

SFK/TAA

STÖRFALL-KOMMISSION

**TECHNISCHER AUSSCHUSS
FÜR ANLAGENSICHERHEIT**

beim
Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Leitfaden
Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der
Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der
Bauleitplanung - Umsetzung § 50 BImSchG

der SFK/TAA-Arbeitsgruppe "Überwachung der Ansiedlung"

SFK/TAA-GS-1

STÖRFALL-KOMMISSION (SFK)
TECHNISCHER AUSSCHUSS FÜR
ANLAGENSICHERHEIT (TAA)

Leitfaden
Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der
Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung –
Umsetzung § 50 BImSchG

der SFK/TAA-Arbeitsgruppe “Überwachung der Ansiedlung“

am 18. Oktober 2005 von SFK und TAA verabschiedet

SFK/TAA-GS-1

Die Störfall-Kommission (SFK) ist eine nach § 51a Bundes-Immissionsschutzgesetz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gebildete Kommission.
Der Technische Ausschuss für Anlagensicherheit (TAA) ist ein nach § 31a Bundes-Immissionsschutzgesetz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gebildetes Gremium.
Die Geschäftsstelle beider Gremien ist bei der GFI Umwelt (Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH) in Bonn eingerichtet.

Anmerkung:

Dieses Werk wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen der Verfasser und der Auftraggeber keine Haftung für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können daher keine Ansprüche gegenüber dem Verfasser und/oder dem Auftraggeber gemacht werden.

Dieses Werk darf für nichtkommerzielle Zwecke vervielfältigt werden. Der Auftraggeber und der Verfasser übernehmen keine Haftung für Schäden im Zusammenhang mit der Vervielfältigung oder mit Reproduktionsexemplaren.

Inhalt

Vorbemerkung	1
1 Grundsätze des „Land-use planning“	2
1.1 Politiken nach Art. 12 Abs. 1 der Seveso-II-Richtlinie	3
1.2 Bauleitplanung nach dem Baugesetzbuch (BauGB)	3
1.3 Planungs- und Trennungsgrundsatz des § 50 BImSchG	4
2 Anwendungsbereiche der Abstandsempfehlungen	4
2.1 Anwendung in der Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse	5
2.2 Anwendung in der Bauleitplanung mit Detailkenntnissen	5
2.3 Nichtanwendbarkeit der Abstandsempfehlungen	6
2.3.1 Vorhandene Bebauung	6
2.3.2 Genehmigungsverfahren	6
2.3.3 Externe Notfallplanung	6
3 Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse	7
3.1 Erläuterungen	9
3.2 Grundlagen der Abstandsempfehlungen	9
3.3 Untersuchte Szenarien	9
3.3.1 Brände und Gaswolkenexplosionen	10
3.3.2 Freisetzung von toxischen Stoffen	10
4 Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung mit Detailkenntnissen	11
Anhang 1: Abstandsberechnungen für typische Stoffe, Vergleich mit Ereignissen aus der ZEMA-Datenbank	13
Anhang 2: Berechnungsgrundlagen	25
Anhang 3: Beurteilungsgrundlagen physikalischer und toxischer Endpunkte	42
Anhang 4: Mitglieder und Gäste der Arbeitsgruppe „Überwachung der Ansiedlung“	54

Vorbemerkung

Artikel 1 der Richtlinie des Rates 96/82/EG (Seveso-II-Richtlinie)¹ verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Verhütung schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen und zur Begrenzung der Unfallfolgen für Mensch und Umwelt, um auf abgestimmte und wirksame Weise in der ganzen Gemeinschaft ein hohes Schutzniveau zu gewährleisten.

Nach Artikel 5 ist es allgemeine Betreiberpflicht, „alle notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um schwere Unfälle mit gefährlichen Stoffen zu verhüten und deren Folgen für Mensch und Umwelt zu begrenzen“.

Damit dabei angemessene Abstände präventiv beachtet werden, bedarf es der Steuerung mit den Mitteln der Raum- und Flächenplanung. Dies fordert der europäische Richtliniengeber folgerichtig mit Art. 12 der Richtlinie von den Mitgliedstaaten.

Die darin verankerten Grundsätze des „Land-use planning“ sind in Deutschland im Immissionsschutzrecht sowie im Bauleitungsrecht enthalten.

Um den für die Bauleitplanung verantwortlichen Stellen und insbesondere den zu beteiligenden Fachbehörden, wie den Immissionsschutzbehörden eine einheitliche Grundlage in Form eines Arbeitsleitfadens für die Beurteilung angemessener Abstände zwischen Betriebsbereich (Betrieb im Sinne der Richtlinie) einerseits und schutzbedürftigem Gebiet andererseits an die Hand zu geben, werden im Folgenden Abstandsempfehlungen und Bewertungsmethoden vorgeschlagen, um schon mit planerischen Mitteln sicherzustellen, dass Flächen mit unverträglichen Nutzungen einander in einem angemessenen Abstand zugeordnet werden.

Zur ausführlichen rechtlichen Darstellung der Berücksichtigung der Anforderungen des Art.12 Seveso-II-Richtlinie im deutschen Recht wird auf die gemeinsame Ausarbeitung von LAI/ARGE Bau „Arbeitshilfe zur Anwendung der Vorgaben aus Artikel 12 der Richtlinie 96/82/EG (Seveso-II-Richtlinie) - Angemessene Abstände zwischen Seveso-II-Betrieben und Schutzobjekten in der Bauleitplanung und in Zulassungsverfahren“, Februar 2004, verwiesen².

Sowohl in SFK und TAA wurden Themen zur Umsetzung der Seveso-II-Richtlinie bearbeitet. Auf Beschluss von beiden Gremien wurde wegen der Bedeutung der Thematik im März 2002 ein gemeinsamer Arbeitskreis „Überwachung der Ansiedlung“ eingerichtet.

Der Arbeitskreis ist sich bewusst, dass der vorliegende Leitfaden ein erster Schritt ist, dem Problem der Bemessung „angemessener“ Abstände gerecht zu werden. Aus diesem Grund sollte ein intensiver Erfahrungsaustausch mit der Praxis stattfinden. Alle Beteiligten werden daher gebeten, ihre Erfahrungen in der Anwendung des Leitfadens der Geschäftsstelle der zukünftigen Kommission für Anlagensicherheit (KAS)³ mitzuteilen, um eine zeitnahe Überprüfung des Leitfadens zu ermöglichen.

¹ vom 9. Dezember 1996, geändert durch die Richtlinie 2003/105/EG vom 16. Dezember 2003 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 96/82/EG

² zitiert nach „Kommentar Die neue Störfallverordnung“, WEKA-Verlag und nach „Kommentar Anlagensicherheit“, UB-Media Verlag

³ www.kas-bmu.de

1 Grundsätze des „Land-use planning“

Damit in allen Mitgliedstaaten der Europäischen Union

- Wohngebiete,
- öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete,
- wichtige Verkehrswege (so weit wie möglich),
- Freizeitgebiete 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-Richtlinie in Artikel 12 Regelungen zur „Überwachung der Ansiedlung“ vor.

Die Mitgliedstaaten haben hiernach dafür zu sorgen, dass in ihren Politiken der Flächenausweisung oder der Flächennutzung und/oder anderen einschlägigen Politiken das Ziel, schwere Unfälle zu verhüten und ihre Folgen zu begrenzen, Berücksichtigung findet. Hierfür sollen sie Methoden und Kriterien entwickeln, die langfristig dem Erfordernis Rechnung tragen, dass zwischen den unter die Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und schützenswerten Gebieten andererseits ein angemessener Abstand gewahrt bleibt.

Die Überwachung der Ansiedlung betrifft nach Art.12 Abs. 1 Satz 2

- a) die Ansiedlung neuer Betriebe,
- b) Änderungen bestehender Betriebe im Sinne des Art. 10,
- c) neue Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebe wie beispielsweise Verkehrswege (soweit wie möglich), Örtlichkeiten mit Publikumsverkehr, Wohngebiete, wenn diese Ansiedlungen oder Maßnahmen das Risiko eines schweren Unfalls vergrößern oder die Folgen eines solchen Unfalls verschlimmern können.

Die Ansiedlung neuer Betriebe geht in der Regel einher mit der planungsrechtlich notwendigen Ausweisung von Industrieflächen. Hierfür bedarf es der Aufstellung von Bauleitplänen, um die damit verbundene städtebauliche Entwicklung zu steuern.

Die in den Kap. 3 und 4 aufgeführten Abstandsempfehlungen sollen dafür dem Planungsträger und den im Verfahren beteiligten Behörden unter den genannten Voraussetzungen eine Hilfestellung geben. Sie sollen dazu beitragen, mögliche Störfallauswirkungen schon mit den Mitteln des Planungsrechtes zu begrenzen. Die Einhaltung der Abstandsempfehlungen entbindet die Genehmigungsbehörde im späteren Zulassungsverfahren nicht davon, im Einzelfall zu prüfen, ob die Voraussetzungen nach § 3 Störfall-Verordnung vorliegen.

Ausreichende Abstände sind kein Ausgleich für ein niedriges Sicherheitsniveau an den Anlagen.

Die Empfehlungen beziehen sich nicht auf Änderungen bestehender Betriebe im Sinne des Art.10 (Fall b). Solche Änderungen sind nach den einschlägigen Politiken des deutschen Rechtes unter dem Gesichtspunkt der konkreten Lage und Beschaffenheit des Einzelfalls zu bewerten. Dies hat unter Beachtung der bauleitplanerischen Vorgaben am Standort mit den Mitteln des BImSchG i. V. m. der Störfall-Verordnung zu erfolgen.

1.1 Politiken nach Art. 12 Abs. 1 der Seveso-II-Richtlinie

Die Politiken nach Art. 12 Abs. 1 der Seveso-II-Richtlinie sind in Deutschland im Baugesetzbuch (BauGB) mit der dazu erlassenen Baunutzungsverordnung (BauNVO) und in § 50 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) niedergelegt. Die Bauleitplanung, die in die Planungshoheit der Gemeinden fällt, macht mittels der Flächennutzungspläne vorbereitende (primär verwaltungsintern wirkende) und mittels der Bebauungspläne konkrete und rechtsverbindliche Vorgaben für die Bodennutzung innerhalb der Gemeinde.

Die Berücksichtigung angemessener Abstände soll dazu beitragen, die von schweren Unfällen in Betriebsbereichen hervorgerufenen Auswirkungen auf benachbarte schutzbedürftige Gebiete so weit wie möglich zu vermeiden.

Angemessene Abstände können z. B. dadurch hergestellt werden, dass der Bebauungsplan in bestimmten Bereichen eines Industriegebietes die Ansiedlung von bestimmten Anlagen und Tätigkeiten ausschließt oder einschränkt.

Die Abstandsempfehlungen nach Kap. 3 und 4 sollen den Beteiligten bei der Planung helfen, hier sachgerechte Entscheidungen zu treffen.

1.2 Bauleitplanung nach dem Baugesetzbuch (BauGB)

Die Bauleitplanung fällt in die Planungshoheit der Gemeinden. Bei der Aufstellung der Pläne beteiligen sie die betroffenen Behörden, die Träger öffentlicher Belange und die Öffentlichkeit, um eine umfassende Abwägung zwischen den Belangen z.B. des Umwelt- bzw. Immissionsschutzes und den Belangen der gewerblichen Wirtschaft und den sozialen Belangen sicherzustellen. Die Darstellungen und Festsetzungen in den Bauleitplänen müssen als Ergebnis der den rechtlichen Anforderungen genügenden Abwägung entsprechen.

In der Bauleitplanung sind grundsätzlich die durch die jeweilige Planung ausgelösten Konflikte zu bewältigen. Festsetzungen können sich dabei nur auf die Fläche innerhalb der Plangrenzen beziehen. Welche Festsetzungen im Bebauungsplan möglich sind, regeln abschließend § 9 BauGB und die BauNVO.

Es widerspricht planungsrechtlichen Grundsätzen und einer sachgerechten Abwägung, wenn miteinander nicht verträgliche Nutzungen räumlich nicht angemessen getrennt werden, z.B. wenn ein neues Industriegebiet unmittelbar neben einem Wohngebiet (oder umgekehrt) ausgewiesen wird.

Industriegebiete dienen gem. § 9 Abs. 1 BauNVO ausschließlich der Unterbringung von Gewerbebetrieben, und zwar vorwiegend solcher Betriebe, die in anderen Baugebieten unzulässig sind. Hierzu gehören insbesondere Betriebe mit Anlagen, die einer Genehmigung nach § 4 BImSchG bedürfen. Störfallrelevante Anlagen innerhalb eines Betriebsbereichs unterliegen in der Regel einer solchen Genehmigungspflicht und sollten daher regelmäßig nur in einem Industriegebiet ausgewiesen werden.

Auf der Grundlage des § 1 Abs. 4 BauNVO kann im Bebauungsplan die Zulässigkeit solcher Anlagen und Tätigkeiten ausgeschlossen oder eingeschränkt werden, in denen bestimmte Stoffe und Stoffmengen be- oder verarbeitet oder gelagert werden sollen. Dies können insbesondere gefährliche Stoffe im Sinne der Stoffliste in Anhang I der Störfall-Verordnung sein. Dabei kann auf bestimmte Mengenschwellen in der Stoffliste des Anhangs I Bezug genommen werden

Formulierungsbeispiel: Ausschluss von Anlagen oder Tätigkeiten in Betriebsbereichen, welche bei Chlor die Mengenschwelle in Zeile 20 Spalte 4 der Stoffliste des Anhangs I der Störfall-Verordnung überschreiten.

Das Gebot der planerischen Konfliktbewältigung findet allerdings seine Grenze in der Reichweite der Regelungsbefugnisse der Bauleitplanung und hier insbesondere des Bebauungsplans.

So ist für das Verhältnis des Bauplanungsrechts zum Immissionsschutzrecht auch in der Rechtsprechung anerkannt, dass es nicht Aufgabe der Bauleitplanung ist, Entscheidungen zu treffen, die nach den Bestimmungen des BImSchG dem jeweiligen Genehmigungsverfahren vorbehalten oder im ordnungsbehördlichen Vollzug anzuordnen sind.

1.3 Planungs- und Trennungsgrundsatz des § 50 BImSchG

Nach § 50 Satz 1 BImSchG sind bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen und von schweren Unfällen im Sinne des Artikels 3 Nr. 5 der Richtlinie 96/82/EG in Betriebsbereichen hervorgerufene Auswirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete, insbesondere öffentlich genutzte Gebiete, wichtige Verkehrswege, Freizeitgebiete und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle oder besonders empfindliche Gebiete und öffentlich genutzte Gebäude, so weit wie möglich vermieden werden.

Dabei ist es unerheblich, ob der Betriebsbereich den erweiterten Pflichten oder den Grundpflichten der Störfall-Verordnung unterliegt. Der Begriff „Betriebsbereich“ ist in § 3 Abs. 5a BImSchG abschließend definiert.

Raubedeutsame Planungen sind alle raumgestaltenden Verfahren, beginnend von der Raumordnung, der Landes- und Regionalplanung, der gemeindlichen Bauleitplanung, bis hin zur Fachplanung, wie z. B. der Landschaftsplanung.

Unter raumbedeutsame Maßnahmen können auch Planfeststellungsverfahren und Verfahren für Einzelvorhaben im Rahmen der §§ 34,35 BauGB im Umfeld von Betriebsbereichen fallen.

Da der Planungsgrundsatz des § 50 Satz 1 BImSchG die Forderung enthält, schutzwürdige Gebiete durch Zuordnung der Flächen auch vor schädlichen Umwelteinwirkungen i. S. d. § 3 Abs. 1 BImSchG so weit wie möglich zu schützen, sind auch die Immissionen abstandsbestimmend zu berücksichtigen, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb und Beachtung des Standes der Emissionsminderungstechnik in Form von Luftverunreinigungen, Lärm, Gerüche etc. von der Anlage auf das Schutzobjekt einwirken können⁴. Die vorzunehmende Gesamtbewertung kann je nach Einzelfall zu dem Ergebnis führen, dass die zu erwartenden schädliche Umwelteinwirkungen im vorgenannten Sinne für die planerischen Festsetzungen abstandsbestimmend sind. Zu beachten ist, dass der jeweils größere Abstand einzuhalten ist.

2 Anwendungsbereiche der Abstandsempfehlungen

Im Nachfolgenden werden folgende Planungsfälle unterschieden:

- „Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse“ - Festsetzung von Industrie-/ Gewerbegebieten, deren konkrete Nutzung noch nicht bekannt ist, die jedoch als planungsrechtliche Grundlage für die Zulässigkeit von Betriebsbereichen nach BImSchG von der Gemeinde vorgesehen sind.
- „Bauleitplanung mit Detailkenntnissen“ - Entwicklungen in der Nachbarschaft von bestehenden Betriebsbereichen nach BImSchG.

Die Abstandsempfehlungen nach Kap. 3 und 4 beziehen sich auf die Ausführungen des § 50 BImSchG und dort nur auf den Menschen als zu schützendes Objekt. Für alle anderen nach § 50 BImSchG zu betrachtenden schutzbedürftigen Gebiete ist eine gesonderte Betrachtung erforderlich.

⁴ s. auch „Abstandserlaß“ des MURL NRW v. 2.421998 (MBI. NW. S 744)

Die Abstandsempfehlungen berücksichtigen auch nicht die schädlichen Umwelteinwirkungen, die ebenfalls nach § 50 BImSchG zu berücksichtigen sind.

2.1 Anwendung in der Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse

Diese klassische Form der Bauleitplanung, die Planung auf der „grünen Wiese“, stellt darauf ab, durch Zuordnung der gemeindlichen Flächen eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung sicherzustellen.

Hinsichtlich der zu berücksichtigenden Anforderungen des Immissionsschutzes sind diese so zu bemessen, dass auch in der Zukunft eine Entwicklung in den ausgewiesenen Flächen möglich bleibt. Demzufolge müssen schon aufgrund der fehlenden Detailkenntnisse die Abstandsempfehlungen diesem Rechnung tragen und dürfen nicht schon von vornherein z. B. eine gewünschte industrielle Entwicklung oder Wohnbebauung einschränken, was die Nutzung des Plangebietes beschränken würde.

Für die Planung ist es deshalb nicht empfehlenswert, durch Berücksichtigung von möglichen sicherheitstechnischen Maßnahmen an den noch nicht bekannten zukünftigen Anlagen eine Abstandsfestlegung zu treffen, die einen geringeren Abstand zwischen einem schutzbedürftigen Gebiet und einem Betriebsbereich zulässt. Die Anforderungen an die technische Ausgestaltung der Anlagen sind im späteren Genehmigungsverfahren zu stellen und nicht Aufgabe der Bauleitplanung. Daraus erklärt sich auch, dass in der Regel für die Planungen ohne Detailkenntnis folgerichtig größere Abstände vorzuschlagen sind als für die Planungen mit Detailkenntnis.

Die in Kap. 3 ausgesprochenen Abstandsempfehlungen basieren demzufolge auf einer typisierenden Betrachtung, um dem Normcharakter von Bebauungsplänen gerecht zu werden.

Die den Ausbreitungsempfehlungen zugrunde liegenden Bedingungen beziehen sich auf Planungen in ebenem Gelände. In Abhängigkeit insbesondere von den örtlichen Verhältnissen, z. B. Tallagen, können sich Abweichungen von den gemachten Abstandsempfehlungen ergeben.

Bei Einhaltung oder Überschreitung der Abstandsempfehlungen kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass die durch einen schweren Unfall im Betriebsbereich hervorgerufenen Auswirkungen unter den getroffenen Annahmen für den Menschen nicht zu einer ernststen Gefahr i. S. d. § 2 Nr. 4 der Störfall-Verordnung führen können.

Die sich durch die Abstandsempfehlung ergebende „Zwischenzone“ ist nicht als von der Bebauung freizuhalten Fläche zu verstehen. Innerhalb dieser Abstände können weniger schutzwürdige Nutzungen als die in § 50 Satz 1 BImSchG genannten vorgesehen werden.

2.2 Anwendung in der Bauleitplanung mit Detailkenntnissen

Ist die Festsetzung oder die Bebauung z. B. von Wohngebieten in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche vorgesehen, bieten die Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse auch hier einen Anhalt dafür, ob das geplante schutzwürdige Gebiet durch die dann vorhandene Nähe zum Betriebsbereich gefährdet sein könnte. Sie sind in diesem Sinne als Achtungsabstände zu verstehen.

Das vom Betriebsbereich ausgehende Gefahrenpotenzial ist hier bekannt bzw. beurteilbar. Die auf dem Betriebsbereich befindlichen Anlagen und Tätigkeiten unterliegen den störfallrechtlichen Anforderungen und müssen nach dem Stand der Sicherheitstechnik betrieben werden.

Wenn die empfohlenen Achtungsabstände unterschritten werden, sollte ausgehend von der konkreten Lage und Beschaffenheit des Betriebsbereiches in einer Einzelfallprüfung nach dem in Kap. 4 erläuterten Verfahren geprüft werden, wieweit ein derartiges Heranrücken

zugelassen werden kann. Dabei sollten aus städtebaulicher Sicht (Trennungsgrundsatz nach § 50 BImSchG) bestimmte, im Einzelfall festzulegende Mindestabstände nicht unterschritten werden. Neben dem Schutz der Nachbarschaft dient dies auch dem Recht des Betriebes auf Bestandserhaltung und seinem Interesse auf betriebliche Entwicklung.

2.3 Nichtanwendbarkeit der Abstandsempfehlungen

2.3.1 Vorhandene Bebauung

Für die Beurteilung der Frage, ob bei einem vorhandenen Betriebsbereich Gefahren auf benachbarte Wohnbebauungen ausgehen können, sind die Abstandsempfehlungen nicht geeignet.

Dies ist im Einzelfall vielmehr anhand der immissionsschutzrechtlichen Vorschriften zu prüfen oder die Konfliktsituation ist durch die Überplanung des Gebietes einer Lösung zu zuführen.

Letzteres gilt insbesondere für Gemengelagen, in denen historisch Wohnen und Gewerbe und/oder Industrie nebeneinander entstanden sind.

2.3.2 Genehmigungsverfahren

§ 50 BImSchG bezieht sich nicht auf Genehmigungsverfahren nach BImSchG sondern nur auf die Zuordnung von Flächen.

Die Abstandsempfehlungen nach Kap. 3 und 4 sind deshalb nicht als Beurteilungsmaßstab bei der Genehmigung von Einzelvorhaben (nach dem BImSchG oder nach dem Bauordnungsrecht der Länder) geeignet. Dies gilt auch für Genehmigungsverfahren aufgrund wesentlicher Änderungen.

In diesen Fällen ist es Aufgabe der Genehmigungsbehörde, anhand der konkreten Antragsunterlagen und ggf. aufgrund von Einzelgutachten zu prüfen, ob sichergestellt ist, dass z.B. die Genehmigungsvoraussetzungen nach § 6 BImSchG vorliegen. Bei Anlagen, die Teil eines Betriebsbereiches nach Störfall-Verordnung sind, ist dabei auch zu prüfen, ob der Betriebsbereich den Anforderungen nach § 3 ff. Störfall-Verordnung entspricht.

2.3.3 Externe Notfallplanung

§ 50 BImSchG bezieht sich nicht auf die externe Notfallplanung. Die Abstandsempfehlungen nach Kap. 3 und 4 sind deshalb nicht als Beurteilungsmaßstab bei der externen Notfallplanung für die Festlegung von Bereichen, die von Störfällen betroffen sein können, geeignet.

3 Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse

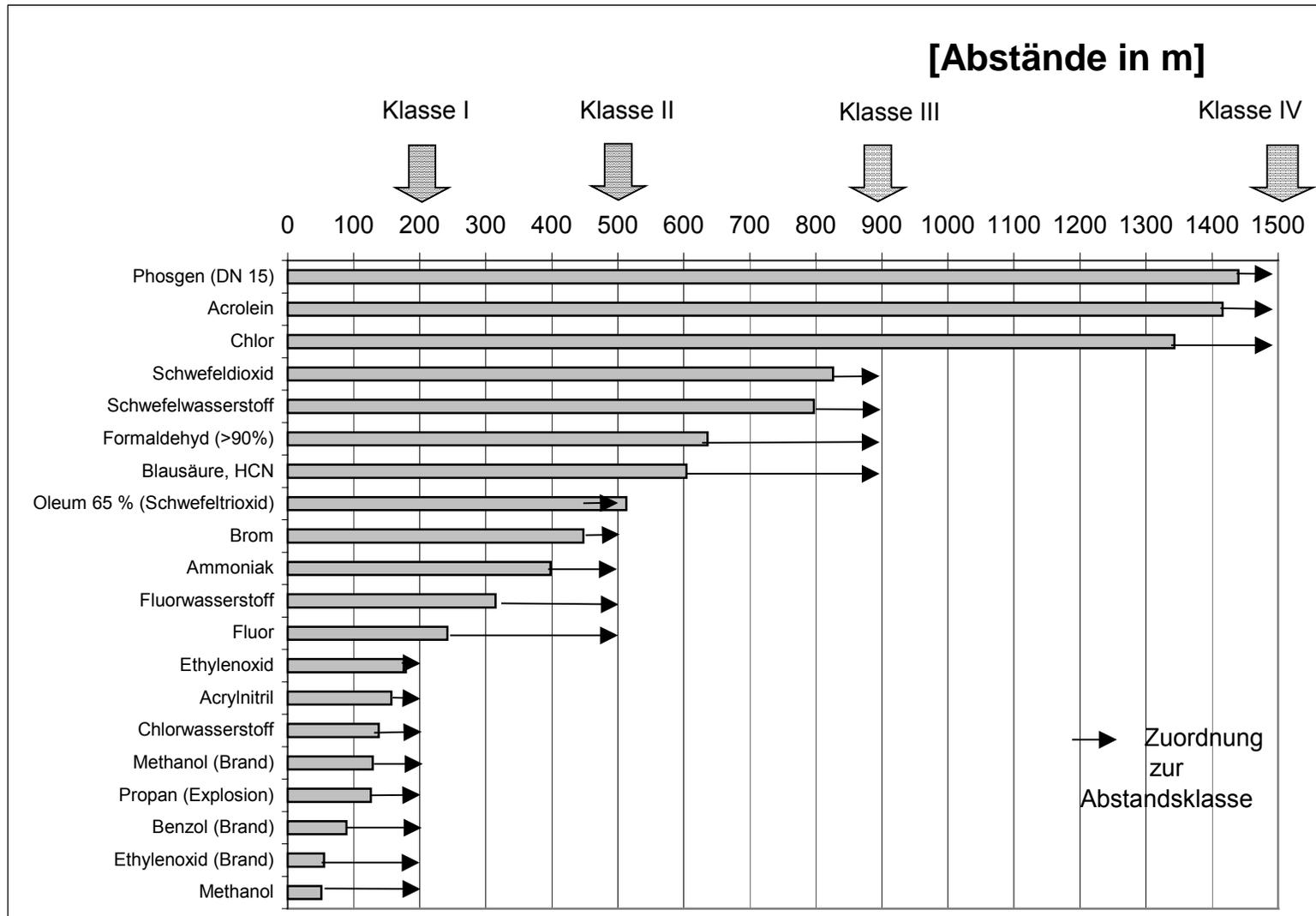
Die Abstandsempfehlungen sind als Richtwerte zu verstehen (siehe Abb. 1). Sie basieren auf typisierten Annahmen, die nachfolgend näher beschrieben werden.

Ausschlaggebend für die Ermittlung der Abstandsempfehlung sind neben der Toxizität, Wärmestrahlungsbelastung und Druckbelastung, ausgedrückt über die entsprechenden Störfallbeurteilungswerte, stoffspezifische Eigenschaften wie der Dampfdruck und die typischen Prozessbedingungen, unter denen die gefährlichen Stoffe gehandhabt werden, wie Konzentration, Druck und Temperatur. Dies ergibt unterschiedliche Freisetzungsraten für die betrachteten repräsentativen Szenarien. Aus diesem Grund ergibt sich keine einfache Relation zwischen Toxizität, Wärmestrahlungsbelastung sowie Druckbelastung und Abstandsempfehlung. Es wird deshalb eine Zuordnung in Klassen gebildet (siehe Abb. 1). Sie repräsentieren die Schwankungsbreiten, die sich für die Bereiche ergeben. Dies trägt der Variation der Ergebnisse aufgrund von Dampfdruck und Betriebsparametern wie Temperatur und Druck Rechnung.

Die Ergebnisse sind für wichtige Leitstoffe in Abb. 1 und Anhang 1 dargestellt.

Für andere Stoffe des Anhangs I der Störfall-Verordnung ist entsprechend ihren physikalischen und toxischen Eigenschaften eine Orientierung an den entsprechenden Leitstoffen vorzunehmen.

Abb. 1: Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse



Die Zuordnung zu Abstandsklassen setzt eine bestimmte Mindestmenge von Gefahrstoffen, die in einer Anlage bzw. einem Betriebsbereich vorhanden sind oder entstehen können, voraus. So gelten die Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse nur wenn in einer Anlage oder bei einer Tätigkeit innerhalb eines Betriebsbereiches die Mengenschwellen entsprechend Spalte 4 Anhang I der Störfall-Verordnung erreicht oder überschritten werden.

3.1 Erläuterungen

Die nachfolgend enthaltenen Ausführungen gelten für die jeweils angegebenen gefährlichen Stoffe bzw. Szenarien, für die die nach Klassen geordneten Abstandsempfehlungen ausgesprochen werden. Bei der Abstandsermittlung wurden wichtige typische Stoffe als maßgeblich ausgewählt.

Die Erläuterungen enthalten in Anhang 1 zu häufig verwendeten Stoffen

- Abstandsberechnungen für typisierte Quellterme und einen
- Vergleich der in der ZEMA registrierten Ereignisse mit größeren Schäden in Bezug auf die angenommenen Quellterme.

Die den Abstandsberechnungen zugrunde gelegten Randbedingungen und technischen Modelle sind ebenfalls in Anhang 1, 2 und 3 dargestellt.

3.2 Grundlagen der Abstandsempfehlungen

Bei der Erarbeitung der Abstandsempfehlungen wurde davon ausgegangen, dass die Betriebsbereiche schon wegen der sich aus der Störfall-Verordnung ergebenden Betreiberpflichten ein hohes Sicherheitsniveau gewährleisten müssen. So ist im späteren Zulassungsverfahren nachzuweisen, dass die jeweiligen Anlagen, als Teil des Betriebsbereichs, nach dem Stand der Sicherheitstechnik errichtet und betrieben werden. Weiterhin stellen die einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen hohe Anforderungen an den Betrieb der Anlagen, z. B. durch vorgeschriebene wiederkehrende Prüfungen durch Sachverständige.

Deshalb wurde hinsichtlich der Freisetzung von gefährlichen Stoffen davon ausgegangen, dass wegen der nach dem Stand der Technik gefertigten und nach gesetzlich vorgeschriebenen Prüfpflichten überwachten sicherheitsrelevanten Anlagenteile ein Spontanversagen von Behältern oder der vollständige Abriss von großen Rohrleitungen im Rahmen der vorliegenden Empfehlungen auszuschließen sind, da sie für die Frage des land-use planning hinreichend unwahrscheinlich sind.

Aufgrund langjähriger Betriebserfahrungen und aus der Analyse des deutschen Störfallgeschehens in den letzten 15 Jahren (vergleiche ZEMA-Berichte⁵) wurde für die Freisetzung in der Regel ein Quellterm aus einer Austrittsfläche von 490 mm² angenommen (entspricht z.B. dem Querschnitt einer DN 25 Leitung, siehe Anhang 1). Abweichungen hiervon wurden im Einzelfall, aufgrund von spezifischer Anlagenauslegung und Betriebserfahrung vorgenommen.

Die daraus errechneten Mengen lagen durchweg über den Mengen, die aufgrund dieser Betriebserfahrungen bei Freisetzung, Brand oder Explosion zu beobachten waren.

3.3 Untersuchte Szenarien

Bei der Ermittlung der Abstandsempfehlungen wurde die deterministische Vorgehensweise gewählt, die im Einklang mit dem in Deutschland praktizierten Störfallrecht steht. Auf diese

⁵ Zentrale Störfallmelde- und Auswertestelle im Umweltbundesamt (www.umweltbundesamt.de/zema)

Weise ist ein einfach durchschaubarer Rahmen geschaffen, dessen Voraussetzungen und Annahmen nachprüfbar sind, wie im Folgenden dargelegt.

Dabei waren maßgeblich:

- Brände und Gaswolkenexplosionen mit unmittelbarer Zündung
- Freisetzung toxischer Stoffe.

Für die Handhabung von Sprengstoffen (2. SprengV) und Ammoniumnitrat (Anhang III Nr. 6 (Ziffern 6.4.2.2, 6.5) der Gefahrstoff-Verordnung) wird auf entsprechende Regelungen in Deutschland verwiesen, die generische Abstände festlegen.

3.3.1 Brände und Gaswolkenexplosionen

Große Brände wurden unter dem Aspekt der Wärmestrahlungsbelastung betrachtet. Die Erfahrung zeigt, dass bei Bränden toxische Effekte durch die Brandgase für die Bauleitplanung i.d.R. vernachlässigbar sind. Gaswolkenexplosionen mit unmittelbarer Zündung sind unter dem Aspekt der Druckwellen und der durch sie bedingten Auswirkungen zu betrachten. Trümmerwurf wird aufgrund des bekannten Unfallgeschehens in Deutschland im Rahmen der Bauleitplanung nicht berücksichtigt. Zu den Immissions-Toleranzwerten wurden folgende Überlegungen angestellt:

Hinsichtlich der Definition der „ernsten Gefahr“ nach Störfall-Verordnung kann geschlossen werden, dass die Beeinträchtigung einer großen Anzahl von Menschen i. S. des § 2 Nr. 4 b Störfall-Verordnung für die Auswahl der relevanten Toleranzwerte für die Belastung durch Wärmestrahlung und Explosionsdruckwirkungen maßgeblich ist. In der Regel wird bei der Bauleitplanung ein größeres Gebiet geplant, in dem sich mehrere Menschen aufhalten. (Einzelheiten siehe Anhang 3)

- Für die Wärmestrahlung ist mit einem Grenzwert von **1,6 kW/m²** die Grenze des Beginns nachteiliger Wirkungen für Menschen erreicht.
- Bei den Wirkungen von Explosionen ist eine Grenze zu irreversiblen Gesundheitsschäden bei 0,175 bar Spitzenüberdruck für den Trommelfellriss erreicht. Schäden durch z.B. zersplittertes Glas sind schon ab 0,05 bar (für 100 % Bruch) zu erwarten. Als mittlerer Grenzwert wurde für die Bauleitplanung **0,1 bar** gesetzt.

3.3.2 Freisetzung von toxischen Stoffen

Für die Bauleitplanung wurde als Konzentrationsleitwert der ERPG-2-Wert mit folgender Definition ausgewählt:

»Die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang exponiert werden könnten, ohne dass sie unter irreversiblen oder sonstigen schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen oder Symptomen leiden bzw. solche entwickeln, die die Fähigkeit einer Person beeinträchtigen könnten, Schutzmaßnahmen zu ergreifen.«

Aus der Analyse der Begriffsidentität von Störfall-Verordnung und ERPG-Definitionen wurde abgeleitet, dass die Beeinträchtigung einer großen Anzahl von Menschen i.S. des § 2 Nr. 4 b Störfall-Verordnung für die Auswahl des relevanten Konzentrationsleitwertes maßgeblich ist. Damit ergibt sich eine weitgehende Definitionsüberschneidung mit dem ERPG-2-Wert, der für die Bauleitplanung verwendet werden soll (siehe Anhang 3).

Als Ausbreitungsmodell fand die VDI-Richtlinie 3783 Anwendung. Als Ausbreitungsbedingungen für die Schadstoffe wurde die mittlere Wetterlage in einer typischen Industriebebauung (gleichförmige bebauung) gewählt. Mit dieser statistisch häufigsten Wetterlage wird am ehesten dem Umstand Rechnung getragen, dass die Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung nur einen abstrakt-typisierenden Charakter

haben können. Darüber hinaus wurde die mittlere Wetterlage auch deshalb gewählt, um eine Häufung konservativer Annahmen zu vermeiden. So wurden mit der Wahl des ERPG-2-Wertes und seiner Verwendung als Konzentrationsspitzenwert zwei eher konservative Annahmen getroffen.

Die den Abstandsberechnungen zugrunde gelegten Randbedingungen und technischen Modelle sind in Anhang 2 und 3 dargestellt.

Neben den ERPG-Werten stehen außerdem noch AEGL-Werte (Acute Exposure Guidance Level) mit ähnlicher Aussage zur Verfügung. Außerdem wird derzeit in Europa an der Festlegung neuer Werte für die Beurteilung von Einwirkungen bei Gefahrenlagen gearbeitet, den sogenannten AETL-Werten (Acute Exposure Threshold Level). Da die Ableitung von AETL-Werten erst am Anfang steht und noch nicht genügend AEGL-Werte erarbeitet sind, wurden für die Bearbeitung die international umfassend verfügbaren ERPG-Werte herangezogen⁶.

4 Abstandsempfehlungen für die Bauleitplanung mit Detailkenntnissen

Für neue Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche sind die Stoffe, deren genehmigte Mengen und die technischen Anlagen, in denen diese gehandhabt werden, bekannt. Hier ist eine konkrete Einzelfallbetrachtung mit einer systematischen Gefahrenanalyse möglich. Daraus werden repräsentative Szenarien gebildet.

Bei der Bewertung der jeweiligen Einzelfälle sind die Genehmigungsunterlagen, der Sicherheitsbericht und die darin nach § 9 Abs. 1 Nr. 5 Störfall-Verordnung vom Betreiber zu machenden Angaben und weitere Dokumente als Erkenntnisquellen heranzuziehen.

Die weiteren Empfehlungen können nur einen Rahmen vorgeben. Die zuständige Behörde hat sich jeweils davon zu überzeugen, ob die vorgenommenen Betrachtungen auf den zu beurteilenden Einzelfall übertragbar sind.

Hierzu wird – abweichend von Kap. 3 - für die Vorgehensweise folgende Empfehlung ausgesprochen:

1. Ist die Entfernung zu schutzbedürftigen Gebieten i.S. des § 50 BImSchG (siehe Kap. 2) kleiner als der Achtungsabstand (nach Kap. 3) so ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig.
2. Existieren für den Anlagentyp aus anderen Rechtsvorschriften vorgeschriebene Mindestabstände (z.B. SprengG, Vorschriften des technischen Regelwerkes), so sind diese auch zu berücksichtigen.
3. Für die der Einzelfallbetrachtung zugrunde zu legenden Ereignisse⁷ werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:
 - der Verlust des gesamten Inventars, der Verlust der größten zusammenhängenden Menge, Behälterbersten und der Abriss sehr großer Rohrleitungen sind beim Land-use planning nicht zu berücksichtigen, da sie bei Einhaltung des Standes der Technik zu unwahrscheinlich sind.
 - bei Lagerung in Fässern und Lagerung in Gasflaschen ist mit der Freisetzung des Inhalts eines Fasses oder einer Flasche zu rechnen.
 - bei Prozessanlagen und bei Lageranlagen ist davon auszugehen, dass Leckagen aus vorhandenen Rohrleitungen, Behältern, Sicherheitseinrichtungen etc. auftreten können.

⁶ SFK-GS-28: Bericht: Konzept zur Begründung der Konzentrationsleitwerte im Störfall des Arbeitskreises SCHADSTOFFE LUFT der SFK, Oktober 1999 (www.sfk-taa.de)

⁷ Die Ereignisse stellen einen Dennoch-Störfall nach Nr. 9.2.6.2.3 Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung, BMU (Hrsg.), Bonn 2004 dar.

- i. In der Regel wird als Ausgangspunkt der Überlegung von einer Leckfläche von 490 mm² (entspricht DN 25) ausgegangen.
 - ii. In der Einzelfallbetrachtung wird unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Technik die zugrunde zu legende Leckfläche bestimmt.
 - iii. Als minimale Grundannahme wird empfohlen, dass eine Leckage von 80 mm² (entspricht DN 10) nicht unterschritten wird.⁸
 - iv. Auswirkungsbegrenzende Maßnahmen sind zu berücksichtigen, soweit sie durch die zugrunde liegenden Ereignisse nicht gestört sind.
 - v. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Empfehlungen die Berücksichtigung der besonderen Umstände bei der Einzelfallbetrachtung nicht ersetzen.
4. Die Szenarien sind für Stofffreisetzungen, Brand und Explosion getrennt vorzunehmen (s. hierzu Anhang 1 und 2). Für die Ausbreitungsbedingungen gilt:
 - statistisch häufigste Wetterlage (mittlere Wetterlage)
 - als Beurteilungswerte sind die gleichen Werte heranzuziehen, die für die Herleitung der Abstandsempfehlungen in Kap. 3 verwendet wurden (ERPG2 / 1,6 kW/m²/ 0,1 bar).
5. Der Ausbreitungsradius bis zum Beurteilungswert des abdeckenden Ereignisses entspricht dem angemessenen Mindestabstand des Einzelfalles.

⁸ Dies entspricht einer Flanschleckage von größeren Rohrleitungen, dem Abriss einer kleineren Rohrleitung, einer Leckage durch größere Korrosionsschäden, etc.

Anhang 1: Abstandsberechnungen für typische Stoffe, Vergleich mit Ereignissen aus der ZEMA-Datenbank

1. Übersicht der Zuordnung von Stoffen nach Anhang I Störfall-Verordnung

Für folgende Stoffe wurden im Zuge der Erstellung dieses Berichtes Abstandsklassen für die Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse ermittelt.

Nr. nach Anhang I StörfallIV	Stoff / Stoffkategorie	Klasse*	Abstand [m]	Gefährdungsart
19	Brom	II	448	Toxizität
20	Chlor	IV	1343	Toxizität
21	Chlorwasserstoff	I	138	Toxizität
23	Ethylenoxid	I	179 55	Toxizität Brand
24	Fluor	II	242	Toxizität
25	Formaldehyd (Konzentration > 90 %)	III	636	Toxizität
26	Methanol	I	51 129	Toxizität Brand
30	Phosgen	IV	1440	Toxizität
36	Oleum 65% (Schwefeltrioxid)	II	513	Toxizität
Weitere häufig verwendete Stoffe				
2	Schwefeldioxid	III	826	Toxizität
2	Acrylnitril	I	157	Toxizität
2	Ammoniak	II	398	Toxizität
1	Schwefelwasserstoff	III	797	Toxizität
1	Fluorwasserstoff	II	315	Toxizität
1	Cyanwasserstoff	III	604	Toxizität
1	Acrolein	IV	1416	Toxizität
2	Benzol	I	89	Brand
11	Propan (verflüssigtes Gas)	I	126	Explosion

*Abstandsempfehlungen:

Klasse I = 200 m; Klasse II = 500 m; Klasse III = 900 m; Klasse IV = 1500 m;

2. Auswirkungsberechnungen für ausgewählte Einzelstoffe

Übersicht zu Stoffdaten der betrachteten Stoffe

Stoff	Siede- temperatur in °C	Normdichte der Gasphase in kg/m ³	Dampfdruck bei 20 °C in bar _{abs}	ERPG-2/3 in ppm	AEGL-2/3 60 Minuten; in ppm
I. Toxische Gefahren					
Acrolein	53	2,5	0,29	0,5 / 3	0,1 / 1,4
Acrylnitril	77,9	2,37	0,11	35 / 75	- / -
Ammoniak	-33,45	0,77	8,62	150 / 750	110 / 1100
Brom	58,75	7,13	0,23	0,5 / 5	0,24 / 8,5
Blausäure	25,75	1,21	0,84	10 / 25	7,1 / 15
Chlor	-34,45	3,17	6,98	3 / 20	2 / 20
Chlorwasserstoff	-85,05	1,63	41,57 (wird gasförmig gerechnet)	20 / 150	22 / 100
Ethylenoxid	10,55	1,97	1,51	50 / 500	45 / 200
Fluor	-188,15	1,7	-- (wird gasförmig gerechnet)	5 / 20	5 / 13
Fluorwasserstoff	19,55	0,89	1,03	20 / 50	24 / 44
Formaldehyd (>90 %)	-19,15	1,34	4,74	10 / 25	- / -
Methanol	64,65	1,43	0,13	1000 / 5000	2100 / 7900
Oleum 65%	63,85	3,3	0,1	10 / 30*	- / -
Phosgen	7,65	4,42	1,65	0,2 / 1	0,3 / 0,75
Schwefelwasserstoff	-60,35	1,54	16,64	30 / 100	28 / 50
Schwefeldioxid	-10,15	2,92	3,3	3 / 15	- / -
II. Gefahren durch Wärmestrahlung					
Benzol	80,15	3,49	0,1	-	-
Ethylenoxid	10,55	1,97	1,51	-	-
Methanol	64,65	1,43	0,13	-	-
III. Gefahren durch Explosion					
Propan	-42,02	2,01	8,42	-	-

* in mg/m³

In den folgenden Tabellen sind die Berechnungsergebnisse für die betrachteten Stoffe zusammengefasst.

Mit den in Anhang 2 beschriebenen Modellen sind für verschiedene Leckflächen im Bereich von ca. 80 mm² bis ca. 1963 mm² (dies entspricht Rohrleitungen DN 10 bis DN 50)

- der freigesetzte Massenstrom,
- die im betrachteten Zeitraum freigesetzte gasförmige Masse und
- die Entfernungen, bei denen die ERPG-2- unterschritten werden,

berechnet worden.

Es sind eine mittlere Ausbreitungssituation mit einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s und eine ungünstige Ausbreitungssituation mit einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s betrachtet worden. Durch die Windgeschwindigkeit wird die Lachenverdampfung bzw. -verdunstung beeinflusst und es ergeben sich unterschiedliche gasförmig freigesetzte Massen.

Da die mittlere Ausbreitungssituation als Bewertungsgrundlage herangezogen worden ist, wurde die freigesetzte gasförmige Masse bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s mit den

Informationen aus der ZEMA Datenbank verglichen. Unter Berücksichtigung von spezifischen Anlagenauslegungen und Betriebserfahrungen wurden die Leckflächen für die Bestimmung der Abstände der Bauleitplanung ohne Detailkenntnisse festgelegt (in den Tabellen fett unterlegt).

Bei der Bewertung der Berechnungsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die berechneten Entfernungen keine absoluten Werte darstellen, sondern von den ausgewählten Modellen und der Genauigkeit der Berechnungsverfahren abhängig sind, und Berechnungen mit anderen Programmen Abweichungen ergeben können.

Acrolein

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrnennweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,76	193 / 261	678	1863
178 / DN 15	1,71	425 / 577	1046	3014
314 / DN 20	3,04	746 / 1013	1416	4194
490 / DN 25	4,76	1156 / 1572	1784	5358
804 / DN 32	7,79	1871 / 2548	2301	6887
1257 / DN 40	12,18	2896 / 3950	2887	8570
1963 / DN 50	19,03	4478 / 6118	3612	10569

Acrylnitril

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrnennweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,75	111 / 169	79	111
178 / DN 15	1,68	243 / 371	104	159
314 / DN 20	2,98	423 / 649	130	225
490 / DN 25	4,66	653 / 1003	157	295
804 / DN 32	7,63	1052 / 1621	200	398
1257 / DN 40	11,93	1623 / 2506	253	524
1963 / DN 50	18,64	2501 / 3871	318	689

Ammoniak

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrnennweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	1,26	450 / 480	175	334
178 / DN 15	2,85	1014 / 1076	252	501
314 / DN 20	5,06	1796 / 1900	326	674
490 / DN 25	7,90	2799 / 2954	398	850
804 / DN 32	12,95	4582 / 4824	500	1103
1257 / DN 40	20,23	7152 / 7513	615	1418
1963 / DN 50	31,61	11172 / 11710	756	1822

Benzol (Brand)

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnweite	Massenstrom in kg/s	Lachendurch- messer / Flammenhöhe in m	Entfernung 1,6 kW/m ² in m	Entfernung 3 kW/m ² in m
80 / DN 10	0,78	3,9 / 7,7	21	14
178 / DN 15	1,76	5,2 / 9,9	29	19
314 / DN 20	3,11	7,0 / 12,8	38	25
490 / DN 25	4,87	8,7 / 15,5	46	30
804 / DN 32	7,97	11,1 / 19,2	59	38
1257 / DN 40	12,46	13,9 / 23,4	72	46
1963 / DN 50	19,46	17,4 / 28,4	89	57

Brom

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdunstete Mas- se bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	1,47	38 / 74	163	334
178 / DN 15	3,31	82 / 161	255	559
314 / DN 20	5,89	143 / 280	350	808
490 / DN 25	9,2	219 / 431	448	1069
804 / DN 32	15,07	351 / 692	588	1451
1257 / DN 40	23,54	538 / 1063	751	1906
1963 / DN 50	36,78	824 / 1633	960	2485

Blausäure/Cyanwasserstoff

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,69	209 / 334	227	445
178 / DN 15	1,55	454 / 738	351	741
314 / DN 20	2,75	789 / 1293	476	1054
490 / DN 25	4,30	1214 / 2001	604	1384
804 / DN 32	7,05	1955 / 3242	785	1859
1257 / DN 40	11,02	3008 / 5013	994	2417
1963 / DN 50	17,22	4629 / 7747	1255	3138

Chlor

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 In m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	1,70	847 / 884	503	1543
178 / DN 15	3,83	1900 / 1978	780	2441
314 / DN 20	6,81	3371 / 3503	1061	3338
490 / DN 25	10,63	5255 / 5453	1343	4225
804 / DN 32	17,42	8599 / 8910	1738	5453
1257 / DN 40	27,22	13422 / 13888	2182	6823
1963 / DN 50	42,53	20953 / 21652	2730	8493

Chlorwasserstoff

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,036	75	117
178 / DN 15	0,082	100	180
314 / DN 20	0,145	115	258
490 / DN 25	0,227	138	344
804 / DN 32	0,37	176	469
1257 / DN 40	0,58	220	626
1963 / DN 50	0,91	281	832

Hinweis: Chlorwasserstoff wird als gasförmig bei einem Betriebsüberdruck von 2 bar betrachtet.

Ethylenoxid (Freisetzung)

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,78	184 / 193	96	147
178 / DN 15	1,75	411 / 430	113	220
314 / DN 20	3,11	729 / 760	146	313
490 / DN 25	4,86	1138 / 1184	179	411
804 / DN 32	7,96	1861 / 1933	227	556
1257 / DN 40	12,43	2903 / 3010	281	731
1963 / DN 50	19,43	4535 / 4695	349	961

Ethylenoxid (Brand)

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	Lachendurchmesser / Flammenhöhe in m	Entfernung 1,6 kW/m ² in m	Entfernung 3 kW/m ² in m
80 / DN 10	0,78	5,0 / 8,4	24	17
178 / DN 15	1,75	6,7 / 10,8	34	24
314 / DN 20	3,11	8,9 / 13,9	44	31
490 / DN 25	4,86	11,2 / 17,0	55	38
804 / DN 32	7,96	14,3 / 21,0	69	47
1257 / DN 40	12,43	17,9 / 25,6	85	59
1963 / DN 50	19,43	22,3 / 31,0	104	72

Fluor

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrnenweite	Massenstrom in kg/s	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,04	101	229
178 / DN 15	0,09	140	388
314 / DN 20	0,15	187	541
490 / DN 25	0,24	242	733
804 / DN 32	0,39	317	994
1257 / DN 40	0,61	406	1294
1963 / DN 50	0,96	522	1661

Hinweis: Fluor wird als gasförmig bei einem Betriebsüberdruck von 2 bar betrachtet.

Fluorwasserstoff

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,82	184 / 185	112	315
178 / DN 15	1,84	413 / 415	177	537
314 / DN 20	3,27	735 / 737	245	783
490 / DN 25	5,1	1145 / 1149	315	1043
804 / DN 32	8,36	1877 / 1883	417	1434
1257 / DN 40	13,07	2935 / 2944	535	1901
1963 / DN 50	20,41	4583 / 4596	688	2514

Formaldehyd (>90%)

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,84	365 / 384	232	684
178 / DN 15	1,88	813 / 854	362	1128
314 / DN 20	3,35	1445 / 1514	498	1595
490 / DN 25	5,23	2252 / 2356	636	2071
804 / DN 32	8,57	3685 / 3848	833	2745
1257 / DN 40	13,39	5752 / 5995	1062	3521
1963 / DN 50	20,92	8981 / 9343	1350	4487

Methanol (Freisetzung)

Rohrnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
DN 50	18,47	1940 / 2928	51	84

Hinweis: Die Berechnungen bei kleineren Leckflächen ergeben so geringe Entfernungen, dass sie mit den verwendeten Ausbreitungsmodellen nicht sinnvoll berechnet werden können.

Methanol (Brand)

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	Lachen- durchmesser / Flammenhöhe in m	Entfernung 1,6 kW/m ² in m	Entfernung 3 kW/m ² in m
80 / DN 10	0,74	8,0 / 9,9	30	21
178 / DN 15	1,66	10,7 / 12,7	42	29
314 / DN 20	2,96	14,3 / 16,4	56	38
490 / DN 25	4,62	17,8 / 19,9	68	46
804 / DN 32	7,57	22,8 / 24,7	85	59
1257 / DN 40	11,82	28,5 / 30,0	105	72
1963 / DN 50	18,47	35,7 / 36,5	129	88

Oleum 65% (Schwefeltrioxid)

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	1,14	122 / 271	195	336
178 / DN 15	2,58	264 / 589	299	558
314 / DN 20	4,58	455 / 1017	406	796
490 / DN 25	7,15	694 / 1553	513	1048
804 / DN 32	11,72	1108 / 2484	666	1422
1257 / DN 40	18,31	1691 / 3795	843	1872
1963 / DN 50	28,61	2581 / 5800	1067	2457

Phosgen

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	0,98	327 / 343	932	3161
178 / DN 15	2,2	730 / 764	1440	4992
314 / DN 20	3,91	1295 / 1351	1952	6761
490 / DN 25	6,11	2020 / 2104	2468 /	8453
804 / DN 32	10,02	3308 / 3438	3181 /	10740
1257 / DN 40	15,65	5162 / 5355	3991 /	13244
1963 / DN 50	24,46	8060 / 8349	4989 /	16268

Schwefelwasserstoff

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	2,07	1110 / 1145	310	818
178 / DN 15	4,66	2492 / 2566	465	1317 6
314 / DN 20	8,29	4427 / 4553	630	1824
490 / DN 25	12,95	6908 / 7098	797	2326
804 / DN 32	21,22	11309 / 11607	1032	3023
1257 / DN 40	33,16	17661 / 18109	1301	3811
1963 / DN 50	51,81	27582 / 28253	1637	4782

Schwefeldioxid

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massenstrom in kg/s	gesamte verdampfte Masse bei 1 m/s und 3 m/s in kg	Entfernung bei mittlerer Ausbreitungssituation ERPG-2 in m	Entfernung bei ungünstiger Ausbreitungssituation ERPG-2 in m
80 / DN 10	1,04	365 / 389	307	895
178 / DN 15	2,35	819 / 871	477	1468
314 / DN 20	4,18	1453 / 1539	651	2061
490 / DN 25	6,52	2261 / 2390	826	2666
804 / DN 32	10,69	3700 / 3901	1076	3526
1257 / DN 40	16,71	5775 / 6075	1365	4520
1963 / DN 50	26,1	9009 / 9458	1726	5751

Propan (Explosion)

Leckfläche in mm ² / äquivalente Rohrinnenweite	Massen- strom in kg/s	untere Zünddis- tanz in m	explosionsfähige Masse in kg	Entfernung in m bei 0,03 bar	Entfernung in m bei 0,1 bar
80 / DN 10	1,27	37	17	52	-
178 / DN 15	2,54	44	28	67	-
314 / DN 20	4,52	55	56	95	48
490 / DN 25	7,06	66	95	124	60
804 / DN 32	11,57	80	172	167	78
1257 / DN 40	18,07	96	293	219	100
1963 / DN 50	28,24	114	501	288	126

3. Zusammenstellung der wichtigsten Störfallereignisse in Deutschland
 (www.umweltbundesamt.de/ZEMA)

Stoff	ZEMA-NR.	Bezeichnung	Beteiligte Stoffmenge in [kg]
Acetylen (4)	1994-09-14	Brand von Acetylen	0,5
Acrylnitril (1)	1993-09-13	Freisetzung von Acrylnitril	2,6
Ammoniak (37)	1997-06-16	Austritt von Ammoniak in einem Eissportstadion	1500
	1996-04-19	Freisetzung von Ammoniak	16000
	1997-05-22	Ammoniak-Unfall in einem Schlachthof	2600
	1997-10-24)	Ammoniakaustritt aus einem Kälteverteilssystem (Entleerungsstutzen am Rohrleitungssystem)	200
	1998-10-24	Freisetzung von Ammoniak aus einem Ammoniak-Tanklager	1400
	1998-04-05	Freisetzung von Ammoniak in die Atmosphäre	2000
	1991-11-06	Stofffreisetzung von Ammoniak	1200
	1996-08-19	Freisetzung von Ammoniak aus einer Eislaufanlage	250-500
Benzol (2)	1993-01-06	Freisetzung brennbarer Gase (1,3-Butadien und Benzol)	400
	1999-09-18	Einleitung von benzolhaltigen Kohlenwasserstoffen in den Mittellandkanal	120
Blausäure, HCN (2)	1995-02-23	Austritt von Cyanwasserstoff-Dämpfen	0,03
	1998-06-25	Freisetzung von Cyanwasserstoff (HCN) in einer Aminonitril-Fabrik	1
Brom (2)	9814	Freisetzung von Brom an einer Rohrleitung einer Eisenbahnkesselwagen-Entladestation	200
Chlor (31)	8103	Freisetzung von Chlor	600
	8401	Freisetzung von Chlor	500
	8807	Freisetzung von Chlor	3000
	9004	Freisetzung von Chlor	4600
	9221	Freisetzung von Chlor	5000
	9333	Freisetzung von Chlor	150
	9709	Chemikalienunfall in Klärschlammverbrennungsanlage	290
	9828	Flüssigchlorfreisetzung an einer Kesselwagenabfüllstelle	k.A.
	9908	Freisetzung von Chlor	130
	1995-10-20	Explosion und Brand von entzündlichen und leichtentzündlichen Flüssigkeiten	4000

Stoff	ZEMA-NR.	Bezeichnung	Beteiligte Stoffmenge in [kg]
Chlorwasserstoff (25)	8909	Freisetzung von Chlorwasserstoff	620
	9516	Freisetzung von Chlorwasserstoff	10-90
	9516	Freisetzung von Chlorwasserstoff	k.A.
	9830	Stofffreisetzung mit Folgebrand in einer Anlage zur Herstellung von 1,2-Dichlorethan	55
	9918	Freisetzung von Chlorwasserstoff	800
	9935	Explosion an einem Tanklager	2000
	2000-11-01	Explosion eines Abwassertanks in einer Abwasseranlage	k.A.
Ethylen (1)	1998-10-19	Stofffreisetzung mit Folgebrand in einer Anlage zur Herstellung von 1,2 Dichlorethan	35
Ethylenoxid (3)	2000-12-29	Verpuffung und Brand in einer Ethoxilierungsanlage	113
Fluor (1)	1992-04-20	Freisetzung chlor- und fluorhaltiger Säuren	k.A.
Fluorwasserstoff (7)	9212	Freisetzung von Fluorwasserstoff	2500
	9820	Freisetzung von Fluorwasserstoff an einer Rohrleitung	190
Formaldehyd (6)	1995-03-01	Freisetzung von Paraformaldehydharz	3700
	1991-11-05	Explosion von Formaldehyd	
	1993-09-18	Freisetzung von Formaldehyd	183,5
	1996-09-18	Freisetzung von Formaldehyd-Lösung in einer Tankanlage	200
Methanol (12)	1992-10-30	Explosion (Methanol/Luft-Gemisch) und Brand (Dimethylterephthalat)	k.A.
	1993-03-15	Explosion von brennbaren Gasen mit Folgebrand	25
	1994-06-27	Explosion eines Methanol- / Luftgemisches mit Folgebrand	8000
	1996-01-24	Verpuffung von Carbamazepin, Methanol und Wasser	2575
Oleum (11)	1993-04-02	Freisetzung von Oleum	500
	1990-09-19	Freisetzung von rauchender Schwefelsäure (Oleum)	100
	1995-08-20	Freisetzung von Oleum	k.A.
	1994-02-15	Freisetzung von Oleum	500
Phosgen (3)	1991-02-20	Stofffreisetzung von Phosgen	0,05
	1991-07-28	Stofffreisetzung von Phosgen	k.A.
	1994-04-14	Freisetzung eines Produktgemisches bei der Herstellung von Kristallviolett	18

Stoff	ZEMA-NR.	Bezeichnung	Beteiligte Stoffmenge in [kg]
Phosphorwasserstoff (1)	1992-07-13	Explosion von Phosphorwasserstoff	k.A.
Flüssiggas (Propan, Butan) (16)	1989-08-30	Explosion von Propan mit Folgebrand	4
	1991-10-29	Freisetzung von Propangas	5600
	1992-05-28	Brand von Flüssiggas	1000
	1994-05-25	Explosion von Propangas mit Folgebrand	50
	1993-11-12	Explosion von brennbaren Gasen mit Folgebrand	k.A.
Schwefelwasserstoff (3)	1999-01-25	Freisetzung von Schwefelwasserstoff	3
	1994-02-13	Explosion von Wasserstoff und Gasöl mit Folgebrand	10
	1995-10-20	Explosion und Brand von entzündlichen und leichtentzündlichen Flüssigkeiten	k.A.
Schwefeldioxid (9)	1993-02-18	Brand von Schwefelverbindungen	135
	1996-11-09	Brand in einer Schwefelmahlanlage	20
	1999-09-21	Explosion mit Folgebrand an einem Reaktorsystem der Verfahrensstufe Gaserzeugung	50
Toluol (9)	1993-06-10	Brand von Lösungsmitteln und Lacken	300
	1993-09-16	Freisetzung von Toluol	6400
	2001-01-19	Explosion bei einer Synthesereaktion	100
	1999-10-20	Explosion mit Folgebrand in einer Polyproduktionsanlage	500
	1994-09-05	Knallgasexplosion	1
	1996-06-07	Freisetzung von Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff	
	1994-07-27	Explosion von Wasserstoff und Sauerstoff (Knallgasreaktion)	
	2000-11-01	Explosion eines Abwassertanks in einer Abwasseranlage	2
	1998-07-15	Freisetzung von Wasserstoff und unmittelbare Zündung des Gemischs mit Nachfolgebrand	110
	1995-10-20	Explosion und Brand von entzündlichen und leichtentzündlichen Flüssigkeiten	4000
TDI (2)	1999-05-07	Freisetzung von Toluendiisocyanat (TDI)	550
	1994-09-07	Brand von Polyurethanschaum	k.A.

Stoff	ZEMA-NR.	Bezeichnung	Beteiligte Stoffmenge in [kg]
Wasserstoff (15)	1994-02-13	Explosion von Wasserstoff und Gasöl mit Folgebrand	100
	1994-09-05	Knallgasexplosion	1
	1996-06-07	Freisetzung von Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff	
	1994-07-27	Explosion von Wasserstoff und Sauerstoff (Knallgasreaktion)	
	2000-11-01	Explosion eines Abwassertanks in einer Abwasseranlage	2
	1998-07-15	Freisetzung von Wasserstoff und unmittelbare Zündung des Gemischs mit Nachfolgebrand	110
	1995-10-20	Explosion und Brand von entzündlichen und leichtentzündlichen Flüssigkeiten	4000
Vinylchlorid (9)	1999-05-28	Stofffreisetzung an einer Vinylchloridanlage	1500
	1996-01-04	Freisetzung von Vinylchlorid	3500
	1989-10-18	Freisetzung von Vinylchlorid	5000
	1987-07-26	Freisetzung von Vinylchlorid	4000
Giftige Stoffe (10)	2001-10-27	Explosion in einer Rückstandsverbrennungsanlage	3100
	2000-10-12	Explosion mit Folgebrand in einer Kunstharzanlage	610
	2001-12-10	Brand in einem Chemiebetrieb	5880
	2002-01-03	Explosion in einer Anlage zur Herstellung von Phosphorsäureester	3500

Zahl in (x) der Spalte 1 ist Gesamtanzahl der in der ZEMA registrierten Ereignisse mit dem Stoff (Stand : 31.12.02)

Anhang 2: Berechnungsgrundlagen

1. Störfallauswirkungsbetrachtungen zur Freisetzung toxischer Gase als Bewertungsgrundlage für angemessene Abstände im Rahmen der Flächennutzungsplanung

1.1 Randbedingungen

Im Folgenden werden die für die Störfallauswirkungsbetrachtungen gewählten Randbedingungen zusammenfassend dargestellt.

Freisetzungsbedingungen:	
Betrachtete Leckflächen:	80 mm ² , 178 mm ² , 314 mm ² , 490 mm ² , 804 mm ² , 1257 mm ² 1963 mm ² (DN 10, DN 15, DN 20, DN 25, DN 32, DN 40, DN 50)
Temperatur des Gefahrstoffs:	20 °C
Betriebsüberdruck:	Dampfdruck bei 20 °C, aber mind. 2 bar (z.B. Pumpendruck)
Aggregatzustand:	flüssig; Ausnahme: Fluor, Chlorwasserstoff gasförmig
Ausflusszahl:	0,62 (scharfkantig)
Freisetzungsdauer:	10 Minuten
Lachenbildung:	
Instationäre Berechnung der Lacherverdunstung bzw. -verdampfung	
Umgebungstemperatur:	20 °C
Windgeschwindigkeit:	mittlere Ausbreitungssituation: 3 m/s ungünstige Ausbreitungssituation: 1 m/s
Sonneneinstrahlung:	1 kW/m ²
Untergrund:	Beton
Schichtdicke der Lache:	5 mm
Zeitdauer:	30 Minuten
Gasausbreitung:	
Schwergasausbreitung nach der VDI Richtlinie 3783 Blatt 2 für ein Gelände mit gleichförmiger Bebauung.	
Leichtgasausbreitung nach der VDI Richtlinie 3783 Blatt 1 für folgenden Ausbreitungssituationen:	
Mittlere Ausbreitungssituation:	Windgeschwindigkeit: 3 m/s indifferente Temperaturschichtung keine Inversion
Ungünstige Ausbreitungssituation:	Windgeschwindigkeit: 1 m/s stabile Temperaturschichtung keine Inversion
Massenstrom:	entsprechend der Lacherverdunstung/-verdampfung für einen Zeitraum von 30 Minuten
Quellgeometrie:	Punktquelle
Höhe des Aufschlagpunktes:	1-2 m (z.B. Kinder, stehende Personen)
Bodenrauigkeit:	sehr rau

Tabelle 1

Die zugrunde gelegten Randbedingungen beruhen auf Erfahrungswerten aus den beteiligten Fachkreisen in Übereinstimmung mit den in Europa zu diesen Fragestellungen herangezogenen Werten.

1.2 Berechnungsmodelle

1.2.1 Freisetzung einer Flüssigkeit

Die aus einer Leckfläche austretende Flüssigkeitsmenge berechnet sich nach /L 1/ :

$$\dot{m}_{fl} = \mu \rho_{fl} A \sqrt{\frac{2 \left(\frac{\Delta p}{\rho} + gh \right)}{(1 + \xi)}}$$

Hierbei ist μ der Ausflusszahl, ρ_{fl} die Flüssigkeitsdichte, A die Leckfläche, Δp der an der Leckstelle herrschende Überdruck, g die Erdbeschleunigung, h die Höhe der Flüssigkeitsoberfläche über dem Austrittspunkt der Flüssigkeit und ξ der Reibungsbeiwert. Die Ausflusszahl liegt im Bereich von 0,62 (scharfkantig) bis 0,92 (runde Düse) (siehe Kuchling /L 2/).

Der Reibungsbeiwert ist im vorliegenden Fall im Wesentlichen eine Funktion der Strahlkontraktion und berechnet sich nach /L 1/

$$\xi = \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 .$$

Für die vorliegenden Berechnungen wird eine Ausflusszahl von 0,62 angenommen und eine mögliche Flüssigkeitssäule oberhalb der Freisetzungsstelle nicht berücksichtigt.

1.2.2 Verdampfung bzw. Verdunstung einer Flüssigkeit aus einer Lache

Wird eine Flüssigkeit mit einer Temperatur oberhalb der Siedetemperatur freigesetzt, so wird ein Teil der Flüssigkeit spontan verdampfen. Mit der Annahme einer adiabaten Expansion ergibt sich für den spontan verdampften Flüssigkeitsanteil \dot{m}_g

$$\dot{m}_g = \dot{m}_0 \left(1 - e^{\left(\frac{c_p (T_s - T_{fl})}{h_v} \right)} \right) .$$

Da die Wärmekapazität c_p und die Verdampfungsenthalpie h_v zwischen der Siede- und der Freisetzungstemperatur deutlich variieren können, werden für die Stoffwerte Mittelwerte verwendet.

Die Restmenge der Flüssigphase wird sich, vernachlässigt man die mit der Luftströmung mitgerissenen Tröpfchen, als Lache auf dem Boden ausbreiten. Bei der oben beschriebenen Flashverdampfung wird der Flüssigkeit soviel Wärme entzogen, dass sie die Siedetemperatur annimmt. Der Sättigungsdampfdruck über der Flüssigkeitslache entspricht dem Umgebungsdruck und der freigesetzte Massenstrom ist von der Wärmezuführung aus der Umgebung bestimmt. Hierbei sind die folgenden Wärmeströme zu berücksichtigen:

- Konvektiver Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeit.
- Wärmeleitung zwischen Boden und Flüssigkeit.
- Wärmestrahlung zwischen der Umgebung und der Flüssigkeit, sowie Sonneneinstrahlung.

Liegt die Siedetemperatur der Flüssigkeit oberhalb der Umgebungstemperatur, so wird sich die Flüssigkeit weiter abkühlen und es tritt ein Verdunstungsprozess ein. Bei einer Verdunstung ist der Sättigungsdampfdruck über der Flüssigkeitsoberfläche geringer als der Umgebungsdruck und der daraus resultierende Massenstrom kleiner als bei einer Verdampfung. Die treibende Kraft für die Verdunstung ist im Wesentlichen das Dampfdruckgefälle zwischen dem Sättigungsdampfdruck an der Flüssigkeitsoberfläche und dem Partialdruck in der Umgebungsluft, während bei der Verdampfung nur die zugeführte Wärmemenge für den Massenstrom ausschlaggebend ist.

Im Gegensatz zur Verdampfung ergibt sich bei einer Verdunstung aus der Energiebilanz zwischen zugeführter bzw. abgeführter Wärme aus der Umgebung und der für die Verdunstung erforderlichen Energie die zeitliche Änderung der Flüssigkeitstemperatur, die natürlich auch eine Veränderung des Dampfdrucks und somit auch des verdunsteten Massenstroms zu Folge hat. Soll dieser Effekt bei der Berechnung mit berücksichtigt werden, so muss eine instationäre Verdunstungsberechnung durchgeführt werden.

Die Änderung der Flüssigkeitstemperatur lässt sich aus folgender Energiebilanz berechnen:

$$m c_{p,fl} \frac{\partial T_{fl}}{\partial t} = \dot{Q}_B + \dot{Q}_{Konv} + \dot{Q}_{Str} - \dot{Q}_{Verd} + (\dot{m}_0 - \dot{m}_g) c_{p,0} (T_0 - T_{fl})$$

$$\dot{Q}_{Verd} = \dot{m}_{gl} \cdot h_v$$

1.2.3 Konvektiver Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeit

Der konvektive Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeitslache berechnet sich aus dem Wärmeübergangskoeffizienten α und der Temperaturdifferenz zwischen Luft und Flüssigkeit.

$$\dot{Q}_{kon} = \alpha (T_{Luft} - T_{fl}) A_{Lache}$$

Der Wärmeübergangskoeffizient wird aus dem Ansatz für eine mittlere Nusselt Zahl bei einer längsangeströmten ebenen Platte in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit w berechnet /L 3/:

$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda_{Luft}}$$

$$Pr = \frac{\eta_{Luft} c_{p,Luft}}{\lambda_{Luft}}$$

$$Re = \frac{wL}{v_{Luft}}$$

$$Nu = 0,3 + \sqrt{Nu_{lam}^2 + Nu_{turb}^2}$$

$$Nu_{lam} = 0,664 \sqrt{Re} \sqrt[3]{Pr}$$

$$Nu_{turb} = \frac{0,037 Re^{0,8} Pr}{1 + 2,443 Re^{-0,1} (Pr^{2/3} - 1)}$$

Für die Überströmlänge L wird der Lachendurchmesser angesetzt.

1.2.4 Wärmestrom aus dem Boden

Als Lösung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung erhält man für den Wärmestrom aus dem Boden wie bei Lebuser, Schecker /L 4/ und Wörsdörfer /L 5/ dargestellt:

$$\dot{Q}_B = \frac{\lambda_B}{\sqrt{\pi a t}} (T_{\text{Boden}} - T_{\text{fl}}) A_{\text{Lache}} \quad .$$

Der Wärmestrom aus dem Boden ist von der Zeitdauer abhängig, die die siedende Flüssigkeit mit dem Boden Kontakt hat. Der Bereich, der zuerst mit der Flüssigkeit Kontakt hatte, ist schon abgekühlt und kann nur noch wenig Wärme abgeben, während der Außenbereich der sich ausbreitenden Lache auf einen warmen Boden trifft.

Es wird daher eine kreisförmige Lache vorausgesetzt, die in Kreisringe (äußerer Radius r_2 , innerer Radius r_1) unterteilt wird. Für jeden Kreisring wird die Zeit seit der Beaufschlagung ($t - t^*$) mit Flüssigkeit betrachtet und dementsprechend der Wärmestrom berechnet. Durch Summation aller Kreisringe wird anschließend der gesamte Wärmestrom zum Zeitpunkt t ermittelt:

$$\dot{Q}_B = \frac{\lambda_B}{\sqrt{\pi a}} (T_B - T_{fl}) \sum \frac{\pi(r_2^2 - r_1^2)}{\sqrt{t - t^*}} \quad .$$

Wird die Ausbreitung der Lache nicht durch Umrandungen (Auffangwanne) begrenzt, so breitet sie sich unter der Einwirkung der Schwerkraft durch unterschiedliche Schichthöhen und gehemmt durch Oberflächenkräfte und Bodenreibung aus. Zur Berechnung des Radius einer sich radial ausbreitenden Flüssigkeit in Anlehnung an Briscoe und Shaw /L 6/ folgende Beziehung verwendet:

$$r = \sqrt{\left(\frac{8g}{\pi} \int_0^t \frac{\dot{m}_0}{\rho_{fl,0}} - \frac{\dot{m}}{\rho_{fl}} dt \right)^{0.5} t}$$

Die Ausbreitung der Lache wird durch die minimale Schichtdicke begrenzt. Als Anhaltswerte können hierzu die bei Lebuser und Schecker /L 4/ zitierten Werte verwendet werden:

unebener sandiger Boden :	25 mm
ebener Sand, Kies:	10 mm
Beton, Stein:	5 mm

Bei den vorliegenden Berechnungen wird von einer Freisetzung auf Beton mit einer Schichtdicke von 5 mm ausgegangen.

1.2.5 Wärmestrahlung

Eine umfassende Berücksichtigung der Wärmeübertragung durch Strahlung muss nach Lebuser /L 7/ die Faktoren

- Sonneneinstrahlung + Hintergrundstrahlung
- Strahlung der Atmosphäre
- Abstrahlung der Flüssigkeit und
- Reflektion an der Flüssigkeitsoberfläche

beinhalten. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Emissionskoeffizienten führt diese Betrachtung zu folgender Energiebilanz:

$$\dot{Q}_{\text{Str}} = (0,86 \dot{Q}_{\text{Sonne}} - 0,9 \sigma T_{\text{fl}}^4 + 0,46 \sigma (T_{\text{Luft}}^4 - T_{\text{fl}}^4)) A_{\text{Lache}}$$

Für die solare Einstrahlung werden an wolkenlosen Sommertagen Werte von 0,9 bis 1,4 kW/m² (meistens 1 kW/m²) angegeben. Bei den vorliegenden Berechnungen wird von 1 kW/m² ausgegangen.

1.2.6 Verdunstungsmodell nach Mackay / Matsugu

Aus einer Stoffbilanz in der Grenzschicht oberhalb der Flüssigkeitslache lässt sich, wie bei Deutsch /L 8/ dargelegt, eine Beziehung für den verdunsteten Massenstrom herleiten:

$$\dot{m} = \frac{k A_{\text{Lache}} p_u}{R T_{\text{fl}}} \ln \left[\frac{p_u}{p_u - p_A^0} \right]$$

Für die Bestimmung des Stoffübergangskoeffizienten k sind mehrere Ansätze bekannt. Die Formulierung von Mackay und Matsugu /L 7/ lautet:

$$k = 0,0292 w^{0,78} L^{-0,11} \left(\frac{v_{\text{Luft}}}{D_{\text{AB}}} \right)^{-0,67}$$

hierbei ist die Windgeschwindigkeit w in [m/h] einzusetzen. Da bei der Verdunstung die Gaskonzentration in der Luft gering ist, wird für die kin. Viskosität v_{Luft} der Stoffwert von Luft bei Umgebungstemperatur verwendet.

Der Vergleich dieses Modells mit experimentellen Untersuchungen an Methanollachen ergab bei Deutsch /L 8/ und bei Lebuser /L 7/ ausreichende bis große Stoffübergangskoeffizienten.

Im folgenden Bild 1 ist der verdampfte Massenstrom einer Ammoniak Lache als Ergebnis der instationären Berechnung bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s dargestellt. Während der Freisetzungsdauer von 10 Minuten wird neben dem Massenstrom aus der Lachenverdampfung auch noch der Massenstrom aus der Flashverdampfung gasförmig freigesetzt. Danach verringert sich der Massenstrom durch die Abkühlung des Bodens und des damit verbundenen verringerten Wärmestroms in die Lache.

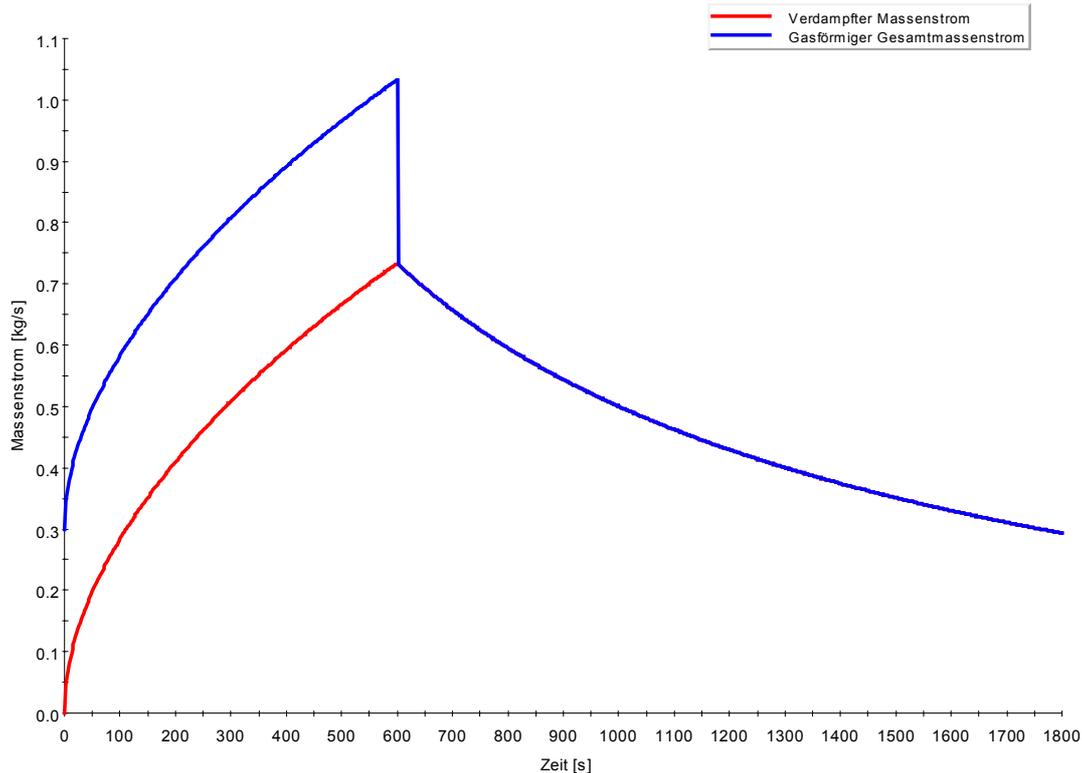


Bild 1: Verdampfter Massenstrom einer Ammoniak Lache bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s

1.2.7 Schwergasausbreitung

Für die Ausbreitungsberechnung von, im Vergleich zu Luft, schweren Gasen wird die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 "Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse" /L 9/ herangezogen.

Schwere Gase werden nicht wie leichte oder dichteneutrale Gase durch die Bewegung der Luft weitergetragen und verteilt, sondern besitzen als Schwergaswolke eine ausgeprägte Eigendynamik. Durch den Dichtesprung am Rand der Gaswolke wird die turbulente Vermischung mit der Umgebungsluft und damit die Auflösung der Gaswolke behindert.

Durch die höhere Dichte breitet sich die Schwergaswolke in einer flachen, bodennahen Schicht aus. In diesem Bereich befinden sich Mauern, Hecken, Gebäude usw., die als Strömungshindernisse wirken. In der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 sind die Ergebnisse von Windkanalversuchen mit schweren Gasen für eine Vielzahl von Ausbreitungsgebieten mit unterschiedlichen Hindernissen zusammengefasst worden.

Für die vorliegenden Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die Gasfreisetzung auf einem Industriegelände mit Gebäuden und Anlagen erfolgt. Diese Ausbreitungssituation wird als eine Ausbreitung in ebenem Gelände mit gleichförmiger Bebauung, wie im folgenden Bild 2 dargestellt, betrachtet.

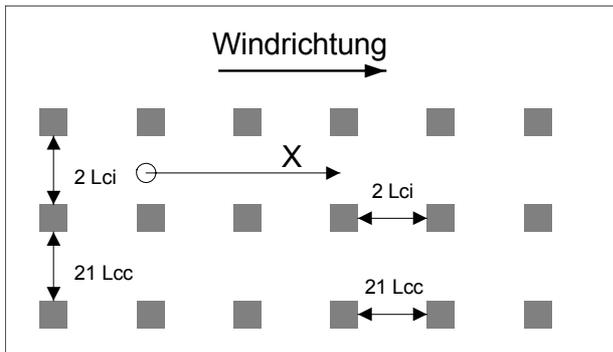


Bild 2: Ausbreitung in ebenem Gelände mit gleichförmiger Bebauung

Die Abstände zwischen den Strömungshindernissen (Gebäude, Anlagen usw.) liegen bei den betrachteten Gasfreisetzungen im Bereich zwischen ca. 20 m und ca. 60 m.

Die Windkanalergebnisse decken das quellnahe Ausbreitungsgebiet ab, in dem die Gaskonzentration durch die Vermischung mit der Umgebungsluft bis auf etwa 1% der Quellkonzentration abgesunken ist. Bei der weiteren Ausbreitung wird davon ausgegangen (siehe auch VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 /L 10/), dass der Schwergascharakter nicht weiter berücksichtigt werden muss und die Ausbreitungsberechnung mit der VDI Richtlinie 3783 Blatt 1 für leichte und dichteneutrale Gase durchgeführt werden kann.

1.2.8 Leichtgasausbreitung

Für die Ausbreitungsberechnung von, im Vergleich zu Luft, dichteneutralen bis leichten Gasen wird die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 "Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen - Sicherheitsanalyse" /L 10/ herangezogen. Die Berechnungsgrundlage ist ein Gaußsches Ausbreitungsmodell. Es wird die Freisetzung einer Gaswolke in einer Höhe h über dem Erdboden angenommen, deren Mittelpunkt mit konstanter Windgeschwindigkeit fortbewegt wird.

Bei den vorliegenden Berechnungen wird von einer Freisetzung aus einer Lache auf Erdgleiche ($h=0$) ausgegangen .

Durch die Zumischung von Luft wird die Wolke laufend verdünnt, wobei ihr Gesamtvolumen wächst. Dieser Ausbreitungs- und Verdünnungsprozess der Wolke infolge der turbulenten Diffusion wird im Gaußmodell durch die "Streuung" wiedergegeben. Da die Streuungen aus experimentellen Untersuchungen in einem Bereich von 100 m bis 10.000 m bestimmt worden sind, ist bei Berechnungen außerhalb dieses Bereiches mit größeren Ungenauigkeiten zu rechnen.

Es werden jeweils für eine ungünstigste und eine mittlere Ausbreitungssituation Konzentrationen bzw. Dosen berechnet. Die Maximalwerte werden separat ausgegeben. Ungünstigste bzw. mittlere Ausbreitungssituationen entstehen durch unterschiedliche

- Temperaturschichtungen in der Atmosphäre,
- Windgeschwindigkeiten,
- effektive Quellhöhen und
- Bodenrauigkeiten.

Vertikale Temperaturschichtungen

Wie bei Schönbacher und Scheller /L 11/ ausgeführt, ist die Ausbildung atmosphärischer Turbulenz und somit auch die Ausbreitung von Gasen im Wesentlichen von der Temperaturschichtung innerhalb der planetarischen Grenzschicht bestimmt. Entspricht der vertikale Temperaturgradient in der Atmosphäre dem adiabaten Temperaturgradienten

$$\frac{dT}{dZ} = -\frac{0,98^{\circ}\text{C}}{100\text{m}}$$

wird eine derartige Temperaturschichtung als indifferent (neutral, adiabat) bezeichnet, weil sich ein Luftballen nach einer Steighöhe von 100 m infolge abnehmenden Druckes adiabat um $-0,98^{\circ}\text{C}$ abgekühlt hat. Hierbei findet eine gute Durchmischung der Gaswolke mit der Atmosphäre statt. Ist die vertikale Temperaturabnahme größer als der adiabate Gradient, so liegt eine instabile (labile) Temperaturschichtung vor. Ein hierin adiabat aufsteigender Luftballen ist wärmer als seine Umgebung, so dass der Ballen infolge der immer größer werdenden Temperaturdifferenz gegenüber der umgebenden Atmosphäre beschleunigt nach oben wandert. Es entsteht eine besonders starke Turbulenz und folglich eine sehr rasche Mischung der Gaswolke mit der Luft. Dieser instabile Zustand tritt bei sehr starker Erwärmung bodennaher Luftschichten, z. B. an Sommernachmittagen ein und stellt einen Extremfall dar.

Ein weiterer Extremfall, die stabile Temperaturschichtung, liegt vor, wenn die vertikale Temperaturabnahme kleiner als die adiabate ist. Hierbei ist ein adiabat aufsteigender Luftballen nach 100 m Höhe kälter als seine Umgebung, wodurch er einen zur Erdoberfläche gerichteten Abtrieb erfährt. Bei dieser Temperaturschichtung, die bei $dT/dZ > 0$ als Inversionsschichtung bezeichnet wird und die bevorzugt in den Wintermonaten über gefrorenem Boden und bei Windgeschwindigkeiten $< 1\text{ m/s}$ eintreten kann, findet praktisch keine vertikale Durchmischung mehr statt.

In der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 wird bei einer mittleren Ausbreitungssituation eine indifferente Temperaturschichtung ohne Inversion vorausgesetzt. Bei einer ungünstigen Ausbreitungssituation wird in den vorliegenden Berechnungen eine stabile Temperaturschichtung ohne Inversion betrachtet. Auf die Berücksichtigung einer Smog-Wetterlage mit Inversion wurde bewusst verzichtet, da die Berechnungsergebnisse im Fernbereich der Freisetzung im Wesentlichen von der Inversionshöhe abhängen, die aber nur grob in Abhängigkeit von der jeweils betrachteten Bebauungsstruktur und der vorhandenen Wärmequellen abgeschätzt werden kann.

Windgeschwindigkeit

Die Berechnungen mit der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 können für Windgeschwindigkeiten zwischen 1 m/s und 10 m/s durchgeführt werden. Bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s ist in der Regel die Konzentration am größten, d. h. es ist die ungünstigste Ausbreitungssituation bezüglich der Windgeschwindigkeit. Ist eine Quellüberhöhung, z. B. bei einem sehr leichten Gas zu berücksichtigen, können auch andere Windgeschwindigkeiten die ungünstigste Ausbreitungssituation ergeben.

Für die mittlere Ausbreitungssituation wird von einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s und bei einer ungünstigen Situation von 1 m/s ausgegangen.

Effektive Quellhöhe

Wird ein Gas freigesetzt, dessen Dichte geringer als die Luftdichte ($1,2 \text{ kg/m}^3$) ist, oder treten Brandgase mit einer hohen Temperatur und somit geringer Dichte aus, so steigen diese Gase in der Atmosphäre auf. Die Gaswolke befindet sich dann oberhalb des Freisetzungsortes. Die effektive Quellhöhe setzt sich aus der Höhe des Freisetzungsortes und dieser Überhöhung zusammen und ist vom Abstand zum Freisetzungsort, der Temperaturschichtung und von der äquivalenten Wärmeemission abhängig.

Eine Quellüberhöhung ist bis auf Fluorwasserstoff mit einer Normdichte von $0,89 \text{ kg/m}^3$ bei den betrachteten Gefahrstoffen nicht zu berücksichtigen. Konservativ wird auch Fluorwasserstoff als dichteneutrales Gas behandelt.

Bodenrauigkeit

Über die Bodenrauigkeit wird der Einfluss des Geländes auf die Turbulenz der Atmosphäre und somit auf die Verteilung der Gaswolke berücksichtigt. Es werden hierbei 5 effektive Rauigkeitslängen z_0 für verschiedene Geländetypen festgelegt:

z_0 [m]	Beschreibung des Geländes
0,02	extrem glatt: homogenes, extrem ebenes Gelände (keine Gebäude, Bäume, Büsche in weiterem Umkreis) und Wasserflächen
0,2	glatt: homogenes, ebenes Gelände; nur einzelne Gebäude bzw. Bäume in weiterem Umkreis
0,5	wenig rau: relativ ebenes Gelände, nur wenige Gebäude und mäßiger Bewuchs in weiterem Umkreis
0,8	mäßig rau: unebenes Gelände; Ortschaften bzw. kleine Waldgebiete in weiterem Umkreis
1,2	sehr rau: Stadt- und Waldgebiet

Aus dieser Aufteilung der Rauigkeitslänge ist zu entnehmen, dass die VDI-Richtlinie für die Berechnung von großräumigen Gasausbreitungen bestimmt ist. Die Turbulenzstruktur im bebauten Gelände (Stadt- oder Industriegebiet) wird aber maßgeblich durch die Anordnung der Gebäude und Anlagen bestimmt und kann nur annähernd durch die experimentell ermittelten Streuungen erfasst werden. Eine genauere Modellierung ist aber mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, so dass zur Abschätzung der auftretenden Gaskonzentrationen trotz dieser Einschränkungen die v. g. VDI-Richtlinie herangezogen wird.

In den vorliegenden Berechnungen wird von einer sehr turbulenten Strömung in einem Stadtgebiet ($z_0=1,2 \text{ m}$) ausgegangen.

2. Störfallauswirkungsbetrachtungen zu Gaswolkenexplosionen als Bewertungsgrundlage für angemessene Abstände

2.1 Randbedingungen

Im Folgenden werden die für die Störfallauswirkungsbetrachtungen gewählten Randbedingungen zusammenfassend dargestellt.

Freisetzungsbedingungen:

Betrachtete Leckflächen:	80 mm ² , 178 mm ² , 314 mm ² , 490 mm ² , 804 mm ² , 1257 mm ² 1963 mm ² (DN 10, DN 15, DN 20, DN 25, DN 32, DN 40, DN 50)
Temperatur des Gefahrstoffs:	20 °C
Betriebsüberdruck:	Dampfdruck bei 20 °C
Aggregatzustand:	flüssig
Ausflusszahl:	0,62 (scharfkantig)
Freisetzungsdauer:	10 Minuten
Lachenbildung:	wird vernachlässigt

Gasausbreitung:

Schwergasausbreitung nach der VDI Richtlinie 3783 Blatt 2 für ein Gelände mit gleichförmiger Bebauung.
Betrachtung der unteren Zünddistanz und der explosionsfähigen Masse für eine mittlere Ausbreitungssituation.

Tabelle 2

2.2 Berechnungsmodelle

Bei einer gasförmigen Freisetzung aus einer verfahrenstechnischen Anlage kann davon ausgegangen werden, dass dies unter erhöhtem Druck erfolgt, so dass sich ein Freistrahle bildet. Durch die Einmischung von Luft wird die untere Explosionsgrenze nach einer relativ kurzen Entfernung unterschritten. Die explosionsfähige Masse innerhalb des Freistrahls ist so gering, dass die Auswirkungen der Explosion auf die nähere Umgebung der Anlage beschränkt bleibt und im Rahmen der vorliegenden Betrachtung vernachlässigt werden kann.

Große Gaswolken mit entsprechender explosionsfähiger Masse sind bei der Freisetzung von Gasen mit gegenüber Luft höherer Dichte zu erwarten. Dies können z. B. druckverflüssigte Gase (Propan, Butan usw.) als auch tiefkalt gelagerte Gase (z.B. Wasserstoff) sein.

Als typisches Szenario wird die Freisetzung von Propan aus der Flüssigphase betrachtet. Es wird konservativ davon ausgegangen, dass die gesamte freigesetzte Masse spontan verdampft und die Schwergaswolke bildet. Die Berechnung der Schwergasausbreitung erfolgt nach der VDI Richtlinie 3783 Blatt 2 für ein Gelände mit gleichförmiger Bebauung. Als Ergebnis dieser Berechnung wird die untere Zünddistanz und die explosionsfähige Masse für eine mittlere Ausbreitungssituation für die Explosionsberechnung verwendet.

Für die weiteren Berechnungen wird das speziell für Gaswolkenexplosionen entwickelte Explosionsmodell von Wiekema /L 12/ herangezogen. Mit diesem Modell können die auftretenden Spitzenüberdrücke in Abhängigkeit von der Entfernung zur gezündeten Gaswolke abgeschätzt werden. Hierbei wird berücksichtigt, dass bei einer abbrennenden Brenngaswolke eine deflagrative Flammenausbreitung vorausgesetzt werden kann.

$$\begin{aligned}
 S = 40 \text{ m/s} : & \quad \frac{\Delta p}{p_0} = 0.02 \frac{Le}{Ra} \\
 S = 80 \text{ m/s} : & \quad \frac{\Delta p}{p_0} = 0.06 \frac{Le}{Ra} \\
 S = 160 \text{ m/s} : & \quad \frac{\Delta p}{p_0} = 0.15 \frac{Le}{Ra}
 \end{aligned}$$

$$Le = \left(\frac{2}{3} \pi r_0^3 \frac{3,5 \cdot 10^6 [J/m^3]}{p_0} \right)^{1/3}$$

Der Radius Ra wird vom Mittelpunkt der als Halbkugel idealisierten Gaswolke gemessen. Der Radius der Halbkugel beträgt r₀ und wird aus der gesamten explosionsfähigen Masse und der unteren Explosionsgrenze berechnet.

Einflussparameter auf die Ergebnisse dieses Modells ist in erster Linie die Verbrennungsenergie der Gaswolke und die dadurch beeinflusste Flammengeschwindigkeit S. Die Verbrennungsenergie hängt im Wesentlichen vom Mischungsgrad zwischen Brenngas und Luft ab. Bei Giesbrecht u. a. /L 13/ wird der in der Praxis meist nicht vorliegende ideale stöchiometrische Mischungsgrad im Volumenvergrößerungsfaktor berücksichtigt, der im Idealfall 7 beträgt. Für Modellierungen von störfallbedingten, und somit unbestimmten Mischungsverhältnissen, wird in Übereinstimmung mit /L 13/ der Volumenvergrößerungsfaktor 3,5 angesetzt. Hierdurch wird die unvollständige Verbrennung bei der Deflagration von Brenngasgemischwolken (ca. 30 % der Gesamtmenge) berücksichtigt. Die Berechnung der Flammengeschwindigkeit erfolgt nach Giesbrecht u. a. /L 14/.

$$S = 0.7 \cdot S_1 e^{1/4} E_{\text{Gas}}^{1/6}$$

Die Beziehung für die Flammengeschwindigkeit wurde aus den Messungen der Deflagration einer Propylen/Luft-Wolke nach einem Behälterbersten ermittelt. Die Flammengeschwindigkeit bei anderen Freisetzungsarten (Freistrahler, Abdampfen von Lache usw.) werden davon abweichen. Wegen des hohen Gehaltes an turbulenter Mischenergie wird die Flammengeschwindigkeit nach einem Behälterbersten jedoch als obere Abschätzung auch für andere Fälle betrachtet /L 14/.

3 Störfallauswirkungsbetrachtungen zu Flüssigkeitsbränden als Bewertungsgrundlage für angemessene Abstände im Rahmen der Flächennutzungsplanung

3.1 Randbedingungen

Im Folgenden werden die für die Störfallauswirkungsbetrachtungen gewählten Randbedingungen zusammenfassend dargestellt.

Freisetzungsbedingungen:	
Betrachtete Leckflächen:	80 mm ² , 178 mm ² , 314 mm ² , 490 mm ² , 804 mm ² , 1257 mm ² 1963 mm ² (DN 10, DN 15, DN 20, DN 25, DN 32, DN 40, DN 50)
Temperatur des Gefahrstoffs:	20 °C
Betriebsüberdruck:	Pumpendruck: 2 bar,
Aggregatzustand:	flüssig
Ausflusszahl:	0,62 (scharfkantig)
Freisetzungsdauer:	10 Minuten
Lachenbildung:	
Untergrund:	Beton
Lachenbrand:	
mittlere spezifische Ausstrahlung, gefahrstoffunabhängig:	100 kW/m ²
Zeitdauer:	10 Minuten

Tabelle 3

3.2 Berechnungsmodelle

Die bei einem Brand freiwerdende Wärme hängt im Wesentlichen von der Art des Brandmediums und der Größe des Brandherdes ab. Die Wärmeübertragung auf ein benachbartes Objekt erfolgt konvektiv und durch Strahlung, wobei der für die Flächennutzungsplanung betrachtete Abstand zwischen Anlage und gefährdetem Objekt so groß ist, dass nur die Wärmestrahlung betrachtet werden muss.

Die zeitl. gemittelte Bestrahlungsstärke E berechnet sich entsprechend dem konservativen Zylinderflammen-Strahlungsmodell

$$\bar{E} = \varphi_{F,E} \varepsilon_F \sigma (T_F^4 - T_U^4) ,$$

wobei $\varphi_{F,E}$ die mittlere Einstrahlzahl, ε_F der Emissionsgrad der Flamme, σ die Stefan-Boltzmann-Konstante und T_F , T_U die mittlere Flammen- bzw. Umgebungstemperatur bedeuten. Als Emissionsgrad einer Flamme wird der Wert 0,95 verwendet.

Die mittlere Einstrahlzahl $\varphi_{F,E}$ zwischen einer Flamme und einem bestrahlten Empfängerflächenelement dA_E kann durch

$$\varphi_{F,E} = \frac{1}{\pi A_F} \iint \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{s^2} dA_E dA_F$$

beschrieben werden. Bei einer näherungsweisen Betrachtung einer ebenen Flamme kann die mittlere Einstrahlzahl mit den im VDI-Wärmeatlas /L 3/ angegebenen Beziehungen

einfach berechnet werden. Dieser Ansatz wird auch bei einer zylindrischen Flamme, z. B. auf einer kreisförmigen, brennenden Lache angewendet, da nur die sichtbare ebene Flammenfläche A_F nach Seeger /L 15/ betrachtet wird:

$$\frac{a'}{d} = \frac{2 \left[\left(\frac{a}{d} \right)^2 + \frac{a}{d} \right]}{2 \frac{a}{d} + 1}$$

$$\frac{b}{d} = \frac{\sqrt{\left(\frac{a}{d} \right)^2 + \frac{a}{d}}}{2 \frac{a}{d} + 1}$$

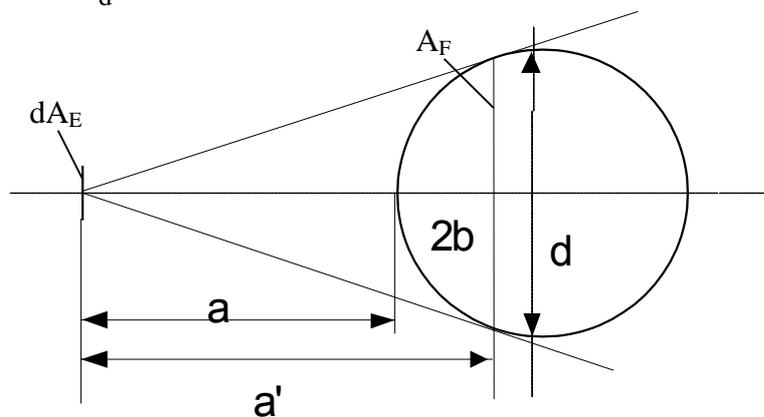


Bild 3: Sichtbare strahlende Fläche bei einer zylindrischen Flamme

Wie in /L 16, L 17, L 18, L 19/ ausführlich diskutiert, ist durch die großen Temperaturschwankungsbreiten innerhalb der Flamme eines Kohlenwasserstoffbrandes und durch die schwierige Definition der Flammenfläche bei Experimenten eine mittlere Flammentemperatur nur mit großer Unsicherheit zu bestimmen. Während das Zylinder-Flammenstrahlungsmodell /L 20/ für eine Flamme (Dieselkraftstoff) von einer mittleren Flammentemperatur von ca. 900 °C (mittlere spezifische Ausstrahlung: 100 kW/m²) ausgeht, wird bei OSRAMO II eine mittlere Temperatur der hot spots von 1056 °C und der Rußballen von 359 °C und eine durchmesserabhängige spezifische Ausstrahlung, z.B. von 36 kW/m² bei d=20 m, unterstellt /L 18, L 21/. Der Vergleich mit Messungen /L 16, L 17, L 21/ zeigt, dass bei kleineren Branddurchmessern von 1 - 5 m die obere Grenze der mittleren spezifischen Ausstrahlung von 100 kW/m² erreicht wird und mit Zunahme des Branddurchmessers bzw. größerer Rußbildung die mittlere spezifische Ausstrahlung und damit auch die mittlere, effektive Flammentemperatur abnimmt.

Um eine konservative Abschätzung der emittierten Wärmestrahlung zu erhalten, wird in den Berechnungen unabhängig vom freigesetzten Gefahrstoff eine mittlere spezifische Ausstrahlung von 100 kW/m² vorausgesetzt.

Neben der Flammentemperatur wird zur Berechnung des übertragenen Wärmestromes die Flammenfläche benötigt, die aus dem Flammendurchmesser und der zeitlich gemittelten Flammenhöhe gebildet wird.

Der Flammendurchmesser entspricht dem Lachendurchmesser und berechnet sich aus dem freigesetzten Gefahrstoffvolumen und der Schichtdicke der Lache. Für eine Beeinträchtigung

von Gebäuden muss eine ausreichende Branddauer zu erwarten sein. Es wird daher von einer Branddauer von 10 Minuten ausgegangen. Um diese Branddauer zu erreichen muss die Schichtdicke der Lache entsprechend der Abbrandgeschwindigkeit ausreichend groß sein. Bei experimentellen Untersuchungen in Brandwannen bis 500 m² wurden folgende Abbrandgeschwindigkeit gemessen /L 22/:

Pentan: 8 – 12 mm/min,
 Superbenzin: 4 – 5 mm/min,
 Dieselmotortreibstoff: 3 – 4 mm/min.

Burgess u. a. /L 24/ entwickelten eine empirische Beziehung zur Berechnung der Abbrandgeschwindigkeit v_a aus dem Heizwert H_c und der Verdampfungsenthalpie h_v

$$v_a = 1,27 \cdot 10^{-6} \frac{H_c}{T_s} \frac{1}{h_v + \int_{T_0} c_p dt}$$

Für die Berechnungen wird von einer Branddauer von 10 Minuten ausgegangen, um eine Schädigung von Personen und Gebäuden in einiger Entfernung von der Flamme voraussetzen zu können. Die Schichtdicke der Lache ergibt sich somit aus dem freigesetzten Flüssigkeitsvolumen und der Abbrandgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Brandmedium.

Wie die Literaturübersicht in /L 16, L 17/ zeigt, variiert das experimentell oder theoretisch abgeleitete Flammenlänge-Flammdurchmesser-Verhältnis H/d von 0,2 bis 4,5 je nach Durchmesser der Brandfläche, dem Windeinfluss und dem Brennstoff. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass die Flammenlänge bei gegebener Flammenbreite mit der Wärmestrahlung korreliert. Wird bei der Bestimmung der Flammenlänge der relativ kalte Anteil der Rußsäule der Flamme mit einbezogen, kann auch die Wärmestrahlung als integraler Mittelwert über die Zeit und die Fläche nur einen niedrigen Wert einnehmen. Wird hingegen der sichtbare Teil der Flamme als strahlende Fläche in Bezug genommen, so ergibt sich auch eine entsprechend hohe Wärmestrahlung. Daraus resultiert die Notwendigkeit, die in einer Literaturstelle angegebene Wärmestrahlung in Verbindung mit der Flammengeometrie zusammen zu verwenden.

Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung der Flammenhöhe H lässt sich aus den empirischen Korrelationen von Thomas /L 23/ und Moorhouse /L 25/ ableiten:

$$H/d \geq 3: \quad \frac{H}{d} = 4,2 \left(\frac{v_a \rho_f}{\rho_{Luft} \sqrt{gd}} \right)^{0,61}$$

$$1 \leq H/d \leq 3: \quad \frac{H}{d} = 6,2 \left(\frac{v_a \rho_f}{\rho_{Luft} \sqrt{gd}} \right)^{0,254}$$

4. Formelzeichen

Die Formelzeichen in den verwendeten Gleichungen haben - soweit keine anderen Angaben gemacht worden sind - folgende Bedeutung:

A_{Lache} [m ²]	Fläche der Lache
A_{F} [m ²]	strahlende Fläche
A_{E} [m ²]	bestrahlte Fläche
a [m ² /s]	Temperaturleitfähigkeit $\frac{\lambda}{\rho c_p}$
a, a', b [m]	Entfernungsangaben
$c_{p,\text{fl}}$ [kJ / (kg K)]	spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeit in der Lache
$c_{p,0}$ [kJ / (kg K)]	spezifische Wärmekapazität der ausströmenden Flüssigkeit
$c_{p,\text{Luft}}$ [kJ / (kg K)]	spezifische Wärmekapazität der Luft
DN [mm]	Nennweite einer Rohrleitung
d [m]	Durchmesser der Lache
D_{AB} [m ² /s]	Diffusionskoeffizient Stoff A in Luft
e_{DW} [kJ/kg]	an die Umgebung abgegebene physikalische Arbeit = 60 kJ/kg
E_{Gas} [MJ/kg]	verfügbare Verbrennungsenergie = unterer Heizwert* <i>Masse</i>
g [m/s ²]	Erdbeschleunigung = 9.81 m/s ²
H [m]	Flammenhöhe
h_v [kJ/kg]	spezifische Verdampfungsenthalpie
H_c [kJ/kg]	unterer Heizwert
k [m/s]	Stoffübergangskoeffizient
L [m]	Überströmlänge
m [kg]	Masse der Flüssigkeit in der Lache
\dot{m}_0 [kg/s]	austretender Massenstrom
\dot{m}_{gl} [kg/s]	verdunsteter Massenstrom
\dot{m}_{g} [kg/s]	Spontan verdampfter Massenstrom
\dot{m}_{fl} [kg/s]	Massenstrom der Flüssigphase
Nu []	Nusselt-Zahl
p_A^0 [Pa]	Sättigungsdampfdruck an der Flüssigkeitsoberfläche
p_u [Pa]	Umgebungsdruck
Pr [-]	Prandtl-Zahl
\dot{Q}_B [W]	Wärmestrom aus dem Boden
\dot{Q}_{Konv} [W]	Wärmestrom durch Konvektion
\dot{Q}_{Str} [W]	Wärmestrom durch Strahlung
\dot{Q}_{Verd} [W]	Wärmestrom infolge Verdunstung
\dot{Q}_{Sonne} [kW / m ²]	Sonneneinstrahlung
Ra [m]	Entfernung vom Mittelpunkt der Gaswolke
R [kJ / (kg K)]	spezielle Gaskonstante
r_0 [m]	Radius der Gaswolke als Halbkugel idealisiert
Re []	Reynolds-Zahl
r_1, r_2 [m]	Radien der Lache
s [m]	Abstand zwischen strahlender und bestrahlter Fläche
S [m/s]	Flammengeschwindigkeit
S_1 [m/s]	laminare Flammgeschwindigkeit

T_0 [K]	Temperatur der ausströmenden Flüssigkeit
T_{Luft} [K]	Lufttemperatur
T_{fl} [K]	Temperatur der Flüssigkeit in der Lache
T_{Boden} [K]	Temperatur des Bodens
t [s]	Zeit
v_a [m/s]	Abbrandgeschwindigkeit
V_{fl} [m ³]	Volumen der Flüssigkeit
\dot{V} [m ³ /s]	Volumenstrom in die Lache
w [m/s oder m/h]	Windgeschwindigkeit
z_0 [m]	Rauhigkeitslänge
z [m]	Höhe über Erdgleiche

Griechische Symbole

β_1, β_2 [°]	Winkel zwischen strahlender und bestrahlter Fläche
α_w [W/m ² K]	Wärmeübergangskoeffizient
ν [-]	Volumenvergrößerungsfaktor
$\Delta p / p$ []	Spitzenüberdruck bei einer Explosion
ε [-]	Emissionsverhältnis
λ_{Luft} [W/(m K)]	Wärmeleitfähigkeit der Luft
λ_B [W/(m K)]	Wärmeleitfähigkeit des Bodens
ρ_{fl} [kg/m ³]	Dichte der Flüssigkeit in der Lache
$\rho_{\text{fl},0}$ [kg/m ³]	Dichte der ausströmenden Flüssigkeit
ν_{Luft} [m ² /s]	kinematische Viskosität der Luft
η_{Luft} [Pa/s]	dynamische Viskosität der Luft
σ [W m ⁻² K ⁻⁴]	Stefan-Boltzmann Konstante

5. Literatur

- /L 1/ R. Geike, A. Horn; Probleme bei Ausbreitungsrechnungen. TÜ Bd. 34 (1993) Nr. 4
- /L 2/ Kuchling; Taschenbuch der Physik; Fachbuchverlag Leipzig-Köln, 1994
- /L 3/ VDI-Wärmeatlas, 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998
- /L 4/ U. Lebuser, H.-G. Schecker; Verdampfung von Flüssigkeiten aus offenen Lachen. Dechema-Monographien, Band 197, 1987
- /L 5/ K. Wörsdörfer; Beschreibung der thermodynamischen Vorgänge und Wechselwirkungen bei der Freisetzung von Ammoniak. Dissertation Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal; 1994
- /L 6/ F. Briscoe, P. Shaw; Prog. Energy Comb. Sci. (1980)
- /L 7/ U. Lebuser; Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Verdunstung aus Flüssigkeitslachen. Dissertation Uni. Dortmund 1989
- /L 8/ S. Deutsch; Verdunstung aus Flüssigkeitslachen unter atmosphärischen Bedingungen. Dissertation Uni. Dortmund 1995
- /L 9/ VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2; Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse, Beuth Verlag GmbH
- /L 10/ VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1; Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen - Sicherheitsanalyse, Beuth Verlag GmbH
- /L 11/ V. Scheller, A. Schönbacher: Ausbreitung von Abgasfahnen. Chem.-Ing.-Tech. 53 (1981) Nr. 5, S. 320-334
- /L 12/ B. J. Wiekema; Vapour cloud explosion model. Journal of Hazardous Materials, 3 (1980)
- /L 13/ H. Giesbrecht, K. Hess, W. Leuckel, B. Maurer; Analyse der potentiellen Explosionswirkung von kurzzeitig in die Atmosphäre freigesetzten Brenngasmengen -Teil 1; Chemie-Ing.-Tech. 52 (1980)
- /L 14/ H. Giesbrecht, G. Hemmer, K. Hess, W. Leuckel, A. Stoeckel; Analyse der potentiellen Explosionswirkung von kurzzeitig in die Atmosphäre freigesetzten Brenngasmengen - Teil 2., Chemie-Ing.-Tech. 53 (1981)
- /L 15/ P. G. Seeger; Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion bei Bränden in Flüssiggaslagern. VFDB 1/87, S. 7-12.
- /L 16/ R. Becker, W. Huth, E. Müller: Lagerung brennbarer Stoffe. TÜ Bd. 32 (1991), Nr. 4, S. 142-149
- /L 17/ W. Brötz, A. Schönbacher: Wärme- und Stofftransport in Tankflammen. Chem.-Ing.-Tech. 50 (1978), Nr. 8, S.573-585
- /L 18/ Ch. Balluff, W. Brötz, D. Göck, N. Schieß, A. Schönbacher: Erforschung von Schadenfeuern flüssiger Kohlenwasserstoffe als Beitrag zur Sicherheit von Chemieanlagen. Chem.-Ing.-Tech. 57 (1985) Nr. 10, S. 823-834
- /L 19/ D. Göck, R. Fiala, X. Zhang, A. Schönbacher: Das experimentell validierte Ballen-Strahlungsmodell OSRAMO. Teil 1, TÜ 33 (1992) S. 137-140 sowie Teil 2, TÜ 33 (1992) S 219-223
- /L 20/ G. Seeger: Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion bei Tankbränden als Basis für brandschutztechnische Maßnahmen. gwf-gas/erdgas 120 (1979) 1, S. 25-30.
- /L 21/ D. Göck: Experimentell fundierte Ballenstrahlungsmodelle zur Bestimmung von Sicherheitsabständen bei großen Poolflammen flüssiger Kohlenwasserstoffe. Diss. Uni. Stuttgart, 1988
- /L 22/ Untersuchungen zur Optimierung des Brandschutzes in Großtanklagern, DGMK Berichte, Forschungsbericht 230-01,1985
- /L 23/ P. H. Thomas, The size of Flames from natural fires. 9th Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh 1963
- /L 24/ D. Burgess, M. Hertzberg. Heat Transfer in Flames, S. 413, (Eds. Afgan, N.; Beer, J.) John Wiley, New York 1974
- /L 25/ J. Moorhouse. Scaling criteria for pool fires derived from large scale experiments. I. Chem. Eng. Symp. Ser., Nr. 71 (1982)

Anhang 3: Beurteilungsgrundlagen physikalischer und toxischer Endpunkte

1. Auswahl von Konzentrationsleitwerten für die Ermittlung von Sicherheitsabständen in der Bauleitplanung

1.1 ERPG-Werte: Emergency Response Planning Guidelines

Konzentrationsleitwerte, die für die Notfallplanung im Störfall dienen. Sie sind keine Grenzwerte für routinemäßige Arbeiten, sie können auch nicht als Grundlage einer quantitativen stofflichen Risikobewertung dienen. Die nachfolgende Definition ist wörtlich den amerikanischen Unterlagen entnommen⁹:

ERPG-1:

»Die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang exponiert werden könnten, ohne dass sie unter mehr als leichten, vorübergehend nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen leiden bzw. ohne dass sie einen eindeutigen definierten unangenehmen Geruch wahrnehmen.«

ERPG-2:

»Die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang exponiert werden könnten, ohne dass sie unter irreversiblen oder sonstigen schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen oder Symptomen leiden bzw. solche entwickeln, die die Fähigkeit einer Person beeinträchtigen könnten, Schutzmaßnahmen zu ergreifen.«

ERPG-3:

»Die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass unterhalb dieses Wertes beinahe sämtliche Personen bis zu einer Stunde lang exponiert werden könnten, ohne dass sie unter lebensbedrohenden gesundheitlichen Auswirkungen leiden bzw. solche entwickeln.«

Das für die Begründung der ERPG-Werte gewählte Modell bezieht sich auf eine Expositionszeit von einer Stunde. Die Bevorzugung eines Zeitraumes von einer Stunde beruht auf folgenden Erfahrungen bei Störfällen:

- »nur wenige Expositionen dauern länger als eine Stunde, so dass Konzentrationsleitwerte, die für diese Zeitdauer erstellt werden, die Gesundheitsrisiken im allgemeinen überschätzen;
- Schätzwerte für akute gesundheitliche Folgen nach einer einstündigen Exposition stehen aus praktischen Untersuchungen mit Tieren und Menschen für viele Stoffe zur Verfügung;
- die von der American Industrial Hygiene Association (AIHA) erstellten Planungsrichtlinien für Notfallreaktionen (ERPGs) beziehen sich auf eine maximale Expositionsdauer von einer Stunde, und (deren) Kompatibilität mit diesem Programm ist erwünscht.«

Aus der Abstufung der Werte, die stoffspezifisch nach dem toxikologischen Gesamtbild festgelegt werden, kann auf die Gefährlichkeit des betrachteten Stoffes geschlossen werden. Die ERPG-Werte orientieren sich bisher vorrangig am akuten Vergiftungsverlauf unter besonderer Berücksichtigung von Reizschwellen. Kanzerogene und mutagene Wirkungen bleiben weitgehend außer Betracht, da man von der Annahme ausgeht, dass die kurzzeitigen (erhöhten) Konzentrationen bei Störfällen diese Spätfolgen nicht verursachen.

⁹ zitiert nach SFK-GS-17 „Zusammenstellung und Interpretation der bisher bekannten lufthygienischen Grenz-, Richt-, Orientierungs- und Toxizitätswerte“, Oktober 1998 (www.sfk-taa.de)

1.2 Definition § 2 Störfall-Verordnung

3. Störfall:

ein Ereignis, wie z. B. eine Emission, ein Brand oder eine Explosion größeren Ausmaßes, das sich aus einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs in einem unter diese Verordnung fallenden Betriebsbereich oder in einer unter diese Verordnung fallenden Anlage ergibt, das unmittelbar oder später innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage zu einer **ernsten Gefahr** oder zu Sachschäden nach Anhang VI Teil 1 Ziffer I Nr. 4 führt und bei dem ein oder mehrere gefährliche Stoffe beteiligt sind;

4. ernste Gefahr:

- eine Gefahr, bei der
- a) das **Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen** von Menschen zu befürchten sind,
 - b) die **Gesundheit einer großen Zahl von Menschen beeinträchtigt** werden kann oder
 - c) die Umwelt, insbesondere Tiere und Pflanzen, der Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- oder sonstige Sachgüter geschädigt werden können, falls durch eine Veränderung ihres Bestandes oder ihrer Nutzbarkeit das Gemeinwohl beeinträchtigt würde;

1.3 Stellungnahme

Aus der Analyse der Begriffsidentitäten von Störfall-Verordnung und ERPG-Definitionen kann geschlossen werden, dass die **Beeinträchtigung einer großen Anzahl von Menschen** i.S. des § 2 Nr. 4 b Störfall-Verordnung für die Auswahl des relevanten Konzentrationsleitwertes maßgeblich ist. In der Regel wird bei der Bauleitplanung ein größeres Gebiet geplant, in dem sich mehrere Menschen aufhalten. Damit ergibt sich eine weitgehende Definitionsüberschneidung mit dem **ERPG-2-Wert**, der für die Bauleitplanung verwendet werden soll.

ERPG-3 markiert die Schwelle der „**lebensbedrohenden gesundheitlichen Auswirkungen**“, die nach § 2 Nr. 4a für einen einzelnen Menschen maßgeblich ist (Nr. 2.7 Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung, BMU (Hrsg.), Bonn 2004):

„2.7 Ernste Gefahr

Ernste Gefahren können durch Ereignisse größeren Ausmaßes unmittelbar, z.B. durch Emissionen, Brände oder Explosionen, oder zu einem späteren Zeitpunkt, z.B. durch verzögerte krebserzeugende, fortpflanzungsgefährdende oder umweltgefährdende Wirkung von Stoffen nach Anhang I oder VII¹⁰ der Störfall-Verordnung, hervorgerufen werden.

In der Begriffsbestimmung der **ernsten Gefahr** in § 2 Nr. 4 der Störfall-Verordnung wird unterschieden zwischen einer Gefahr für das Leben oder die Gesundheit von Menschen und einer Gefahr für die Umwelt. Eine Gefahr im Sinne von § 2 Nr. 4 Buchstabe a oder b kann für Menschen innerhalb und außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage eintreten, also auch für die Beschäftigten.

¹⁰ Anhang VII wurde mit der Bekanntmachung der Neufassung der Störfall-Verordnung vom 08.06.2005 aufgehoben. (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2005 Teil I Nr.33,S.1598-1620 ausgegeben zu Bonn am 6. Juni 2005)

2.7.1 Menschen (Leben, Gesundheit)

Es reicht aus, wenn das Leben nur eines Menschen konkret gefährdet ist oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen für einen Menschen zu befürchten sind.

Schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen sind z.B. der Verlust von Körperteilen oder Körperfunktionen (z.B. Sehfähigkeit oder Gehör), die dauernde Entstellung oder eine unheilbare oder erst nach längerer Zeit heilbare Verletzung oder Erkrankung. Nach § 2 Nr. 4 Buchstabe b wird eine schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigung dann nicht vorausgesetzt, wenn eine größere Zahl von Menschen betroffen ist.

Da jede Gesundheitsbeeinträchtigung ausreicht, muss diese von der bloßen Belästigung abgegrenzt sein. Die Schwelle zur Gesundheitsbeeinträchtigung wird überschritten, wenn nicht nur das körperliche Wohlbefinden beeinträchtigt wird (z.B. durch Wahrnehmen eines unangenehmen Geruchs), sondern bestimmte Körperfunktionen ausgelöst oder gehemmt werden (z.B. durch eine Emission unmittelbar ausgelöster Brechreiz, Erbrechen). Für die Bewertung, ob eine Zahl von beeinträchtigten Personen als groß anzusehen ist, ist in erster Linie die Schwere der Gesundheitsbeeinträchtigung maßgebend. Bei größeren Gesundheitsbeeinträchtigungen, die an die Grenze zu schwerwiegenden Gesundheitsbeeinträchtigungen heranreichen, kann daher auch bei einer geringeren Zahl von betroffenen Personen eine ernste Gefahr vorliegen.“

ERPG

Konzentration

StörfallIV

(Ernste Gefahr)

3

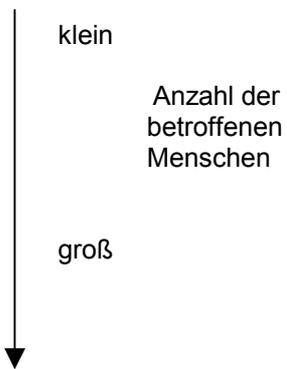
lebensbedrohende Gefährdung

§ 2 Nr. 4a StörfallIV

- **Leben von Menschen bedroht**
- **Schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigung**
-Ein Mensch genügt-

2

- **irreversiblen oder sonstigen schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen**
- **Eingeschränkte Bewegungsfreiheit**



1

- **leichte, vorübergehend nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen**
- **eindeutig definierter unangenehmen Geruch**

§ 2 Nr. 4b StörfallIV
Gesundheitsbeeinträchtigung einer **großen Anzahl von Menschen**, z.B. auslösen oder hemmen bestimmter Körperfunktionen (z.B. durch eine Emission unmittelbar ausgelöster Brechreiz, Erbrechen).

Belästigung durch z.B. Geruch

2. Grundlagen für Festlegung von Toleranzbelastungswerten für Brände (Wärmestrahlung) und Explosionen (Spitzendruck) bei der Flächennutzungsplanung

2.1 Definition § 2 Störfall-Verordnung

3. Störfall:

ein Ereignis, wie z. B. eine Emission, ein Brand oder eine Explosion größeren Ausmaßes, das sich aus einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs in einem unter diese Verordnung fallenden Betriebsbereich oder in einer unter diese Verordnung fallenden Anlage ergibt, das unmittelbar oder später innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage zu einer **ernsten Gefahr** oder zu Sachschäden nach Anhang VI Teil 1 Ziffer I Nr. 4 führt und bei dem ein oder mehrere gefährliche Stoffe beteiligt sind;

4. ernste Gefahr:

- eine Gefahr, bei der
- a) das **Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen** von Menschen zu befürchten sind,
 - b) die **Gesundheit einer großen Zahl von Menschen beeinträchtigt** werden kann oder
 - c) die Umwelt, insbesondere Tiere und Pflanzen, der Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- oder sonstige Sachgüter geschädigt werden können, falls durch eine Veränderung ihres Bestandes oder ihrer Nutzbarkeit das Gemeinwohl beeinträchtigt würde;

2.2 Stellungnahme

Aus der Analyse der Begriffsdefinitionen der Störfall-Verordnung kann geschlossen werden, dass die **Beeinträchtigung einer großen Anzahl von Menschen** i.S. des § 2 Nr. 4 b für die Auswahl der relevanten Toleranzwerte für die Belastung durch Wärmestrahlung und Explosionsdruckwirkungen maßgeblich ist. In der Regel wird bei der Bauleitplanung ein größeres Gebiet geplant, in dem sich mehrere Menschen aufhalten.

Für die Wärmestrahlung ist mit einem Grenzwert von **1,6 kW/m²** die Grenze des Beginns nachteiliger Wirkungen für Menschen erreicht (s. Kap.4 Anhang 3).

Bei den Wirkungen von Explosionen ist eine Grenze zu irreversiblen Gesundheitsschäden bei **0,175 bar** Spitzenüberdruck für den Trommelfellriss gesetzt. Schäden durch z.B. zersplittertes Glas sind schon ab **0,05 bar** (für 100 % Bruch) zu erwarten (s. Kap.5 Anhang 3). Als mittlerer Grenzwert könnte für die Flächennutzungsplanung **0,1 bar** gesetzt werden.

Eine Bestrahlungsstärke von **10,5 kW/m²** (40 s) und ein Explosionsspitzendruck von **1,85 bar** markiert die Schwelle der „**lebensbedrohenden gesundheitlichen Auswirkungen**“, die nach § 2 Nr. 4a für einen einzelnen Menschen maßgeblich ist (s. oben).

Grenzwerte: Strahlung/Druck

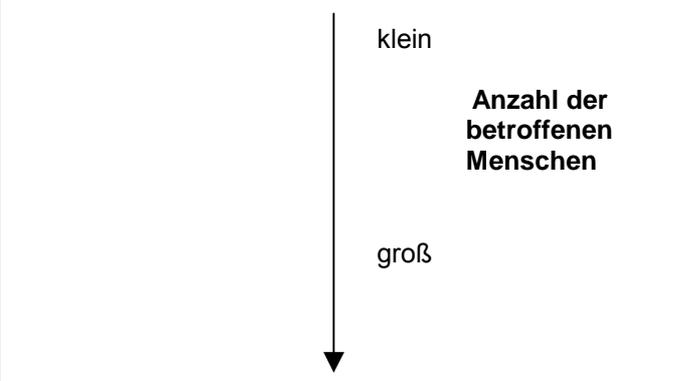
StörfallIV (Ernste Gefahr)

Wärmestrahlung: 10,5 kW /m² („Tödliche Verbrennung in 40 s“)
Explosionsdruck: 1,85 bar („Lungenriss“)

§ 2 Nr. 4a StörfallIV

- **Leben von Menschen bedroht**
- **Schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigung (Irreversible Schäden)**
-Ein Mensch genügt-

Wärmestrahlung: 2,9 kW /m² („Schmerzgrenze nach 30 s“)
Explosionsdruck: 0,175 bar („Trommelfellriss“)



Wärmestrahlung: 1,6 kW /m² („Nachteilige Wirkung“)
Explosionsdruck: 0,1 bar („Zerstörung gemauerter Wände“)

§ 2 Nr. 4b StörfallIV
Gesundheitsbeeinträchtigung einer großen Anzahl von Menschen, (Reversible Schäden)

Wärmestrahlung: 1,3 kW /m² („Maximale Sonneneinstrahlung“)
Explosionsdruck: 0,003 bar („lauter Knall“)

Belästigung

3. Übersicht Schwellenwerte für Wärmestrahlung, Explosionsdruck in Europa¹¹

Threshold levels used in Belgium. (Schwellenwerte in Belgien)

	<i>Radiation (Wärmestrahlung)</i> (kW/m ²)	<i>Blast</i> (Explosionsdruck) (mbar)	<i>Missiles</i> (Trümmerwurf)
<i>Vigilance zone¹</i> (Sicherheitszone)	----	----	----
<i>Risk zone²</i> (Risikozone)	2,5 during 30 s	20	----

1. Area in which reversible effects are observed. (Gebiet, in welchem reversible Effekte beobachtet werden.)

2. Area in which specific measures must be taken in order to limit the accidents consequences, the time factor taken into account. (Gebiet, in welchem unter Berücksichtigung der Einwirkzeit spezifische Maßnahmen zur Begrenzung der Unfallfolgen getroffen werden müssen.)

Threshold levels used in France. (Schwellenwerte in Frankreich)

	<i>Radiation²</i> (kW/m ²)	<i>Blast</i> (mbar)	<i>Missiles</i>
<i>Irreversible effects</i>	3	50	----
<i>Lethal effects</i>	5	140	----
<i>Risk of domino effects¹</i>	8 for non-protected structures (für nicht-geschützte Strukturen) 12 for protected structures. (für geschützte Strukturen)	200 for significant damage (für bedeutende Schäden) 350 for heavy damage (für schwere Schäden) 500 mbar for very heavy da- mage (für sehr schwere Schäden)	----

1. These thresholds are used by INERIS¹² but are non-official. (Diese Schwellenwerte werden bei INERIS benutzt, sind jedoch nicht offiziell.)

2. When exposure time is longer than 60 s. (Wenn die Einwirkungsdauer länger als 60s ist.)

Threshold levels used in Italy¹. (Schwellenwerte in Italien)

	<i>Radiation</i> (kW/m ²)	<i>Blast</i> (mbar)	<i>Missiles</i>
<i>Reversible effects</i> (Reversible Effekte)	3	30	----
<i>Irreversible effects</i> (Irreversible Effekte)	5	70	----
<i>Start of lethality</i> (Beginn der Letalität)	7	140	----
<i>High lethality</i> (Hohe Letalität)	12.5	300	----
<i>Risk of domino effects</i> (Risiko des Dominoeffekts)	12.5	300	----

1 Italy gives also the following threshold levels for non-stationary thermal radiation (the case of fireball) (Italien hat ebenso folgende Schwellenwerte für nicht-stationäre Wärmestrahlung (im Fall eines Feuerballs)): 125 kJ/m² (reversible effects (reversible Effekte)), 200 kJ/m² (irreversible effects (Irreversible Effekte)), 350 kJ/m² (start of lethality (Beginn der Letalität)), fireball radius (Radius des Feuerballs) (high lethality (hohe Letalität)), 200-800 m (domino effects (Dominoeffekte)). And for instantaneous thermal radiation (the case of flashfire) (Und für unmittelbare Wärmestrahlung (im Fall

¹¹ Cit. nach ARAMIS Projekt, Deliverable D.2.A "Parameters composing the severity index" WP 2: Severity evaluation v. 30 June 2003 (eigene Übersetzung)

¹² L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

einer kurzfristigen Wärmestrahlung): $\frac{1}{2}$ x LFL (start of lethality (Beginn der Lethalität)) and LFL (high lethality (Hohe Lethalität)).

Threshold levels used in Spain. (Schwellenwerte in Spanien)

	<i>Radiation (Wärmestrahlung)</i> (kW/m ²)	<i>Blast (Explosionsdruck)</i> (mbar)	<i>Missiles (Trümmerwurf)</i>
Alert zone1 (Alarmzone)	3	50	Distance of 99,9 % of missiles (Entfernung zu 99,9% des Trümmerwurfs)
Intervention zone² (Interventionszone)	5	125	Distance of 95 % of missiles (Entfernung zu 95% des Trümmerwurfs)
Domino effects zone (Domino-Effekt-Zone)	12 for unprotected equipment (für ungeschützte Anlagenteile) 37 for protected equipment (für geschützte Anlagenteile)	100 for buildings (für Gebäude) 160 for atmospheric equipment (für Anlagenteile unter Normaldruck) 350 for pressurized equipment (für Anlagenteile unter Überdruck)	Distance of 100% of missiles (Entfernung zu 100% des Trümmerwurfs)

1. The consequences of accidents are perceptible to the population but do not justify the intervention, except for critical groups. (Die Konsequenzen eines Unfalls sind für die Bevölkerung wahrnehmbar, rechtfertigen jedoch nicht, außer für kritische Personengruppen eine Intervention.)

2. The consequences of accidents give a level of damage that justifies the immediate intervention. (Die Konsequenzen des Unfalls stellen einen Schadensgrad dar, der eine sofortige Intervention rechtfertigt.)

Definition of the levels of effects Definition der Effektschwellen

<i>Level of effects</i>	<i>Radiation (Wärmestrahlung)</i> (kW/m ²)	<i>Non Stationary radiation (nicht-stationäre Wärmestrahlung)</i> (kJ/m ²)	<i>Blast (Explosionsdruck)</i> (mbar)	<i>Missiles¹ (Trümmerwurf)</i> (%)	<i>Comments (Kommentare)</i>
1	< 3	0 – 124	0 – 19	>99.91	Small or non effects (kleine oder keine Effekte)
2	3 – 4.9	125 – 199	20 – 49	99.9 – 96	Reversible effects (Reversible Effekte)
3	5 – 7.9	200 – 349	50 – 299	≤ 95	Irreversible effects (irreversible Effekte)
4	≥ 8	≥ 350	≥ 300	100	Lethality and/or risk of domino effects (Lethalität und/oder Risiko eine Dominoeffektes)

1. Range distance of the indicated percentage of missiles. (Abstandsbereiche des angezeigten Prozentsatzes des Trümmerwurfs.)

4. Belastungen durch Wärmestrahlung¹³

Benötigte Angaben:

Auftreffende flächenspezifische

Wärmeleistung (Bestrahlungsstärke):

P''_{Str} in kW/m²

Dauer der Einwirkung:

t_{Str} in s

Durch die auftreffende Wärmestrahlung kommt es zur Erwärmung der Oberflächen. Bei ausreichender Intensität und Dauer kann es bei brennbaren Stoffen zur Erwärmung der Oberflächen und in der Folge zur Selbstentzündung und zu Bränden kommen. Die Intensität der Wärmestrahlung (flächenspezifische Leistung) wird als Bestrahlungsstärke bezeichnet.

Die **Selbstentzündungsbedingungen ohne Schutzmaßnahmen und andere Effekte** sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Wirkung/Entzündung	Bestrahlungsstärke (kW/m ²)	Einwirkungsdauer (s)
Maximale Sonneneinstrahlung	1,3	-
Platzen von Fensterscheiben	5,0	6
Kunstfaser	7,0	sofort
Papier ¹⁴	8,0	5
	13,0	8
Schmieröl an Maschinen	9,2	-
Anstrichfarbe an Anlagenteilen	12,2	-
Baumwollgewebe	24,0	900
Ungestrichene Holzfasernplatte	25,0	900
Ungestrichenes Holz	32,0	900
Stahlkonstruktionen versagen	42,0	900
Duroplastischer Kunststoff	84,0	900

Die **hinsichtlich der Zulässigkeit kritischen Bestrahlungsstärken beliebiger Dauer** P''_{∞} sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Zu schützendes Objekt	Kritische Bestrahlungsstärke (kW/m ²)
Grenze für nachteilige Wirkungen	1,6
Empfindliche Gebäude: Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Wohnhäuser	2,0
Öffentliche Straßen	4,5
Grenze für wahrscheinliche Feuerübertragung	8,0
Ungekühlte Lagertanks	10,0
Fabrikgebäude: Leitwarten, Werkstätten	12,6
Gekühlte Lagertanks	37,8

¹³ Quelle: UBA F&E 29748 428 „Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszenerarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsverfahren“ W. Kaiser, P. Rogazewski, M. Schindler, TÜV Anlagentechnik GmbH, Band 1 Anhang 3 „Methodische Hinweise zur Abschätzung von Auswirkungen“ UBA – Texte 15/00

¹⁴ unterschiedliche Messwerte

Bei Explosionen liegt die Dauer der Einwirkung der Strahlung im Bereich von 0,5 bis 15 s. Deshalb ist es von Interesse, wie die für beliebig lange Einwirkungsauern angegebenen kritischen Bestrahlungsstärken zur Beurteilung der Belastungen durch die Strahlung bei Explosionen herangezogen werden können.

Wenn man annimmt, dass die Selbstentzündung beim Erreichen einer bestimmten Temperatur der Oberfläche stattfindet und dass der Zeitverlauf annähernd durch eine Exponentialfunktion mit einer Zeitkonstanten τ beschrieben werden kann, gilt auch:

$$P''_{\text{Str}}(t) = P''_{\infty, \text{zul}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (1)$$

Ein Anhaltspunkt für die Bestimmung der Zeitkonstanten kann aus der weiter obenstehenden Tabelle für die Selbstentzündung von Papier gewonnen werden.

Die Bestrahlungsstärke P''_{∞} wird gleich derjenigen bei $t = 540$ s gesetzt. Da die Bestrahlungsstärke bei 8 s bekannt ist, erhält man eine Bestimmungsgleichung für die Zeitkonstante:

$$8 = 13 \cdot \left(1 - e^{-\frac{8}{\tau}}\right)$$

Daraus ergibt sich $\tau = 8,37$ s. Deshalb wird vorsichtig $\tau = 8$ s festgelegt.

$$P''_{\text{Str}}(t) = P''_{\infty, \text{zul}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{8}}\right) \quad (2)$$

Im allgemeinen kann man für t die Dauer des Feuerballs einer Explosion t_{fire} einsetzen.

$$P''_{\infty, \text{ver}} = P''_{\infty, \text{zul}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{fire}}}{8}}\right)^{-1} \quad (3)$$

Warnung

Bei Explosionen von Freistrahlen und Schwergaswolken (UVCE) ist diese Abschätzung nicht plausibel, weil nach der Explosion mindestens die restliche Stoffmenge oberhalb der oberen Explosionsgrenze verbrennt und in Fällen mit kontinuierlicher Stofffreisetzung ein Folgebrand entsteht.

Falls die ungeschützte menschliche Haut betroffen ist, können unterschiedlich schwere Verletzungen (Verbrennungen) bis zum Tod bewirkt werden.

Die **Abhängigkeit der Zeitdauer t_{Str} bis zum Erreichen der Schmerzgrenze von der Bestrahlungsstärke P''_{Str}** ist in der folgenden Tabelle enthalten.

P''_{Str} in kW/m ²	1,7	2,3	2,9	4,7	6,9	9,5	11,7	19,9
t_{Str} in s	60	40	30	16	9	6	4	2

Bei einer Bestrahlungsstärke von 10,5 kW/m² kommt es nach 10 bis 12 s zur Blasenbildung auf der Haut. Der Tod tritt bei dieser Bestrahlungsstärke nach etwa 40 s ein.

Bis zu einer Bestrahlungsstärke von 5 kW/m² ist ein kurzfristiger Feuerwehreinsatz möglich. In besonderen Schutzanzügen sind auch noch Belastungen mit 8 kW/m² zulässig.

Für Menschen kann eine Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m² als Grenze für nachteilige Wirkungen betrachtet werden.

5. Belastungen durch Druckwirkungen¹⁵

Benötigte Angaben:

Positiver Spitzenüberdruck der Stoßwelle in Ausbreitungsrichtung: Δp in bar

Die Schäden durch die Druckwirkungen können vereinfacht anhand des positiven Spitzenüberdrucks der Stoßwelle in Ausbreitungsrichtung abgeschätzt werden. Dabei wird außer Acht gelassen, dass auch die Dauer und Form des Druckimpulses im Zeitverlauf eine Rolle spielen und dass auch Schäden durch den dem Überdruck folgenden Unterdruck, der erheblich länger anhält, verursacht werden können.

Die folgenden Angaben zur Abhängigkeit zwischen Schäden und Spitzenüberdrücken sind hauptsächlich eine Auswahl aus der umfangreicheren Zusammenstellung in einem für das UBA von der BAM erarbeiteten Forschungsbericht¹⁶.

Glasscheiben werden schon bei geringen Spitzenüberdrücken zerstört. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick.

Schadensbild	Δp in bar	Schadensbild	Δp in bar
Gelegentlicher Bruch großer unter Spannung stehender Scheiben	0,002	Bruch von 10 % der Scheiben	0,01
Glasbruch durch Schallwellen	0,003	Bruch von 75 % der Scheiben	0,03
Bruch kleiner unter Spannung stehender Scheiben	0,005	Bruch von 100 % der Scheiben	0,05

¹⁵ Quelle: UBA F&E 29748 428 „Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufsenarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift“ W. Kaiser, P. Rogazewski, M. Schindler, TÜV Anlagentechnik GmbH, Band 1 Anhang 3 „Methodische Hinweise zur Abschätzung von Auswirkungen“ UBA – Texte 15/00

¹⁶ BAM: „Mustersicherheitsanalyse nach Störfall-Verordnung für ein Sprengstofffabrik. Forschungsbericht 104 09 211, UBA-FB 92-026, 1992

Anmerkung: In der Zusammenstellung im Bericht wurden die senkrecht reflektierten Stoßdrücke angegeben. Davon abweichend werden hier zweckmäßigerweise die halben Werte, die etwa dem Spitzenüberdruck der ungestörten Stoßwelle in Ausbreitungsrichtung entsprechen, verwendet.

Den Zusammenhang zwischen **Schäden an Häusern** und den Spitzenüberdrücken veranschaulicht die nächste Tabelle.

Schadensbild	Δp in bar	Schadensbild	Δp in bar
Schäden an Fensterrahmen, Türen, Dächern	0,005	Zerstörung von Wänden aus Ziegel- und Schlackesteinen	0,13
Geringe Schäden an Dächern	0,020	Zerstörung von 20 bis 30 cm dicken Ziegelsteinausfachungen	0,15
Gelegentliche Beschädigung von Fensterrahmen, Risse im Mauerputz	0,035	Mittlere Schäden an Fachwerkgebäuden	0,20
Zerstörung der Dächer und Wände von Holzhäusern	0,06	Zerstörung 24er Mauerwerk	0,25
Zerstörung Seitenwandverkleidungen	0,075	Schwere Schäden an Fachwerkgebäuden	0,31
Beschädigung des Außenputzes	0,085	Nahezu vollständige Zerstörung üblicher Gebäude	0,40
Zerstörung gemauerter Wände	0,10	Zerstörung 50er Mauerwerk	0,50

Den Zusammenhang zwischen **Schäden an Anlagenteilen** und den Spitzenüberdrücken zeigt eine weitere Tabelle.

Schadensbild	Δp in bar	Schadensbild	Δp in bar
Stahlblechplatten verbeult	0,075	Eisenbahnwagen umgeworfen	0,46
Stahlrahmen von Skelettgebäuden leicht verformt	0,095	99 % Schaden an Tanks mit konischem Dach	0,55
Öltanks aufgerissen	0,215	Beladene Güterwagen umgestürzt	0,60
Zerstörung von Stahlbetonwänden	0,35	Beladene Güterwagen zerstört, 99 % Schaden an horizontal gelagerten Druckkesseln, chemischen Reaktoren und Wärmetauschern	0,75

Den Zusammenhang zwischen **Personenschäden** und den Spitzenüberdrücken enthält die abschließende Tabelle.

Schadensbild	Δp in bar	Schadensbild	Δp in bar
Unangenehme Knallwirkung tiefer Frequenz	0,0015	Untere Grenze Trommelfellriss	0,175
Sehr lauter Knall	0,003	Untere Grenze für Lungenschäden	0,85
Umstoßen von Personen	0,010	Untere Grenze für ernste Lungenschäden	1,85
Druckbezogener Grenzwert für Schäden durch Spreng- und Wurfstücke	0,015	Untere Letalitätsgrenze	2,05

Im Zusammenhang mit Personenschäden ist zu beachten, dass auch Glassplitter, Sprengstücke, Wurfstücke und Trümmer schwere Verletzungen verursachen können.

Anhang 4: Mitglieder und Gäste der Arbeitsgruppe „Überwachung der Ansiedlung“**Mitglieder:**

Herr Dr. Darimont	Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV), Mitglied der SFK
Herr MR Dipl.-Ing. Deuster (Vorsitz)	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV), Mitglied der SFK
Frau Dipl.-Ing. Dräger	RP Darmstadt, Abt. Staatl. Umweltamt Frankfurt
Herr Dr. Ertmann	Umweltministerium Baden-Württemberg, Mitglied des TAA
Herr Prof. Dr. Hauptmanns	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Mitglied der SFK
Herr Dipl.-Phys. Kalusch	Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz, Mitglied des TAA
Herr Dipl.-Ing. Marder	Staatliches Umweltamt Köln
Herr Dipl.-Ing. Paul	Mitglied der SFK
Herr Dr. Römer (Vorsitz)	BASF AG, Mitglied des TAA
Herr Dr.-Ing. Schalau	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Herr Dr. Schmick	Bayer Industry Services GmbH & Co. OHG
Herr Prof. Dr. Schönbacher	Universität Essen, Mitglied der SFK
Herr Dr. Uth	Umweltbundesamt, Mitglied des TAA

Gäste:

Herr Dr. Arndt	BASF AG
Herr Dipl.-Ing. Hackbusch	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Herr Dr. Herrmann	BP Refining & Petrochemicals GmbH, Mitglied der SFK
Frau Dipl.-Ing. Katzer	Landesumweltamt NRW
Herr Dr. Stock	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

GFI Umwelt – Gesellschaft für Infrastruktur und Umwelt mbH

Geschäftsstelle
Störfall-Kommission und
Technischer Ausschuss für Anlagensicherheit

Königswinterer Str. 827
D-53227 Bonn

Telefon 49-(0)228-90 87 34-0
Telefax 49-(0)228-90 87 34-9
E-Mail sfk-taa@gfi-umwelt.de
