO-5 (1992)
- Berichte Nr. 103: Bröker, G., K.-J. Geueke, E. Hiester und H. Niesenhaus:
Emission polychlorierter Dibenzo-p-dioxine und -furane aus Hausbrand-Feuerungen.
(1992)
- Berichte-Nr. 104: Manns, H. und H. Gies:
Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I-N (1 und 3 m³/h, geregelt) für die
automatisierte Immissionsmessung. (1992)

Berichte-Nr. 105: Howe, U., M. Mayer, T. Schulz und A. Ertl:
Hinweise und Suchstrategien zu den Stoffen der Störfallverordnung (1992)

Hinweis:

Die Grundlage des LIS-Berichtes bildet eine ständig fortgeschriebene PC-Organismen- und Stoffliste mit modularem Aufbau (mit mehr als 30 Einzellisten) die von der LIS mit Hilfe einer relationalen Datenbank für Personalcomputer erstellt wurde. Die PC-Organismen- und Stoffliste kann auf PC mit Festplatte und dem Betriebssystem MS-DOS (IBM-kompatibel) betrieben werden. Sie kann bei der LIS, SG 323, Tel.: (0201) 72 00 6-50/51, Telefax: (0201) 72 00 6-57, zum Preis von DM 450,- bestellt werden.

Berichte-Nr. 106: Sachverständigenanhörung zum Thema "Immissionsbedingte Materialschäden".
Tagungsbericht (Wortprotokoll) der Veranstaltung vom 27. bis 29. Mai 1991 in
Essen (bearb. von I. Köth-Jahr) (1992).

Berichte-Nr. 107: Durchführung von Immissionsprognosen für Schwingungs- und Körperschalleinwirkungen (verfaßt von J. Melke; bearb. von D. Piorr) (1992)

Berichte-Nr. 108: Hillen, R.:
Schallimmissionspläne - Basis von Lärminderungsplänen (1993)

Berichte-Nr. 109: Probenahme von polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) und polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD) in Abgasen mit einem Adsorptionsverfahren.
(gemeinsam verfaßt von W. Funcke, H. Linnemann, G. Bröker und K.-J. Geuke).
(1993)

Berichte-Nr. 110: Drei Jahrzehnte Luftqualitätsüberwachung. Vorträge und Berichte zum Kolloquium
"Drei Jahrzehnte Luftqualitätsüberwachung - Bilanz und Perspektiven" am
11. Nov. 1993 in Essen, Tagungsbericht (1993)

Berichte-Nr. 111: Manns, H., A. Borowiak und G. Nitz:
Ergebnisse der Eignungsprüfung des automatischen Ozon-Immissionsmeßgerätes
Environnement O₃41M (1993)

Berichte-Nr. 112: Bestimmung der Schallemission von 100-m-Schießständen (verfaßt von E. Buchta;
bearb. von J. Assmann) (1994)

Berichte-Nr. 113: Giebel, J.:
Ausbreitung luftverunreinigender Stoffe im Nahbereich
niedriger Quellen (1994)

Berichte-Nr. 114: Hoffmann, V., J. Giebel und Y. Trippe:
Emissionen und Immissionen durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich (1994)