

**Neue rechtliche und technische Ansätze bei der Beurteilung von  
Chemieanlagen bzw. Betriebsbereichen i. S. d. Störfall-  
Verordnung im Rahmen der Bauleitplanung**

**Typisierende Betrachtung mit Hilfe von  
Elementen der Risikobewertung**

**Abteilung Sicherheitstechnik des Fachbereichs D der  
Bergischen Universität Wuppertal**

**zur Erlangung des akademischen Grades eines Dr. rer. sec.**

**eingereichte Dissertation**

**von**

**Dipl.-Chem. Axel Wolter**

**Februar 2007**

Diese Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20070113

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20070113>]

**Neue rechtliche und technische Ansätze bei der Beurteilung von  
Chemieanlagen bzw. Betriebsbereichen i. S. d. Störfall-  
Verordnung im Rahmen der Bauleitplanung**

**Typisierende Betrachtung mit Hilfe von  
Elementen der Risikobewertung**

**Abteilung Sicherheitstechnik des Fachbereichs D der  
Bergischen Universität Wuppertal**

**zur Erlangung des akademischen Grades eines Dr. rer. sec.**

**eingereichte Dissertation**

**von**

**Dipl.-Chem. Axel Wolter**

**Tag der mündlichen Prüfung: 05. Februar 2007**



## **Danksagung**

Ich danke Herrn Prof. Dr. Hartwig für die Annahme des Themas, die Begleitung der Arbeit sowie die Erstellung des 1. Gutachtens. Des Weiteren danke ich Herrn Prof. Dr. Filges für die Erstellung des 2. Gutachtens und Herrn Prof. Dr. Dr. Hofmann für den Vorsitz sowie Herrn Prof. Dr. Barth für die Mitgliedschaft in der Prüfungskommission.

Ich danke meiner Frau Ute und meinen Kindern Catharine und Hartmut für ihre Nachsicht und manche Ermutigung und Unterstützung zur rechten Zeit!

Mein besonderer und herzlicher Dank gilt den Kolleginnen und Kollegen des Landesumweltamtes NRW, stellvertretend insbesondere Herrn Dr. Rüdiger Gregel, und Herrn Holger Olbrich (Bezirksregierung Düsseldorf).



## Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite(n)
	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	1 -7
	<b>Zusammenfassung</b>	
	<b>Summary</b>	
	<b>Résumé</b>	
	<b>Vorbemerkung</b>	
1.	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Eingrenzung des Themas	2
1.2	Aufbau dieser Arbeit	3
2.	<b>Bisherige Bemühungen zur Berücksichtigung von Abstandsregelungen</b>	4
2.1	Spezialgesetzliche Regelungen	4
2.1.1	Druckbehälter, Flüssiggasanlagen	4
2.1.2	Sprengstoffe	5
2.1.3	Düngemittellagerung	6
2.2	Abstandserlass NRW	6
2.2.1	Aufbau und Systematik	6
3.	<b>Rechtliche Betrachtung</b>	8
3.1	Planungsrecht und Vorhabenzulassung	9
3.1.1	Stufensystem der Raum relevanten Planung (Raumordnung)	10
3.1.2	Bauplanungsrecht und Bauordnungsrecht	12
3.1.3	Zulassung von Vorhaben	14
3.1.3.1	Bauaufsichtliche Zulassung von Vorhaben	14
3.1.3.2	Immissionsschutzrechtliche Genehmigung von Anlagen	15
3.1.3.3	Andere Zulassungsverfahren	16
3.1.4	Bedeutung der Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan	16
3.1.5	Weitere Aspekte der Nutzungszuordnung	18

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite(n)
3.1.5.1 Besonderheiten von Chemie- und Industrieparks	19
3.1.6 Der Vorhaben bezogene Bebauungsplan	20
3.1.7 Grenzen des Planungsrechts	21
3.2 Störfallprävention	22
3.2.1 Auslegung und Abgrenzung des Risikobegriffs	22
3.2.1.1 Rechtliche Gesichtspunkte	23
3.2.1.1.1 Maßstab der praktischen Vernunft	24
3.2.1.1.2 Maßstab der Proportionalität	24
3.2.1.2 Technische Gesichtspunkte	25
3.2.3 Deterministik und Probabilistik	27
3.2.4 Störfallverordnung 2000 und Implementierung des Risikoansatzes	28
3.2.5 Die Seveso-II-Richtlinie und deren Implementierung in deutsches Recht. Unvollständige Umsetzung von Artikel 12	31
3.2.5.1 Konsultationsverfahren	33
3.2.6 Überarbeitung der Seveso-II-Richtlinie vom 16.12.2003	34
3.2.7 Novellierung der Störfall-Verordnung vom 08.06.2005	35
3.2.8 Störfallprävention im Rahmen der Bauleitplanung	35
3.3 Bestehende Anlagen	37
3.3.1 Grundsatz der Verhältnismäßigkeit: Nachträglich Anordnung von Sicherheitsabständen, Widerruf der Genehmigung	38
3.3.2 Untersagung der Inbetriebnahme oder Weiterführung einer Anlage	40
3.3.3 Überwachung der Entwicklung in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche	41
3.4 Verwendung von Standard-Szenarien	42
3.4.1 Standard-Szenarien in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren	42
3.4.2 Standard-Szenarien in der Bauleitplanung	43
3.5 Saldierende Betrachtung in der Bauleitplanung	44
3.6 Katastrophenschutz	45

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite(n)
<b>4. Technische Methodik der Analyse von Risiken</b>	47
4.1 Konzentrationswerte	47
4.2 Analytische Methoden	49
4.2.1 Quantitative Methoden, Fehlerbaumanalyse	51
4.2.2 Unsicherheiten in der Risikoabschätzung	54
4.2.3 Faktor Mensch	55
<b>5. Methodische Vorgehensweise in europäischen Nachbarländern</b>	55
5.1 Niederlande	56
5.2 Schweiz	58
5.3 Großbritannien	61
5.4 USA	62
5.5 Tabellarische Zusammenstellung der Bewertungskriterien	62
5.5.1 „Grenzwerte“, Szenarien Brand, Explosion und Freisetzung toxischer Stoffe	63
5.5.2 Tolerierbare Risiken	64
5.6 Forschungsaktivitäten und Arbeitskreise der Europäischen Kommission	65
5.6.1 ASSURANCE	65
5.6.2 ARAMIS	66
5.6.3 European Expert Group on Land-Use-Planning	66
<b>6. Neue Ansätze in der Bauleitplanung Vorgehensweise und vorhandene Daten</b>	67
6.1 Grundsätzliche Überlegungen und Festlegungen der Vorgehensweise	67
6.1.1 Praktische Abgrenzung der Ebene der Bauleitplanung	68
6.2 Bestandsaufnahme, Auswertung vorliegender Ereignis-Daten in Deutschland	70

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite(n)
6.2.1	Betroffene Anlagen bzw. „Anlagetypen“	70
6.2.2	Meldepflichten nach der Störfall-Verordnung	72
6.2.3	Auswertung der gemeldeten Ereignisse	74
6.2.4	Betroffene Anlagenarten	75
6.2.5	Besonders relevante Stoffe	77
6.2.6	Betroffene Betriebsvorgänge	78
6.2.7	Human Factor	79
6.2.7.1	Auswertung der Personenschäden	80
6.2.7.2	Sicherheitskultur	81
6.2.7.3	Risikomanagement und Risikokommunikation	82
6.2.8	Anzahl der in der ZEMA-Datei gemeldeten Ereignisse	84
6.2.9	Schlussfolgerungen aus den vorgefundenen Daten	85
<b>7.</b>	<b>Neue Ansätze in der Bauleitplanung Annahmen für die Erstellung von Ausbreitungsrechnungen</b>	<b>86</b>
7.1	Anwendbarkeit von Konzentrationswerten in der Bauleitplanung	86
7.2	Szenarium Freisetzung toxischer Gase, typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung	87
7.2.1	Probit-Funktionen	87
7.2.2	Risiko-Referenzwerte	88
7.2.2.1	Risiko-Referenzwerte in der Literatur	88
7.2.2.2	Domino-Effekt und Stand der Technik bei älteren Anlagen	88
7.2.3	Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte	89
7.2.4	Zusätzliche Vorschläge	90
7.2.4.1	Bonusfaktoren, Verringerung der Abstände	90
7.2.4.2	Malusfaktoren und Einzelgutachten	90
7.2.4.3	Öffnungsklausel	91
7.2.4.4	Extrem giftige Stoffe	91

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite(n)
7.2.5	Bestehende Anlagen	91
7.2.6	Chemie- und Industrieparks	91
7.2.7	Öffentliche Verkehrswege	93
7.2.8	Erläuterung der Vorschläge	93
7.2.9	Tabellarische Zusammenfassung der Faktoren	95
7.3	Brand, Wärmestrahlung	97
7.4	Explosion, Explosionsüberdruck	98
7.5	Meteorologische Bedingungen	98
7.6	Ausbreitungsbedingungen und verwendete Modelle	101
7.6.1	VDI 3783 Blatt 1 und 2	101
7.6.2	Rechenprogramme	103
<b>8.</b>	<b>Neue Ansätze in der Bauleitplanung</b> <b>Ausbreitungsrechnungen</b>	105
8.1	Freisetzung toxischer Stoffe, Beispiel Chlor	106
8.1.1	Auswertbare Ereignisse (ZEMA-Datei)	107
8.1.2	Ausbreitungsrechnungen Chlor Mittlere Ausbreitungsbedingungen	108
8.1.2.1	Ausbreitungsrechnung für die ERPG- und AEGL-Werte	110
8.1.2.2	Ausbreitungsrechnung Probit-Funktion	112
8.1.2.3	Vergleich der Ergebnisse	115
8.1.3	Ausbreitungsrechnungen Chlor Ungünstige Ausbreitungssituation	117
8.1.3.1	Ausbreitungsklasse F bzw. I; Windgeschw.: 3,0 m/s	117
8.1.3.2	Ausbreitungsklasse F bzw. I; Windgeschw.: 1,0 m/s	118
8.1.4	Vergleich der Ergebnisse Mittlere/ ungünstige Ausbreitungsbedingungen	119
8.1.5	Ausbreitungsrechnungen Chlor Freisetzung über ein Leck	121

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite(n)
8.1.6	Vergleich der Ergebnisse der Freisetzung Leck und Behälterversagen	124
8.1.7	Aufenthalt in geschlossenen Räumen	125
8.2	Brand	126
8.2.1	Freisetzung Toluol	126
8.2.1.1	Auswertung der ZEMA-Daten und Ausbreitungsrechnungen	127
8.2.2	Bewertung der Auswirkungen	128
8.3	Explosion	129
8.3.1	Freisetzung Propan	129
8.3.1.1	Auswertung der ZEMA-Daten und Ausbreitungsrechnungen	130
8.3.1.2	Bewertung der Auswirkungen	133
<b>9.</b>	<b>Neue Ansätze in der Bauleitplanung Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	134
9.1	Zusammenfassende rechtliche Bewertung	134
9.1.1	Anwendung von Konzentrationswerten in der Bauleitplanung	136
9.1.2	Bestehende Anlagen	137
9.2	Typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewer-tung	138
9.2.1	Freisetzung eines toxischen Gases	138
9.3	Vorgehensweise im Leitfaden (SFK/TAA-GS-1)	143
9.4	Vergleich der Ergebnisse, Freisetzung eines toxischen Gases	146
9.5	Szenarien Brand und Explosion	148
9.5.1	Brand	148
9.5.2	Explosion	149
9.6	Ausblick	149
<b>Verzeichnis: Abbildungen und Tabellen</b>		1 - 5
<b>Anhang</b>		1 - 70

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Kapitel</b>	<b>Seite(n)</b>
<b>Inhaltsverzeichnis, Anhang</b>	1 - 3
<b>Verzeichnis: Abbildungen und Tabellen, Anhang</b>	1 - 3
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	1 - 2
<b>Literaturstellen - alphabetisch</b>	1 - 20
<b>Endnoten: Literaturstellen zu Gerichtsurteilen und rechtlichen Kommentaren (Kapitel 2 und 3, sowie Anhang, Kapitel 1)</b>	1 - 4
<b>Tabellarischer beruflicher Werdegang</b>	

## Zusammenfassung

Durch Ereignisse in Enschede und Toulouse, wo nach der Explosion von Feuerwerkskörpern bzw. Ammoniumnitrat in der unmittelbaren Nachbarschaft industrieller Anlagen Wohnhäuser verwüstet und zahlreiche Anwohner getötet und tausende Anwohner verletzt wurden, ist die Frage der planerischen Bewältigung eines verträglichen Nebeneinanders von industrieller Nutzung und Wohnbebauung erneut nachhaltig in den Blickpunkt der Politik und Öffentlichkeit getreten. Die Nachfolgende Abbildung zeigt ein aktuelles Beispiel aus Malta (Abb. Z./1: Bauleitplanung, Malta 2006):



Abb. Z./1: Bauleitpla-nung, Malta 2006, eigenes Photo

Eine zentrale Rolle bei der Zulässigkeit von Vorhaben kommt in der Bauleitplanung dem zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung erforderlichen Abstand zu. Nach den Vorgaben der Seveso-II-Richtlinie ist zwischen Wohnbebauung und Störfallanlagen ein angemessener Abstand erforderlich. Nach den Vorgaben der Störfall-Verordnung ist das Risiko einer Nutzung zu ermitteln. Den genannten rechtlichen Vorgaben kommt die deutsche Vorgehensweise bisher nicht ausreichend nach; vielmehr erfolgt die Beurteilung der Zulässigkeit von Vorhaben in der Bauleitplanung ausschließlich über die typischerweise von bestimmten Anlagen ausgehenden Emissionen wie Gerüchen oder Lärm.

Es werden neue rechtliche und technische Ansätze einer typisierenden Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung bei der Beurteilung von Chemieanlagen bzw. Betriebsbereichen i. S. d. Störfall-Verordnung vorgestellt. Wegen der großen Bedeutung wird auch auf bereits bestehende Situationen eingegangen. Gleichzeitig wird in Anlehnung an die bisherige Vorgehensweise im Rahmen der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung der praktizierte Ansatz auf die Bauleitplanung übertragen und die Ergebnisse mit der typisierenden Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung verglichen.

Die vorgeschlagene Methodik bietet eine Reihe wesentlicher Vorteile gegenüber der bisherigen Praxis in der Bauleitplanung „starre“ Abstände zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung für bestimmte Anlagentypen festzulegen. Anders als bisher können sowohl die Größe und Umgebung des Standortes, die Nutzung zwischen Industrie und Wohnbebauung, die Bevölkerungsdichte als auch bestehende Situationen einbezogen werden. Gleichzeitig wird der Bewertungsmaßstab transparent.



## **Summary**

Because of incidents such as they happened in Enschede and Toulouse, where explosions of fireworks or ammonium nitrate devastated residential buildings in direct neighbourhood of industrial facilities and where a great number of residents were killed and thousands of them injured, the question of methodical managing of an amicable side by side of industrial use and residential building has again become a centre of attention in politics and in public.

Up to now, hazards in the sense of the Seveso-II-directive in establishments are not considered in Land-Use-Planning. Rather the judgement whether a project is assessed, exclusively depends on emissions typical for facilities, such as smell and noise.

Possible effects of Hazards are only assessed in the authorization of new establishments. In Germany neither in Land Use Planning nor the authorization of new establishments the risk of an hazard will be quantified.

In Land-Use-Planning, the necessary distance between industrial use and residential building takes a big part in the evaluation. New, typified contemplation by means of elements of risk are presented. Because of the great importance, existing situations are also referred to.

Complex law questions as well as methodical points of view are mentioned. At the same time, the results of the new approaches is compared with the distances from now used approaches in authorization.

The proposed methodical way in Land Use Planning offers a number of essential advantages in comparison with other approaches starting, like up to now, from "rigid" distances between industrial use and residential building. Exceptional features with regard to the site, the use between industrial and residential building, the density of population as well as existing situations can be included. At the same time, the evaluation scale becomes transparent.



## Résumé

A cause des accidents tels qu'ils se sont produits à Enschede et Toulouse où des explosions des pièces d'artifice ou bien de l'azotate d'ammoniaque ont saccagé des immeubles d'habitation en directe proximité d'entreprises industrielles et où un grand nombre de riverains ont été tués et des milliers ont été blessés, la question d'une création d'un voisinage amical d'une utilisation industrielle et résidentielle est rentrée dans le centre de l'attention politique et publique.

Jusqu'ici, des incidents anormaux possibles dans des "entreprises d'incident anormal" ("Störfall-Anlagen") n'ont pas été considérés en ce qui concerne Land-Use-Planning (la planification d'utilisation de terrain). Le jugement pour ou contre l'autorisation d'un projet dépend plutôt de façon exclusive des émissions typiques, telles qu'odeur ou bruit.

Dans le domaine de Land-Use-Planning, la distance nécessaire entre l'utilisation industrielle et l'utilisation résidentielle joue un grand rôle en ce qui concerne l'évaluation. De nouvelles approches orientées vers le risque concernant l'évaluation et la définition de distances sont présentées. A cause de leur grande importance, référence est également faite aux situations existantes.

Des questions complexes légales de prévention d'incidents anormaux (Störfallprävention) sont abordées dans le cadre de la Loi de Planification, de Construction et de Protection à l'égard des Immissions très différenciée en Allemagne ainsi qu'en ce qui concerne la manière d'agir. Pour cette raison, des points de vue légaux et méthodiques essentiels sont mentionnées. En même temps, en suivant la manière d'agir jusqu'ici en ce qui concerne l'autorisation d'entreprises concernant la protection à l'égard des immissions, une approche "classique" est développée et les résultats sont comparés avec l'approche orientée vers le risque.

La manière méthodique proposée d'une considération typifiée moyennant des éléments d'évaluation de risque offre des avantages essentiels en comparaison avec d'autres approches partant, comme jusqu'ici, de distances "rigides" entre l'utilisation industrielle et l'utilisation résidentielle. Des caractéristiques exceptionnelles concernant le site, l'utilisation industrielle et résidentielle ainsi que des situations existantes peuvent être incluses. En même temps, l'échelle d'évaluation devient transparente.



## Vorbemerkung

Durch Ereignisse in Enschede und Toulouse, wo nach der Explosion von Feuerwerkskörpern bzw. Ammoniumnitrat in der unmittelbaren Nachbarschaft industrieller Anlagen Wohnhäuser verwüstet und zahlreiche Anwohner getötet und tausende Anwohner verletzt wurden, ist die Frage der planerischen Bewältigung eines verträglichen Nebeneinanders von industrieller Nutzung und Wohnbebauung erneut nachhaltig in den Blickpunkt der Politik und Öffentlichkeit getreten. Entsprechend gibt es hierzu eine Reihe aktueller Veröffentlichungen.

Um Missverständnisse zu vermeiden, soll auf die beruflichen Aktivitäten des Autors dieser Arbeit kurz eingegangen werden. Der Autor ist seit 1988 in der Umweltverwaltung und seit 1991 als Dezernent bei der Bezirksregierung Düsseldorf tätig. In den Jahren 1997 bis 1999 war er im Rahmen einer Abordnung beim Staatlichen Umweltamt Köln für die Überwachung von chemischen Anlagen und Raffinerien zuständig. In den Jahren 2002 und 2003 war er abgeordnet zum Landesumweltamt NRW und dort mit der Beratung der Staatlichen Umweltämter in Fragen der Anlagensicherheit und der Bauleitplanung betraut. Als Vertreter des LUA NRW war der Autor in den Jahren 2002 und 2003 Mitglied im Arbeitskreis Technische Systeme, Risiko und Verständigungsprozesse (AK TRV) der Störfallkommission (SFK) und ist Mitautor des Berichts *Risikomanagement im Rahmen der Störfall-Verordnung* ([SFK-GS-41], veröffentlicht im April 2004). Des Weiteren war er in dieser Zeit (2003) einige Male Gast im gemeinsamen Arbeitskreis *Überwachung der Ansiedlung* der Störfallkommission und des Technischen Ausschusses für Anlagensicherheit (TAA). Der Bericht [SFK/TAA-GS-1] dieses Arbeitskreises wurde im Oktober 2005 veröffentlicht (s. Kapitel 9.3 *Vorgehensweise im Leitfaden*, [SFK/TAA-GS-1]). Auf die unterschiedliche Vorgehensweise, sowohl in rechtlicher als auch methodischer Sicht, wird in den einzelnen Kapiteln eingegangen. Die Existenz des Arbeitskreises war dem Autor zu Beginn dieser Arbeit nicht bekannt.

Im Juli 2003 wurde die Universität Magdeburg vom LUA NRW beauftragt, neue Ansätze in der Bauleitplanung im Rahmen eines Untersuchungsvorhabens zu entwickeln [LUA NRW, Untersuchungsvorhaben 2003]. Dieses Vorhaben wurde 2003 und teilweise auch 2004 vom Autor „verwaltungstechnisch“ begleitet. Der Bericht wurde dem LUA NRW im November 2004 vorgelegt und im März 2005 revidiert. Er berücksichtigt Elemente der Risikobetrachtung und ermöglicht über ein Rechenprogramm die Ermittlung individueller Risikowerte für unterschiedliche Abstände. Die Ergebnisse des Berichtes wurden dem Arbeitskreis Überwachung der Ansiedlung vom Autor, Herrn Prof. Dr. Hauptmanns, der gleichzeitig auch Mitglied des Arbeitskreises Überwachung der Ansiedlung und der Störfallkommission (jetzt Kommission für Anlagensicherheit) ist, vorgestellt und erläutert. Die Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens der Universität Magdeburg wurden bisher vom LUA NRW nicht veröffentlicht und fanden keinen Eingang in die Verwaltungspraxis. Auch für die Vorgehensweise und Ergebnisse dieser Arbeit spielt das genannte Untersuchungsvorhaben keine Rolle.

Des Weiteren war der Autor 2002 und 2003 Mitglied des sog. Review-Teams der Europäischen Kommission im Forschungsprojekt ARAMIS ((**A**ccidental **R**isk **A**sessment **M**ethodology for **I**ndustries in the framework of the Seveso II directive, s. Kapitel 5.6 *Forschungsaktivitäten und Arbeitskreise der Europäischen Kommission*) und hat an zwei Sitzungen dieses Gremiums teilgenommen. Aufgabe des Review-Teams war es dabei, praktische Gesichtspunkte aus seinem Land einzubringen und die vorgestellten Zwischenergebnisse kritisch zu hinterfragen.

## 1. Einleitung

Im besonderen Blickpunkt der Bauleitplanung steht die Vermeidung von Konflikten unterschiedlicher Interessen bei industrieller Nutzung und schützenswerte Wohnbebauung in unmittelbarer Nachbarschaft. Hier prallen z. B. das Ruhe- und Erholungsbedürfnis der Wohnbevölkerung und der Bedarf industrieller Produktion „rund um die Uhr“ aufeinander. Ein wichtiger Orientierungspunkt ist dabei der räumliche Abstand zwischen den unterschiedlichen Nutzungen.

Es wird die Frage aufgeworfen, in wie weit unter Berücksichtigung des bestehenden rechtlichen Beurteilungsrahmens eine typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung in der Bauleitplanung zu berücksichtigen ist. Schwerpunkt der Betrachtung ist dabei die planerische Bewertung noch nicht existierender Anlagen. Zusätzlich wird auf die Bewertung der Abstände bei bestehenden Anlagen und die Nutzung des Raumes zwischen Industrie und Wohnbebauung eingegangen.

Anders als bei den Ereignissen in den letzten Jahrzehnten z. B. in Bhopal (1984) oder Mexiko City (1984), die weit entfernt waren, rücken mögliche Defizite in der Risikobetrachtung gefährlicher Anlagen auch bei Ländern mit vermeintlich hohem Sicherheitsstandard – sozusagen vor der Haustür - deutlich näher. Auf Grund an die Werke herangerückter Wohnbebauung waren in Mexiko City ca. 500 Tote durch den Austritt von Flüssiggas und in Bhopal ca. 20.000 Tote und ca. 500.000 Verletzte durch den Austritt von Methylisocyanat bei der Fa. Union Carbide zu beklagen. Bei jüngeren Ereignissen in der europäischen Nachbarschaft wie den Katastrophen von Enschede (13.05.2000) mit 23 Toten und fast 1.000 Verletzten bei der Explosion einer Feuerwerksfabrik und Toulouse (21.09.2001), mit 30 Toten und ca. 2.400 Verletzten durch die Explosion von Ammoniumnitrat bei der Firma AZF (Azote de France), rückte die Bedeutung einer Risikoabschätzung der von „gefährlichen Betrieben“ ausgehenden Gefahren sowie bauleitplanerischer Vorgaben erneut ins Blickfeld. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass z. B. eine unsachgemäße oder nicht genehmigte Lagerung gefährlicher Stoffe, nicht Gegenstand der Bauleitplanung sein kann.

Dass Unfälle in hoch technisierten Ländern nicht auszuschließen sind, hat auch das Großereignis in einem Lager am 11.12.2005 nördlich von London (Lager Buncefield in Hemel Hempstead) verdeutlicht (s. Abb. 1/1: Explosion nördlich von London am 11.12.2005):



Abb. 1/1: Explosion nördlich von London am 11.12.2005

Quelle : NGZ, Neuss-Grevenbroicher-Zeitung (Internet) vom 13.12.2005

Durch glückliche Umstände gab es keine Toten (43 Verletzte).

### 1.1 Eingrenzung des Themas

Die in Kapitel 1 beispielhaft beschriebenen Ereignisse stellen Katastrophen dar, die in ihren Auswirkungen letztlich nicht vorausgesehen werden können. Wollte man Auswirkungen solcher Ereignisse gänzlich ausschließen, wäre in letzter Konsequenz eine Industriegesellschaft und ein Gefahrstofftransport auf den Straßen oder der Schiene nicht möglich. Ähnliches gilt für den Luftverkehr oder die Schifffahrt. Solche Ereignisse sind daher nicht Gegenstand der Bauleitplanung. Ebenso nicht abgedeckt durch die Bauleitplanung sind grobe Verstöße gegen die in der konkreten Anlagenzulassung formulierten Auflagen, z. B. zu den zulässigen Lagermengen an gefährlichen Stoffen. Solche Verstöße haben die Situation in Enschede erheblich verschärft.

Ein für den Gegenstand dieser Arbeit weitaus besser geeignetes Beispiel als z. B. die Katastrophen von Bhopal oder Mexiko City, ist die Explosion in einem Vielstoffbetrieb der Bayer AG im Werk Wuppertal im Juni 1999 (s. Abb. 1.1/1: Wuppertal Juni 1999) bei der u. a. die Wand einer großen Halle in sich zusammenstürzte:

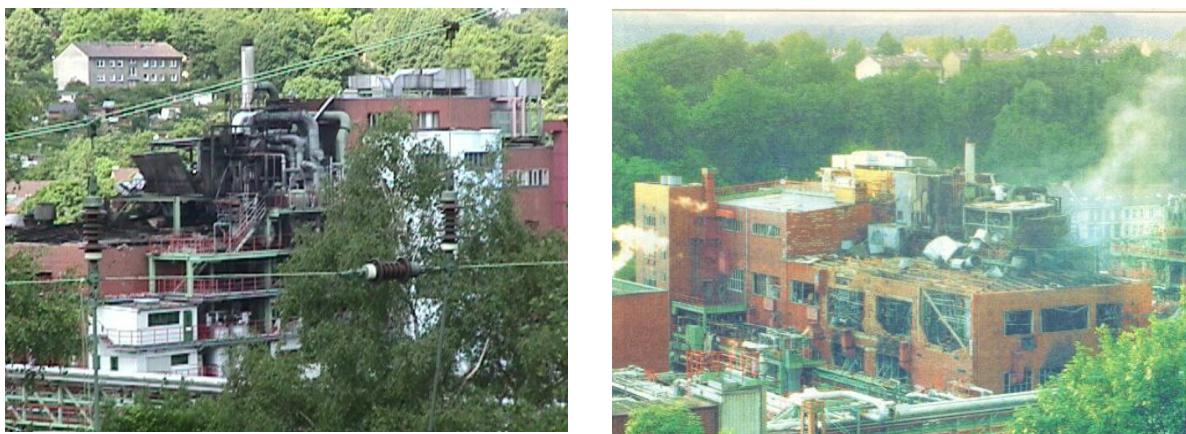


Abb. 1.1/1: Wuppertal Juni 1999, Quelle: Tageszeitungen (Internet, z. B. NGZ)

Die an das Werk unmittelbar angrenzende Wohnbebauung ist nur wenige hundert Meter von den Pharma- und Chemiebetrieben entfernt. Glücklicherweise gab es keine Toten oder Schwerstverletzten. Ursache der Explosion war eine Stoffverwechslung bei der manuellen Befüllung eines Reaktors. Hier stellt sich die Frage, in wie weit sich ein nebeneinander „gefährlicher Anlagen“ und Wohnbebauung miteinander vereinbaren lässt.

Die vom Gesetzgeber als besonders gefährlich eingestuften Anlagen bzw. Betriebsbereiche unterliegen den Anforderungen bzw. dem Geltungsbereich der Seveso-II-Richtlinie [Seveso-II-Richtlinie]. Die Seveso-II-Richtlinie wird durch die Störfall-Verordnung [Störfall-Verordnung] in nationales Recht umgesetzt. Gegenstand dieser Arbeit sind ausschließlich die dem Regelungskreis der Störfall-Verordnung unterliegenden Anlagen bzw. Betriebsbereiche. Die nachfolgende Abbildung (Abb. 1.1/2: Betriebsbereiche in NRW) zeigt die Anzahl und Verteilung der Störfallanlagen für das Bundesland NRW:

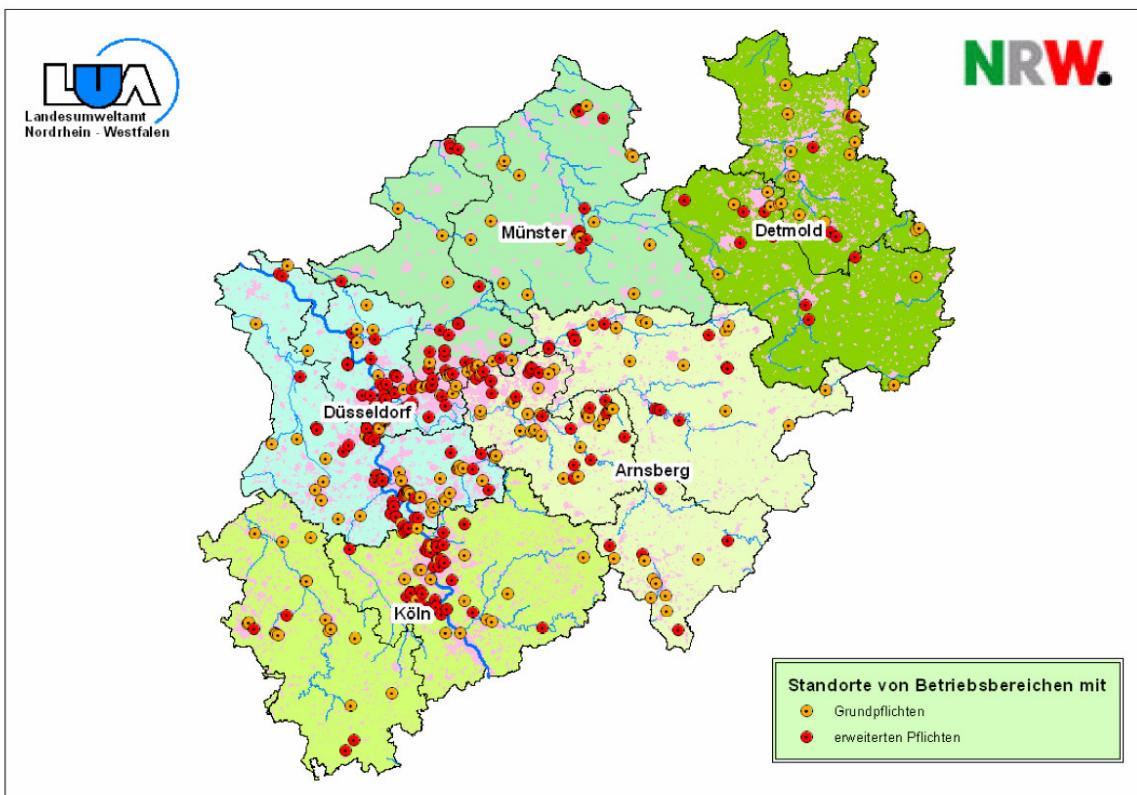


Abb. 1.1/2: Betriebsbereiche in NRW, Stand März 2006

Quelle: LUA NRW (Internet)

In Nordrhein-Westfalen fallen derzeit 450 Betriebsbereiche unter den Anwendungsbereich der Störfallverordnung.

## 1.2 Aufbau dieser Arbeit

Zunächst werden vorhandene Regelungen aufgezeigt (*Kapitel 2*) und im Sinne der Störfallprävention relevante Gesichtspunkte des in Deutschland ausdifferenzierten Planungs-, Bau- und Immissionsschutzrechtes untersucht (*Kapitel 3*). Anschließend wird auf die Methodik der Analyse technischer Risiken (*Kapitel 4*) eingegangen. Ergänzend erfolgt ein Blick auf die methodische Vorgehensweise im benachbarten europäischen Ausland sowie den USA, insbesondere am Beispiel der Niederlande und der Schweiz (*Kapitel 5*). In den nachfolgenden Kapiteln (*Kapitel 6 bis 8*) werden neue Ansätze in der Bauleitplanung und für bestehende Anlagen zur Berücksichtigung von Störfällen einschließlich beispielhafter Ausbreitungsrechnungen für die Szenarien Freisetzung toxischer Stoffe, Brand und Explosion vorgestellt und bewertet und die Ergebnisse in *Kapitel 9* zusammengefasst.

Zusätzlich erfolgt in Kapitel 9 - wie auch in den einzelnen Kapitel zuvor - ein Vergleich mit bestehenden Ansätzen sowie dem Leitfaden [SFK/TAA-GS-1] von Oktober 2005.

Im **Anhang** wird auf weitere, für die Bauleitplanung wesentliche rechtliche Grundlagen, die Risikoermittlung in der Schweiz an einem Beispiel, die technischen Annahmen und Modelle bei den Ausbreitungsrechnungen, die Definitionen von AEGL- und ERPG-Werten, die Optionen des Rechenmodells DISMA, die Schutzwirkung von Häusern und die in der ZEMA-Datei registrierten Meldungen - an einem Beispiel - eingegangen.

Zusätzlich werden Berechnungen der Universität Duisburg-Essen zu den Szenarien

Brand und Explosion vorgestellt und erfolgt eine Kurzdarstellung einiger Methoden der Sicherheits- und Risikoanalyse.

## **2. Bisherige Bemühungen zur Berücksichtigung von Abstandsregelungen**

Im Bereich des Immissionsschutz-, Planungs- und Baurechts gibt es eine Reihe spezialgesetzlicher Regelungen zur Implementierung von Sicherheitsabständen. Eine wichtige Rolle bei der Beurteilung von Vorhaben im Rahmen der Bauleitplanung spielt neben spezialgesetzlichen Regelungen insbesondere der in NRW entwickelte Abstandserlass.

Hinweise auf Gerichtsentscheidungen und rechtliche Kommentare sind in den **Kapiteln 2 und 3** an der entsprechenden Stelle **mit Endnoten** versehen.

### **2.1 Spezialgesetzliche Regelungen**

Die bisher bestehenden rechtlichen Vorgaben für die Aufbewahrung von Sprengstoffen, die Düngemittellagerung und für Druckbehälter sowie für Flüssiggaslager werden nachfolgend stichwortartig zusammengefasst beschrieben.

Die sich aus den spezialgesetzlichen Regelungen ergebenden Abstände sind (sehr) klein und nicht mit den in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren z. B. vom LUA NRW gutachterlich vorgeschlagenen Abständen vergleichbar (*s. Kapitel 7.1 Anwendbarkeit von Konzentrationswerten in der Bauleitplanung und 8.1.2.1 Ausbreitungsrechnung für die ERPG- und AEGL-Werte*).

#### **2.1.1 Druckbehälter, Flüssiggasanlagen**

Überwachungsbedürftige Anlagen, die der Betriebssicherheitsverordnung unterliegen, müssen nach dem Stand der Technik montiert, installiert und betrieben werden ([Betriebssicherheitsverordnung], § 12 der Betriebssicherheitsverordnung). Der Stand der Technik ergibt sich u. a. aus dem im Bundesarbeitsblatt veröffentlichten technischen Regelwerk. Aus diesem können sich konkrete Anforderungen für Sicherheitsabstände ergeben, z.B. für Druckbehälter nach den Technischen Regeln zur Druckbehälterverordnung - Aufstellung von Druckbehältern [TRB 600] und – Aufstellung von Druckbehältern zum Lagern von Gasen [TRB 610], für Flüssiggaslagerbehälteranlagen aus den Technischen Regeln Druckbehälter ([TRB 801], Anlage Nr. 25, Ziffer 7.1.22 und 7.1.23).

Auf die „Historie“ der rechtlichen und technischen Bemühungen zur Ermittlung der erforderlichen Abstände für Flüssiggasanlagen wird im Folgenden eingegangen. Da dieser Anlagentyp Bestandteil zahlreicher industrieller Anlagen ist, kommt ihm besondere Bedeutung zu.

Die Liste der Bemühungen um eine Konkretisierung der zu fordernden Sicherheitsabstände für derartige Anlagen ist lang, dabei standen bisher immissionsschutzrechtliche Gesichtspunkte im Vordergrund. Sie reicht von Entwürfen und Vorschlägen im Rahmen des Länderausschusses Immissionsschutz (LAI [LAI, Flüssiggas-Entwurf]), Versuchen beim BMU, Kriterien für die Sicherheitsabstände zu formulieren [Wietfeld 1992], über ein von

der Störfallkommission verabschiedetes Grundsatzdokument [SFK-GS-04] bis hin zu Technischen Regeln nach § 11 Gerätesicherheitsgesetz [GSG] bzw. nach der Druckbehälter-Verordnung, die für sich explizit auch die Regelung immissionsschutzrechtlicher Sicherheitsabstände in Anspruch nehmen<sup>1</sup>, insbesondere die TRB 610 und die TRB 801 Ziff. 25.

Angesichts der Tatsache, dass die erwähnten TRB sich ausschließlich mit Sicherheitsabständen von Flüssiggasanlagen befassen, ist es nicht verwunderlich, dass einige Entscheidungen der Verwaltungsgerichte auf die TRB als Definition des Standes der Sicherheitstechnik zurückgreifen<sup>2</sup>. Auch in der Literatur macht man sich die Regelungen der TRB als maßgebliche Festlegungen des Standes der Sicherheitstechnik zu eigen und lehnt damit weitergehende immissionsschutzrechtlich begründete Sicherheitsabstände ab<sup>3</sup>.

Bezüglich der Übernahme der Sicherheitsabstandsregeln der TRB für immissionsschutzrechtliche Bewertungen hat allerdings bereits das OVG Münster erhebliche Zweifel ange meldet. Das Gericht berief sich im Wesentlichen auf das unterschiedliche Schutzniveau z. B. der Druckbehälter-Verordnung [Druckbehälter-Verordnung] gegenüber der Störfall-Verordnung (12. BImSchV, [Störfall-Verordnung]), da die TRB nicht die Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik, sondern nur nach damaligem Recht die Feststellung der allgemein anerkannten Regeln der Technik bezweckten. Nach Auffassung des Gerichts überlappen sich zwar die Schutzobjekte des Gerätesicherheitsgesetzes und des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bzw. der Druckbehälter-Verordnung und der Störfall-Verordnung, sie sind aber keineswegs „deckungsgleich“.

Während das Gerätesicherheitsgesetz [GSG] „nur“ den Schutz der Arbeitnehmer und Dritter zum Gegenstand hat, umfassen sowohl § 1 BImSchG als auch § 2 Abs. 2 der 12. BImSchV neben diesen Schutzgütern auch die Umwelt, wichtige Kulturgüter, den Boden, die Fauna und die Flora etc.. Schon allein vom Schutzbereich her ergibt sich somit keine Äquivalenz. Dementsprechend unterscheiden sich auch die Betrachtungsweisen beider Rechtsbereiche. Während die 12. BImSchV eine Gesamtanalyse des Gefahrenpotentials vor Augen hat, was besonders durch die Erstellung der Sicherheitsberichte deutlich wird, richtet z. B. die Druckbehälter-Verordnung ihren Blick auf die Sicherheit der Einzelkomponenten, eben den einzelnen Druckbehälter und seiner Exposition gegenüber anderen Gefahrenquellen<sup>4</sup>.

Schließlich konzentriert sich z. B. die Druckbehälter-Verordnung auf die Sicherheitstechnik beim bestimmungsgemäßen Betrieb, anders als die 12. BImSchV, die gerade die Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb – den Störfall – zum Gegenstand hat<sup>5</sup>. Wie Feldhaus bereits 1981 zur Einführung der 12. BImSchV ausgeführt hat, „hat die Bundesregierung mit Erlass der Störfall-Verordnung zu erkennen gegeben, dass sie die genannten Vorschriften (gemeint sind die Verordnungen nach § 24 Gewerbeordnung a. F., heute § 11 GSG) nicht für ausreichend hält, um wirksam Störfällen vorzubeugen, die zu Gemeingefahren führen“<sup>6</sup>.

## 2.1.2 Sprengstoffe

Für die Aufbewahrung von Sprengstoffen gelten die Anforderungen der Zweiten Verordnung zum Sprengstoffgesetz [2. SprengV]. Gemäß § 2 Abs. 1 i. V. m. Ziffer 1.8 des Anhangs zu § 2 und Anlage 1 und 3 des Anhangs der 2. SprengV sind die dort festgelegten

Schutzabstände gegenüber der Allgemeinheit oder Nachbarschaft einzuhalten.

Die Errichtung, der Betrieb und die wesentliche Änderungen von Lagern, in denen explosionsgefährliche Stoffe aufbewahrt werden, bedürfen gemäß § 17 Abs. 1 Sprengstoffgesetz [SprengG] einer Genehmigung, die die Baugenehmigung einschließt. Ist das Lager (Teil) eine(r) immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige(n) Anlage, gilt die Genehmigung nach § 4 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) als Genehmigung nach § 17 Abs. 1 SprengG, d. h., andere Bewilligungen und Erlaubnisse werden von der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung gemäß § 13 BImSchG konzentriert.

### **2.1.3 Düngemittellagerung**

Für das Lagern, Abfüllen und innerbetriebliche Befördern von Ammoniumnitrat und Ammoniumnitrat haltigen Zubereitungen gelten gemäß § 25 i. V. m. Anhang V Nr. 2 der Gefahrstoffverordnung [GefStoffV] gesonderte Anforderungen. Die Ziffern 2.4.2.2 und 2.4.2.4 des Anhangs V der GefStoffV i. V. m. d. Technischen Regeln für Gefahrstoffe (hier: [TRGS 511]) bestimmen einzuhaltende Schutzabstände zu dem dauernden Aufenthalt von Menschen dienenden Gebäuden und Verkehrswegen.

## **2.2 Abstandserlass NRW**

Der Abstandserlass des Landes NRW in der Fassung von 1998 [Abstandserlass NRW] ist eine wesentliche Beurteilungs- und Bewertungsgrundlage für die in planungsrechtlichen Fragen zum Themenkreis Immissionsschutz (Gerüche, Lärm, diffuse Emissionen etc.) von den Kommunen beteiligten Staatlichen Umweltämtern in NRW. Andere Bundesländer orientieren sich ebenfalls am Abstandserlass NRW. Wegen der besonderen Bedeutung des Abstandserlasses für die Vorgehensweise in Deutschland soll auf dieses Instrument der Bauleitplanung aus der Sicht des Immissionsschutzes bzw. der Störfallprävention näher eingegangen werden. Dabei werden bestimmte Anlagen nach ihrem „Störgrad“ eingestuft.

Im Wesentlichen sind alle genehmigungsbedürftigen Anlagen nach der vierten Durchführungsverordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz [4. BImSchV] in der Abstandsliste (Anhang 1, Stand 19.03.1997) aufgeführt, wobei für einige besondere Anlagen aus verschiedenen Gründen kein Abstand festgesetzt wurde (Anhang 2); darüber hinaus sind für wenige, nicht genehmigungsbedürftige aber dennoch immissionsrelevante Betriebsarten, Festsetzungen getroffen worden. Gegenüber der Abstandsliste 1990 sind für 24 Anlagearten die Abstände reduziert und für 5 Anlagearten erhöht worden. Der Abstandserlass enthält zu jeder Betriebsart einen Erläuterungsbericht mit Hinweisen zu den festgesetzten Abständen.

### **2.2.1 Aufbau und Systematik**

Der Abstandserlass von 1998 beinhaltet Abstandsfestlegungen für insgesamt 212 Anlagenarten. Diese werden 7 Abstandsklassen zugeordnet (s. Tab. 2.2.1/1: Abstandserlass NRW 1998, Abstandsliste):

Abstands-klasse	Einstufun-gen	Beispiele
I 1.500 m	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlagen zur fabrikmäßigen Herstellung von Stoffen durch chemische Umwandlung mit mehr als 10 Produktionsanlagen</li> <li>„Raffinerien“</li> </ul>
II 1.000 m	16	Anlagen zur fabrikmäßigen Herstellung von Stoffen durch chemische Umwandlung mit höchstens 10 Produktionsanlagen
III 700 m	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlagen zur fabrikmäßigen Herstellung von Halogenen oder Halogenerzeugnissen</li> <li>Anlagen zur fabrikmäßigen Herstellung von Kohlenwasserstoffen</li> </ul>
IV 500 m	42	Anlagen zur fabrikmäßigen Herstellung von organischen Chemikalien oder Lösungsmitteln wie Alkohole, Aldehyde, Ketone, Säuren, Ester, Acetate, Ether
V 300 m	75	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlagen zur fabrikmäßigen Herstellung von Seifen oder Waschmitteln durch chemische Umwandlung</li> <li>Anlagen, in denen Pflanzenschutz- oder Schädlingsbekämpfungsmittel oder ihre Wirkstoffe gemahlen oder maschinell gemischt, abgepackt oder umgefüllt werden</li> </ul>
VI 200 m	38	Anlagen zur Herstellung von Polyurethanformteilen ...
VII 100 m	21	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleinere Autolackierereien</li> <li>Automatische Autowaschstraßen</li> </ul>

Tab. 2.2.1/1: Abstandserlass NRW 1998, Abstandsliste

In der Spalte *Einstufungen* ist die Anzahl der vom Abstandserlass in NRW erfassten Anlagen in die jeweilige Abstandsklasse eingetragen.

Zur Verdeutlichung der Struktur der Abstandsklassenbestimmung nach dem Erlass und der Vorgehensweise in der Bauleitplanung wird nachfolgend beispielhaft der Erläuterungsbericht *Anlagen zur fabrikmäßigen Herstellung von Stoffen durch chemische Umwandlung mit mehr als 10 Produktionsanlagen* wiedergegeben:

*Hierunter fallen auch Anlagenkomplexe der fabrikmäßigen Herstellung von Stoffen durch chemische Umwandlung mit mehr als 10 Produktionsanlagen, die jeweils als Einzelanlage genehmigungsbedürftig wären, im Rahmen des Anlagenkomplexes aber auch als gemeinsame Anlage, als Anlagenteil oder als Nebeneinrichtung betrieben werden können. Art und Menge der in Fabriken der chemischen Industrie eingesetzten Rohstoffe und insbesondere der nach verschiedenen Verfahren erzeugten Fertigprodukte sind breit gestreut und höchst unterschiedlich. Es können daher nachfolgend nur allgemeine Aussagen über Art und Ausmaß der beim Betrieb von Chemieanlagen auftretenden Emissionen und deren Quellen gemacht werden. Luftverunreinigungen in Form organischer und anorganischer Gase, Dämpfe und Stäube, aber auch Lärmemissionen prägen das Emissionsverhalten dieser Fabriken. Die Luft verunreinigenden Emissionen können u. a. geruchintensive, giftige, ätzende, mutagene, teratogene oder cancerogene Stoffe enthalten. Als mögliche Quellen und emissionsverursachende Vorgänge kommen u. a. in Frage: Prozess-, Feuerungs- und Verbrennungsanlagen; Lagerung, Verpumpung und Abfüllung von Einsatzstoffen und Fertigprodukten; Entgasungsvorgänge, Sicherheitseinrichtungen, Le-*

*ckagen aus Flanschen und Dichtelementen; Reinigung und Instandhaltung von Anlagen.*

*Bei Anwendung geeigneter technischer Maßnahmen wie z. B. Erfassung und Reinigung der beim Produktionsprozess anfallenden Abgase, geschlossene Abfüllung und Lagerung (Gaspendedelung) belästigender und gefährlicher Stoffe, Anbindung von Sicherheitseinrichtungen an Abgassammelsysteme mit Reinigung, lassen sich die Luft verunreinigenden Emissionen zwar weitgehend beherrschen. Problematisch bleiben jedoch die nicht vermeidbaren bodennahen Restemissionen und Emissionen aus diffusen Quellen. Dem Schutz der Wohnnachbarschaft insbesondere vor Geruchseinwirkungen muss daher durch einen angemessenen Schutzabstand Rechnung getragen werden.*

*Das Lärmemissionsverhalten dieser Betriebe wird durch eine große Anzahl großflächig verteilter Quellen, insbesondere Verdichter, Pumpen, Kühltürme, Ventilatoren, Rohrleitungen und Armaturen (in Folge von Strömungsvorgängen) bestimmt. Hierbei ist von besonderer Bedeutung, dass chemische Produktionsanlagen im Wesentlichen als Freianlagen mit intensiver Flächennutzung gebaut werden. Auch bei den dem Stand der Technik entsprechenden Anlagen ist deshalb ein Schutzabstand von mindestens 1.000 m erforderlich. Dieser Abstand ist auch notwendig, um der Wohnbebauung den gebotenen Schutz vor Luftverunreinigenden Stoffen zu gewährleisten.“*

An dem Beispiel wird deutlich, dass sich das Land NRW für den Bereich der hier angesprochenen Emissionen (Gerüche, Lärm, diffuse Emissionen) mit pauschalisierenden Feststellungen wie „*Auch bei dem Stand der Technik entsprechenden Anlagen*“ ... und einer nicht weiter differenzierenden Festlegung eines Sicherheitsabstandes (hier: 1000 m) für einen bestimmten Anlagentyp bzw. eine bestimmte Anzahl „vergleichbarer“ Anlagen begnügt bzw. begnügen muss. Dabei wird mangels einer besser geeigneten methodischen Vorgehensweise in Kauf genommen, dass der gewählte Abstand im konkreten Fall sowohl zu groß als auch zu klein gewählt sein könnte. Letzterer Fall sollte auf Grund einer konservativen Abschätzung, wie sie in der Sicherheitstechnik üblich ist, allerdings möglichst vermieden werden.

Die betrachteten Emissionen beschränken sich auf die typischerweise von einem bestimmten Anlagentyp beim sog. bestimmungsgemäßen Betrieb ausgehenden Emissionen. Stofffreisetzungen bei Störfällen werden nicht berücksichtigt.

Gleichzeitig wird durch das Beispiel die empirische Herangehensweise deutlich. Das wichtigste Kriterium für die Festlegung eines Abstandes im Rahmen der Bauleitplanung sind die in der Überwachung und im Rahmen der Anlagenzulassung von den Behörden gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse. Diese stellen sozusagen eine zusammenfassende Bewertung des Standes der Technik in Bezug auf die von einer bestimmten Anlage bzw. einem bestimmten Anlagentyp „typischer Weise“ ausgehenden Emissionen dar. Dieser empirische Ansatz ist in Grundsatzentscheidungen von den Verwaltungsgerichten anerkannt.

### **3. Rechtliche Betrachtung**

In diesem Kapitel werden zunächst die wichtigsten Grundlagen des Planungsrechts und anschließend die wesentlichen Elemente des Immissionsschutzrechts und der Anlagenzulassung zusammenfassend dargestellt und in Bezug auf die Störfallprävention bewertet.

Zusätzlich wird die Vorgehensweise bei der Gefahrenabwehr, besser bekannt unter dem Begriff des Katastrophenschutzes, kurz erläutert.

Hinweise auf Gerichtsentscheidungen und rechtliche Kommentare sind in den **Kapiteln 2 und 3** an der entsprechenden Stelle **mit Endnoten** versehen. Da recht komplexe Rechtsbereiche unter einem übergreifenden Blickwinkel angesprochen werden, sollte dieses Kapitel als Einheit verstanden werden.

### 3.1 Planungsrecht und Vorhabenzulassung

Im Planungsrecht sind, als maßgeblicher Grundlage insbesondere des Anlagenzulassungsrechts, verschiedene Ebenen zu unterscheiden. Der kommunalen Bauleitplanung kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Die von den Kommunen bei Bedarf aufzustellenden Bebauungspläne sind aus der übergeordneten Flächennutzungsplanung zu entwickeln. Im Rahmen dieser Arbeit beschränken sich die Betrachtungen auf die kommunale Bauleitplanung, da auf dieser Ebene konkrete Entscheidungen zur Zulässigkeit bestimmter industrieller Vorhaben zu treffen sind. Weitere rechtliche Grundlagen zur kommunalen Bauleitplanung werden im **Anhang**, Kapitel 1. *Bauleitplanung* wiedergegeben.

Bei der Entwicklung des Planungsrechts kommt der sog. kommunalen Planungshoheit besondere Bedeutung zu. Nach Art. 28 II Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland [GG] muss den Gemeinden das Recht gewährleistet sein, alle Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft im Rahmen der Gesetze zu regeln. Sie haben - wie auch die Gemeindeverbände - im Rahmen ihres gesetzlichen Aufgabenbereichs nach Maßgabe der Gesetze das Recht auf Selbstverwaltung.

Der Begriff der Selbstverwaltung umfasst dabei die eigenverantwortliche Erfüllung gemeinschaftlicher öffentlicher Aufgaben im eigenen Namen durch in den Staat einbezogene rechtsfähige öffentliche Verbände mit eigenen Organen unter der Aufsicht des Staates und mit eigenen Finanzmitteln. Die Selbstverwaltungsträger sind in den ihnen von der Rechtsordnung zugestandenen Bereichen selbstständig und führen als Rechtssubjekte, als Vermögensträger und als Verwaltungskörper in gewissem Umfang ein Eigenleben.

Art. 28 II Grundgesetz enthält dabei eine dreifache Garantie: Der Gesetzgeber darf die Gemeinden und Gemeindeverbände nicht institutionell beseitigen. Die Gemeinden haben für die Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft eine Allzuständigkeit und erfüllen diese Aufgaben in Eigenverantwortung. Dabei findet die kommunale Selbstverwaltung auch ihren Ausdruck in der sog. Planungshoheit. Darunter wird die Kompetenz verstanden, ohne durchgängige und strikte Bindung an staatliche Vorgaben aufgrund eigenen politisch-administrativen Gestaltungs- und Entscheidungsspielraums über die bauliche und sonstige Verwendung und Nutzung des Grund und Bodens des Gemeindegebiets zu disponieren und die zur Verwirklichung des eigenverantwortlich wahrnehmbaren Gestaltungspotentials erforderlichen planerischen Leitlinien ohne imperative staatliche Beeinflussung zu entwickeln<sup>7</sup>.

Zur Planungshoheit und damit zum Bestandteil der kommunalen Selbstverwaltung gehört die Kompetenz zur eigenverantwortlichen Aufstellung der Bebauungspläne. Auch die Flächennutzungsplanung ist nach überwiegender Rechtsauffassung der gemeindlichen Planungshoheit zuzurechnen<sup>8</sup>.

### 3.1.1 Stufensystem der Raum relevanten Planung (Raumordnung)

Die räumliche Planung gliedert sich in ein Stufensystem, das von der (Bundes-) Raumordnung über die Raumordnung der Länder, die Gebietsentwicklungsplanung bis zur gemeindlichen Bauleitplanung reicht, die wiederum im für das gesamte Gemeindegebiet geltenden Flächennutzungsplan und in dem daraus zu entwickelnden Bebauungsplan ihren Ausdruck findet.

Raumordnung ist dabei die zusammenfassende und übergeordnete Planung und Ordnung des Raumes<sup>9</sup>. Die Raumordnung der Länder ist die auf das Gebiet eines Landes bezogene übergeordnete und zusammenfassende Planung. Regional- oder Gebietsentwicklungsplanung erfasst auf der Grundlage der Länderentwicklungsplanung als Bestandteil der Raumordnung der Länder eine Teilfläche eines Landes, die größer ist als eine der Bauleitplanung unterliegende Einheit. Eingebettet in diese überörtliche Gesamtplanung entfaltet sich die gemeindliche Bauleitplanung. Das gestufte System räumlicher Planung ist durch ein Zusammenwirken von Staat und kommunaler Selbstverwaltung gekennzeichnet (Tab. 3.1.1/1: Stufensystem der Raumordnung):

Bundes- und Landesebene	Raumordnungsgesetz (ROG), Rahmengesetze	Raumordnungsplan
Landesebene	Landesplanungsgesetze	Landesentwicklungsprogramm und -plan
		Gebietsentwicklungsplan
<b>Planungshoheit der Gemeinde</b>	Baugesetzbuch (BauGB) und nachrangige Gesetze und Verordnungen (z.B. BauNVO; PlanZVO)	Flächennutzungsplan (bindet die Verwaltung)
		Bebauungsplan

Tab. 3.1.1/1: Stufensystem der Raumordnung

Die nachfolgenden Abbildungen veranschaulichen die Darstellungen im Flächennutzungsplan für einen Bereich der Stadt Düsseldorf (Abb.: 3.1.1/1: Flächennutzungsplan der Stadt Düsseldorf (Auszug)):

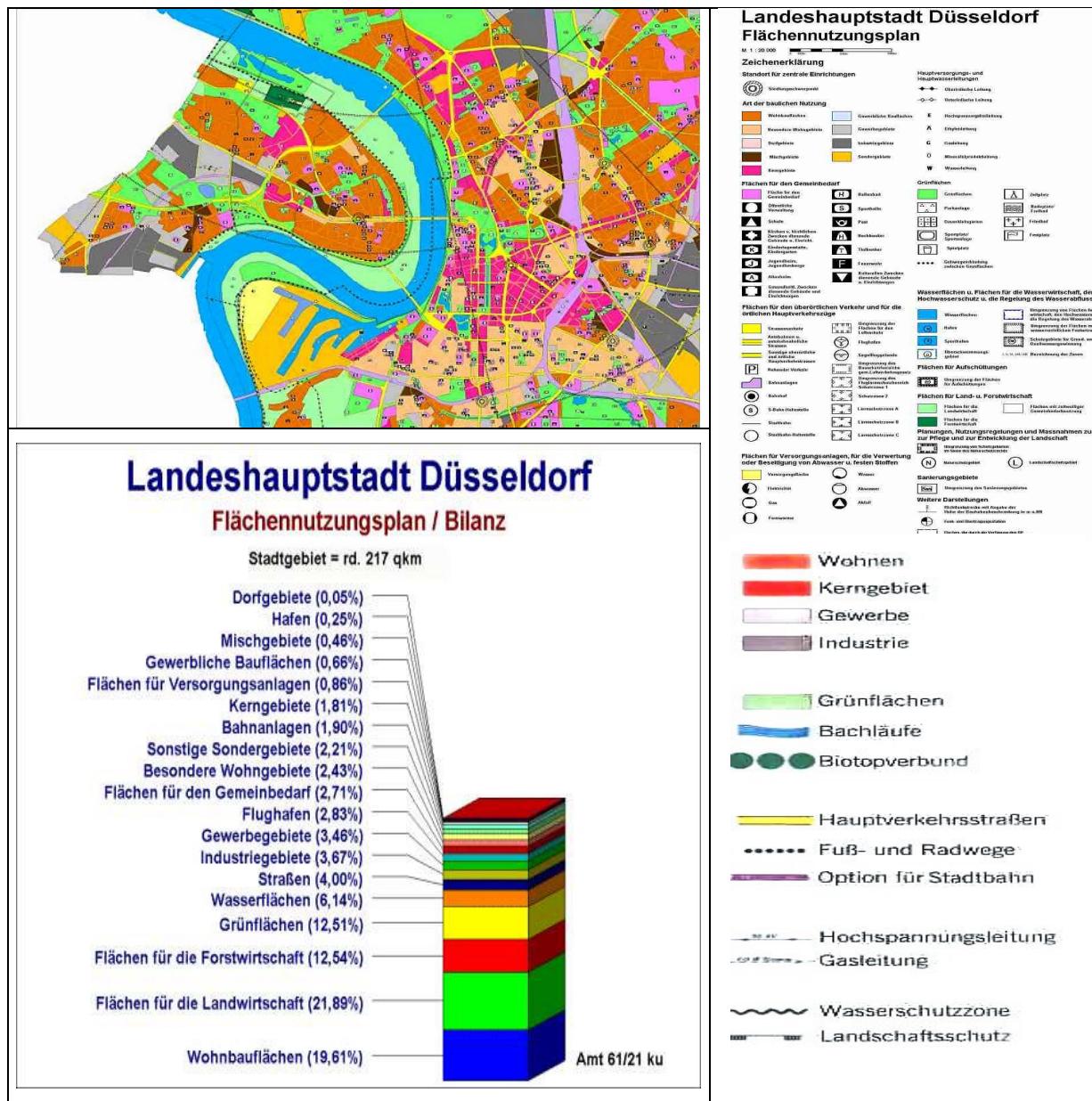


Abb.: 3.1.1/1: Flächennutzungsplan der Stadt Düsseldorf (Auszug),  
Quelle Internet, Stand: 06.09.2006

Die Darstellung und Vorgehensweise auf der Ebene der Bebauungsplanung veranschaulicht für einen kleineren Bebauungsplan für den Ortsteil Gerresheim der Stadt Düsseldorf (Ausweisung von Industriegebiet (GI) i. S. d. [BauNVO]) die nachfolgende Abbildung (Abb. 3.1.1/2 Luftbild und Bebauungsplan Oerschbachstraße in Düsseldorf):

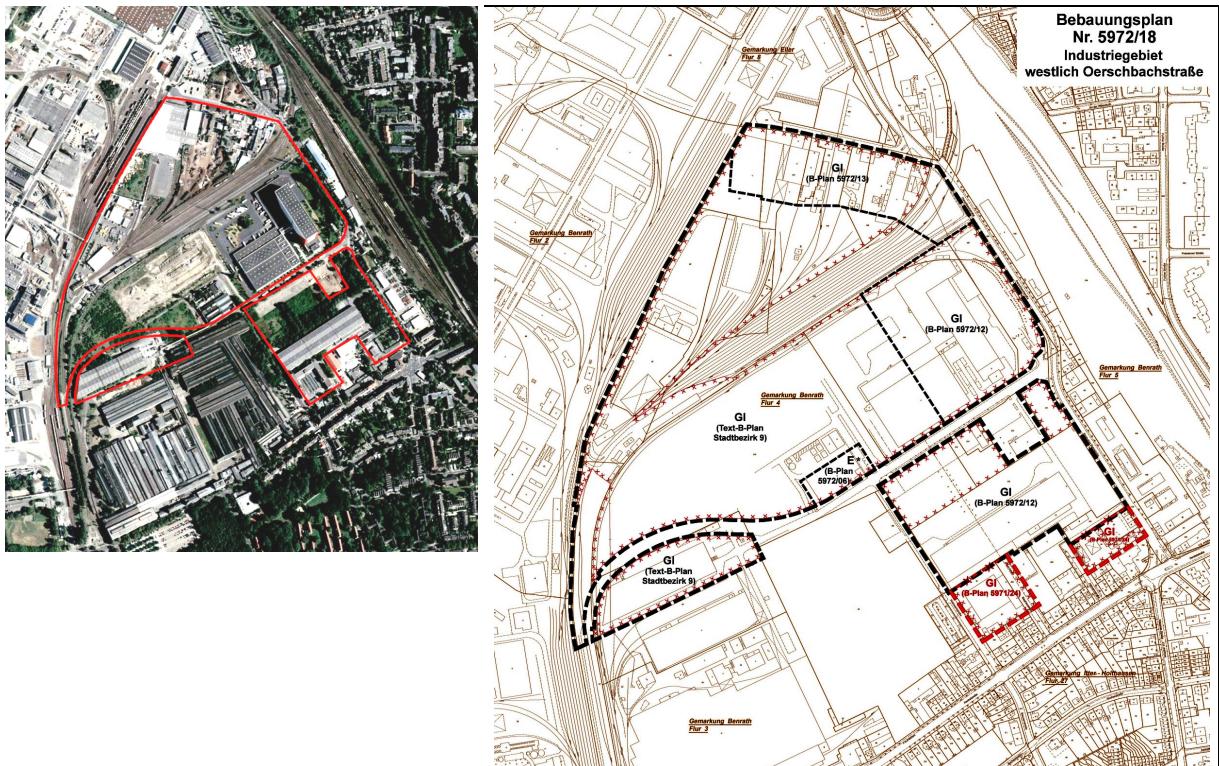


Abb. 3.1.1/2 Luftbild und Bebauungsplan Oerschbachstraße in Düsseldorf,  
Quelle: Internet, 06.09.2006

Die Definitionen für die Ausweisung von Nutzungsgebieten nach der Baunutzungsverordnung [BauNVO] sind im **Anhang**, Kapitel 1.7 Baunutzungsverordnung, *Definitionen* wiedergegeben.

### 3.1.2 Bauplanungsrecht und Bauordnungsrecht

Vom privaten Baurecht ist das öffentliche Baurecht, das wiederum zwischen Bauplanungsrecht und Bauordnungsrecht unterscheidet abzugrenzen (s. Tab. 3.1.2/1: Abgrenzung im öffentlichen Baurecht):

#### Öffentliches Baurecht

Bauplanungsrecht (BauGB)	Bauordnungsrecht (LBauO)
Wo darf gebaut werden	Wie darf gebaut werden

Tab. 3.1.2/1: Abgrenzung im öffentlichen Baurecht

Gegenstand dieser Arbeit ist das öffentliche Baurecht. Die Erstellung von Bebauungsplänen ist Aufgabe des Bauplanungsrechts. Bebauungsplan und Baugenehmigung haben keine einheitliche gesetzliche Grundlage. Der Bebauungsplan und die bauplanungsrechtlichen Anforderungen an die Zulässigkeit von Vorhaben werden als öffentliches Baurecht insbesondere im Baugesetzbuch BauGB, der Baunutzungs-Verordnung BauNVO und der Planzeichen-Verordnung PlanZV ([BauGB]; [BauNVO]; [PlanZV]) geregelt. Hier ist der Bundesgesetzgeber zuständig. Die Baugenehmigung und die bei ihrer Erteilung zu be-

achtenden landesrechtlichen Anforderungen des Bauordnungsrechts sind in der Landesbauordnung [LBauO]) und im Baunebenrecht niedergelegt, zuständig sind die Länder.

Die Rechtszersplitterung zwischen Bauplanungsrecht und Bauordnungsrecht hat Gründe in der unterschiedlichen Gesetzgebungskompetenz. Der Bund ist nach Art. 74 I Nr. 18 BauGB in konkurrierender Gesetzgebung für das Bodenrecht und damit das Recht der städtebaulichen Planung zuständig. Von der Gesetzgebungskompetenz abzugrenzen ist dabei die vorausgehend beschriebene Planungshoheit der Gemeinde. Diese lässt sich als „Vollzug“ der genannten Regelungen auffassen.

Die Bauleitplanung ist als zweistufiges Modell ausgestaltet. Die wichtigsten Planungsinstrumente des BauGB sind dabei die:

- Plangestaltung,
- Plansicherung,
- Planverwirklichung,
- Planvorbereitung,
- Planbegleitung
- und die Plankoordinierung.

Hauptinstrumente der Bauleitplanung sind der Flächennutzungsplan als vorbereitender Bauleitplan (§§ 5-7 BauGB) und der Bebauungsplan als verbindlicher Bauleitplan (§§ 8-13 BauGB). Beide Handlungsformen sind aufeinander bezogen und ergeben ein System kommunaler Planung, das der Vorbereitung und Leitung der baulichen und sonstigen Nutzung der Grundstücke dient (§ 1 I BauGB). Die Gemeinden haben dabei nach § 1 III BauGB Bauleitpläne aufzustellen, sobald und soweit es erforderlich ist. Die Bauleitpläne sollen eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung<sup>10</sup> gewährleisten und die in § 1 V BauGB aufgeführten Planungsziele, Planungsgrundsätze und Planungsleitlinien berücksichtigen. Bauleitpläne sind dann erforderlich, wenn sie nach der planerischen Konzeption der Gemeinde als erforderlich angesehen werden können<sup>11</sup>. Dies heißt im Umkehrschluss, dass ein Rechtsanspruch auf die Erstellung eines Bebauungsplans nicht besteht. Dies gilt sowohl für den potentiellen Investor, z. B. zur Rechtssicherheit bei unternehmerischen Entscheidungen, als auch für den Bürger, der sich z. B. vor heranrückender industrieller Bebauung schützen möchte.

Die Gemeinde verfügt über verschiedene Sicherungsinstrumente, mit denen sie die Verwirklichung ihrer Planungsabsichten erreichen kann. Insgesamt sind im BauGB 17 städtebauliche Satzungen geregelt. Über die Satzungen setzt die Gemeinde „lokales Recht“. Die Regelungen sind für Bürger und potentielle Investoren, verbindliches Recht. Der Flächennutzungsplan hingegen bindet nur die Verwaltung. Bebauungspläne sind in der kommunalen Bauleitplanung aus den Vorgaben der (die Verwaltung bindenden) Flächennutzungspläne zu entwickeln. Die Änderung eines Flächennutzungsplanes ist bei kleinen Flächen (10 ha) in einem vereinfachten Verfahren möglich.

Neben das Bauplanungsrecht tritt das Bauordnungsrecht, das die ordnungsrechtlichen Fragestellungen des Bauens umfasst. Dazu gehört etwa das Genehmigungserfordernis und das Genehmigungsverfahren, aber auch landesrechtliche Anforderungen an die Abstände von Gebäuden, die Baugestaltung und das gesamte Baunebenrecht, zu dem statische Anforderungen oder der Brandschutz rechnen.

### **3.1.3 Zulassung von Vorhaben**

Grundlage der Überlegungen sind die jeweiligen Vorhaben (z. B. Bundesfernstraßen, Bahnhöfe, Bundeswasserstraßen oder Flughäfen) bzw. Anlagen (Bauvorhaben, industrielle Anlagen). Zu unterscheiden sind insbesondere:

- Bauvorhaben im Sinne des § 29 Abs. 1 BauGB und i. S. der jeweiligen Landesbauordnung,
- Anlagen im Sinne des § 3 Abs. 5 BImSchG,
- Andere Vorhaben, z.B. Verkehrswege.

Von besonderem Interesse sind dabei die verfahrensrechtlichen Vorschriften für die Zulassung von Einzelvorhaben. Nachfolgend wird auf die Zulassungsverfahren eingegangen:

#### **3.1.3.1 Bauaufsichtliche Zulassung von Vorhaben**

Die Errichtung, die Änderung, die Nutzungsänderung und der Abbruch baulicher Anlagen bedürfen entsprechend den Vorgaben der jeweiligen Landesbauordnung einer Baugenehmigung. Ein Vorhaben ist zulässig, wenn öffentlich-rechtliche Vorschriften, die im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren zu prüfen sind, nicht entgegenstehen.

Zur Feststellung, ob und inwieweit andere öffentlich-rechtliche Vorschriften dem Vorhaben entgegen stehen, beteiligt die Baugenehmigungsbehörde im bauaufsichtlichen Genehmigungsverfahren weitere Behörden und Dienststellen (Fachstellen). In welchem Umfang Fachstellen im Baugenehmigungsverfahren zu beteiligen sind, bestimmt sich nach den Vorgaben der jeweiligen Landesbauordnung. Die im November 2002 von der Bauministerkonferenz beschlossene Musterbauordnung (ARGEBAU - MBO 2002 - Paragraph 69 Abs. 1 Satz 1) sieht vor, dass die Baugenehmigungsbehörde zum Bauantrag die Stellen hört, deren Beteiligung oder Anhörung für die Entscheidung über den Bauantrag durch Rechtsvorschrift vorgeschrieben ist oder ohne deren Stellungnahme die Genehmigungsfähigkeit des Bauantrags nicht beurteilt werden kann.

Dementsprechend sind, als für den Vollzug des Immissionsschutzrechts zuständige „Stelle“, in NRW die Staatlichen Umweltämter zu beteiligen, wenn die Genehmigungsfähigkeit des Vorhabens von immissionsschutzrechtlichen Fragestellungen abhängt. Dies kann auch bei Bauvorhaben in der Nachbarschaft von Betriebsbereichen der Fall sein. Im Rahmen ihrer Stellungnahme hat die für den Vollzug des Immissionsschutzrechts zuständige Stelle zu prüfen, ob Belange des Störfallrechts betroffen sein können. Die bauaufsichtliche Prüfung gliedert sich zusammenfassend gemäß der jeweiligen Landesbauordnung in:

- eine bauplanungsrechtliche Prüfung (Zulässigkeit des Vorhabens nach §§ 29-38 BauGB),
- eine bauordnungsrechtliche Prüfung und
- eine Prüfung sonstiger öffentlich-rechtlicher Anforderungen.

Die Bauleitplanung ist daher eine wichtige Grundlage für die Erteilung der Baugenehmigung. Neben den Bebauungsplan tritt dabei der nicht beplante Innenbereich oder der Außenbereich, für den nicht die Gemeinde, sondern sozusagen der Gesetzgeber durch all-

gemeine Vorgaben geplant hat. Während im nicht beplanten Innenbereich ein Vorhaben tendenziell zulässig ist, wenn es sich in die „Eigenart“ der Umgebung einfügt (§ 34 BauGB), ist es im Außenbereich tendenziell nur zulässig, wenn es privilegiert ist (§ 35 BauGB). Hierauf wird in *Kapitel 3.1.7 Grenzen des Planungsrechts* kurz eingegangen.

### **3.1.3.2 Immissionsschutzrechtliche Genehmigung von Anlagen**

Die Errichtung und der Betrieb industrieller Anlagen bedürfen in der Regel einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung. Gemäß der Legaldefinition des § 4 Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG - unterliegen Anlagen, „die in besonderem Maße geeignet sind, schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen oder in anderer Weise die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft zu gefährden, erheblich zu benachteiligen oder erheblich zu belästigen“, einem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsvorbehalt. Welche Anlagen hierunter fallen, ist abschließend in der 4. Durchführungsverordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz [4. BImSchV] geregelt.

Ebenso bedarf die wesentliche Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebes der genehmigten Anlage - soweit von ihr nachteilige Auswirkungen auf die im BImSchG genannten Schutzgüter ausgehen können und diese für die Prüfung der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsvoraussetzungen nach § 6 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG erheblich sein können- einer Änderungsgenehmigung nach § 16 BImSchG. Zu den einzelnen Regelungen liegt eine umfangreiche rechtliche Kommentierung vor. Ist die Anlage Betriebsbereich oder Teil eines Betriebsbereichs, so ist im Verfahren auch zu prüfen, ob die sich aus der Störfall-Verordnung ergebenden Anforderungen an einen sicheren Anlagenbetrieb erfüllt werden. Andernfalls ist die Genehmigung zu versagen. Gleiches gilt, wenn bauplanungs- und/oder bauordnungsrechtliche Vorschriften und damit im Verfahren zu würdigende öffentlich-rechtliche Belange, dem Vorhaben entgegenstehen.

Auch wenn die bauplanungsrechtlichen Voraussetzungen vorliegen, entbindet das die Genehmigungsbehörde nicht davon, bei ihrer Entscheidung auch zu bewerten, ob trotz Erfüllung der Anforderungen aus § 3 Abs. 1 und 2 der Störfall-Verordnung [Störfall-Verordnung, § 3], im zu beurteilenden Einzelfall aufgrund der besonderen Lage und Beschaffenheit des Antragsgegenstandes noch ergänzende Vorkehrungen i. S. d. § 3 Abs. 3 der Verordnung gefordert werden müssen, um den Schutzziele des BImSchG zu genügen. Die Genehmigungsbehörde kann sich im Genehmigungsverfahren bei ihrer Entscheidung nicht „pauschal“ z. B. auf entsprechende Abstandsbeschränkungen im Bebauungsplan beziehen. Sie hat bei der Beurteilung, ob die Genehmigungsvoraussetzungen in Bezug auf den „Störfallschutz“ sichergestellt werden können, den konkreten Einzelfall unter Berücksichtigung der Lage und Beschaffenheit der geplanten Anlage zu bewerten. Wesentliche Elemente der Einzelzulassungen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Liegen die Genehmigungsvoraussetzungen des § 6 BImSchG vor, ist die Genehmigung zu erteilen. Hierauf besteht ein Rechtsanspruch (gebundene Verwaltungsentscheidung). Die Genehmigung schließt andere behördliche Entscheidungen wie z.B. die Baugenehmigung ein (Konzentrationswirkung gemäß § 13 BImSchG) und hat darüber hinaus eine Bündelungsfunktion in Bezug auf die Berücksichtigung anderer öffentlich-rechtlicher Vorschriften (§ 6 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG).

Anlagen, die nicht unter § 4 BImSchG fallen, bedürfen keiner immissionsschutzrechtlichen

Genehmigung. In der Regel handelt es sich bei diesen Anlagen um bauliche Anlagen i. S. des Bauordnungsrechts. Die bei der Errichtung und dem Betrieb von immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen zu beachtenden Anforderungen ergeben sich insbesondere aus den §§ 22, 23 BlmSchG und der Störfall-Verordnung. Sofern hieraus Anforderungen zu stellen sind, kann die zuständige Immissionsschutzbehörde Anordnungen nach § 24, 25 BlmSchG treffen. Sofern dies nach Landesrecht im Hinblick auf die Baugenehmigungspflicht der Anlage und den Prüfungsumfang im Genehmigungsverfahren vorgesehen ist, können die störfallrechtlichen Anforderungen im Baugenehmigungsverfahren geprüft werden, wobei die für den Vollzug des Störfallrechts zuständigen Behörden, in NRW die Staatlichen Umweltämter, grundsätzlich im Verfahren - wie im bauordnungsrechtlichen Verfahren bereits dargestellt - beteiligt werden.

### 3.1.3.3 Andere Zulassungsverfahren

Die Zulassung z. B. des Baus von Verkehrswegen bedarf der vorherigen Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens.

Das gilt vor allem für Bundesfernstraßen (Bundesautobahnen und Bundesstraßen) nach § 17 Abs. 1 Bundesfernstraßengesetz [FStrG], für Betriebsanlagen einer Eisenbahn (Gleistrassen, Bahnhöfe) nach § 18 Abs. 1 Allgemeines Eisenbahngesetz [AEG], für Bundeswasserstraßen nach § 14 Abs. 1 Bundeswasserstraßengesetz [WaStrG] oder Flughäfen nach § 8 Luftverkehrsgesetz [LuftVG].

Bei entsprechender gesetzlicher Regelung (vergl. insbesondere § 17 Abs. 3 FStrG) besteht auch die Möglichkeit einer planfeststellungsersetzenden Bebauungsplanung. In bestimmten Fällen (z.B. § 17 Abs.2 FStrG ) kann an Stelle eines Planfeststellungsbeschlusses eine Plangenehmigung erteilt werden.

Durch die Planfeststellung wird die Zulässigkeit des Vorhabens im Hinblick auf alle von ihm berührten öffentlichen Belange festgestellt; daneben sind andere behördliche Entscheidungen wie Genehmigungen, Erlaubnisse oder Bewilligungen nicht erforderlich ([VwVfG], Verwaltungsverfahrensgesetz, § 75 Abs. 1). Es entfallen also eine immissionsrechtliche oder eine bauaufsichtliche Zulassung. Die Planfeststellung umfasst die planerische Festlegung und die Zulassung der Bauausführung. Im Planfeststellungsverfahren werden die Behörden, deren Aufgabenbereich durch den Bau oder die Änderung des Verkehrsweges berührt wird, zu einer Stellungnahme aufgefordert (§ 73 Abs. 2 VwVfG).

### 3.1.4 Bedeutung der Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan

Für den Bebauungsplan besteht ein umfangreicher Katalog an Festsetzungsmöglichkeiten für industrielle, bauliche oder sonstige Vorhaben durch Zeichnung, Farbe, Schrift und Text (§ 9 BauGB), die dem konkreten Inhalt des Bebauungsplans entsprechen (s. **Anhang**, *Kapitel 1.6 Festsetzungen nach BauGB und BauNVO*). Die Festsetzungsmöglichkeiten sind allerdings abschließend in § 9 BauGB und der ergänzend heranzuziehenden BauNVO aufgeführt. Festsetzungen, die in § 9 BauGB und der BauNVO keine Rechtsgrundlage finden, sind unzulässig<sup>12</sup>. Die Gemeinde hat kein eigenes Festsetzungserfindungsrecht<sup>13</sup>. Vielmehr besteht für bauplanungsrechtliche Festsetzungen ein Typenzwang<sup>14</sup>. Weicht die Gemeinde von den Festsetzungsmöglichkeiten ab, so ist die von diesem Fehler betroffene Festsetzung wegen Verstoßes gegen den bauplanungsrechtlichen Typenzwang nichtig<sup>15</sup>, d. h., die planende Gemeinde ist bei ihren städtebaulichen Regelungen grundsätz-

lich an die Baugebietstypen der BauNVO gebunden. Allerdings kann die Gemeinde die unterschiedlichen Baugebietstypen der BauNVO durch Ausschluss, durch allgemeine oder durch ausnahmsweise Zulässigkeit von bestimmten Nutzungen bei Wahrung des Gebietscharakters modifizieren, nicht jedoch korrigieren.

Im Bebauungsplan können nach § 9 I Nr. 1 BauGB Art und Maß der baulichen Nutzung festgesetzt werden. Für die Festsetzung der Art der baulichen Nutzung sind die Bauflächen und Baugebiete nach §§ 1 bis 15 BauNVO maßgeblich. Nach § 9 I Nr. 2 BauGB können die Bauweise, die überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen festgesetzt werden. Zusätzlich bestehen zahlreiche weitere Festsetzungsmöglichkeiten etwa für die Größe, Breite und Tiefe der Baugrundstücke (§ I Nr. 3 BauGB).

Die Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan gem. § 9 BauGB beziehen sich nach überwiegender Auffassung auf bauliche oder sonstige Anlagen. Denn nur für bodenrechtlich relevante Vorhaben hat der Bundesgesetzgeber nach Art. 72, 74 I Nr. 18 GG die konkurrierende Gesetzgebungskompetenz. Es muss sich dabei um Anlagen handeln, die in einer auf Dauer gedachten Weise künstlich mit dem Erdboden verbunden sind und städtebauliche Relevanz haben<sup>16</sup>. Dies korrespondiert mit der Praxis in der deutschen Bauleitplanung, Regelungen in einer typisierenden Betrachtung immer mit bestimmten Anlagen bzw. Anlagentypen zu verknüpfen(s. Kapitel 2.2. Abstandserlass NRW)).

Bestimmte Anlagentypen können auf Grund der skizzierten Annahmen gänzlich ausgeschlossen werden. Stoffe oder bestimmte Stoffmengen werden in der Praxis - soweit dem Autor bekannt - bauleitplanerisch bisher nicht vorgegeben (Stoffmenge) bzw. ausgeschlossen (Stoffe, Stoffgruppen).

Für die Störfallprävention kommen im Planungsrecht insbesondere Festsetzungen nach § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB in Betracht. Nach § 9 Abs. 1 Nr. 24 können aus städtebaulichen Gründen „die von der Bebauung freizuhaltenden Schutzflächen und ihre Nutzung, die Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sowie die zum Schutz vor solchen Einwirkungen oder zur Vermeidung oder Minderung solcher Einwirkungen zu treffenden baulichen und sonstigen technischen Vorkehrungen“ festgesetzt werden. Die Festsetzung von Schutzflächen zielt darauf ab, einen räumlichen Abstand zwischen Gebieten mit unterschiedlicher, in unmittelbarer Nachbarschaft miteinander nicht zu vereinbarender Nutzung, festzulegen. Dabei beschränkt sich der Schutzzweck nicht nur auf den Emissions- bzw. Immissionsbereich, sondern die Festsetzungen dienen auch dem Schutz vor sonstigen Gefährdungen und Beeinträchtigungen, d. h. sie kommen insbesondere im Einwirkungsbereich von Anlagen in Betracht, welche die Umgebung gefährden oder sonst erheblich beeinträchtigen<sup>17</sup> (wie beispielsweise Anlagen und Einrichtungen mit Explosionsgefahr, chemische Betriebe etc.).

Neu ist die Ergänzung des § 9 Nr. 24 BauGB dahingehend, dass im Bebauungsplan Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen und *sonstige Gefahren* festgesetzt werden können. Die Festsetzungen nach § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB werden bisher dahin gehend ausgelegt, dass sie einzelne unverträgliche Nutzungen trennen. Eine Ausweitung auf Sicherheitsabstände zur nächstgelegenen Wohnbebauung im Sinne der Berücksichtigung unvorhersehbarer Ereignisse im Sinne der Störfall-Verordnung findet sich in der Literatur bisher nicht. Festsetzungen, die Einzelanforderungen an Anlagen betreffen, sind nach bisheriger Praxis allerdings auch

dem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren vorbehalten<sup>18</sup>. Diese Ergänzung um den Terminus „sonstige Gefahren“ ermöglicht es, mit den Mitteln des Baurechts auf Erfordernisse des Immissionsschutzrechts bzw. der Seveso-II-Richtlinie zu reagieren. Um deutlich zu machen, dass Abstandsregelungen im Sinne einer Störfallprävention auf der Grundlage der Festsetzungen nach dem Baugesetzbuch möglich sind, sollte dies allerdings durch eine rechtliche Kommentierung oder eine textliche Ergänzung im Baugesetzbuch selbst kenntlich werden.

Da sich die möglichen Festsetzungen auf bauliche Anlagen beschränken, stellt sich die Frage, ob z. B. Beschränkungen auf bestimmte zulässige Stoffe oder maximale Stoffmengen in Übereinstimmung mit den bestehenden rechtlichen Vorgaben und der Rechtsprechung auf der planerischen Ebene möglich sind. Dies wird im Kapitel 3.2 *Störfallprävention* weiter untersucht.

### 3.1.5 Weitere Aspekte der Nutzungszuordnung

Auch innerhalb der einzelnen Baugebiete ist gemäß § 1 Abs. 4 BauNVO eine Gliederung nach der Art der zulässigen Nutzung und nach der Art der Betriebe und Anlagen sowie deren besonderen Bedürfnissen und Eigenschaften, zulässig. Beispielsweise können Störfallanlagen bei der Ausweisung eines größeren Industriegebietes zentral angesiedelt werden. Dadurch ergeben sich ggf. auch unter Störfallgesichtspunkten ausreichende Sicherheitsabstände zur benachbarten Wohnbebauung oder benachbarten Betrieben. Hierauf wird in *Kapitel 7.2.6 von Chemie- und Industrieparks* näher eingegangen.

Einer verträglichen Nutzungszuordnung und damit auch der Wahrung von angemessenen Abständen dient die Möglichkeit, Nutzungen, die nach den Baugebietsvorschriften der BauNVO allgemein zulässig sind, für nicht zulässig oder ausnahmsweise zulässige Nutzungen für unzulässig zu erklären (§ 1 Abs. 5, 6 Nr. 2 BauNVO). Eine entsprechende Vorschrift für Teile von baulichen Anlagen enthält § 1 Abs. 7 BauNVO. Setzt die Gemeinde als Art der baulichen Nutzung ein sonstiges Sondergebiet nach § 11 BauNVO fest, ist sie an die in den §§ 2 bis 10 BauNVO aufgeführten Nutzungsarten und die Gliederungsmöglichkeiten des § 1 Abs. 4 bis 9 BauNVO nicht gebunden und hat somit einen weiteren planerischen Spielraum. Als sonstige Sondergebiete können solche Gebiete im Bebauungsplan festgesetzt werden, die sich von den Baugebieten nach §§ 2 bis 10 BauNVO wesentlich unterscheiden.

Die bei der Planung auftretenden Interessenkonflikte dürfen nicht einfach unbewältigt bleiben. So hat das Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) seit dem Flachglas-Urteil<sup>19</sup> den Trennungsgrundsatz (§ 50 BImSchG) entwickelt, d. h., die räumliche Trennung von Wohnnutzung und emittierendem Gewerbe gefordert. Der Grundsatz der Konfliktbewältigung darf aber nicht überspannt werden. Das BVerwG vertritt die Auffassung, dass es nicht Aufgabe der Bauleitplanung ist, Entscheidungen zu treffen, die nach den Bestimmungen des BImSchG dem jeweiligen Genehmigungsverfahren, Vorbescheidsverfahren oder Anordnungsverfahren vorbehalten sind. Eine zu starke Verfeinerung der planerischen Aussagen würde das Planverfahren übermäßig, ggf. bis zur Grenze, an der die Aufstellung eines Bebauungsplans scheitern muss, belasten. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass das zitierte Urteil schon etwas älter ist (1974). Zwischenzeitlich hat die Bedeutung der Störfallprävention zugenommen, was sich auf europäischer Ebene z. B. im Erlass der Seveso-Richtlinie ausdrückt.

Das Verhältnis zu benachbarten Betrieben ist insbesondere auf Grund der Entwicklung von klassischen Werken in einer Hand zu Industrie- und Gewerbeparks an Großstandorten von besonderem Interesse. Darauf wird nachfolgend eingegangen.

### 3.1.5.1 Besonderheiten von Chemie- und Industrieparks

Die vorausgehend beschriebenen Festsetzungsmöglichkeiten können als wirkungsvolles Instrument im Sinne einer Konfliktbewältigung unterschiedlicher benachbarter Nutzungen verstanden werden, sofern es sich um großflächige Ausweisungen neuer Industriegebiete handelt. Allerdings ist eine solche Ausweisung in Deutschland selten. Dabei sollte jedoch nicht vergessen werden, dass an den größeren Standorten erhebliche Veränderungsprozesse rechtlicher Art und in der Struktur der Standorte stattfinden. Gab es vor einigen Jahren noch „geschlossene“ Chemiestandorte, ist heute an diesen Standorten eine wesentlich größere Vielfalt an rechtlich selbstständigen Anlagenbetreibern und Anlagenarten unterschiedlichster Branchen vorzufinden. Besondere Bedeutung kommt damit dem Nachbarschaftsbegriff zu. Es stellt sich die Frage, ob aus einem Eigentumswechsel neue Anforderungen an die nunmehr rechtlich unabhängigen Betriebe zu stellen sind.

Dieses Problem ist mit der klassischen Ermittlung von Abständen kaum lösbar, da sich Abstände bei gewachsener Bebauung nicht generieren lassen. Es ist plausibel, von einer höheren wechselseitigen Zumutbarkeit der Gefahren durch industrielle Nutzung zwischen den neuen Nachbarn auszugehen als dies z. B. im Verhältnis industrieller und ausschließlich wohnlicher Nutzung der Fall ist. Auch dieser, bisher kaum (kritisch) thematisierte Aspekt, kann am ehesten durch die Beurteilung des jeweiligen Risikos gelöst werden. Allerdings sollte hier nicht das Risiko selbst „umgedeutet“, sondern der Maßstab des den Beschäftigten zumutbaren Risikos angepasst werden. Dabei ist die Rechtsgrundlage für eine „differenzierende Risikozumutung“ vorhanden. In der Rechtsprechung ist das Gebot der wechselseitigen Rücksichtnahme anerkannt. Auch wenn dieses im genannten Zusammenhang bisher nicht diskutiert wurde. Vielmehr waren bisher unterschiedliche, miteinander schwer vereinbare Nutzungen Gegenstand der Betrachtung. Ein klassisches Beispiel ist die Anwohnern zumutbare Lärmbelästigung in „gewachsenen“ Wohnsituationen. In solchen Situationen sind den Anwohnern höhere Belästigungen zuzumuten und gleichzeitig sind den Gewerbebetrieben über das in unkritischen Nachbarschaftsverhältnissen hinausgehende Maßnahmen abzuverlangen. Zu den Abwägungsgrundsätzen finden sich im **Anhang, Kapitel 1.5 Abwägungsgrundsätze**, weitere, erläuternde Ausführungen.

Zu den rechtlichen Fragestellungen gibt es eine Reihe aktueller Veröffentlichungen, z. B. des Umweltbundesamtes [UBA: Industriepark und Störfallrecht 2001] und der Störfallkommission ([SFK-GS-44]; [SFK-GS-35]). Im Leitfaden [SFK-GS-44, S. 11] schlägt die Störfallkommission zusammenfassend vor, *die Definition des Nachbarn im immissionsrechtlichen Sinn von Seiten des Gesetzgebers unter Berücksichtigung der Situation in Industrieparks klarzustellen. Hierdurch sollte es der Behörde möglich sein, den Nachbarschaftsbegriff situationsgerecht auszulegen*. In dem Bericht wird erkannt, dass *das geltende Immissionsschutzrecht der besonderen Situation von Nachbarn im Industriepark nicht voll gerecht werden kann* und dass die bestehende Situation ungeklärter nachbarschaftsrechtlicher Ansprüche von Beschäftigten in direkter Nachbarschaft von Störfallanlagen bzw. Betriebsbereichen i. S. d. Störfall-Verordnung aus behördlicher Sicht problematisch ist. Allerdings wird kein Lösungsvorschlag außer der angesprochenen rechtlichen Änderung des Nachbarschaftsbegriffs und des Abschlusses öffentlich-rechtlicher Verträge zwischen den Unternehmen unter Einbeziehung der Aufsichtsbehörden, unterbreitet.

Gleichzeitig wird im Leitfaden richtiger Weise die Bindungswirkung öffentlich-rechtlicher Verträge gegenüber Rechten von Beschäftigten in Frage gestellt. Des Weiteren wird die sog. best practice z. B. zur Koordination der Managementsysteme und der Gefahrenabwehrorganisation beschrieben und die Einschaltung einer leistungsfähigen Infrastrukturgesellschaft empfohlen.

Eine Lösung sowohl aus rechtlicher als auch methodischer Sicht kann nur über eine unterschiedliche Zumutbarkeit der von gefährlichen Anlagen ausgehenden Risiken erfolgen. Dies wird leider nicht erkannt.

### **3.1.6 Der Vorhaben bezogene Bebauungsplan**

Bei der Aufstellung eines Vorhaben bezogenen Bebauungsplans liegen üblicherweise bereits konkrete Informationen zum Anlagentyp und zur Anlagentechnologie und den verwendeten Stoffen und Stoffmengen vor. Auch ist der Investor bekannt. Daher ist bei einer typisierenden Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung eine auf das Vorhaben abgestimmte Bewertung der auf Grund der gehandhabten Stoffe und Stoffmengen für das Vorhaben relevanten Szenarien bereits auf der Planungsebene möglich, allerdings in einem geringeren Detaillierungsgrad als im nachfolgenden immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren.

Obwohl der Vorhaben bezogene Bebauungsplan in vielen Regelungen dem Bebauungsplan gleichgestellt ist, weist er doch einige entscheidende Unterschiede auf. Die Initiative zur Schaffung von Baurecht geht nicht von der Gemeinde (als Träger der kommunalen Bauleitplanung) aus, sondern von einem Vorhabenträger (Investor). Die Gemeinde hat auf Antrag des Investors über die Einleitung des Verfahrens nach pflichtgemäßem Ermessen zu entscheiden. Dabei sind die gleichen Kriterien wie bei der Prüfung der Erforderlichkeit eines Aufstellungsbeschlusses für einen Bebauungsplan zu prüfen.

Zweck des Vorhaben bezogene Bebauungsplans ist - analog zum Bebauungsplan - die Prüfung der planerischen Zulässigkeit des baulichen Vorhabens. Der Vorhaben bezogene Bebauungsplan stellt jedoch eine Objekt bezogene Vorhabenplanung dar, im Gegensatz zur sog. Angebotsplanung eines Bebauungsplans. Ziel des Vorhaben bezogenen Bebauungsplans ist es, die Vorhaben zügiger zu realisieren und das Verfahren hierzu planerisch einfacher und flexibler zu gestalten. Die Initiative zur Schaffung von Baurecht geht dabei vom Investor aus, hingegen verbleibt die Planungshoheit in vollem Umfang bei der Gemeinde. Gleichzeitig begründet der Vorhaben bezogene Bebauungsplan jedoch eine vertragliche Baupflicht des Vorhabenträgers, der sich darüber hinaus verpflichten muss, die Erschließungsmaßnahmen durchzuführen. Gleichzeitig muss der Investor zur Durchführung der Maßnahmen bereit und in der Lage sein. Neben der finanziellen Leistungsfähigkeit ist die eigentumsrechtliche Verfügung über die Grundstücke durch den Vorhabenträger von Bedeutung. Er muss entweder Eigentümer der Grundstücke sein oder eine anderweitige privatrechtliche Verfügungsbefugnis aufweisen (z. B. Erbbaurecht, Vormerkung im Grundbuchamt etc.).

Ergänzend zum Vorhaben bezogenen Bebauungsplan ist ein öffentlich-rechtlicher Durchführungsvertrag vor dem Satzungsbeschluss zwischen Vorhabenträger und der Gemeinde zu schließen. Im Durchführungsvertrag werden beispielsweise die Kostenaufteilung zwischen Gemeinde und Investor sowie die Verpflichtung des Investors, das Vorhaben in einer bestimmten Frist durchzuführen, geregelt. Ist der Vorhabenträger nicht bereit oder in

der Lage, das Vorhaben durchzuführen, soll die Stadt den Vorhaben bezogenen Bebauungsplan aufheben.

Beim Vorhaben bezogenen Bebauungsplan wird das Aufstellungsverfahren analog zum Bebauungsplan angewendet. Die inhaltlichen Festsetzungen des Vorhaben bezogenen Bebauungsplans haben keine Bindung zum § 9 BauGB (Inhalte des Bebauungsplans), werden aber in der Praxis auf Grund der Lesbarkeit und der Verständlichkeit an die Inhalte des Bebauungsplans angelehnt. Die nachfolgende Tabelle fasst die rechtlichen Gesichtspunkte zusammen (Tab. 3.1.6/1: Vorhaben bezogener Bebauungsplan):

Satzung	Voraussetzung:	Vorhaben- und Erschließungsplan
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Vorhabenträger und Gemeinde abgestimmter VEP</li> <li>• Verfügbarkeit der Grundstücke</li> <li>• Verpflichtung des Vorhabenträgers zur: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektdurchführung</li> <li>- Übernahme Erschließungskosten</li> <li>- Sicherheitsleistung</li> </ul> </li> </ul>	
	Keine Bindung an:	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festsetzungskatalog n. § 9 BauGB</li> <li>• §§ 14 bis 28, 39 – 79, 127 – 135c BauGB</li> </ul>	
	Bebauungsplan:	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bindung an Festsetzungskatalog</li> <li>• Geltung des allgemeinen Städtebaurechts</li> <li>• Verfügbarkeit der Grundstücke nicht Voraussetzung</li> </ul>	

Tab. 3.1.6/1: Vorhaben bezogener Bebauungsplan

Insbesondere beim Vorhaben bezogenen Bebauungsplan, aber auch bei der Aufstellung von Bebauungsplänen, ist eine Stoff bezogene Bewertung der von einem Vorhaben ausgehenden Risiken in vielen Fällen auf Grund der in der Praxis bereits vorliegenden Informationen über zukünftige Flächennutzungen bereits möglich. Dies ist eine Alternative zur bisher erfolgenden, Anlagenarten bezogenen Betrachtungsweise.

Insgesamt stellt das Instrument des Vorhaben bezogenen Bebauungsplans somit eine „Mischlösung“ zwischen planungsrechtlichem Anspruch der Vereinbarkeit unterschiedlicher Nutzungen und der Einzelfall bezogenen Entscheidung im Zulassungsverfahren dar mit deutlichem Erkenntniszugewinn für eine Bewertung des Risikos im Vergleich mit einer reinen „Bedarfsplanung“. In der Praxis gibt es eine Tendenz, beide Formen des Bebauungsplans miteinander zu mischen. Die beschriebenen formalen Unterschiede spielen dabei eine untergeordnete Rolle.

### 3.1.7 Grenzen des Planungsrechts

Unabhängig von den beschriebenen „objektiven“ Bewertungskriterien für die planerische und genehmigungsrechtliche Zulässigkeit eines industriellen Vorhabens bleibt ein „subjektiver“ Aspekt für einen Vorhabenträger im Planungsrecht bestehen. Letztlich entscheidet die Gemeinde, im (seltenen) Einzelfall auf Grund nur bedingt nachvollziehbarer Kriterien, über die Ansiedlung eines neuen Unternehmens. Jedenfalls besteht kein Rechtsanspruch

im Sinne eines abzuarbeitenden Anforderungskataloges auf den Erwerb bestimmter Grundstücke oder – insbesondere – die planerische Zustimmung der Gemeinde im Rahmen der behördlichen Beteiligung bei einem immissionsschutzrechtlichen Änderungs- oder Zulassungsverfahren, sofern kein Bebauungsplan für den Standort existiert.

Dies ist z. B. an den Großstandorten der Chemie in NRW für große Bereiche der Areale nicht der Fall. Hier erfolgt die Beurteilung nach dem Kriterium, dass sich ein Vorhaben in die bereits vorhandene (industrielle) Bebauung einfügt (§ 34 BauGB) und die Nutzung des Geländes in Einklang mit der Flächennutzungsplanung steht. An den Großstandorten gibt es in der Praxis aber keine Probleme mit der Erteilung des Einvernehmens durch die jeweilige Gemeinde.

In einem immissionsschutzrechtlichen Zulassungsverfahren ist von der Genehmigungsbehörde insbesondere für den Spezialfall eines Vorhabens im sog. „unbeplanten Außenbereich“ nach § 35 Baugesetzbuch das Einvernehmen der Gemeinde<sup>20</sup> einzuholen. So genannte privilegierte Vorhaben sind auch außerhalb eines Industriegebietes oder Gewerbegebietes zulässig. Wird das Einvernehmen von der Gemeinde im Rahmen der Behördenbeteiligung ohne von der Genehmigungsbehörde objektiv nachvollziehbare Gründe verweigert, bleibt dem Vorhabenträger in der Praxis nur der lange Weg über die Gerichte, d. h. der Genehmigungsantrag ist abzulehnen. Sofern der Antragsteller gegen diese Entscheidung klagt, kann sich das zuständige Verwaltungsgericht über das verweigerte Einvernehmen der Gemeinde hinweg setzen und dieses ersetzen. Dann ist auf erneutem Antrag der Weg für die immissionsschutzrechtliche Zulassungsbehörde frei, über den Antrag positiv zu entscheiden. Nur in seltenen Fällen ist es der Genehmigungsbehörde möglich, sich über das nicht erteilte Einvernehmen mit dem Instrument der Kommunalaufsicht hinwegzusetzen und auf diesem Wege das verweigerte Einvernehmen „selbst“ herzustellen. Der Gesetzgeber hat das Problem erkannt und die rechtlichen Instrumente zur Ersetzung des gemeindlichen Einvernehmens erweitert (§ 36 Abs. 2 BauGB). Auf Grund der Änderungen steigt der Handlungsspielraum der Genehmigungsbehörde. Dabei sind in der Praxis allerdings eine Reihe rechtlicher Feinheiten zu beachten, welche die Bedeutung der Änderungen einschränken [Olbrich 2006]. Hierauf wird nicht weiter eingegangen.

Auch bei der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung von Großprojekten, z. B. Kraftwerken kommt dem zu erteilenden gemeindlichen Einvernehmen „brisante“ Bedeutung zu, wenn es der Gemeinde darum geht, ihren Belangen gegenüber dem Investor und der Zulassungsbehörde Nachdruck zu verlangen. Dabei kann es auch darum gehen, gegenüber den Bürgern politisch gut dazustehen.

## 3.2 Störfallprävention

Gegenstand des nachfolgenden Unterkapitels sind die wichtigsten Regelungen des Immissionsschutzrechts in Bezug auf die Störfallprävention. Gleichzeitig wird auch die Verknüpfung mit dem Bau- und Planungsrecht untersucht. Dabei spielt der Risikobegriff eine zentrale Rolle. Auf den Begriff wird daher zunächst näher eingegangen.

### 3.2.1 Auslegung und Abgrenzung des Risikobegriffs

Nachfolgend wird zwischen rechtlichen und technischen Gesichtspunkten unterschieden:

### **3.2.1.1 Rechtliche Gesichtspunkte**

Der Begriff des „Risikos“ umfasst in rechtlicher Hinsicht den möglichen, aber ungewissen Eintritt eines Schadens<sup>21</sup>, im Sicherheitsrecht gerade infolge der Herstellung oder Verwendung technischer Systeme [Murswieck 1985].

Demgegenüber ist eine „Gefahr“ im rechtlichen Sinne dann gegeben, wenn bei ungehindertem Geschehensablauf mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein Schaden an einem geschützten Rechtsgut eintreten wird<sup>22</sup>. Demnach stellt jede theoretische Möglichkeit des Schadens bereits ein Risiko dar, während eine Gefahr erst dann gegeben ist, wenn die Schädigungswahrscheinlichkeit hinreichend groß ist. Im Bereich des Risikos sind jenseits der Gefahrenabwehr Vorsorgemaßnahmen angesiedelt.<sup>23</sup>

Der Begriff der „Sicherheit“ stellt in juristischer Betrachtung den Gegenbegriff zum Risiko dar. Da es absolute Risikofreiheit in der hoch industrialisierten Gesellschaft nicht gibt, kann es auch keine absolute Sicherheit geben, sondern nur mehr oder weniger große Annäherungen an dieses Ideal<sup>24</sup>. Als sicher bezeichnet man solche technischen Systeme, deren Risiken man als vernachlässigbar gering, als akzeptabel betrachtet. Wie sicher ein technisches System sein muss, um „sicher genug“ in diesem Sinne zu sein, lässt sich nicht allgemein festlegen. Wenn das Recht die Herstellung und Verwendung potenziell gefährlicher technischer Systeme nicht untersagt, sondern bei Einhaltung bestimmter Sicherheitsauflagen zulässt, so definiert es mit dem vorgeschriebenen Sicherheitsstandard zugleich das verbleibende, rechtlich erlaubte Risiko [Marburger 1981, 1981, 1982, 1984]. Dieses rechtlich erlaubte Risiko bezeichnet man als „Restrisiko“. Es zeichnet sich dadurch aus, dass ein aus ihm stammender Schaden nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnis und dem Maßstab praktischer Vernunft als ausgeschlossen gelten kann<sup>25</sup>.

Diese, aus dem Atomrecht abgeleitete, sehr stringente Sicht lässt sich allerdings wohl nicht „unreflektiert“ auf den Bereich der Störfallanlagen übertragen. Vielmehr muss diese Auffassung vor dem Hintergrund sehr großer Auswirkungen eines Ereignisses verstanden werden. Für den Bereich der Störfall-Verordnung müsste die Formulierung „als ausgeschlossen gelten kann“ wohl durch „als (sehr) unwahrscheinlich einzuschätzen“ ersetzt werden. Dass Ereignisse nicht ausgeschlossen werden können zeigt ja - verkürzt ausgedrückt - allein schon die Existenz der Störfall-Verordnung.

Des Weiteren ist ein Unterschied zwischen akzeptablem und tolerablem Risiko zu beachten. Ein Risiko, das auf Grund des mit dem Risiko verbundenen Nutzens als tolerabel erscheint, muss nicht für jedermann akzeptabel sein. Aus diesem Grund sollte von einem tolerablen Risiko gesprochen werden.

Verfassungsrechtlich ist die staatliche Verantwortung für technische Risiken vor allem in Art. 2 Abs. 1 und 2 Grundgesetz und Art. 20 a Grundgesetz verankert. Die Grundrechte enthalten nach ständiger Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichtes nicht lediglich subjektive Abwehrrechte des Einzelnen gegen die öffentliche Gewalt, sondern stellen zugleich objektivrechtliche Wertentscheidungen der Verfassung dar, die für alle Bereiche der Rechtsordnung gelten und Richtlinien für Gesetzgebung, Verwaltung und Rechtsprechung geben<sup>26,27</sup>.

Das in Art. 2 Grundgesetz verbürgte Recht des Einzelnen auf Leben und körperliche Unversehrtheit begründet aus seinem objektiv-rechtlichen Gehalt heraus die Pflicht der staatlichen Organe, sich schützend und fördernd vor die genannten Rechtsgüter zu stellen und sie insbesondere vor rechtswidrigen Eingriffen von Seiten anderer zu bewahren<sup>28,29</sup>.

Daneben ist in Art. 20 a Grundgesetz der Umweltschutz als Staatszielbestimmung verankert, wodurch die staatlichen Zuständigkeitssträger zu einer aktiven und sachgerechten Umweltschutzpolitik ermächtigt und beauftragt werden<sup>30</sup>. Dies führt im Bereich des technischen Sicherheitsrechts für den Staat zu der Verpflichtung, seinen Bürgern ausreichend Sicherheit vor den Gesundheits- und Lebensrisiken zu gewährleisten, die sich aus der Entwicklung und Anwendung technischer Produkte, Prozesse, Anlagen und Systeme ergeben.

Risiken selbst stellen zwar noch keine Grundrechtsverletzungen dar, jedoch machte das Bundesverfassungsgericht im „Kalkar-Beschluss“<sup>31</sup> deutlich, dass bereits eine künftige Grundrechtsgefährdung – wie sie einem Risiko immanent ist – mit dem Grundgesetz in Widerspruch geraten kann. Staatliche Schutzpflichten können deshalb gebieten, rechtliche Regelungen so auszugestalten, dass auch die Gefahr von Grundrechtsverletzungen eingedämmt bleibt. Grundsätzlich muss jede Art von anlage- und betriebsspezifischen Schäden, Gefahren und Risiken in eine Abwägung einbezogen werden. In welchem konkreten Umfang aber eine solche Risikovorsorge geboten ist, hängt von der Nähe der möglichen Gefahr, der Qualität des Rechtsguts und dem potentiellen Schadensausmaß ab<sup>32</sup>. Je nach Art und Schwere möglicher Folgen kann bereits eine entferntere Wahrscheinlichkeit ihres Eintritts genügen, um die Schutzpflicht des Gesetzgebers konkret auszulösen<sup>33</sup>. Hierzu wurden vom Bundesverfassungsgericht und Bundesverwaltungsgericht verschiedene Grundsätze entwickelt.

Ende der 1980'iger Jahre wurde vom Bundesverwaltungsrecht im Atomrecht das Prinzip des Maßstabs der praktischen Vernunft und der Proportionalität entwickelt. Die dem Prinzip zugrunde liegenden Überlegungen lassen sich aber auch auf Gesichtspunkte der Störfallprävention übertragen [Roßnagel, Neuser 2004].

### **3.2.1.1.1 Maßstab der praktischen Vernunft**

Dieser fordert nicht alle Risiken abzuwehren, sondern nur diejenigen jenseits einer bestimmten Schwelle. Angesichts der großen Gefahrenpotentiale kann eine atomtechnische Anlage nur zugelassen werden, wenn es nach dem Stand von Wissenschaft und Technik praktisch ausgeschlossen erscheint, dass solche Schadensereignisse eintreten. „Ungewissheiten jenseits dieser Schwelle praktischer Vernunft haben ihre Ursachen in den Grenzen des menschlichen Erkenntnisvermögens; sie sind unentrinnbar und insofern als sozialadäquate Lasten von allen Bürgern zu tragen“, so das Bundesverfassungsgericht und das Bundesverwaltungsgericht in Grundsatzentscheidungen<sup>34</sup>.

Das verbleibende Risiko lässt sich auch als gesellschaftlich hinzunehmendes Restrisiko, als Preis technischen Fortschritts, beschreiben. Ein wichtiger Orientierungspunkt ist dabei die Auswertung und Bewertung tatsächlicher Ereignisse in der Vergangenheit. Dabei handelt es sich um einen dynamischen Prozess. Hinzunehmen ist nur das Restrisiko, das mangels Erkenntnis oder technischer Möglichkeiten unvermeidbar erscheint. Dabei kommt ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ins Spiel, das Schadensausmaß.

### **3.2.1.1.2 Maßstab der Proportionalität**

Je gravierender die Auswirkungen eines Schadensereignisses sind, desto geringer muss die Wahrscheinlichkeit sein, mit der dieses Ereignis eintreten kann. Für das Atomrecht hat

das Bundesverfassungsgericht diese „Je-desto-Formel“ dahingehend konkretisiert:

Die „Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Schadensereignisses, die bei einer Genehmigung hingenommen werden darf, (muss) so gering wie möglich sein, und zwar um so geringer, je schwerwiegender die Schadensart und die Schadensfolgen, die auf dem Spiel stehen, sein können“<sup>35</sup>, so das Bundesverfassungsgericht.

Die Anwendung dieses Grundsatzes führt jedoch nicht zu einer statischen Festlegung des zulässigen Restrisikos. Was möglich und zulässig ist, hängt vielmehr vom Fortschritt der Erkenntnis- und Handlungsmöglichkeiten ab und ist damit stetig anzupassen. Dieses weitere Prinzip wurde vom Bundesverfassungsgericht als Dynamisierung des Rechtsgüterschutzes bezeichnet.

### 3.2.1.2 Technische Gesichtspunkte

Im technischen Bereich wird das Risiko gemäß der nationalen Norm *DIN VDE 31000 Teil 2* wie folgt definiert:

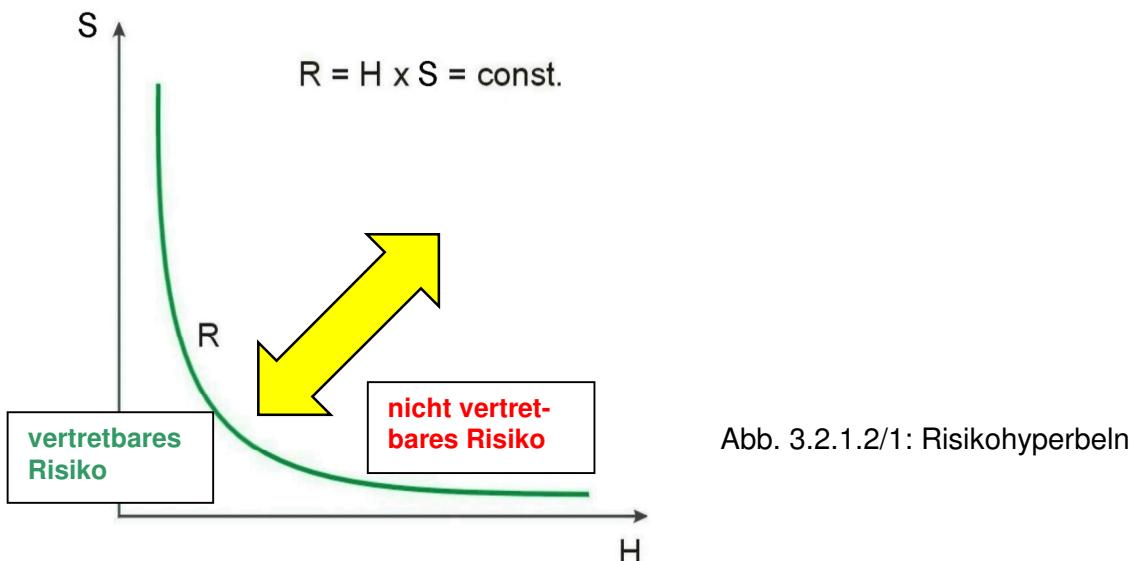
„Das Risiko, das mit einem bestimmten technischen Vorgang oder Zustand verbunden ist, wird zusammenfassend durch eine Wahrscheinlichkeitsaussage beschrieben, welche die zu erwartende **Häufigkeit** des Eintritts eines zum Schaden führenden Ereignisses und das beim Ereigniseintritt zu erwartende **Schadensausmaß** berücksichtigt“. Mit der Risikoformel ausgedrückt gilt:

$$R = H \times S \quad \text{wobei:} \quad R = \text{Risiko, Risikozahl als Maß für das Risiko}$$

$$H = \text{Häufigkeit des auslösenden Ereignisses}$$

$$S = \text{Schadensausmaß, Konsequenz.}$$

Ist ein Wert für das vertretbare Risiko festgelegt, trennt die entsprechende Risiko-Isolinie den Risikobereich in „vertretbares Risiko“ (unterhalb der Risiko-Isolinie) und „nicht vertretbares Risiko“ (oberhalb der Risiko-Isolinie). Für die verschiedenen Niveaux ergibt sich eine Schar von Linien, in der Abbildung (Abb. 3.2.1.2/1: Risikohyperbeln) symbolisiert durch den gelben Pfeil:



Werden Risiko bestimmende Faktoren, also Häufigkeit und/oder Schadensausmaß, verkleinert, verschiebt sich diese Hyperbel in Richtung auf den Nullpunkt des Koordinatensystems. Dabei deckt eine Risiko-Isolinie jeweils den Bereich von sehr großen Schadensausmaßen und sehr geringen Häufigkeiten bis zu sehr geringen Schadensausmaßen und sehr großen Häufigkeiten ab.

Diese Tatsache darf bei der Risikobewertung nicht außer Acht gelassen werden, was an einem Beispiel verdeutlicht werden soll. Die Risiko-Isolinie  $R = 1$  trifft sowohl für den Fall „1 Toter/Jahr“ als auch für den Fall „1 Mio. Tote einmal in 1 Mio. Jahren“ zu. Insofern ist die genannte Risikoformel ohne weitere Erläuterung irreführend. Auf das in Großbritannien und den USA zur Bewertung von Großereignissen entwickelte Vorsorgeprinzip wird in Kapitel 5.5 *Tabellarische Zusammenstellung der Bewertungskriterien* dieser Arbeit eingegangen.

Eine etwas andere Möglichkeit der Darstellung verdeutlicht die nachfolgende Abbildung (Abb. 3.2.1.2/2: Grenzrisiko).:

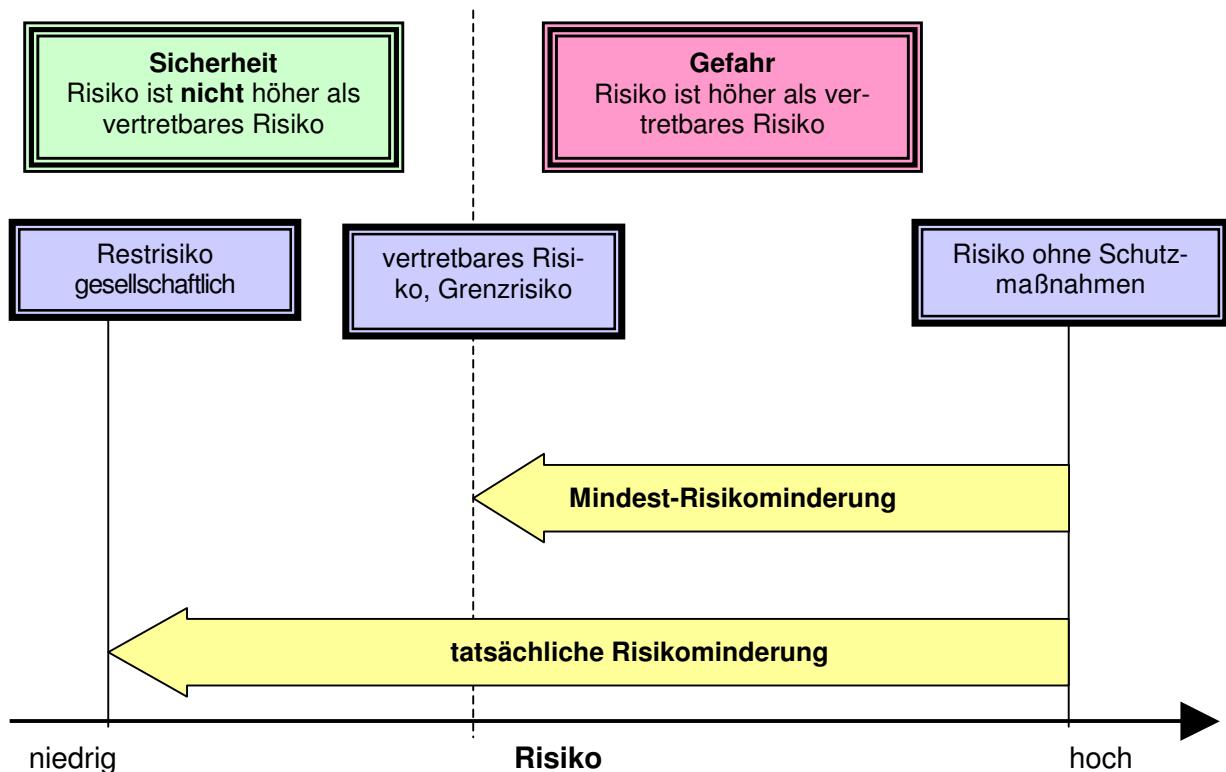


Abb. 3.2.1.2/2: Grenzrisiko, Darst. ähnlich [SFK-GS-41]

Es werden Bereiche vertretbaren Risikos, d. h. der Sicherheit mit einem akzeptierten Restrisiko, und des nicht vertretbaren Risikos, d. h. der Gefahr mit der Notwendigkeit Risiko mindernde Maßnahmen durchzuführen, „definiert“. Die Trennlinie dieser beiden Bereiche in dieser Darstellung entspricht sinngemäß einer Risiko-Isolinie. Die Risikoformel und verschiedene Visualisierungsmöglichkeiten können somit als Hilfe für Entscheidungen herangezogen werden.

Die Bewertung des ermittelten Risikos setzt voraus, dass ein Bewertungsmaßstab festgelegt ist, d. h. ein Wert für das vertretbare Risiko herangezogen werden kann. In der Praxis

wird der Bewertungsmaßstab z. B. gemäß *DIN VDE 31000 Teil 2* als Grenzrisiko definiert (Weitere Begriffsdefinitionen siehe auch *VDI/VDE Richtlinie 3542*). Das Grenzrisiko ist das größte noch vertretbare Risiko eines bestimmten technischen Vorganges oder Zustandes nach konsequenter Anwendung der sicherheitstechnischen Festlegungen. Sicherheitstechnische Festlegungen sind z. B. spezifizierte technische Werte für die betrieblichen und sicherheitstechnischen Einrichtungen und ihre Betriebsweisen, Festlegungen für organisatorische und managementspezifische Abläufe sowie Vorgaben durch Gesetze, Verordnungen und technische Regeln. Ihre Einhaltung im Rahmen des jeweiligen technischen Konzeptes soll sicherstellen, dass das Grenzrisiko nicht überschritten wird.

Auf internationaler Ebene hat man sich auf wesentliche Begriffe im Gesamtkontext „Risiko“ und deren Verwendung in der Normung geeinigt (z. B.: *ISO/IEC Guide 51*). Sehr etabliert ist auch die Möglichkeit der grafischen Darstellung von potentiell Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit in der Form der Risikomatrix. Auch dieser Darstellung liegt das beschriebene Risikoverständnis zugrunde.

### 3.2.3 Deterministik und Probabilistik

In dieser Arbeit wird für die Bewertung der von Störfallanlagen ausgehenden Risiken eine typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung im Rahmen der Bauleitplanung vorgeschlagen. In Fachkreisen (z. B. Arbeitskreis Technische Systeme, Risiko und Verständigungsprozesse der Störfallkommission, [SFK-GS-41]) wurde lange diskutiert, ob quantitative Methoden die bisher in Deutschland praktizierte deterministische Vorgehensweise ersetzen sollten. Auf die methodischen Unterschiede und Besonderheiten der deterministischen und der probabilistischen Vorgehensweise wird in *Kapitel 4.2 Analytische Methoden* und im **Anhang**, *Kapitel 2.1 Methodik, Kurzdarstellung einiger Methoden der Sicherheits- und Risikoanalyse*, eingegangen. Nachfolgend werden rechtliche Unterschiede dargestellt. Dabei wird in erster Linie die Beurteilung der Sicherheit bereits bekannter Anlagen angesprochen. In der Bauleitplanung sind vereinfachende Annahmen zur Risikobewertung von Störfallanlagen und darauf begründete planerische Entscheidungen erforderlich, da die Anlagen im Detail häufig noch nicht bekannt sind.

Etwas plakativ handelt es sich um unterschiedliche Methoden, rechtliche Sicherheitsziele technisch zu operationalisieren und ihre Einhaltung zu überprüfen ([Roßnagel, Neuser 2004], S. 10 und dort angegebene Lit.). Sie sind zwar verschiedene Beschreibungen ein und desselben Sachverhalts, die bei vollständiger Kenntnis der inneren Kausalitäten der zu bewertenden Einrichtungen und der statistischen Einflussgrößen jedenfalls prinzipiell ineinander überführt werden können. Ihre Ergebnisse können daher prinzipiell in die Denkwelt der jeweils anderen Methode übersetzt werden. So können deterministische Annahmen und Vorgaben probabilistisch überprüft und begründet werden und umgekehrt probabilistische Erkenntnisse in deterministische Annahmen und Vorgaben umgesetzt werden. Dennoch gibt es nicht nur methodisch sondern auch in der rechtlichen Bewertung elementare Unterschiede.

Probabilistische Sicherheitsanalysen untersuchen die Wahrscheinlichkeit bestimmter, Schadensverläufe auslösender Ereignisse, die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Sicherheitssystemen und Sicherheitskomponenten sowie die Wahrscheinlichkeit verschiedener Störfallverläufe und Schadensverteilungen (Lit., z. B.: [Hartwig 1999]; [Hauptmanns 1987]). Die Feststellung eines Wahrscheinlichkeitswertes sagt noch nichts darüber aus, ob diese Wahrscheinlichkeit eines Schadensverlaufs oder eines Komponentenversagens

rechtlich tolerabel ist. Hierzu wären normative Risikowerte oder Risikokurven erforderlich, welche die Grenze zwischen der erforderlichen Vorsorge (Vorsorgeprinzip) und dem Bereich des (gesellschaftlich akzeptierten) Restrisikos definieren (s. *Kapitel 3.2.1 Auslegung und Abgrenzung des Risikobegriffs*). Anders als z. B. in den Niederlanden mangelt es in Deutschland insbesondere an rechtlichen Vorgaben hierzu, d. h., eine vergleichbare normative Basis (in Form von Risiko-Grenzwerten) ist in Deutschland nicht vorhanden. In den Niederlanden gibt es seit 1989 parlamentarisch festgelegte Risikowerte. Auch in der Schweiz wurden Risikokurven entwickelt, die sowohl die Schadenswahrscheinlichkeit als auch das Schadensausmaß berücksichtigen. Hierauf wird in *Kapitel 5 Methodische Vorgehensweise in europäischen Nachbarländern* sowie im **Anhang**, *Kapitel 2.3 Risikokataster des Kanton Zug*, eingegangen.

Dagegen ist die deterministische Sicherheitsbewertung, sofern sie den Eintritt bestimmter Ereignisse unterstellt, von Unsicherheiten in der Wahrscheinlichkeitsabschätzung „unabhängig“. Es werden die Auswirkungen eines fiktiven Ereignisses untersucht und auf dieser Grundlage z. B. ein Sicherheitsabstand zur nächstgelegenen Wohnbebauung gefordert. Fehler in der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit oder das nicht erkennen möglicher Ereignisursachen können durch pauschale Vorgaben für angenommene Ereignisse, wo bei die Ursachen nicht detailliert betrachtet werden müssen, „abdeckend“ berücksichtigt werden.

Die von den Autoren [Roßnagel, Neuser 2004] angesprochene „Unabhängigkeit“ von Unsicherheiten in der Wahrscheinlichkeitsabschätzung sollte aber in ihrer Bedeutung nicht überschätzt werden. Berücksichtigt werden kann bei den Betrachtungen nur, was nach einem Expertenurteil als relevantes Ereignis eingeschätzt wurde. Die Wahrscheinlichkeit, unterschätzte Szenarien zu ermitteln, ist bei der Probabilistik deutlich höher. Bei den Betreibern von Störfallanlagen ist eine Tendenz erkennbar, probabilistische Betrachtungen verstärkt zur Erkenntnisgewinnung über Gefahren und Risiken bei der Bewertung sicherheitstechnisch relevanter Anlagenteile zu berücksichtigen. Insgesamt lässt sich die aktuelle Diskussion [44. Tutzing-Symposium] unter Fachleuten verkürzt wohl auf den Nenner bringen, dass eine Kombination beider Methoden im Sinne einer wechselseitigen Ergänzung als fruchtbar eingeschätzt wird.

Bestandteile der Diskussion und Kommunikation von Risiken sind immer auch die Themen Sicherheitskultur und Sicherheitsmanagement. Auf diesen Aspekt wird in *Kapitel 6.2.7 Human Factor* eingegangen.

### **3.2.4 Störfall-Verordnung 2000 und Implementierung des Risikoansatzes**

Die Ereignisse von Bhopal und Mexiko City werden in den Erwägungsgründen zur Novellierung der Seveso-Richtlinie explizit erwähnt, was die große Bedeutung dieser Ereignisse auf den Umdenkenprozess in Europa verdeutlicht. Gegenüber der Seveso-Richtlinie enthält die sog. Seveso-II-Richtlinie [Seveso-II-Richtlinie] eine Vielzahl von erweiterten und neuen Anforderungen, u. a. zur Flächennutzungsplanung [Seveso-II-Richtlinie, Artikel 12].

Die Umsetzung der Seveso-II-Richtlinie von 1996 in das deutsche Recht erfolgte in den Stoff bezogenen Regelungen insbesondere durch die Neufassung der Störfall-Verordnung im Jahre 2000 [Störfall-Verordnung 2000] sowie durch Anpassungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Zur sachgerechten Umsetzung dieser EG-Richtlinie wurde der Begriff des „Betriebsbereichs“ neu in das Immissionsschutzrecht eingeführt [BImSchG, § 3 Abs. 5 a]. Der Begriff des „Betriebs“ in der Seveso-II-Richtlinie ist dabei

identisch mit dem Begriff des „Betriebsbereiches“ nach BImSchG. Zum Betriebsbereich gehören insbesondere Anlagen i. S. des § 3 Abs. 5 BImSchG (immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen), bauliche Anlagen i. S. der jeweiligen Landesbauordnungen sowie Infrastrukturen (z. B. Rohrleitungen, Werkstraßen, etc.).

Die Betreiberpflichten nach § 5 Bundes-Immissionsschutzgesetz für immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen werden u. a. durch die Störfall-Verordnung konkretisiert. „Störfallanlagen“, d. h. Anlagen, die dem Regelungskreis der Störfall-Verordnung unterliegen, sind danach insbesondere so zu errichten und zu betreiben, dass neben schädlichen Umwelteinwirkungen auch sonstige Gefahren für die Allgemeinheit und Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Dabei sind auch bei nicht bestimmungsgemäßem Betrieb der Anlagen entstehende Stoffe zu berücksichtigen. Die Definition eines Störfalls und einer ernsten Gefahr i. S. d. Störfall-Verordnung ergibt sich dabei aus § 2 Abs. 3 der Störfall-Verordnung [Störfall-Verordnung, § 2. Abs. 3].

Betriebsbereiche, in denen die Mengenschwellen des Anhangs I der Störfall-Verordnung erreicht oder überschritten werden und die wirtschaftlichen oder gewerblichen Zwecken dienen, unterliegen direkt den Bestimmungen der Störfall-Verordnung.

Dabei wird nicht zwischen immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen unterschieden. Im Einzelfall kann die zuständige Überwachungsbehörde (in NRW die Staatlichen Umweltämter) Pflichten aus der Störfall-Verordnung, insbesondere die Erstellung eines Sicherheitsberichtes, auch für nicht vom Regelungskreis der Verordnung erfasste Anlagen anordnen. Ein Betriebsbereich als solcher bedarf keiner eigenständigen Zulassung. Die Errichtung oder Änderung eines Betriebsbereichs ist der zuständigen Behörde anzugeben, soweit die geforderten Unterlagen nicht bereits im Zusammenhang mit einem anderen Genehmigungs- oder Anzeigeverfahren vorgelegt worden sind (§ 7 Abs. 1 bis 3 der Störfall-Verordnung).

Wie die Seveso-II-Richtlinie, verfolgt auch die Störfall-Verordnung einen zweistufigen Ansatz in Abhängigkeit vom Gefahrenpotential des Betriebsbereichs. Das Gefahrenpotential steigt mit der Art und der Menge der vorhandenen Gefahrstoffe. Ausgehend davon ergeben sich abgestufte Betreiberpflichten hinsichtlich der zu treffenden technischen und organisatorischen Maßnahmen, Kontroll-, Dokumentations- und Mitteilungsanforderungen. Die Störfall-Verordnung unterscheidet dementsprechend zwischen Betriebsbereichen mit:

- Grundpflichten (§§ 3-8) und
- erweiterten Pflichten (§§ 9-12).

Durch die Novellierung der Störfall-Verordnung sollte neben einer Anpassung an die Vorgaben der Seveso-II-Richtlinie gleichzeitig das bisherige Konzept der Sicherheitspflichten beibehalten werden. In diesem Sinne wurde als Zielsetzung des Novellierungsentwurfs der Bundesregierung formuliert, dass „geltendes deutsches Störfallrecht nicht über das zur Umsetzung der Richtlinie erforderliche Maß hinaus verschärft, aber auch ... nicht abgeschwächt werden“ sollte<sup>36</sup>.

Von besonderer Bedeutung für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten ist die Erstellung eines Sicherheitsberichts. Dieser ist für den gesamten Betriebsbereich in „übergeordneter“ Form und in konkret auf eine bestimmte Anlage abgestimmter Form im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren zu erstellen. Für den Risikoansatz in der Störfallverordnung 2000 besonders relevante neue Regelungen finden sich in den

genannten Anhängen II und III der Verordnung. Der Anhang II (Nr. IV) befasst sich mit den „Mindestangaben im Sicherheitsbericht“:

„IV. Ermittlung und Analyse der **Risiken** von Störfällen und Mittel zur Verhinderung solcher Störfälle

1. Eingehende **Beschreibung der Szenarien** möglicher Störfälle nebst ihrer **Wahrscheinlichkeit** oder den Bedingungen für ihr Eintreten, einschließlich einer Zusammenfassung der Vorfälle, die für das Eintreten jedes dieser Szenarien ausschlaggebend sein könnten, unabhängig davon, ob die Ursachen hierfür innerhalb oder außerhalb der Anlage liegen.

2. **Abschätzung des Ausmaßes** und der **Schwere** der Folgen der ermittelten Störfälle,

3. Beschreibung der technischen Parameter sowie Ausrüstungen zur Sicherung der Anlagen.“

Im Anhang 3 (Nr. 3) „Grundsätze für das Konzept zur Verhinderung von Störfällen und das Sicherheitsmanagementsystem“ heißt es (Auszug) in:

„3. Folgende Punkte werden durch das Sicherheitsmanagementsystem (Punkte a – g) geregelt:

b) Ermittlung und Bewertung der Gefahren von Störfällen

Festlegung und Anwendung von Verfahren zur **systematischen Ermittlung** der Gefahren von Störfällen bei bestimmungsgemäßem und nicht bestimmungsgemäßem Betrieb sowie **Abschätzung der Wahrscheinlichkeit und der Schwere** solcher Störfälle.“

Erstmalig wird in der Störfallverordnung 2000 der Begriff „Risiko“ verwendet. In dem zitierten Anhang II heißt es:

„.... Ermittlung und Analyse der **Risiken** von Störfällen ...“.

Auch die Begriffe „Wahrscheinlichkeit“ und „systematische Prüfung“ legen eine neue Qualität in der Beurteilung der vom Regelungskreis der Störfallverordnung betroffenen Betriebsbereiche (früher: Anlagen) ausgehenden Gefahren nahe, da der Gesetzgeber zum einen offensichtlich Anpassungsbedarf an die Vorgaben der Seveso-II-Richtlinie gesehen hat und die Begriffe zum anderen in der technischen Diskussion „belegt“ sind (Auslegung und Abgrenzung des Risikobegriffs s. *Kapitel 3.2.1 Auslegung und Abgrenzung des Risikobegriffs*).

Die Einführung des Begriffs Betriebsbereich kann auch dahin gehend interpretiert werden, dass es in der Intention der novellierten Seveso-II-Richtlinie liegt, eine über die Grenzen der einzelnen Anlage hinaus gehende „ganzheitliche“ Betrachtung eines Standortes vorzunehmen. Dies lässt sich am ehesten über das damit verbundene Risiko leisten.

Ein weiteres Indiz für diese Sichtweise ist die rechtliche Einführung des Domino-Effektes. Gemäß § 15 der Störfall-Verordnung i. V. mit § 6 Abs. 3 der Störfall-Verordnung können von der zuständigen Behörde (In NRW die Bezirksregierungen, da die Zuständigkeitsverordnung für den technischen Umweltschutz bisher an neue Regelungen (z. B. die Störfall-Verordnung 2000) nicht angepasst wurde) wechselseitige Informationspflichten zwischen

den Betreibern festgelegt werden. Betroffen sind sowohl Anlagenbetreiber, die den Grundpflichten unterliegen, als auch Betreiber von Anlagen mit erweiterten Pflichten.

### **3.2.5 Die Seveso-II-Richtlinie und deren Implementierung in deutsches Recht Unvollständige Umsetzung von Artikel 12**

Wesentliches Element im Rahmen der Störfall-Prävention ist die Seveso-II-Richtlinie. Von besonderer aktueller Bedeutung sowohl auf nationaler als auch europäischer Ebene ist dabei die Umsetzung des Artikels 12 der Richtlinie [Seveso-II-Richtlinie, Artikel 12], der sich mit Anforderungen an die Bauleitplanung (Land Use Planning) befasst. Demnach *sorgen die Mitgliedsstaaten dafür, dass in ihrer Politik der Flächenausweisung oder Flächennutzung (...) langfristig dem Erfordernis Rechnung getragen wird, dass zwischen den unter diese Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und Wohngebieten, öffentlich genutzten Gebäuden und Gebieten, wichtigen Verkehrswegen (so weit wie möglich), Freizeitgebieten und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvollen bzw. besonders empfindlichen Gebieten andererseits ein angemessener Abstand gewahrt bleibt und das bei bestehenden Betrieben zusätzliche technische Maßnahmen (...) ergriffen werden, damit es zu keiner Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung kommt.*

Die Ziele und Gebote des Artikel 12 Seveso-II-Richtlinie werden nach bisheriger Auffassung der Bundesregierung in § 50 Satz 1 BlmSchG [BlmSchG, § 50] umgesetzt. Die ursprünglich vorgesehene (s. u.) Übernahme der Formulierungen in die Störfall-Verordnung erfolgte nicht.

Gemäß § 50 BlmSchG sind bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass von schweren Unfällen i. S. d. Art. 3 Nr. 5 der Richtlinie 96/82/EG in Betriebsbereichen hervorgerufene Auswirkungen auf die ausschließlich dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete so weit wie möglich vermieden werden. Der § 50 Satz 1 BlmSchG beschränkt seinen Anwendungsbereich auf raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen. Schon diese Einschränkung kennt das Gemeinschaftsrecht nicht, das in Art. 12 der Richtlinie 96/82/EG weitergehend „andere einschlägige Politiken“ auf das Ziel der Wahrung angemessener Abstände zwischen Störfallanlagen und schützenswerten Gebieten verpflichtet (Sellner<sup>37</sup> 2004).

Nach § 50 S. 1 BlmSchG sollen allein die Auswirkungen schwerer Unfälle so weit möglich vermieden werden. Die isolierte Betrachtung von Auswirkungen lässt dabei außer Betracht, dass Risikobetrachtungen neben Auswirkungen eines Ereignisses stets auch dessen Wahrscheinlichkeit einbeziehen müssen und das europäische Störfallrecht nicht nur Menschen und Umwelt außerhalb der Störfallanlage, sondern auch Menschen und Umwelt innerhalb der Anlage schützt. Die Novellierung des § 50 S. 1 BlmSchG erfolgte durch das 5. Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 19.10.1998 (BGBl I, 2178). Dieses Gesetz fügte in § 50 S. 1 BlmSchG nach dem Begriff „Schädliche Umwelteinwirkungen“ die Wörter „und von schweren Unfällen i. S. des Art. 3 Nr. 5 der Richtlinie 96/82/EG in Betriebsbereichen hervorgerufene Auswirkungen“ ein. Über diese geringfügige Änderung hinaus hielt der Gesetzgeber weitere Regelungen nicht für erforderlich. Die inhaltliche Umsetzung der Seveso-II-Richtlinie durch eine neue Störfall-Verordnung sollte durch § 50 S. 1 BlmSchG nicht vorgeprägt werden<sup>38</sup>. Die wesentlichen Änderungen sollten in der Störfall-Verordnung erfolgen. Änderungen der Störfall-Verordnung auf Grund von Artikel 12 Seveso-II-Richtlinie sind jedoch nicht erfolgt.

Dies ist sowohl für betroffene Bürger als auch Betreiber gefährlicher Anlagen wenig zufriedenstellend. Beispielhaft genannt sei der Ausbau des Flughafens Frankfurt. So haben die Flughafengegner Beschwerde bei der EU eingelegt, weil im Raumordnungsverfahren die Beurteilung des Risikos eines Flugzeugabsturzes auf das Chemiewerk Ticona nicht ausreichend berücksichtigt worden sei. Auch in der Frage der technischen Risikobeurteilung „tobt“ eine bis heute andauernde Auseinandersetzung der Gutachter einschließlich einer die bisherigen Gutachten ablehnenden Pressemitteilung der Störfallkommission Anfang 2004 [Ticona].

Von besonderer und grundsätzlicher Bedeutung ist dabei die Frage, inwieweit sich aus Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie eine drittschützende Wirkung für Anwohner ableiten lässt und umgekehrt, ob Anlagenbetreiber einen angemessenen Abstand, wie in Artikel 12 gefordert, durchsetzen können.

Diese Fragestellung betrifft z. B. die Planung einer neuen Autobahnzufahrt in unmittelbarer Nähe einer Chemieanlage. Für den Drittschutz sind die unterschiedlichen Ebenen der Bauleitplanung und des immissionsschutzrechtlichen bzw. baurechtlichen Genehmigungsverfahrens zu unterscheiden. Nachbarschützende Vorschriften sind dabei solche, die zumindest auch den Interessen des Nachbarn zu dienen bestimmt sind. Die Ebene der Flächennutzungsplanung bindet zunächst nur die Verwaltung (s. *Kapitel 3.1.2 Bauplanungsrecht und Bauordnungsrecht*). Soll z. B. eine Autobahnanschlussstelle geplant werden, ist nach erfolgter grundsätzlicher Zustimmung des Bundesverkehrsministeriums (Zuständigkeit des Bundes berührt) ein Planfeststellungsverfahren einzuleiten. Voraussetzung hierzu ist u. a. das Vorliegen der planungsrechtlichen Voraussetzungen. Diese können z. B. den Flächennutzungsplan betreffen. Auf dieser Ebene kann der Betreiber einer Störfallanlage zur Zulässigkeit des Vorhabens in unmittelbarer Nachbarschaft zu seinem Betrieb Bedenken vortragen und auf eingeschränkte Entwicklungsmöglichkeiten seines Unternehmens am Standort bei einer Realisierung des Vorhabens hinweisen. Eine Klagebefugnis hat er zunächst nicht, da die planerischen Änderungen nur die Verwaltung „binden“. Eine Klage ist u. U. erst Jahre später nach der Durchführung eines aufwendigen Planfeststellungsverfahrens für das Verkehrsvorhaben möglich.

Bezogen auf den Drittschutz wesentlich interessanter ist daher für den Bereich der Bauleitplanung die Aufstellung von Bebauungsplänen durch die Gemeinde als Satzung. Dabei sind die öffentlichen und privaten Belange gegeneinander und untereinander abzuwägen. Dies betrifft insbesondere die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung ([BauGB], § 1) sowie bei bestehender Nutzung das Eigentumsrecht ([GG], Art. 14). Gleichzeitig ist auch der Planungsgrundsatz, dass bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen sind, dass schädliche Umwelteinwirkungen und von schweren Unfällen im Sinne der Seveso-II-Richtlinie in Betriebsbereichen hervorgerufene Auswirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienende Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete soweit wie möglich vermieden werden, zu beachten. Dies steht in Einklang mit dem Konfliktvermeidungsgebot<sup>39</sup> und wird in der Rechtsprechung auch als Optimierungsgebot<sup>40</sup> bezeichnet.

Die Aufstellung oder Änderung von Bebauungsplänen wird von der Gemeinde öffentlich bekannt gemacht. Hier besteht für Anlagenbetreiber die Möglichkeit, vor Verwaltungsgerichten zu klagen. Diesen Weg hat das von Wohnbebauung und anderer, nicht industrieller oder gewerblicher Nutzung eingekreiste Unternehmen Merck in Karlsruhe in 9 Fällen gegen die Stadt Karlsruhe beschritten [Becher 2006]. Entscheidungen hierzu stehen al-

lerdings noch aus.

### **3.2.5.1 Konsultationsverfahren**

Ein weiterer Punkt ist das in der Seveso-II-Richtlinie angesprochene Konsultationsverfahren zur Sicherstellung eines Informationsaustausches zwischen den Behörden zur Umsetzung der Ziele des Art. 12 Abs. 1. Es wurden keine neuen, über die bereits vorhandenen Regelungen hinausgehenden oder diese ergänzenden Regelungen implementiert.

Bei der Errichtung und wesentlichen Änderung von genehmigungsbedürftigen Anlagen nach BlmSchG ist die Beteiligung der sonstigen Behörden gemäß § 10 Abs. 5 BlmSchG i. V. m. §§ 11, 11a der 9. BlmSchV, deren Aufgabenbereiche durch die geplante Maßnahme berührt werden, vorzunehmen. Sicherheitstechnisch i. S. der Störfallprävention relevante Änderungen bei bestehenden Anlagen werden in der Regel wesentlich im Sinne von § 16 BlmSchG sein. Insofern ist ein immissionsschutzrechtliches Zulassungsverfahren durchzuführen. Die Regelungen zur Behördenbeteiligung und zur Beteiligung der Öffentlichkeit ergeben sich daher aus dem Bundes-Immissionsschutzgesetzes und dessen Durchführungsverordnungen insbesondere der Durchführungsverordnung zum Genehmigungsverfahren [9. BlmSchV]. Bei der Genehmigung von Vorhaben nach Baurecht in der Nachbarschaft von Betriebsbereichen ist von Seiten der Bauaufsicht auf eine ausreichende Information und Beteiligung der für den Immissionsschutz und damit den Vollzug der Störfall-Verordnung zuständigen Fachbehörden zu achten (s. *Kapitel 3.1.3 Zulassung von Vorhaben*).

Bei der Prüfung der nach den Vorgaben des Baurechts im Rahmen des immissionsrechtlichen Genehmigungsverfahrens vorzulegenden Unterlagen legen die Baubehörden bisher in der Praxis allerdings keinen Wert z. B. auf die in den Sicherheitsberichten bereit gestellten Informationen, zur Ermittlung angemessener Abstände aus bautechnischer Sicht. Hier sind konkrete Regelungen in den Einzelgesetzen oder im Bundes-Immissionsschutzgesetz erforderlich. Die bisher zur Verfügung stehenden „Instrumente“ zur Überwachung der Entwicklung in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche sind aus der Sicht der Verwaltungspraxis ungeeignet. Auch ist die Zielrichtung der Vorgabe und die Verteilung der Behördenkompetenzen unklar. Eine Möglichkeit ist die Regelung des Vorgehens in den Einzelgesetzen, z. B. im Bereich des Immissionsschutzrechts die 9. Durchführungsverordnung (Genehmigungsverfahren) zum Bundes-Immissionschutzgesetz entsprechend zu ergänzen. Die bessere Alternative wäre es, eine übergeordnete Regelung für die unterschiedlichen Rechtsbereiche vorzunehmen. Allerdings würde die „große Lösung“ erheblichen Abstimmungsbedarf verschiedener Ressorts auslösen. Den übergreifenden Charakter der Regelungen soll die nachfolgende Abbildung (Abb. 3.2.5.1/1 Instrumente der kommunalen Bauleitplanung und Bedeutung) verdeutlichen:

<b>Konsultationsverfahren entwickeln</b>	
<b>Flächennutzungsplan</b> § 5 BauGB, gemeindeumfassendes Bodennutzungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behördeninterne Vorgabe für Bebauungspläne einschließlich Vorhaben- und Erschließungspläne sowie Satzungen;</li> <li>• Steuerung des Baugeschehens im Außenbereich;</li> <li>• Beachtlichkeit für andere Planungsträger</li> </ul>
<b>Bebauungsplan</b> § 8 BauGB, verbindliche Regelung der zulässigen Bodennutzungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normative Bindung für die Zulässigkeit von Vorhaben im Planungsbereich;</li> <li>• Angebotsplanung, durch „jeder-mann“ umsetzbar</li> </ul>
<b>Vorhaben- und Erschließungsplan</b> § 12 BauGB, Vorhaben bezogene Sonderform des Bebauungsplans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normative Bindung für die Zulässigkeit von Vorhaben im Plangebiet;</li> <li>• Vorhabenplanung durch Vorhabenträger umzusetzen</li> </ul>
<b>Innenbereichssatzungen</b> § 34 Abs. 4 BauGB, Festlegung der Grenzen des Innenbereichs	Normative Bindung für Grenzziehung zwischen Innen- und Außenbereich
<b>Immissionsschutz</b>	
<b>Anlagenzulassung</b>	Vorhaben müssen sich in vorhandene Nutzung „einfügen“
<b>Anlagenüberwachung</b>	ggf. ist eine Anpassung an den Stand der Technik erforderlich
<b>Fachplanungen, Planfeststellungsverfahren</b>	
<b>Verkehrsplanung</b>	benachbarte Störfallanlagen berücksichtigen

Abb. 3.2.5.1/1: Instrumente der kommunalen Bauleitplanung und Bedeutung

Insgesamt ist die Umsetzung von Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie sowohl in der Anpassung materiellen Rechts als auch der Ausgestaltung der Konsultationsverfahren nur unvollständig erfolgt und ergänzungsbedürftig.

### 3.2.6 Überarbeitung der Seveso-II-Richtlinie vom 16.12.2003

Die auf der Ebene der Europäischen Kommission feststellbare Tendenz, Risikobetrachtungen verstärkt in rechtliche und technische Entscheidungsprozesse bei der Beurteilung gefährlicher Anlagen einfließen zu lassen, findet ihren Niederschlag in der überarbeiteten Seveso-II-Richtlinie von Dezember 2003. In Artikel 12 der novellierten Richtlinie werden auch angemessene Abstände zu „wichtigen Verkehrswegen“ nunmehr benannt. Diese über die Betrachtung einzelner Anlagen hinausgehende Betrachtungsweise lässt sich aus

der Entstehungsgeschichte sowie Sinn und Zweck der Richtlinie, der Verhütung schwerer Unfälle und der Begrenzung der Unfallfolgen für Mensch und Umwelt zu dienen, ableiten.

Des Weiteren sind in den auf die Verabschiedung folgenden 3 Jahren Leitlinien für die Erstellung einer europäischen Datenbank zur Erfassung der für die Beurteilung der von „Sevesobetrieben“ ausgehenden Risiken zu entwickeln. Die Änderungen sind auf nationaler Ebene innerhalb von 18 Monaten umzusetzen. Insbesondere der Inhalt und die Verwendung der aus der Datenbank zu entnehmenden Informationen hat auch in Deutschland eine engagierte Diskussion in den die Bundesregierung beratenden Gremien wie der Störfallkommission und dem Technischen Ausschuss für Anlagensicherheit ausgelöst. Beide Gremien wurden zwischenzeitlich durch die Einrichtung der Kommission für Anlagensicherheit [KAS] abgelöst bzw. zusammengeführt.

### **3.2.7 Novellierung der Störfall-Verordnung vom 08.06.2005**

Die Umsetzung der Änderungen der Seveso-II-Richtlinie vom 16.12.2003 erfolgte mit der Novellierung der Störfall-Verordnung vom 08.06.2005. Parallel wurde das Bundes-Immissionsschutzgesetz angepasst (§ 50 *Planung BImSchG*).

Zusätzlich entfallen wesentliche deutsche Sonderregelungen, die über eine sog. 1:1-Umsetzung der europäischen Vorgaben hinausgingen. Der komplette Anhang 7 mit den deutschen Sonderanforderungen bezogen auf explosionsfähige Staub-/Luftgemische, hochentzündliche verflüssigte Gase (einschließlich Flüssiggas) und Erdgas sowie Ammoniak und der sog. Anlagen bezogene Sicherheitsbericht (Dritter Teil: §§ 17, 18 der 12. BImSchV) entfallen somit.

Des Weiteren ändern sich teilweise die Stoff bezogenen Mengenschwellen bzw. kommen Stoffe hinzu oder entfallen Stoffe. Dies hat zur Folge, dass Anlagen die bisher nicht vom Regelungskreis der Störfall-Verordnung berührt waren, durch eine Novellierung weitgehenden Anforderungen der Verordnung unterliegen. Dies wiederum hat in der Folge Auswirkungen auf die planerische Beurteilung dieser Anlagen und ihrer Umgebung. Umgekehrt werden Anlagen aus ihren Pflichten entlassen.

Eine Übernahme der Regelungen in Bezug auf den Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie in die Störfall-Verordnung erfolgt weiterhin nicht.

### **3.2.8 Störfallprävention im Rahmen der Bauleitplanung**

Für alle Betriebsbereiche i. S. d. Störfall-Verordnung gelten die allgemeinen Betreiberpflichten nach § 3 der Störfall-Verordnung [Störfall-Verordnung, § 3]. Danach ist als Mindestforderung Standort unabhängig sicherzustellen, dass der Betriebsbereich und damit die sich darauf befindlichen Anlagen nach dem Stand der Sicherheitstechnik errichtet und betrieben werden (§ 3 Abs. 4 der Störfall-Verordnung). Diese selbständige Grundpflicht gilt dementsprechend auch bei einem ausreichenden bzw. größerem als mindestens erforderlichen Sicherheitsabstand zu einem schutzwürdigen Gebiet (§ 50 BImSchG, Art. 12 SEVESO II- Richtlinie). Die nach dem Stand der Sicherheitstechnik zu fordernden Maßnahmen und Vorkehrungen können nicht durch immissionsschutz- oder planungsrechtliche Abstandsfestsetzungen gemindert oder sogar ersetzt werden.

Die nach „Art und Ausmaß“ erforderlichen Schutzvorkehrungen zur Verhinderung von

Störfällen (§ 3 Abs. 1 Störfall-Verordnung) können sich auf Lage, Beschaffenheit und Betrieb der Anlage bzw. des Betriebsbereichs beziehen; das Immissionsschutzrecht enthält hierzu keine abschließende Verpflichtung (§ 3 Abs. 1). Neben den Störfall verhindernden Maßnahmen (§ 3 Abs. 1 der Störfall-Verordnung) kommen Störfall begrenzende Maßnahmen auf Grund von § 3 Abs. 3 der Störfall-Verordnung in Betracht. Denn § 3 Abs. 3 der Störfall-Verordnung geht von der Möglichkeit aus, dass die aufgrund von § 3 Abs. 1 der Störfall-Verordnung zu ergreifenden Maßnahmen zur Verhinderung eines Störfalles aus nicht vorhersehbaren Gründen nicht greifen. Die Anforderungen auf Grund von § 3 Abs. 3 der Störfall-Verordnung gehen daher über die Anforderungen nach § 3 Abs. 1 der Störfall-Verordnung hinaus.

Konkretisiert werden die auswirkungsbegrenzenden Pflichten insbesondere durch die §§ 5 und 6 der Störfall-Verordnung. Als Störfall begrenzende Maßnahme wurden Abstände zum Schutz Dritter gerichtlich<sup>41</sup> anerkannt. Insofern können im Sinne des Störfallrechtes Sicherheitsabstände ergänzende Vorkehrungen sein. Mit dem Wortlaut von § 3 Abs. 3 der Störfall-Verordnung „über Absatz 1 hinaus“ ist allerdings klargestellt, dass vorrangig die in § 3 Abs. 1 und 2 der Störfall-Verordnung geforderten innerbetrieblichen Vorkehrungen und Maßnahmen nach dem Stand der Sicherheitstechnik zu beachten und umzusetzen sind.

Hinsichtlich der Reichweite von Sicherheitsabständen als ergänzende Mittel zur Begrenzung von Störfallauswirkungen ist außerdem zu beachten, dass sich diese immissionsschutzrechtlich auf den konkreten Einzelfall beziehen müssen. Sicherheitsabstände dürfen daher im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren nicht auf einer abstrakt-statistischen Betrachtung beruhen, vielmehr muss es sich um ein konkret bekanntes Vorhaben handeln; die Sicherheitsabstände sind danach zu bemessen, mit welchen Auswirkungen eines Ereignisses nach der konkreten Beschaffenheit und Lage der Anlage bzw. des Betriebsbereichs zu rechnen ist. Der VGH Kassel hat in einer Grundsatzentscheidung vom 23.01.2001<sup>42</sup> ausgeführt, dass die Entscheidung, ob und ggf. wie groß ein einzuhaltender Sicherheitsabstand gemäß § 3 Abs. 3 der 12. BlmSchV zu bemessen ist, in Ermangelung einschlägiger Regelwerke nach § 31 a Abs. 4 BlmSchG jeweils im konkreten Einzelfall Anlagen bezogen zu entscheiden sei. Der Standard „Stand der Sicherheitstechnik“ sei nicht absolut und nicht für jede zu genehmigende Anlage gleichsam schematisch anwendbar, sondern jeweils im Einzelfall vom Grad der mit der Anlage verbundenen Gefahren und der Schwere der daraus resultierenden möglichen Auswirkungen im Störfall abhängig. Daher habe nicht eine abstrakt-statistische, sondern eine konkret Anlagen bezogene Beurteilung zu erfolgen. Die Reichweite von Sicherheitsabständen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen sei in erster Linie danach zu bestimmen, mit welchen Auswirkungen bei Störfällen nach der konkreten Beschaffenheit und Lage der zu genehmigenden Anlage zu rechnen sei und nicht danach, welche Störfallauswirkungen bei anderen Anlagen bereits aufgetreten sind bzw. mit welchen Störfallfolgen nach einer abstrakt-statistischen Betrachtung gerechnet werden könne.

Die Ausführungen des VGH Kassel sind sicherlich keine unangreifbaren Dogmen, zumindest lässt sich aus Ihnen aber ableiten, dass „starre“ Abstände den Anforderungen einer individuellen Entscheidung nicht genügen. Hinzu kommt, dass bei der „beanstandeten“ Vorgehensweise auch das von einer Anlage ausgehende Risiko nicht betrachtet wird. Die genannten Grundsätze zielen auf die Ebene der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung ab und stellen insofern keinen Widerspruch zu der von der Rechtsprechung anerkannten „pauschalisierenden“ Betrachtung im Rahmen der Bauleitplanung dar (s. Kapitel 2.2 *Abstandserlass NRW*). Bisher wurden typisierende Betrachtungen in der Bauleitpla-

nung auf Anlagentypen beschränkt; z. B. können bestimmte Anlagentypen planerisch ausgeschlossen werden. Dabei wird bestimmten Anlagentypen die Handhabung bestimmter „typischer“ Stoffe zugeordnet. Maßgeblich für die Festlegung des erforderlichen Abstandes sind, im Sinne einer pessimalen Betrachtung, die Stoffe mit den größten Auswirkungen bei einem Ereignis.

Die Orientierung an „Leitstoffen“ ist bei der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung in Gerichtsentscheidungen anerkannt (s. *Kapitel 3.4 Verwendung von „Standard-Szenarien“*). Auf Grund des besonderen Gefährdungspotentials der in einer Störfallanlage gehandhabten Stoffe ist im Analogschluss zu fordern, entsprechende - Stoff bezogene - Überlegungen bei Störfallanlagen in der Bauleitplanung vorzunehmen. Auch in dieser Hinsicht reichen die in der Praxis bisher angestellten Überlegungen auf der Ebene der Bauleitplanung nicht aus. In dieser Hinsicht besteht Übereinstimmung mit der Vorgehensweise des gemeinsamen Arbeitskreises von Störfallkommission und Technischem Ausschuss für Anlagensicherheit AK Überwachung (s. *Kapitel 9.3 Vorgehensweise im Leitfaden (SFK/TAA-GS-1)*).

### **3.3 Bestehende Anlagen**

Von großem praktischen Interesse ist die Abgrenzung der Anforderungen in der Bauleitplanung von den für bereits bestehende Anlagen zu fordernden Maßnahmen. Für den betroffenen Bürger ist es nur schwer nachzuvollziehen, weshalb Grundsätze der Planungsebene nicht so ohne weiteres auf bestehende Situationen übertragen werden können und umgekehrt. Diese Rechtssystematik einer strikten Unterscheidung zwischen den Anforderungen an bereits bestehende Anlagen und den Anforderungen auf der Ebene der Bauleitplanung, wird im benachbarten Ausland, z. B. den Niederlanden, so nicht geteilt.

Bei bestehenden Betriebsbereichen hat sich die zuständige Behörde davon zu überzeugen, dass der Betreiber hinreichende Vorkehrungen getroffen hat, dem Schutzziel und den Vorgaben der Verordnung zu genügen; hierzu dient u. a. das störfallrechtlich angeordnete Überwachungssystem (§ 16 der Störfall-Verordnung). In der Regel werden bei bestehenden Betriebsbereichen keine zusätzlichen Abstände wegen nahe gelegener Schutzobjekte oder schutzwürdiger Gebiete gefordert werden können; ggf. sind jedoch in solchen Fällen zusätzliche technische Maßnahmen zu prüfen und ordnungsbehördlich anzuordnen. Im Extremfall ist allerdings die Stilllegung einer Anlage geboten, wenn z. B. auf Grund neuer Erkenntnisse und mangels verhältnismäßiger technischer Maßnahmen ein Weiterbetrieb unverantwortbar erscheint. Aktuelle Beispiele der Anlagenstilllegung sind aus Frankreich und den Niederlanden bekannt. Diese betreffen die Lagerung von Ammoniumnitrat (Toulouse 2001) und die Lagerung von Flüssiggas an Tankstellen in den Niederlanden [Bottelberghs 2005].

Durch die Forderungen aus Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie, in den „Politiken“ für angemessene Abstände, insbesondere zwischen Wohnbebauung (aber auch anderer schützenswerter Nutzung) und industrieller Nutzung zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen, damit es zu keiner Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung kommt, gewinnt die Bewertung von „Altstandorten“ in Bezug auf die Störfallprävention an Bedeutung. Eine Möglichkeit, die erforderlichen Abstände im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren oder bestehender Anlagen zu ermitteln, besteht in der Verwendung von Standardszenarien. Ebenso von Interesse ist die Umsetzung der ermittelten Ergebnisse durch nachträgliche Anordnungen, den Widerruf der Genehmigung oder die Untersagung

der Inbetriebnahme oder Weiterführung einer Anlage. Auf die genannten Punkte wird nachfolgend und in *Kapitel 3.4 Verwendung von Standard-Szenarien* eingegangen.

### **3.3.1 Grundsatz der Verhältnismäßigkeit: Nachträgliche Anordnung von Sicherheitsabständen, Widerruf der Genehmigung**

Eines der Grundprinzipien verwaltungsrechtlichen Handelns und des Rechtsstaates überhaupt ist das Prinzip der Verhältnismäßigkeit anzuordnender Maßnahmen. Der Aspekt der Verhältnismäßigkeit verwaltungsrechtlicher Maßnahmen spielt in der Anlagenüberwachung und Zulassung, insbesondere bei der Anordnung zusätzlicher Maßnahmen bei bereits bestehenden Anlagen, eine wichtige Rolle. Auf eine grundsätzliche Erörterung verfassungsrechtlicher Fragen wird verzichtet, vielmehr wird auf den Aspekt der Anlagensicherheit im Folgenden in knapper Form eingegangen.

Zunächst stellt sich die Frage nach den Bezugsgrößen. Etwas vereinfachend lassen sich diese als Abwägung des zusätzlichen sicherheitstechnischen Nutzens einer Maßnahme gegen den erforderlichen technischen und wirtschaftlichen Realisierungsaufwand für den Anlagenbetreiber beschreiben. Dabei ist die Ebene der Zumutbarkeit bzw. der Verhältnismäßigkeit im engeren Sinne, besonders zu betrachten. Zwar besteht die grundsätzliche Schwierigkeit bei der Aufstellung dieser Zweck-Mittel-Relation darin, dass zwei Bezugsgrößen ohne gemeinsame Vergleichsgrundlage gegeneinander abgewogen werden müssen. Allerdings stehen bei der Prüfung zunächst die sicherheitstechnischen Verhältnisse der betroffenen Anlage im Vordergrund, so dass sich das angedeutete Spannungsfeld in der Praxis ein wenig „entschärfen“ lässt.

Folgende Kriterien zur Beurteilung der Zumutbarkeit lassen sich dabei insbesondere herangezogen. Von besonderer Bedeutung ist der Grundsatz der Risikoproportionalität, der das gesamte Recht der Sicherheitstechnik durchzieht (s. *Kapitel 3.2.1.1.2 Maßstab der Proportionalität* und dort angestellte Überlegungen). Dieser wirkt sich dabei in der Weise aus, dass Anlagen, deren Gefährdungspotential um Größenordnungen von dem durchschnittlichen Gefährdungspotenzial vergleichbarer („moderner“) Anlagen abweicht, ein Gesamtsicherheitsniveau erreichen müssen, das in entsprechender Weise auf das Gefährdungspotential abgestimmt ist. Dieser Aspekt der Verhältnismäßigkeit ist im Rahmen der Störfallvermeidungspflicht in § 3 Abs. 1 der 12. BlmSchV berücksichtigt worden (*Der Betreiber hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern ...*). Bei der Sicherheitspflicht des § 3 Abs. 4 der 12. BlmSchV (*Die Beschaffenheit und der Betrieb der Anlagen des Betriebsbereichs müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen*) wird er hingegen im Sinne einer Standort unabhängigen Mindestforderung, eingebracht [Hansmann 23. Auflage].

Ein weiterer wichtiger Punkt zur Beurteilung des durch eine Nachrüstungsmaßnahme erreichbaren sicherheitstechnischen Zusatznutzens ist das bisher erreichte Sicherheitsniveau. Dieses Sicherheitsniveau resultiert aus den zur Bewältigung bekannter Belastungen notwendigen Anforderungen, die bei der Auslegung mit „Zuschlägen“ beaufschlagt werden, um die bestehenden „Unsicherheiten“ (über Sicherheitsfaktoren) mit abzudecken. Je höher der durch Zuschläge erreichte Anteil am Sicherheitsniveau ist, desto geringer wird der durch eine zusätzliche Sicherheitsmaßnahme erreichbare Zusatznutzen. Dies hat zur Folge, dass innerhalb eines Sicherheitskonzepts, bei dem die Sicherheitszuschläge insgesamt unterdurchschnittlich sind, die Zumutbarkeit einer sicherheitstechnischen Nachrüstungsmaßnahme eher anzunehmen ist als bei einem Sicherheitskonzept mit insgesamt

sehr hohen Zuschlägen. Nicht unproblematisch und zumindest sehr aufwendig ist dabei bei komplexeren Technologien die Bewertung der einzelnen Maßnahmen.

Des Weiteren ist bei der Zumutbarkeitsprüfung der abnehmende Grenznutzen zusätzlicher Maßnahmen heranzuziehen. Dieses Kriterium gilt für Maßnahmen der Emissionsminderung ebenso wie für sicherheitstechnische Maßnahmen. In beiden Bereichen nimmt der Zusatznutzen für jede eingesetzte Maßnahme exponentiell ab, sofern bereits ein sehr hoher Standard erreicht ist. In diesem Bereich kann der erforderliche Realisierungsaufwand außer Verhältnis zum erzielbaren Sicherheitsnutzen stehen. Teilweise wird der Stand der Technik oder Sicherheitstechnik durch gesetzliche Vorgaben definiert. Dies können z. B. Durchführungsverordnungen zum BImSchG sein, z. B. zu den Anforderungen an Großfeuerungsanlagen (13. BImSchV). Ein vergleichbarer „rechtlicher Charakter“ kommt bestimmten Verwaltungsvorschriften zu, die den Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik wieder spiegeln und als Mindestanforderungen an die Anlagentechnik zu verstehen sind.

In der Rechtsprechung wurde hierzu das Instrument des „antizipierten Sachverständigen-Gutachtens“ entwickelt. Besonders hervorzuheben sind dabei die Technischen Anleitungen zur Reinhaltung der Luft [TA Luft] und zum Lärm [TA Lärm]. In diesem Fall rechtlicher bzw. somit unmittelbar auch technischer Vorgaben durch den Gesetzes- oder Verordnungsgeber ist die Verhältnismäßigkeitsprüfung durch diesen im Zuge des „parlamentarischen Verfahrens“ bereits erfolgt. Die technische Erreichbarkeit der rechtlich geforderten Werte ist dabei bereits Gegenstand der Prüfung im parlamentarischen Verfahren und Grundlage der Entscheidung.

Gelangt die Behörde nach sorgfältiger Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik und Abwägung der Umstände zu dem Ergebnis, dass ein Sicherheitsabstand nach § 3 Abs. 1 der 12. BImSchV zwischen Wohnbebauung und industrieller Nutzung zu verlangen ist, stellt sich die Frage des Erlasses einer nachträglichen Anordnung nach § 17 BImSchG und des Widerrufs der Genehmigung nach § 21 Abs. 1 Nr. 3 und 5 BImSchG. Nach § 17 Abs. 2 S. 2 BImSchG soll bei Unverhältnismäßigkeit einer nachträglichen Anordnung die Behörde die Genehmigung nach § 21 Abs. 1 Nr. 3 bis 5 ganz oder teilweise widerrufen<sup>43</sup>. Damit wird der Vorrang einer (verhältnismäßigen) Anordnung nach § 17 BImSchG gegenüber dem Widerruf zum Ausdruck gebracht, der aus dem Prinzip der Wahl des mildernden Mittels folgt; die Behörde kann daher nicht von vornherein die Genehmigung widerrufen<sup>44</sup>.

Schließlich kommen im Rahmen der Verhältnismäßigkeitsprüfung die Fragen der kompensatorischen Maßnahmen, gleich ob nach § 3 Abs. 1 oder § 3 Abs. 3 der 12. BImSchV, zum Tragen. Selbst wenn die Behörde zu dem Schluss gekommen ist, dass der Stand der Sicherheitstechnik auch Sicherheitsabstände umfasst, ist damit noch keine Entscheidung über mögliche anderweitige Maßnahmen zur Störfallverhinderung oder Auswirkungsbegrenzung getroffen. Im Sinne einer zweistufigen Prüfung hat daher die Behörde zunächst zu ermitteln, welcher Abstand dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen würde, und in einer zweiten Stufe im Rahmen der Verhältnismäßigkeit zu entscheiden, ob nicht mildeere Mittel als der Sicherheitsabstand zur Verfügung stehen, um das angestrebte Ziel der Störfallverhinderung oder der Auswirkungsbegrenzung zu erreichen. Ergibt sich danach, dass nur ein Sicherheitsabstand in Betracht kommt, der aber von der Anlage nicht eingehalten werden kann, kommt ein Widerruf nach § 21 Abs. 1 Nr. 3 oder Nr. 5 BImSchG in Betracht. Zwar scheint der Widerruf nach § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG von vornherein auszuscheiden, da er „neue Tatsachen“ (im Sinne neuer sicherheitstechnischer Erkenntnisse) erfordert. Doch lässt sich die Feststellung eines Standes der Sicherheitstechnik nicht von

der Änderung der Gefahrenbewertung oder einer neuen Sicherheitsphilosophie trennen [Roßnagel 1993].

Neue Tatsachen im Sinne des § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG können aber auch in Form von neuen Bewertungen und Erkenntnissen über altbekannte Gefahrenlagen vorliegen<sup>45</sup>. Dies ist von der einschlägigen Rechtsprechung zu Sicherheitsabständen auch durchweg anerkannt worden. So das OVG Lüneburg in dem Beschluss vom 07.03.1988<sup>46</sup>:

*„Allerdings wird auch für § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG eine konkrete Gefahr für die Allgemeinheit verlangt, da sonst das Merkmal Gefährdung des öffentlichen Interesses keine eigenständige Bedeutung habe. Daran soll es aber nach einigen instanzgerichtlichen Entscheidungen fehlen, wenn ein nur auswirkungsbegrenzender Sicherheitsabstand angeordnet wird und Gutachter festgestellt haben, dass keine Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind. Das Problem besteht hier indes darin, dass auswirkungsbegrenzende Sicherheitsabstände nach § 3 Abs. 3 der 12. BImSchV gerade keine Abwehrmaßnahmen einer konkreten Gefahr darstellen, sondern auf der abstrakten „Gefahrengelegenheit“ einer Anlage und einer Gefahrenabwehr in zweiter Linie beruhen.“*

Bei der Entscheidung über einen Widerruf der Genehmigung gemäß § 21 BImSchG auf Grund eines als zu gering bewerteten Abstandes zwischen bereits bestehender industrieller Nutzung und Wohnbebauung kommt dem Begriff der konkreten Gefahr demnach entscheidende Bedeutung zu. Insbesondere ist abzuwägen, ob alternativ zum Widerruf der Genehmigung eine nachträgliche Anordnung gemäß § 17 BImSchG in Betracht kommt.

Das Dilemma zwischen dem Verweis von § 17 Abs. 2 S. 2 auf § 21 BImSchG, das nicht nur bei Anordnungen nach § 3 Abs. 3 der 12. BImSchV, sondern auch bei Vorsorgemaßnahmen nach § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG auftritt, lässt sich nur durch eine Interpretation des Merkmals „Gefährdung des öffentlichen Interesses“ des § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG im Lichte des § 17 Abs. 2 BImSchG lösen. Denn sonst wäre der Verweis des § 17 Abs. 2 S. 2 BImSchG auf die Widerrufsbestimmungen nur in den Fällen gerechtfertigt, in denen es um eine nachträgliche Anordnung zur Abwehr von konkreten Gefahren ginge. § 17 Abs. 2 S. 2 BImSchG bezieht sich jedoch ersichtlich auf alle nachträglichen Anordnungen. Für eine erweiterte Auslegung des § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG spricht die Einengung des Ermessens in § 17 Abs. 2 S. 2 BImSchG, wonach bei einer Unverhältnismäßigkeit die Behörde den Widerruf aussprechen „soll“. Mithin kann ein Widerruf der Genehmigung nach § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG nicht allein wegen mangelnder konkreter Gefährdung bei ansonsten unverhältnismäßiger Anordnung nach § 17 BImSchG ausgeschlossen sein. Dagegen bleibt es angesichts des eindeutigen Merkmals der schweren Nachteile für das Gemeinwohl in § 21 Abs. 1 Nr. 5 BImSchG bei der erforderlichen konkreten Gefährdung, so dass ein Widerruf nach § 21 Abs. 1 Nr. 5 BImSchG wegen mangelnder Sicherheitsabstände bei Fehlen einer konkreten Gefahr ausscheidet, sondern nur nach § 21 Abs. 1 Nr. 3 BImSchG in Betracht kommt. Das beschriebene Dilemma führt in der Verwaltungspraxis dazu, dass in Deutschland, anders als in den Nachbarländern Niederlande oder Frankreich (s. Kapitel 3.3 Bestehende Anlagen), bestehende Anlagen ohne Vorliegen einer konkreten Gefahr, nicht stillgelegt werden.

### **3.3.2 Untersagung der Inbetriebnahme oder Weiterführung einer Anlage**

Bisher in der Verwaltungspraxis und auch in der juristischen Literatur von erstaunlich geringer Resonanz blieben bisher die Bestimmungen des § 20 Abs. 1a BImSchG [BImSchG, § 20]. Diese wurden 1998 durch das Fünfte Gesetz zur Änderung des Bundes-

Immissionsschutzgesetzes (BGBl. I S. 3178) in das Gesetz eingefügt. Die Formulierung geht auf die Umsetzung des Artikels 17 der Seveso-II-Richtlinie von 1996 zurück. Satz 2 gestattet die Untersagung der Inbetriebnahme oder des Weiterbetriebs einer von § 20 Abs. 1a BlmSchG erfassten genehmigungsbedürftigen Anlage auch bei unzureichender Erfüllung bloß formeller Pflichten. Diese Pflichten werden allerdings weder im Bundes-Immissionsschutzgesetz noch in der Störfall-Verordnung weiter konkretisiert.

Die Regelung ist insofern von Brisanz, als das Änderungen in der Einstufung von Stoffen oder Stoffklassen im Rahmen der Störfall-Verordnung zu einer geänderten Planungssituation führen können. Aus immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen werden dann Störfallanlagen. Dabei ist auf die Frage hinzuweisen, ob Anwohner im Sinne des Drittschutzes sich auf nicht ausreichende Abstände bei geänderten Planungssituationen berufen können. Zwar liegt eine Planungssituation bei bestehenden Anlagen „naturgemäß“ nicht mehr vor. Trotzdem ist ja durch den Gesetzgeber eine Neubewertung des von der Anlage ausgehenden Risikos für die Anwohner durch die Änderung der Störfall-Verordnung erfolgt. Daher ist zu klären, ob ein Anspruch auf die Anordnung zusätzlicher Maßnahmen durch Überwachungsbehörden aus der geänderten Bewertung der Anlage abgeleitet werden kann. Entscheidungen der Verwaltungsgerichte liegen zur Zeit noch nicht vor.

### **3.3.3 Überwachung der Entwicklung in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche**

Die nachfolgend genannten Instrumente des Immissionsschutzrechts können für die Überwachung der Entwicklung in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche nutzbar gemacht werden.

Für Betriebsbereiche, die den erweiterten Pflichten unterliegen, ist gemäß § 9 der Störfall-Verordnung ein Sicherheitsbericht zu erstellen. Darin sind auch ausreichende Informationen bereitzustellen, damit die zuständige Behörde Entscheidungen über die Ansiedlung neuer Tätigkeiten oder Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche treffen kann (§ 9 Abs. 1 Nr. 5 Störfall-VO). Dadurch sollen die Behörden in die Lage versetzt werden, auf neue Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebe angemessen zu reagieren, um abzuschätzen, ob sich dadurch das Risiko eines schweren Unfalls vergrößern oder die Folgen eines solchen Unfalls verschlimmern können.

Dabei können insbesondere Erfahrungen aus den Inspektionen nach § 16 Störfall-Verordnung herangezogen werden. Hierauf soll kurz eingegangen werden. Bei bestehenden Betriebsbereichen hat sich die zuständige Behörde davon zu überzeugen, dass der Betreiber hinreichende Vorkehrungen getroffen hat, dem Schutzziel und den Vorgaben der Verordnung zu genügen; hierzu dient u. a. das störfallrechtlich angeordnete Überwachungssystem nach § 16 der Störfall-Verordnung. Neu im Immissionsschutzrecht sind dabei die regelmäßig von den Behörden durchzuführenden Vor-Ort-Inspektionen der Betriebsbereiche. Diese rechtlichen Vorgaben haben weitgehende Konsequenzen auf Grund der im Allgemeinen „engen“ personellen Situation bei den Überwachungsbehörden. Das Überwachungssystem hat eine planmäßige und systematische Prüfung der technischen, organisatorischen und managementspezifischen Systeme des Betriebsbereichs zu ermöglichen. Unter bestimmten Voraussetzungen darf vom jährlichen Inspektionsintervall abgewichen werden. Eine konsequente jährliche Inspektion ist wegen der Vielzahl an Betriebsbereichen nicht leistbar und nicht finanziert. Die einzelnen Betriebsbereiche wer-

den auf der Grundlage von Erfahrungswerten der Behörden in eine Prioritätenliste eingestuft. Entsprechend der Einstufung erfolgt die Inspektion jährlich, alle zwei Jahre oder drei Jahre. Insofern handelt es sich um eine empirische Methodik. Da es sich um Behördlichen Pflichten handelt, ist eine „ausgefeilte“ quantitative Beurteilung der Anlagen im Sinne einer probabilistischen Vorgehensweise wegen des Aufwandes und fehlender Daten über Details der bestehenden Anlagen nicht leistbar. Die Erkenntnisse von Anlagenbetreibern und Behörden fließen wiederum in die Überarbeitung der Sicherheitsberichte ein. Hier schließt sich der skizzierte Kreis.

Für Betriebsbereiche, die nur den Grundpflichten der Verordnung unterliegen, ist gemäß § 8 Störfall-Verordnung ein Konzept zur Verhinderung von Störfällen zu erstellen. Im Gegensatz zu Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten fordert die Vorschrift darin keine Informationen, um behördliche Entscheidungen über die Ansiedlung neuer Tätigkeiten oder Entwicklungen in der Nachbarschaft des bestehenden Betriebsbereichs treffen zu können. Hier sind die Immissionsschutzbehörden gefordert, im Rahmen ihres Überwachungsauftrages nach § 52 BImSchG die Entwicklung der Anlagen bzw. Betriebsbereiche zu überwachen und ggf. die erforderlichen Informationen vom Betreiber einzufordern.

In der Verwaltungspraxis spielen die Informationen aus Sicherheitsberichten oder Konzepten gemäß § 8 Störfall-Verordnung für die planerische Bewertung eines Vorhabens eine sehr geringe Rolle. Vielmehr werden die Sicherheitsberichte von den für die planungsrechtliche Beurteilung zuständigen Planungsämtern der Kommunen gar nicht oder nicht im Detail gelesen und verstanden. Insofern fehlt es an die Verwaltungsabläufe konkretisierenden Vorgaben. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass die personellen Ressourcen der Verwaltung rückläufig sind.

### **3.4 Verwendung von „Standard-Szenarien“**

Eine wichtige Frage bei der Ermittlung von Abständen ist, ob die Behörde ihren Ermittlungspflichten genügt, wenn sie für die Berechnung eines Sicherheitsabstandes pauschale Berechnungen, z. B. an Hand eines sog. DN-15-Lecks für Abstandsermittlungen zu Grunde legt.

Dabei spielt in rechtlicher Sicht die Auslegung der Allgemeinen Betreiberpflichten nach § 3 der Störfall-Verordnung eine wichtige Rolle. Die Verordnung unterscheidet zwischen Gefahrenquellen oder Eingriffen, die als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können und unterstellt gleichzeitig den Eintritt „unvorhergesehener“ Ereignisse. Es sind vom Anlagenbetreiber vorbeugende Maßnahmen zu treffen, welche die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich halten.

#### **3.4.1 Standard-Szenarien in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren**

Bei der Beurteilung der Lagerung von Flüssiggas existieren einige Gerichtsentscheidung zur Verwendung von fiktiven Vorgaben zur Abstandsermittlung im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren. Mit dem DN-15-Leck wird ein Leck einer Größe von  $1,8 \text{ cm}^2$  in einem Flüssiggastank fiktiv angenommen. Die freigesetzte „Gasmenge“ erzeugt in einem bestimmten Umkreis – in Abhängigkeit von den Ausbreitungsbedingungen – eine explosionsgefährliche Gaswolke. Von entscheidender Bedeutung ist die Frage, ob die Exekutive durch Konventionen ein bestimmtes Leck ohne Rücksicht auf die konkre-

ten Gegebenheiten einer bestimmten Anlage, z. B. der Auslegung einzelner Anlagenteile nach dem Stand der (Sicherheits-)Technik oder der Berücksichtigung besonderer Sicherheitsbarrieren, für ihre Ausbreitungsrechnungen zu Grunde legen darf. Nicht entscheidend ist wohl in jedem Fall der Einwand, dass ein solches Leck vernünftigerweise auszuschließen sei, da dies nur für den Sicherheitsabstand nach § 3 Abs. 1 und 2 der 12. BlmSchV Geltung beanspruchen kann, nicht jedoch nach § 3 Abs. 3 der 12. BlmSchV.

Zwar können auch nach § 3 Abs. 3 der 12. BlmSchV nicht Vorkehrungen gegen alle nur denkbaren Gefahren verlangt werden; doch soll die Vorschrift wenigstens den Schutz zwischen vernünftiger Weise auszuschließender Gefahren und absoluter Sicherheit gewährleisten<sup>47</sup>. Allein das Fehlen einer konkreten Gefahr infolge der Auslegung einer Anlage führt damit noch nicht dazu, z. B. die fiktive Annahme eines DN-15-Leck's als mögliche Störfallursache auszuschließen. Analoge Überlegungen zur Zeitdauer einer fiktiven Freisetzung gefährlicher Stoffe finden ihren Niederschlag in Empfehlungen des Technischen Ausschusses für Anlagensicherheit. So wird für die Festsetzung sicherheitsrelevanter Anlagenteile in Sicherheitsberichten nach den Vorgaben der Störfall-Verordnung für „kontinuierlich durchflossene Systeme, wie Apparate, Maschinen und Rohrleitungen“ das Durchflusskriterium der Menge in 10 Min. herangezogen [TAA-GS-24].

Entscheidungen von Verwaltungsgerichten (VGH Kassel<sup>48</sup>) bestätigen die Möglichkeit im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren zur Ermittlung der zwischen Wohnbebauung und industrieller Nutzung erforderlichen Abstände Standardszenarien als Grundlage der Ausbreitungsrechnungen zu verwenden.

### **3.4.2 Standard-Szenarien in der Bauleitplanung**

Auf Grund der Vorgaben der Störfall-Verordnung ist die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit und der Schwere der Störfälle erforderlich. Da die Anlagentechnologie und das Sicherheitsmanagement bei bestehenden Anlagen bereits bekannt sind, lässt sich die Ermittlung von Abständen auf der Grundlage fiktiver Ereignisse als Einzelfallbetrachtung interpretieren. Voraussetzung ist allerdings, dass die Anlagen dem Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik entsprechen und das Sicherheitsmanagement den zu stellenden Anforderungen genügt.

Dies wird in der Praxis „stillschweigend“ vorausgesetzt. Grundsätzlich ist aber auch in der Anlagenzulassung eine Risikobewertung in nachvollziehbarer Form zu fordern. Ein Verweis auf die in den Sicherheitsberichten im Genehmigungsverfahren angestellten qualitativen Überlegungen ist nicht ausreichend. Vielmehr sind die Überlegungen bzw. Ergebnisse zu quantifizieren.

Auf der planerischen Ebene ist ebenfalls eine Ermittlung des mit den Anlagen für die Nachbarschaft verbundenen Risikos erforderlich. Dabei muss sich die Ermittlung auf eine pauschalisierende Betrachtung beschränken, da die Anlagen und das Sicherheitsmanagement in vielen Fällen noch nicht bekannt sind.

Ein Beispiel für eine andere Sichtweise ist der Bericht [SFK/TAA-GS-1], der auf Standard-szenarien zur Ermittlung von Stoffmengen zurückgreift und auf eine Risikobetrachtung vollständig verzichtet. Allerdings sind die Berichte der Kommission rechtlich nicht verbindlich sondern als sog. weitere Erkenntnisquellen im Rahmen verwaltungsrechtlicher Entscheidungen zu bewerten. Dieser Umstand schränkt die Bedeutung der von der Kommission für Anlagensicherheit veröffentlichten Berichte erheblich ein. Die Berichte können

„sich selbst tragend“ weder von betroffenen Bürgern noch Anlagenbetreibern oder Überwachungsbehörden zur „Ableitung“ rechtlicher Forderungen genutzt werden.

### **3.5 Saldierende Betrachtung in der Bauleitplanung**

Nicht einfach zu beantworten ist die grundsätzliche Frage, inwieweit durch ein „funktionierendes“ oder besonders leistungsfähiges Sicherheitsmanagementsystem überhaupt „Pluspunkte“ bei der Festlegung von Abständen im Sinne einer saldierenden Betrachtung „gutgeschrieben“ werden können. Selbst die der Berücksichtigung vorausgehende Frage der Bewertung eines solchen Systems, ist bisher noch nicht mit allgemeiner Akzeptanz gelöst. Allerdings gibt es hierzu verschiedene Ansätze, die sich in der Verwaltungspraxis in der Erprobung befinden. In NRW findet das vom LUA NRW in Zusammenarbeit mit der Universität Magdeburg entwickelte Programm SMVP (Sicherheitsmanagement-Validations-Programm) im Rahmen der nach der Störfall-Verordnung 2000 vorgeschriebenen Inspektionen von Betriebsbereichen seit mehreren Jahren Anwendung. Dabei werden die nach der Störfall-Verordnung relevanten Themenbereiche systematisch abgefragt und die Antworten in Form von zu vergebenden Punkten bewertet. Hieraus ergibt sich eine Gesamtpunktzahl, von der die weitere Vorgehensweise abhängt [Richter 2005].

In der Praxis sollte man sich darüber im Klaren sein, dass den Überwachungsbehörden bei der Berücksichtigung von Sicherheitsmanagementsystemen viel Verantwortung übertragen wird. Ein ordentliches Sicherheitsmanagement ist Voraussetzung jeder Anlagenzulassung und Stand der Technik. Hier sollte auch keine „Verhandlungsmasse“ in die Welt gesetzt werden. Die Kriterien, ein ordentliches Sicherheitsmanagementsystem von einem außergewöhnlich guten zu unterscheiden, sind nur bedingt objektivierbar. Letztlich zeigt sich wohl erst im Ernstfall, den niemand will, ob die Einschätzung der Behörden richtig war. Trotzdem sollte über die Berücksichtigung der Sicherheitsmanagementsysteme auch außerhalb von Fachkreisen verstärkt diskutiert werden, da hier ein Potential für die Bewältigung bestehender Situationen liegt. Da ein funktionierendes Sicherheitsmanagement unstreitig einen wesentlichen Einfluss auf die mit dem Betrieb einer Anlage verbundenen Risiken hat, kann dieser Aspekt in der Bauleitplanung über den Umweg späterer Auflagen im konkreten Anlagenzulassungsverfahren berücksichtigt werden (s. *Kapitel 7.2.4.1 Bonusfaktoren, Verringerung der Abstände*).

Im Rahmen der klassischen Bauleitplanung sind die Anlagen und insbesondere Investoren teilweise noch nicht bekannt, in diesen Fällen ist eine Berücksichtigung nicht möglich. Anders ist dies beim Vorhaben bezogenen Bebauungsplan. In der Praxis ist es allerdings auch bei der Aufstellung von Bebauungsplänen heute häufig so, dass die Einleitung des Verfahrens durch einen konkreten Bedarf eines Investors in Gang gesetzt wird [Albrecht 2006]. In diesen häufigen Fällen kann analog zum Vorhaben bezogenen Bebauungsplan verfahren werden.

Bei bereits bestehenden Anlagen ist - im Sinne einer überschlägigen Bewertung auf der Grundlage der in dieser Arbeit für die Bauleitplanung vorgestellten Ansätze – eine Bewertung bzw. Berücksichtigung ebenfalls möglich. Dabei wird im Rahmen der Beurteilung ein „Bonus“ im Sinne einer zulässigen Abstandsverkürzung zugestanden.

Schwierig ist allerdings die verwaltungsrechtliche Frage des Einschreitens bei bestehenden Betrieben, denen ein Bonus gewährt wurde, wenn deutliche Verschlechterungen in Fragen des Sicherheitsmanagements festzustellen sind oder die in den Antragsunterlagen

beschriebenen organisatorischen oder das Sicherheitsmanagement betreffenden Zusagen nicht realisiert werden. Ähnliche Überlegung gelten auch für die Frage der Berücksichtigung technischer Barrieren und Maßnahmen. In diesen Fällen greifen die vorausgehend geschilderten Überlegungen zur Verhältnismäßigkeit behördlicher Anordnungen (s. Kapitel 3.3.1 *Grundsatz der Verhältnismäßigkeit: Nachträgliche Anordnung von Sicherheitsabständen, Widerruf der Genehmigung*). Als zusätzliches Element zur Sicherstellung der Genehmigungsvoraussetzungen ist die Einführung einer sog. Sicherheitsleistung für besondere technische oder sicherheitstechnische Maßnahmen möglich. Solche Sicherheitsleistungen werden im Bereich der Abfallaufbereitung neuerdings praktiziert. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die Allgemeinheit - entgegen dem Verursacherprinzip - z. B. für die Kosten der Beseitigung einer Anlage einstehen muss. Da die genannten Überlegungen grundsätzlich gelten und in fast allen Zulassungsverfahren das Vorliegen der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsvoraussetzungen durch Nebenbestimmungen sicherzustellen ist, ist das beschriebene Vorgehen mit der bestehenden Rechtssystematik vereinbar.

Auf Grund der engen räumlichen Verhältnisse in Deutschland ist durch eine zusätzliche „Öffnungsklausel“ sicherzustellen, dass eine Verringerung der in einer Risiko orientierten Bewertung festgelegten Abstände, im Sinne einer Einzelfallbetrachtung, ausdrücklich möglich ist. Auf der Grundlage eines Sachverständigengutachtens über die zu erwartenden Immissionskonflikte ist eine Verringerung der zulässigen Abstände plausibel. Die Einzelfallprüfung zu diesem Punkt könnte Gegenstand des für die Realisierung eines konkreten Vorhabens erforderlichen immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens sein. Allerdings obliegt es dann dem Anlagenbetreiber bzw. Antragsteller, die Zulassungsbehörden davon zu überzeugen, dass die von ihm vorgeschlagenen Maßnahmen ausreichen. Dabei besteht allerdings die Gefahr, dass ohne einen verbindlichen Orientierungsrahmen die Einzelfall bezogene Begutachtung zum Regelfall wird. Eine solche Öffnungsklausel auf der Grundlage besonderer technischer Barrieren sollte daher wirklich nur in besonderen Fällen, z. B. einer neuartigen, für die Herstellung eines Produktes atypischen Verfahrensweise, zum Tragen kommen.

Zum Schutz der Wohnbevölkerung ist zusätzlich zu einer Risikobetrachtung im Sinne einer sekundären Schutzmaßnahme immer ein Mindestabstand zu fordern. Insofern wird bei der Freisetzung toxischer Gase auch ein mindestens einzuhaltender Konzentrationswert festgelegt bzw. für die Szenarien Brand und Explosion zum Schutz der Wohnbevölkerung ein Mindestabstand. Dies entspricht neben den Grundsätzen aus dem Immissionsschutzrecht (Schutz vor schädlichen Umweltauswirkungen) auch dem Trennungsgrundsatz aus dem Baurecht zur Verträglichkeit unterschiedlicher Nutzungen. Die Forderung eines Mindestabstandes widerspricht dabei nicht den in den vorausgehenden Kapiteln dargestellten rechtlichen Vorgaben einer Risikobetrachtung, vielmehr handelt es sich um eine ergänzende Anforderung zum Schutz von Wohnbebauung.

### 3.6 Katastrophenschutz

Von der Ebene der Bauleitplanung sind bei der Beurteilung industrieller Anlagen die Ebenen der Anlagenzulassung mit den Bereichen des Baurechts und Immissionsschutzrechts sowie die Ebene des Katastrophenschutzes abzugrenzen (s. Kapitel 6.1.1: *Praktische Abgrenzung der Ebene der Bauleitplanung*). Der Ablauf bei der Gefahrenabwehr lässt sich wie folgt skizzieren (s. Abb. 3.6/1: Gefahrenabwehrplanung):

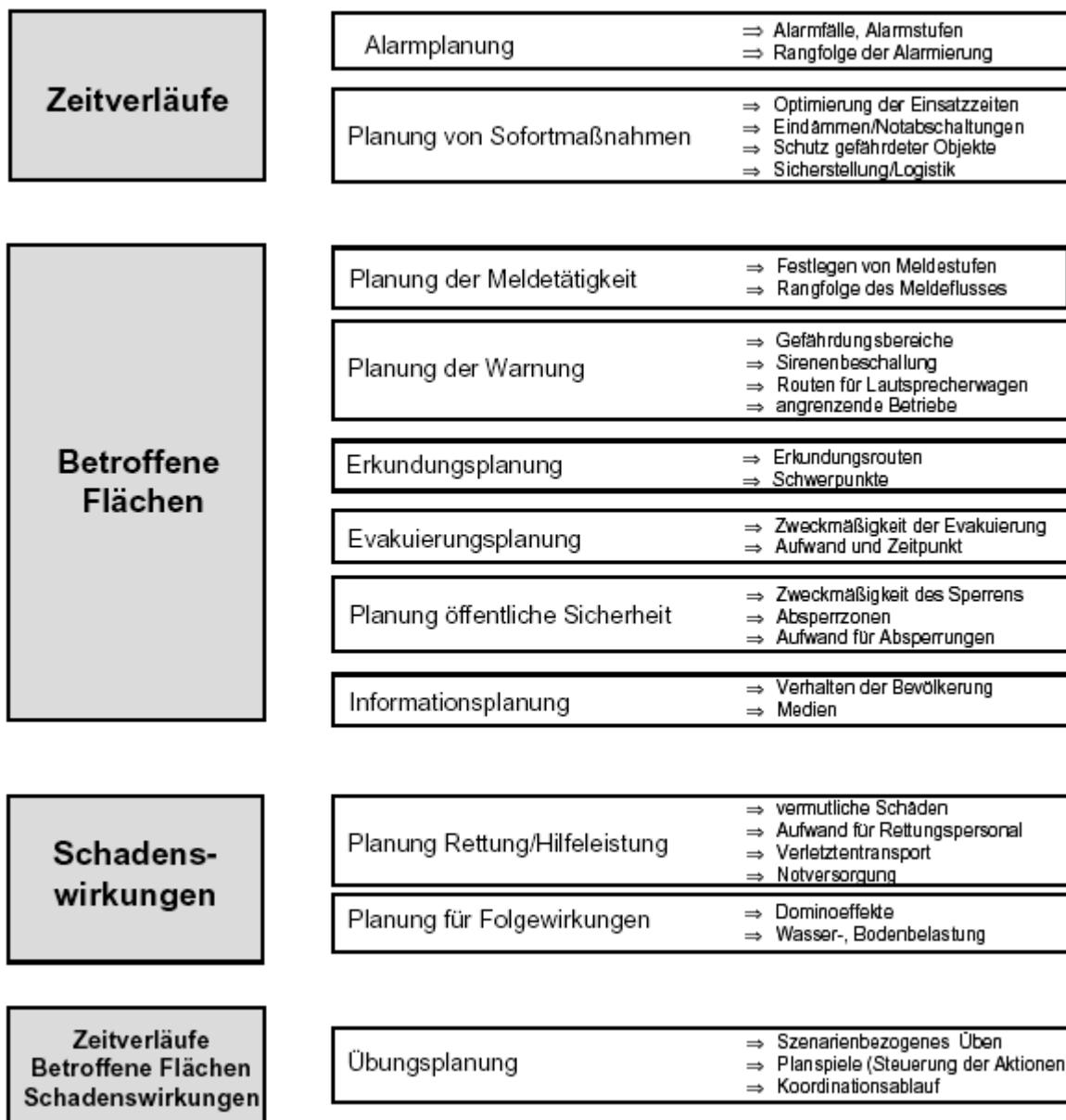


Abb. 3.6/1: Gefahrenabwehrplanung  
 Quelle: [UBA-FB 202 09 428]

Wie aus der Abbildung erkennbar, ist in der Gefahrenabwehrplanung eine intensive Abstimmung zwischen Anlagenbetreibern und den Überwachungs- und Katastrophenschutzbehörden wie Feuerwehr und Polizei erforderlich. Auf Einzelheiten wird im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen, da Überlegungen zur Störfallprävention im Rahmen der Bauleitplanung im Vordergrund stehen.

Wesentliches „technisches“ Kriterium bei der Beurteilung der aus Stofffreisetzung oder Szenarien wie Brand oder Explosion resultierenden Auswirkungen sind dabei die zu Grunde gelegten Stoffmengen. Gegenstand der Überlegungen sind im Katastrophenschutz ausschließlich Auswirkungsbetrachtungen. Es wird z. B. das Behälterversagen des größten Tanks eines Tanklagers berücksichtigt. Im Vordergrund stehen dabei „großflächige“, insbesondere infrastrukturelle Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und das Üben einer effektiven Zusammenarbeit zwischen Behörden und Anlagenbetreibern. Mit anderen Worten werden im Katastrophenschutz für die Szenarien keine Anlagen oder Anlagentypen „benötigt“. Von größerem Interesse ist z. B. die Größe einzelner Tanke ei-

nes Tanklagers bzw. die Eigenschaften der gelagerten Gefahrstoffe. Auch dies ist ein Hinweis darauf, dass auf der Ebene der Bauleitplanung - wo ja bisher Anlagenarten in typisierender Sicht betrachtet werden - eine Stoff bezogene Bewertung der Zulässigkeit einer Nutzung geboten ist. Die in einem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren getroffenen Annahmen werden dabei von Experten als „realistische“ Annahme für das Eintreten des angenommenen Ereignisses oder eines in den Auswirkungen vergleichbaren Ereignisses eingestuft.

Die Annahmen für die Bauleitplanung und den Katastrophenschutz sind dagegen sehr unwahrscheinlich bzw. nur im Katastrophenfall denkbar.

#### 4. Technische Methodik der Analyse von Risiken

Für die Entwicklung neuer methodischer Ansätze zur Beurteilung gefährlicher Anlagen in der Bauleitplanung soll untersucht werden, ob bereits vorhandene Methoden zur Verwendung im Rahmen der Bauleitplanung geeignet sind. Dabei wird nachfolgend zunächst auf die im Rahmen von Ausbreitungsrechnungen in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren vom LUA NRW häufig verwendeten AEGL- (Acute Exposure Guideline Levels) und ERPG- (Emergency Response Planning Guidelines) Werte, das Acutex-Projekt (**Acute Exposure**) der europäischen Kommission sowie weitere Werte eingegangen (Definitionen und Informationen zur Ermittlung der Werte, s. **Anhang, Kapitel 4. Konzentrationswerte**).

Anschließend wird auf eine Reihe etablierter analytischer Methoden zur Ermittlung von Ereignisursachen und zur Abschätzung von Auswirkungen eingegangen (z. B.: [PAAG-Verfahren 1990]; [Gefahrenermittlung, Gefahrenbewertung 1997]). Etablierte Verfahren für die qualitative Analyse sind z. B. Checklisten, Ausfalleffektanalyse, PAAG-Verfahren und halbquantitative Verfahren wie der Dow-Index oder in Amerika sehr populäre Verfahren wie LOPA (Layer of Protection Analysis) und SQUAFTA (Semi-quantitative fault-tree analysis). Die vielen in den Unternehmen praktizierten analytischen Methoden lassen sich auf einige wesentliche Überlegungen zurückführen. Eine kurze Vorstellung der unterschiedlichen Methoden und der Vor- und Nachteile erfolgt im **Anhang, Kapitel 2.1 Methodik, Kurzdarstellung einiger Methoden der Sicherheits- und Risikoanalyse**. Nachfolgend wird auf die quantitativen Methoden eingegangen.

##### 4.1 Konzentrationswerte

In der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung werden Ausbreitungsrechnungen für bestimmte, im Rahmen praktischer Vernunft nicht auszuschließende Stofffreisetzung angestellt (s. a. *Kapitel 3.4 Verwendung von Standardszenarien*). Es werden bevorzugt die AEGL-2-Werte [Gregel 2006] oder - sofern nicht verfügbar - die ERPG-2-Werte herangezogen ([AEGL]; [ERPG]). Der AEGL-2- oder ERPG-2-Wert darf im Falle der Stofffreisetzung an einem gewählten Immissionsort, in der Regel ist dies das der Störfallanlage nahegelegene Wohnhaus, nicht überschritten werden. Standen AEGL-Werte bisher nur unzureichend zur Verfügung, so haben die intensiven Bemühungen zur Beurteilung zahlreicher Stoffe in den letzten Jahren zu einer starken Zunahme verfügbarer Werte geführt. Innerhalb weniger Jahre sind aus den 2003 verfügbaren sieben Werten über 250 geworden (Tab.: 4.1/1: Verfügbare AEGL- und ERPG-Werte):

Final-AEGL's	24	ERPG-Werte: 117
Interim AEGL's	63	
Proposed AEGL's	168	

Tab.: 4.1/1 : Verfügbare AEGL- und ERPG-Werte (Stand: Februar 2006, [AEGL])

Die AEGL-Wert werden wissenschaftlich aufwändig ermittelt und dokumentiert. Dabei durchläuft jeder Wert vier Schritte:

- Schritt 1      Draft AEGL's,
- Schritt 2      Proposed AEGL's,
- Schritt 3      Interim AEGL's und
- Schritt 4      Final AEGL's.

Die Interim-AEGL's werden in der Regel als Final-AEGL's übernommen. Ähnliches gilt auch für die Proposed AEGL's. Daher ist es möglich, diese Werte - unter Vorbehalt - bereits zu berücksichtigen.

Für jeden untersuchten Stoff existieren auf drei Ebenen für jeweils fünf Zeiten insgesamt 15 unterschiedliche Werte, die AEGL- 1, 2 und 3 -Werte sowie hierzu jeweils die 10 Min., 30 Min., 60 Min., 4 Stunden und 8 Stunden Werte. Die AEGL-Werte sind gegenüber den ERPG-Werten oft deutlich „strenger“. Teilweise sind die jeweiligen AEGL- und ERPG-Werte Werte (60 Min.) auch identisch (Tab. 4.1/2 : Chlor, ERPG- und AEGL-Werte im Vergleich):

ERPG-2-Wert	3 ppm
ERPG-3-Wert	20 ppm
AEGL-2-Wert (60 Min.)	2 ppm
AEGL-3-Wert (60 Min.)	20 ppm

Tab. 4.1/2: Chlor, ERPG- und AEGL-Werte im Vergleich

In Deutschland wurde 1990 und in den Folgejahren vom Verband der Chemischen Industrie (VCI), alternativ zur Verwendung von AEGL- oder ERPG-Werten, ein „Konzept zur Festlegung von Störfallbeurteilungswerten“ zur Diskussion gestellt. Dieses konnte sich allerdings nicht durchsetzen. Dabei wurde eine Einwirkzeit von 60 Minuten zugrunde gelegt. Das Gefährdungsniveau wurde so definiert, dass in der Regel nicht das Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende, insbesondere irreversible Gesundheitsschäden zu erwarten sind. Ein weiterer Orientierungspunkt sind die IDLH- (Immediate Dangerous for Life and Health) Werte ([IDLH]; [SFK-GS-17]). Die nachfolgende Tabelle vermittelt am Beispiel einiger verbreiteter Stoffe einen Eindruck zur Größenordnung der IDLH-Werte und VCI-Werte im Vergleich zu den AEGL-3/- ERPG-3-Werten (Tab. 4.1/3: Grenzwerte für toxische Substanzen (ppm)):

Substanz	IDLH	VCI	AEGL-3/ ERPG-3
Ammoniak	300	500	1.100/ 1000
Chlor	10	20	20/ 20
Formaldehyd	20	10	50/ 25

Phenol	250	200	47/ 200
Phosgen	2	2	0,75/ 1
Schwefeldioxid	100	30	27/ 15
Schwefelwasserstoff	100	300	50/ 100

Tab. 4.1/3: Grenzwerte für toxische Substanzen (ppm)

Sofern Vergleiche mit AEGL/ ERPG-Werten vorliegen, liegen die Störfallbeurteilungswerte des VCI (Verband der Chemischen Industrie) häufig zwischen den AEGL-2-/ ERPG-2- und AEGL-3-/ ERPG-3-Werten. In einigen Fällen liegen die VCI-Werte allerdings deutlich über den AEGL-3-/ ERPG-3-Werten. Die VCI-Störfallbeurteilungswerte sollten der Auslegung von Betriebsanlagen, der Ermittlung zu treffender Störfall begrenzender Maßnahmen und als Hilfsgröße für Katastrophenschutzmaßnahmen dienen. Ein gewichtiger Nachteil liegt dabei in dem gegenüber der Erstellung von AEGL- oder ERPG-Werten weniger transparenten Ermittlungsverfahren der Werte und der geringeren „Einflussnahme“ durch Behörden und gesellschaftliche Gruppen.

Bisher existieren keine Konzentrationswerte im Sinne Anlagen typischer „Leitwerte“ für die Ermittlung von Sicherheitsabständen im Rahmen der Bauleitplanung. Zur Ermittlung solcher Werte werden verstärkt europäische Anstrengungen unternommen. So wurde z. B. im Rahmen des am 30.11.2005 abgeschlossenen EU-Forschungsprojektes Acutex eine Methodologie zur Ableitung von Störfallbeurteilungswerten, AETL's, entwickelt [Acutex]. Beispielhaft wurden AETLs (**Acute Exposure Threshold Levels**) für 21 Stoffe abgeleitet. Die AETLs sollen sowohl für die Notfallplanung als auch Bauleitplanung anwendbar sein. Die AETL-Werte für die 21 Testsubstanzen stehen der Öffentlichkeit zur Zeit noch nicht zur Verfügung. Das AETL-Konzept ähnelt dem AEGL-Konzept mit seinen verschiedenen Schwellen und unterschiedlichen Expositonszeiten und lässt einen breiten Anwendungsbereich zu [Meier 2006].

## 4.2 Analytische Methoden

Im Folgenden werden zunächst die wichtigsten methodischen Schritte erläutert. Obwohl die Methoden und Vorgehensweisen teilweise schon seit Jahrzehnten bekannt sind, ist der Klärungs- und Abstimmungsbedarf bereits in der Terminologie nach wie vor groß. Dies zeigt sich z. B. in der aktuellen Diskussion unter Fachleuten in verschiedenen Arbeitskreisen der Störfallkommission und des Technischen Ausschusses für Anlagensicherheit (seit Mitte 2005 zusammengeführt zur Kommission für Anlagensicherheit) genauso wie auf der internationalen Ebene bei Sitzungen der Arbeitskreise der Europäischen Kommission (z. B. European Working Group of Land Use Planning) oder dem Ende 2004 abgeschlossenen Forschungsprojekt ARAMIS (s. *Kapitel 5.6 Forschungsaktivitäten und Arbeitskreise der Europäischen Kommission*) der Europäischen Kommission. Erst recht in der gesellschaftlichen Diskussion der von industriellen Anlagen ausgehenden Risiken ist noch ein weiter Weg zurück zu legen. Den grundsätzlichen Ablauf einer Risikoanalyse zeigt nachfolgende Abbildung (Abb. 4.2/1: Schematische Darstellung der Risikobetrachtung):

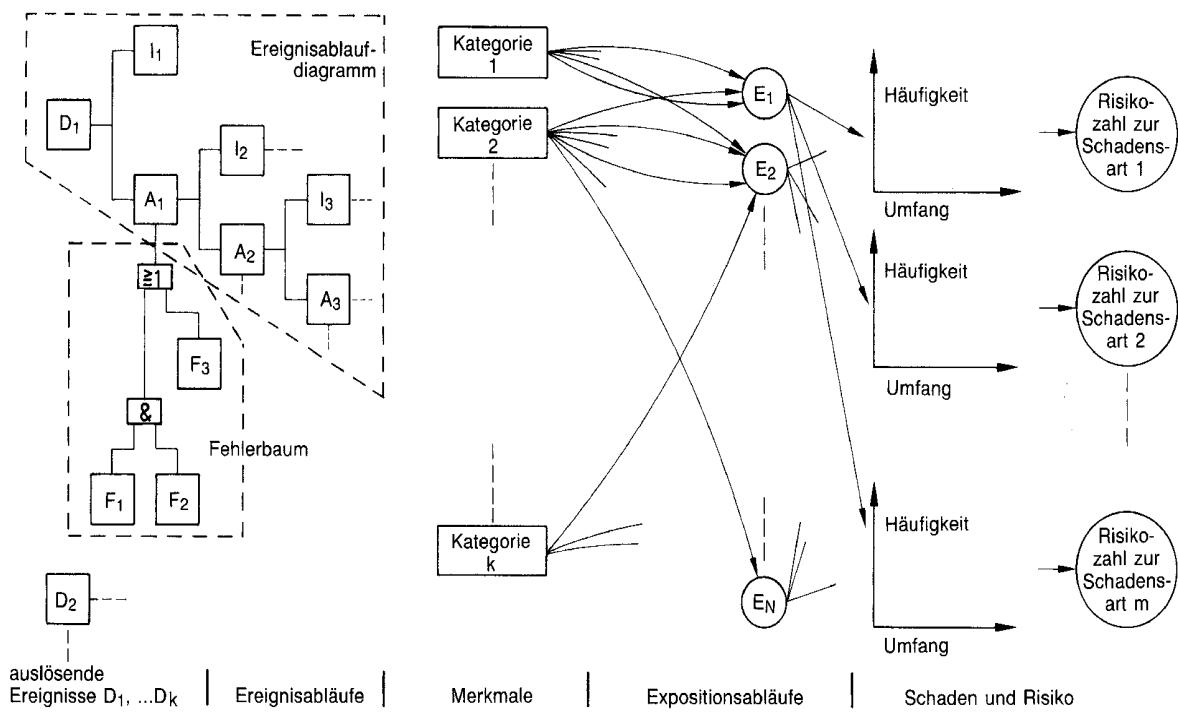


Abb. 4.2/1: Schematische Darstellung der Risikobetrachtung, Quelle [SFK-GS-41]

Risiken technischer Anlagen sind, da Ereignisse nur selten auftreten, schwer zu ermitteln. Dabei spielen oft nur lückenhaft vorhandene oder fehlende Daten eine wichtige Rolle. Ein Störfall wird vom Eintritt des auslösenden Ereignisses (z. B. Ausfall der Kühlmittelpumpe bei einem Reaktor mit exothermer Reaktion), bis zur Schadensverursachung in Teilbereiche zerlegt, die wahrscheinlichkeitsbewertet werden. Der Untersuchungsablauf kann in vier Schritte eingeteilt werden (Darstellung ähnlich [SFK-GS-41]):

### 1. Der Schritt „Ereignisabläufe“:

Es müssen sämtliche zum Risiko beitragenden Ereignisse detailliert beschrieben werden. Dies erfolgt anhand von Ereignisablaufdiagrammen in Verbindung mit Fehlerbäumen. Die verschiedenen Ereignisabläufe bestehen aus Verkettungen von Teilereignissen A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>.....bzw. I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>....., die das Funktionieren (I) oder den Ausfall technischer Systeme (A) darstellen und gekennzeichnet sind durch:

- ihre zu erwartende Häufigkeit h (T);
- Angaben zum Ereignismerkmal (nähere Angaben zur Charakterisierung der Störung, z. B. Ursache, Lage, beteiligte Stoffe usw.).

### 2. Der Schritt „Merkmale“

Dieser Schritt enthält die Beschreibung der Ergebnisse der verschiedenen Ereignisabläufe. Diese erfolgt durch die Komponenten des Ereignismerkmals, die für die Schadenser mittlung wesentlich sind (z.B. Stärke einer möglichen Explosion, Grad der Hitze- und Rauchentwicklung usw.), die aufgrund experimenteller Befunde oder mit Hilfe von Modell rechnungen quantifiziert werden. Je nach Wertebereich dieser Komponenten und deren Bedeutung für die Schadenser mittlung werden die Ergebnisse zur Vereinfachung häufig in Klassen oder Kategorien k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>....eingeteilt.

Die Kategorien sind gekennzeichnet durch:

- repräsentative Werte der Komponenten des Ereignismerkmals, die für die Schadensermittlung erforderlich sind, sowie
- die Summen der zu erwartenden Häufigkeiten der sich gegenseitig ausschließenden Ereignisabläufe, die aufgrund ihres Merkmals der betreffenden Kategorie zugeordnet wurden. Enthält z.B. die Kategorie  $k_1$ , nur die Ereignisabläufe  $T_1, T_2$  und  $T_5$ , so ergibt sich für ihre Häufigkeit  $h(k_1)$

$$h(k_1) = h(T_1) + h(T_2) + h(T_5)$$

### 3. Der Schritt „Expositionsabläufe“

In diesem Schritt beschreibt man nach Ort, Zeit, Intensität und Wahrscheinlichkeit sämtliche Vorgänge (Expositionsabläufe  $E_1, \dots, E_N$ ), über die das Ereignismerkmal auf die betrachteten Personen (bzw. Personengruppen) schädigend einwirken könnte. Die Beschreibung muss z.B. enthalten:

- Die Ausbreitung schädigender Komponenten des Ereignismerkmals, z. B. Rauch im Falle von Brand gemäß den herrschenden örtlichen Bedingungen, M;
- die örtliche Verteilung der Exponierten, d. h., der dem Risiko ausgesetzten Personen, B;
- die Schutz- und Gegenmaßnahmen (Evakuierung, Löschen usw.), G.

Außerdem sind Wahrscheinlichkeitsschätzungen für die verschiedenen möglichen Werte der Komponenten von M, B und G erforderlich. Die Menge der beliebig vielen möglichen Expositionsabläufe wird damit näherungsweise repräsentiert durch eine endliche Anzahl spezieller Wertesätze (m,b,g). Die Wahrscheinlichkeit für einen Expositionsablauf ähnlich den speziellen örtlichen Bedingungen m (z.B. Wetterlage bei Exposition über die Atmosphäre), der speziellen Exponiertenverteilung b und den speziellen Schutz- und Gegenmaßnahmen g ergibt sich dadurch zu

$$W=w(m) w(b/m) w(g/b)$$

Dabei sind  $w(b/m)$  bzw.  $w(g/b)$  die bedingten Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt von b unter der Bedingung m, bzw. den Eintritt von g unter der Bedingung des gleichzeitigen Eintritts von m und b.

### 4. Der Schritt „Schaden und Risiko“

Hierbei ist die Beziehung zwischen der Intensität der schädigenden Einwirkung und sämtlichen daraus resultierenden Schäden zu beschreiben. Es müssen also zu jedem Wertesatz v = (Kategorie K, örtliche Bedingungen m, Exponiertenverteilung b, Notfall Gegenmaßnahme g) in jeder Schadensart a Schätzwerte  $x(v,a)$  des Schadensumfangs ermittelt werden.

#### 4.2.1 Quantitative Methoden, Fehlerbaumanalyse

Im Gegensatz zu den qualitativen Verfahren ermöglichen die Ereignisablauf- und Fehlerbaumanalyse eine Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der unerwünschten Er-

eignisabläufe, indem Elementarereignissen Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden und mit Hilfe der Bool'schen Algebra der gesamte Fehler- bzw. Ereignisbaum ausgewertet wird. Der Fehlerbaumanalyse kann eine Ausfalleffektanalyse oder eine Ereignisablaufanalyse vorausgehen (Literatur, z. B. [Klumpe 1996], S. 13, mit Verweis auf weitere Lit.).

Es wird ein unerwünschtes Ereignis, z. B. die Freisetzung eines toxischen Stoffes, vorgegeben und nach allen zur Freisetzung führenden Ursachen gesucht. Dabei ergeben sich eine Vielzahl von Ausfallkombinationen jeweils mehrerer Komponenten, die zum Ausfall von Teilsystemen führen. Komponenten können dabei sowohl technische Vorrichtungen als auch Verfahrensvorschriften oder Personen sein, die in den Betrieb der Anlage eingreifen.

Die Fehlerbaumanalyse ist in der *DIN 25424, Teil 1 und 2*, genormt. Die Methode ermöglicht die Quantifizierung von Risiken. Allerdings erfordert sie zuvor eine qualitative Untersuchung des betrachteten Systems. Nachdem das Systemversagen oder allgemeiner, das unerwünschte Ereignis definiert ist, werden seine logischen Verknüpfungen mit den Primärereignissen gesucht und in Form eines Fehlerbaums dargestellt. Das Primärereignis kann dabei den Ausfall einer technischen Komponente, das Versagen eines Operators oder eine Einwirkung von außen wie die Überflutung der Anlage oder den Übergriff eines Brandes aus benachbarten Einrichtungen beschreiben. Dabei werden zunächst Prozessfunktionen und Teilsysteme (z. B. Kühlung oder Energieversorgung) ermittelt, deren Versagen zum unerwünschten Ereignis führt. Anschließend werden die unerwünschten Ereignisse sukzessive mit den Primärereignissen verknüpft.

Dabei werden nach den Vorgaben der DIN „UND“- und „ODER“- Gatter benutzt. Beim „UND“- Gatter müssen alle Eingangsereignisse erfüllt sein, damit das Ausgangsereignis zutrifft, beim „ODER“- Gatter ruft jedes einzelne der Eingangsereignisse allein oder aber zusammen mit anderen das Ausgangsereignis hervor. Die Fehlerbaumanalyse ist ein vollständiges Verfahren, d. h. auf Grund der deduktiven Vorgehensweise liefert sie bei konsequenter Anwendung im Prinzip alle Ereigniskombinationen, die zum unerwünschten Ereignis führen. Bei komplexeren Anlagen, wie sie z. B. für die Chemieindustrie charakteristisch sind, treten Fehlerbäume auf, die wegen ihrer Größe im allgemeinen nur mit Hilfe von Computerprogrammen ausgewertet werden können.

Insgesamt stellt der Fehlerbaum ein vereinfachtes Modell des Systems im Hinblick auf das unerwünschte Ereignis dar. Der Vorteil liegt dabei darin, dass der Einfluss aller Komponenten aufeinander und die Auswirkungen ihres Versagens, menschlicher Fehlhandlungen und Einwirkungen von außen auf das System, erfasst werden können. Dabei benötigt man auch bei der Fehlerbaumanalyse die Kenntnis des Verhaltens der physikalischen und chemischen Prozessparameter als Folge des Auftretens eines Primärereignisses. Diese Kenntnis spiegelt sich in der logischen Struktur des Fehlerbaums wieder. Dieser liegen beispielsweise Entscheidungen darüber zugrunde, ob sich im Verlauf eines Störfalls Temperaturen oder Drücke einstellen, die Materialgrenzen überschreiten oder nicht.

Kenntnisse über das Systemverhalten entstammen im Allgemeinen dynamischen Berechnungen der Komponentenbelastungen, Experimenten oder ingenieurmäßigen Abschätzungen. Insofern enthält jede quantitative Analyse deterministische Elemente. Um eine Fehlerbaumanalyse durchzuführen, bedarf es insbesondere der nachfolgend aufgeführten Schritte (s. z. B. [SFK-GS-41] und dort gen. Lit.):

1. Festlegung unerwünschter und auslösender Ereignisse, z. B. unter Heranziehung von Checklisten, Informationen über Stoffeigenschaften, Berichten über Vorkommnisse und Studien zu ähnlichen Anlagen,
2. Entwicklung des Fehlerbaums oder der Fehlerbäume,
3. Bereitstellung der Wahrscheinlichkeiten für das Versagen technischer Komponenten, menschlicher Fehlhandlungen und von Einwirkungen von außen,
4. Auswertung des oder der Fehlerbäume,
5. Beurteilung der Ergebnisse, Vorschläge für Systemverbesserungen und, falls erforderlich, entsprechende Abänderung und erneute Auswertung der Fehlerbäume.

Hierzu sind detaillierte Informationen der Systeme unter Benutzung der Anlagen- und Prozessbeschreibung, der Rohrleitungs- und Instrumentierungspläne und Informationen vom Anlagenhersteller und –betreiber erforderlich. Bei der Durchführung von Fehlerbaumanalysen unterstellt man im allgemeinen, dass die Komponenten so ausgelegt, gebaut und eingebaut sind, dass sie ihre Funktion erfüllen, wenn sie ordnungsgemäß arbeiten. Beispielsweise geht man davon aus, dass ein Entlastungsventil einen Querschnitt hat, der ausreicht, die Drücke in dem Anlagenteil, der geschützt werden soll, bei einer Entlastung unterhalb zulässiger Grenzwerte zu halten. Die Annahme des korrekten Funktionierens muss im Rahmen der Analyse überprüft werden, insbesondere dann, wenn Ausfallkombinationen betrachtet werden, die zu Belastungen jenseits der Auslegungsgrenzen von Komponenten führen können. Dann kann korrektes Arbeiten der Komponenten nicht ohne weiteres unterstellt werden. Beispielsweise wäre in diesem Zusammenhang an einen Druckwächter zu denken, der infolge eines Dampfleitungsbruchs Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten ausgesetzt ist, für die er nicht gebaut ist.

Bei der Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Komponentenausfällen macht man sich zunutze, dass derselbe Komponententyp im allgemeinen mehrfach in einer Anlage vorkommt und dass in verschiedenen Anlagen dieselben Typen von Komponenten eingesetzt werden.

Die Fehlerbaumanalyse kann bei der Planung einer Anlage zur Prüfung von Verfahrensalternativen in sicherheitstechnischen Bereichen eingesetzt werden, um mögliche Schwachstellen einer Alternative aufzudecken. Dabei lassen sich auch menschliche Faktoren wie die Bedienfreundlichkeit der Prozessleittechnik in Stresssituationen berücksichtigen.

Ein weiteres wichtiges Beispiel für die Quantifizierung von Risiken ist der Risikograph zur Klassifizierung von sicherheitsrelevanten MSR-Einrichtungen in der Prozessleittechnik. Insbesondere im Bereich Mess- und Regeltechnik sind europäische und weltweite Entwicklungen festzustellen, in die Risikobetrachtungen verstärkt auch den Menschen mit einzubeziehen. Zum 01.08.2004 erfolgte eine Neuordnung des Regelwerkes zur Sicherung von Anlagen der Prozessindustrie mit Mitteln der Prozessleittechnik. Den bekannten Anforderungsklassen (AK) eins bis acht aus der DIN V 19250 bzw. VDI/VDE 2180 werden in der DIN EN 61511 (VDE 0810) vier Safety Integrity Levels (SIL) zugeordnet (s. **Anhang, Kapitel 2.1.3.4 Risikograph zur Klassifizierung von sicherheitsrelevanten PLT-Einrichtungen**).

#### 4.2.2 Unsicherheiten in der Risikoabschätzung

Das Verhalten von Komponenten wird bei der probabilistischen Analyse eines Systems mit Hilfe von Ausfallwahrscheinlichkeiten und Nichtverfügbarkeiten beschrieben. Jeder Funktion einer Komponente des zu untersuchenden Systems wird ein unabhängiges Funktionselement zugeordnet. Das Ausfallverhalten eines Funktionselementes lässt sich auf eine der beiden folgenden Arten beschreiben:

- durch die Ausfallrate  $\lambda$   
Unter der Ausfallrate wird die relative Abnahme des Bestandes an noch nicht ausgefallenen Funktionselementen verstanden, die pro Zeiteinheit eintritt.
- Durch eine Ausfallwahrscheinlichkeit pro Anforderung  $p$   
Unter der Ausfallwahrscheinlichkeit pro Anforderung wird die Wahrscheinlichkeit dafür verstanden, dass bei Anforderung des Funktionselementes ein Ausfall vorliegt, die Komponentenfunktion als in dem vor der Anforderung liegenden Zeitraum ausgefallen ist oder spätestens zum Anforderungszeitpunkt ausfällt.

Beide Größen sind Erfahrungswerte. Sie werden durch statistische Auswertungen von Beobachtungen ermittelt, die beim betrieblichen Einsatz in vergleichbaren technischen Anlagen gemacht werden und einen Mittelwert aus dem Verhalten mehrerer Komponenten eines Typs für die Ausfallrate  $\lambda$  bzw. die Nichtverfügbarkeit  $p$  liefern. Im Allgemeinen sind beide Größen nicht konstant, sondern hängen von der Zeit ab. Da während des wesentlichen Teiles der Einsatzzeit das Ausfallverhalten nicht von systematischen, sondern von zufälligen Fehlern bestimmt wird, kann für ein großes Zeitintervall mit einer konstanten Ausfallrate gerechnet werden. Aus der Betriebserfahrung erhält man Mittelwerte für die Ausfallraten bzw. Ausfallwahrscheinlichkeiten. Diese konstanten Werte werden in Zuverlässigkeitsanalysen verwendet. Neben dem Ausfallverhalten der Komponenten ist auch ihre Nichtverfügbarkeit infolge von Instandhaltungen zu berücksichtigen. Darunter sind Instandsetzungen, d. h. die Reparatur ausgefallener Komponenten, Wartungen, d. h. regelmäßige, vorbeugende Maßnahmen und Inspektionen, z. B. regelmäßige Funktionsprüfungen, zu verstehen. Bei der theoretischen Behandlung der Instandhaltung sind eine Reihe unterschiedlicher Gesichtspunkte zu berücksichtigen, die in verschiedenen mathematischen Modellen behandelt werden.

Ausfallraten für die Analyse einer Anlage sollten von Komponenten stammen, die den zu erwartenden ähnlich sind und unter vergleichbaren Bedingungen eingesetzt werden. Dies lässt sich bei Chemieanlagen auf Grund der „Individualität“ der Anlagen und der schnellen technischen Weiterentwicklung einzelner Komponenten wie Reaktoren und Überwachungselementen nicht verwirklichen. Daher ist der Rückgriff auf Daten aus der Literatur erforderlich. Dabei ist die Übertragbarkeit der Daten ein sehr kritischer Punkt. Oft müssen fehlende Daten mit Umrechnungsfaktoren ermittelt oder durch Expertenurteil ersetzt werden. Anforderungen an die Datenermittlung sind dabei:

- Ermittlung derjenigen Einflussgrößen auf das Ausfallverhalten wie z. B. Konstruktion, Werkstoff, Betriebs- und Einsatzbedingungen, Umgebungsbedingungen, Art der Instandhaltung usw., die einen signifikanten Einfluss auf die Zuverlässigkeitskenngrößen haben;
- Bereitstellung von Zuverlässigkeitskenngrößen, die entsprechend dem erstgenannten Ziel spezifiziert sind.

Dabei können die ermittelten Risikowerte, je nach getroffenen Annahmen, um mehrere Zehnerpotenzen streuen. Dies gilt insbesondere bei der Beurteilung komplexer Anlagen. Insofern sind die ermittelten Zahlenwert (z. B.  $10^{-6}$  Todesfälle pro Jahr) nicht absolut zu verstehen. Hierüber sollte man sich im Klaren sein und die Unsicherheiten der Ergebnisse auch kommunizieren.

Das Joint Research Centre in Ispra (Italien) führte 1992 im Auftrag der Europäischen Union eine Benchmark-Studie mit elf international anerkannten Consulting-Firmen durch, bei der für eine vorgegebene Anlagenkonzeption eines Ammoniak-Lagers jeweils eine quantitative Risikoanalyse durchzuführen war. Beim Vergleich der Untersuchungen wurden erhebliche Abweichungen in den Annahmen und Berechnungsmethoden festgestellt ([Guidelines CPQRA 2000], S. 449 und dort genannte Lit.). Insbesondere ergaben sich Abweichungen:

- in der Festlegung der Freisetzungsquerschnitte um den Faktor 5,
- bei der Austrittsdauer der Leckagen um den Faktor 30,
- bei der Quelltermermittlung um den Faktor 35,
- bei der Ausbreitungsrechnung um den Faktor 8.

Die Endergebnisse wichen allein aufgrund der unterschiedlichen Modellwahl um bis zu fünf Zehnerpotenzen voneinander ab. Insofern sollte man sich immer über den modellhaften Charakter solcher Einschätzungen im Klaren sein und von den ermittelten „absoluten Zahlen“ nicht täuschen lassen. Ein weiteres Beispiel für die festzustellenden Abweichungen sind die Ergebnisse des ASSURANCE Projektes (s. Kap. 5.6.1).

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist grundsätzlich zu bedenken, dass auch bei einer quantifizierenden Analyse durch die Auswahl der verwendeten Daten subjektive Elemente einfließen und für einzelne Elemente, bei nur unzureichend vorhandenen Daten, eine Schätzung durch Experten erfolgt. Insofern enthält eine komplexere quantitative Analyse immer qualitative Elemente.

#### 4.2.3 Faktor Mensch

Neben diesen technischen Aspekten spielt der Mensch als Bediener der Anlagentechnologie eine zentrale Rolle. Dies gilt insbesondere für das menschliche Verhalten in Stresssituationen. In Fehlerbaumanalysen lässt sich das menschliche Verhalten, das Risiko von Fehlleistungen quantifizierend, berücksichtigen. Auf den Faktor Mensch wird in Kapitel 6.2.7 *Human Factor, Chemieanlagen* und im **Anhang, Kapitel 2.2 Neuere Entwicklungen in der quantifizierenden Risikobetrachtung, Faktor Mensch**, eingegangen.

### 5. Methodische Vorgehensweise in europäischen Nachbarländern

Die im europäischen Ausland praktizierte Beurteilung gefährlicher Anlagen ist sehr unterschiedlich. Anders als in Deutschland werden die von den Anlagen ausgehenden Risiken bewertet. Dies gilt sowohl bei der planerischen Beurteilung als auch im Rahmen der Anlagenzulassung. In den Niederlanden und der Schweiz sowie Großbritannien sind die Ansätze einer quantitativen Betrachtung wohl am weitesten fortgeschritten. So kann z. B. in

der Schweiz die immissionsschutzrechtliche Anlagenzulassung von der Anzahl möglicher Toter in einer bestimmten Zeitspanne abhängen oder anders ausgedrückt, Vorhaben, bei denen bei seltenen Ereignissen mit Toten zu rechnen ist, sind genehmigungsfähig.

Aufgrund einer Vielzahl von Studien sind in einigen Ländern vertretbare Risiken quantifiziert und „Grenzwerte“ für das zulässige Risiko durch Parlamentsbeschluss festgelegt worden. Dies wird im Folgenden in knapper Form zusammenfassend dargestellt. Den Schwerpunkt des kurzen Einblicks bilden dabei die Niederlande und die Schweiz, da in diesen Ländern die Rechtssystematik und Umsetzung rechtlicher Vorgaben durch die europäische Gesetzgebung der deutschen Systematik nahe kommt. Die Schweiz ist zwar kein Mitgliedsstaat der Europäischen Union und unterliegt damit nicht der Umsetzungspflicht der Seveso-II-Richtlinie. Dennoch setzt die Schweiz im Rahmen einer Selbstverpflichtung die europäischen Vorgaben in vielen Bereichen konsequent und zeitnah um.

## 5.1 Niederlande

In den Niederlanden gibt es etwa 300, dem Regelungskreis der Seveso-II-Richtlinie unterliegende, Betriebsbereiche (Rechtliche Grundlagen: [Niederlande, Störfallrecht]). Für etwa die Hälfte dieser Betriebsbereiche gelten die erweiterten Pflichten. 1989 wurde ein Grenzwert für das vertretbare Risiko im Rahmen einer Parlamentsentscheidung festgelegt.

Im Rahmen der Raumordnungsplanung und der Umsetzung der Seveso-II-Direktive konkretisiert das niederländische Bau-, Raumplanungs- und Umweltministerium (VROM) derzeit die zuvor erwähnten Risikobeurteilungswerte. Bei der Beurteilung von Anlagen, die unter die Störfall-Verordnung fallen, fordert das VROM die Einhaltung eines standortspezifischen Risikos von  $1:1.000.000 (10^{-6})$  per annum für Neuanlagen und  $1:100.000 (10^{-5})$  per annum für bestehende Anlagen.

Diese Werte sind bis spätestens im Jahr 2010 zu erreichen. Bei der Beurteilung des Risikos, an den Folgen eines „Störfalles“ mit gefährlichen Stoffen zu sterben, wird zwischen besonders exponierten und weniger exponierten Objekten unterschieden. Im Falle der Altanlagen bei weniger exponierten Objekten muss der Wert von  $10^{-6}$  nicht im Jahr 2010 erreicht werden, da die volkswirtschaftlichen Kosten in diesem Falle als unverhältnismäßig hoch eingeschätzt werden. Insofern fließen Verhältnismäßigkeitsgesichtspunkte bzw. ökonomische Aspekte in die gesellschaftliche Entscheidung ein.

Neu ist in den Niederlanden dabei die Unterscheidung zwischen lokalem und sozialem Risiko [Staatscourant Nr. 38]. Beim lokalen Risiko wird das Todesfallrisiko an einem bestimmten Ort zu Grunde gelegt. Dabei spielt die tatsächliche räumliche Anwesenheit einer Person - anders als beim bisher benutzten Individual-Risiko – keine Rolle. Das lokale Risiko ist die Wahrscheinlichkeit, bezogen auf das Jahr, dass eine durchschnittlich belastbare Person an einem bestimmten geografischen Ort, in der Nachbarschaft einer industriellen Ansiedlung, an den direkten Folgen eines Unfalles mit gefährlichen Stoffen stirbt. Dabei wird von einer technisch ungeschützten Person (anders als z. B. bei speziell ausgerüsteten Arbeitnehmern), die zeitlich unbeschränkt am betroffenen Ort anwesend ist, ausgegangen. „Lokales Risiko“ kann als eine Linie auf der Landkarte eingezeichnet werden, man erhält Iso-Risikolinien, die Punkte gleichen lokalen Risikos miteinander verbinden. Im Rahmen der Bauleitplanung erhält man Zonen unterschiedlicher Nutzung bzw. unterschiedlichen Schutzzanspruches.

Um das soziale Risiko auszudrücken hat der Staat Orientierungs-Tabellen veröffentlicht, die genannten Werte haben allerdings keinen gesetzlichen Charakter im Sinne von einzuhaltenden Grenzwerten. Es gibt Grenzbereiche der Akzeptanz für zehn Todesfälle ( $10^{-5}$  pro Jahr), 100 Todesfälle ( $10^{-7}$  pro Jahr) und 1000 Todesfälle ( $10^{-9}$  pro Jahr).

Um unterschiedliche Nutzungen der Flächen berücksichtigen zu können sind zusätzliche Bewertungsfaktoren eingeführt worden. Dabei wird zwischen schützenswerten und weniger schützenswerten Objekten unterschieden. Wesentliche Kriterien sind insbesondere die ständige Aufenthaltsdauer (Einfamilienhäuser, Wohnungen, Büros ...) oder besondere Schutzbedürftigkeit (Kinder, Alte, Kranke). Weitere Kriterien sind die Fluchtmöglichkeiten und die Nutzung der an industrielle Ansiedlungen angrenzenden Flächen. Die Kriterien für das soziale Risiko werden in den Niederlanden aktuell gesellschaftlich diskutiert [44. Tutzing-Symposium].

Das „soziale Risiko“ drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass eine Gruppe von Menschen, bezogen auf den Zeitraum eines Jahres, an den direkten Folgen eines industriellen Unfalls mit gefährlichen Substanzen stirbt. Die Darstellung erfolgt hier nicht durch Linien gleichen Risikos sondern über Flächen (Tote pro Hektar). Dabei werden die im Umkreis einer Anlage lebenden Menschen als Gruppe gewählt. Das soziale Risiko lässt sich in einem Diagramm durch eine sogenannte FN-Kurve (F = Frequency; N = Number of People) wiedergeben. Dargestellt wird der Zusammenhang zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit für ein von einer industriellen Anlage ausgehendes tödliches Ereignis, bezogen auf den Zeitraum eines Jahres und der Anzahl der beim Eintritt des Ereignisses betroffenen Personen (Abb. 5.1/1: Niederlande, Darst. des lokalen Risikos (Iso-Risikolinien) und sozialen Risikos (FN-Kurven)):

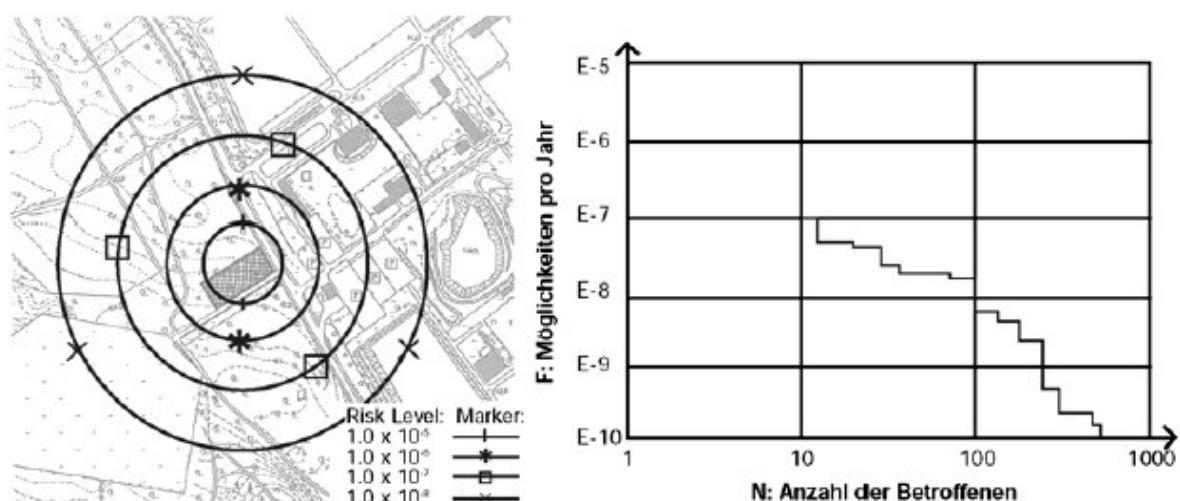


Abb. 5.1/1: Niederlande, Darst. des lokalen Risikos (Iso-Risikolinien) und sozialen Risikos (FN-Kurven), Quelle: Internetdarstellung des Rijksinstitut voor Volksgezondheid en Milieu (Niederlande), Januar 2005

Grundlage der Bewertung der Risiken ist dabei die Anwendung von Probitfunktionen. Die Erfahrungen mit der Anwendung von Dosiswerten in den Niederlanden werden von den Niederlanden positiv bewertet. Dies gilt für die Akzeptanz der Werte und für die Praktikabilität im Rahmen der Umsetzung der Vorgaben durch die Verwaltung [Prost 2003]. In konsequenter Fortsetzung dieser Linie wurde mit Erlass von Oktober 2004 nunmehr die Verwendung quantifizierender Ansätze - anders als in Deutschland - sowohl im Rahmen der Bauleitplanung als auch bei bereits bestehenden Anlagen verbindlich festgelegt. Dies

führt u. a. dazu, dass in den Niederlanden in den nächsten Jahren eine größere Anzahl von Tankstellen wegen zu geringer Abstände zu sehr nahr Wohnbebauung, geschlossen werden. Der erforderliche Sicherheitsabstand bei größeren LPG-Abfüllstellen beträgt in den Niederlanden 110 m.

Um Streitigkeiten mit den Anlagenbetreibern zu vermeiden und eine einheitliche Vorgehensweise zu erreichen, wurden bestimmte Szenarien und Bewertungsvorgaben festgelegt. Danach ([Niederlande, Störfallrecht], 2004) ist eine - nach der Höhe der Schutzbedürftigkeit - gestaffelte Nutzung der Flächen möglich. Dabei ist man sich darüber im Klaren, dass auch kleinere Unterschiede in der Methodik zu größeren Unterschieden im Ergebnis führen können. Insofern handelt es sich um eine Konvention zur Beurteilung der von bestimmten Anlagen ausgehenden Risiken. Gleichzeitig soll für die Ausbreitungsrechnungen ein bestimmtes "Computermodell" favorisiert werden, um in gewisser Weise eine Gleichbehandlung der Anlagenbetreiber erreichen zu können. Dies bedeutet als Nachteil, dass eine Kontrolle der Ergebnisse mangels vergleichbarer Rechenverfahren entfällt oder größere Unstimmigkeiten nicht entdeckt werden. Die Überlegungen hierzu sind in den Niederlanden zur Zeit noch nicht abgeschlossen [Bottelberghs 2005].

## 5.2 Schweiz

In der Schweiz gibt es etwa 260 Betriebe, die in den Geltungsbereich der schweizerischen Störfall-Verordnung fallen. Davon haben bis Ende Januar 2005 mehr als 240 Anlagenbetreiber eine Risikoermittlung vorgenommen [44. Tutzing-Symposium]. Die rechtliche Grundlage der Störfallvorsorge in der Schweiz und damit auch die Grundlage für das Erstellen von quantitativen Risikoanalysen bilden das Umweltschutzgesetz [Schweiz, USG], das Gewässerschutzgesetz [Schweiz, GSchG] sowie die Störfall-Verordnung [Schweiz, StFV]. Im schweizerischen Umweltschutzgesetz (Artikel 10) wird das Ziel formuliert, die Bevölkerung und die Umwelt vor schweren Schädigungen zu schützen, welche infolge von Störfällen beim Betrieb von Anlagen entstehen können. Die Störfall-Verordnung präzisiert die Grundsätze der Störfallvorsorge für Betriebe, in denen erhebliche chemische oder biologische Gefahrenpotenziale vorhanden sind und für bestimmte Verkehrswege (Schiene, Straße, Rhein), auf denen gefährliche Güter transportiert werden. Sie erfüllt die entsprechenden Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft, hat aber einen breiteren Geltungsbereich für Betriebe und erfasst auch die Verkehrswege. Sie berücksichtigt zudem mit der letzten Revision von März 2005 das neue Chemikalienrecht in der Schweiz.

Ausgehend von der gesellschaftlichen Diskussion um die Kernenergie, aber auch über die Folgen von Naturkatastrophen und technischen Großunfällen, intensivierte sich die Risikodiskussion in der Schweiz Ende der 1980'er Jahre. Im Kontext regionaler Sicherheitspläne [Basel, Birkhäuser 1991] oder nationaler Risikoerhebungen [Braun, Herbert 1998] wurde die Anwendung quantitativer Parameter zur Risikocharakterisierung und – bewertung landesweit eingeführt. Typischerweise umfassen die Beurteilungskriterien in der Schweiz mehrere Dimensionen, die sowohl Einwirkungen auf die Bevölkerung, als auch Umwelt- und Sachschadensparameter enthalten. Erfasst werden die Schutzwerte Menschen, Umwelt, Sachgüter:

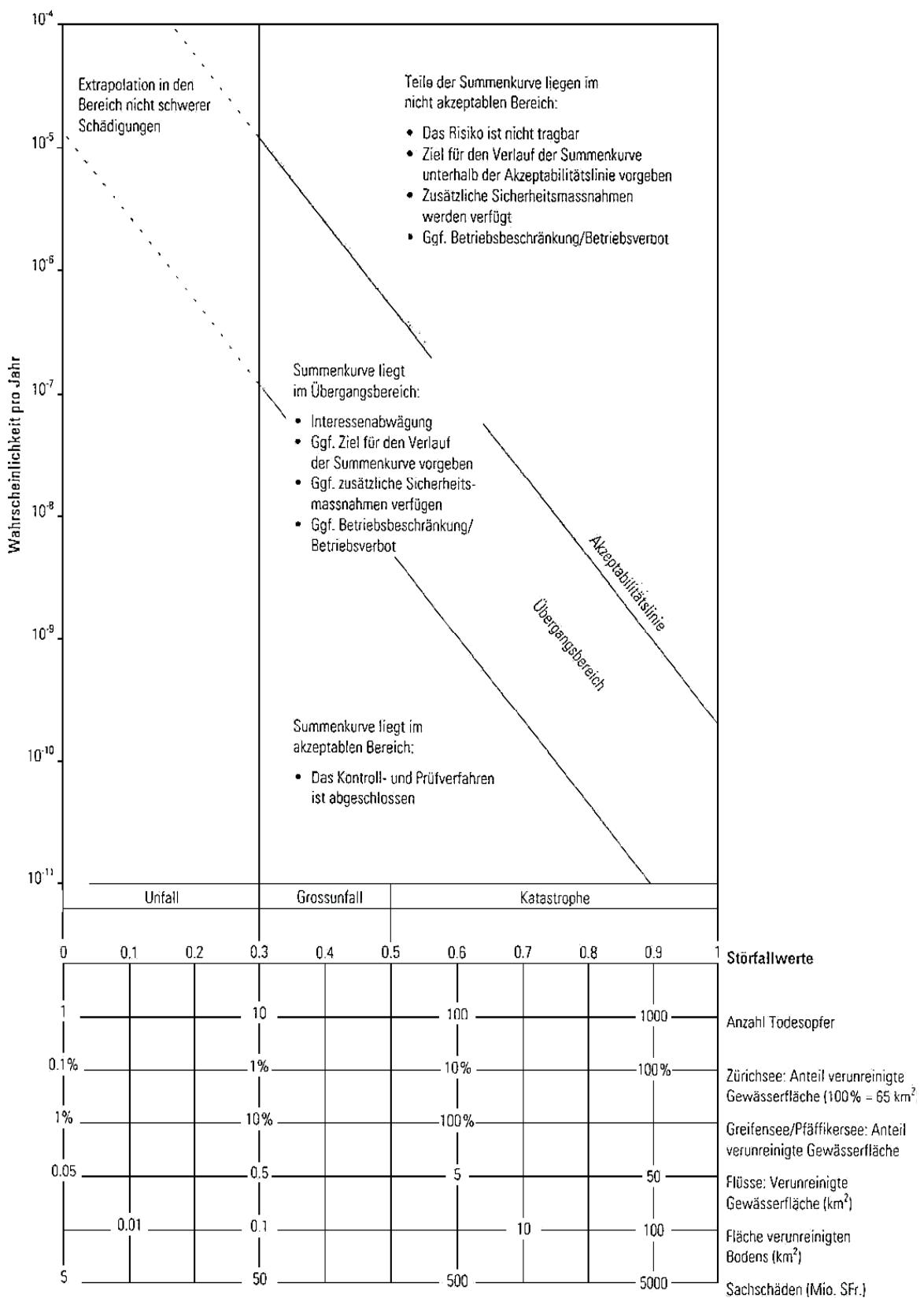
- Menschen:
  - Todesopfer (Anzahl)
  - Verletzte (Anzahl)

- Umwelt:
  - Oberirdische Gewässer (Volumen in  $m^3$ , Fläche in  $km^2$ )
  - Unterirdische Gewässer (Ausfall in Personenmonaten: Produkt der Anzahl betroffener Personen mit der Anzahl Monate, während der die Anforderungen für Trinkwasser nicht mehr erfüllt sind)
  - Boden (Ausfall in Flächenjahren: Produkt der betroffenen Fläche mit der Anzahl der Jahre der Beeinträchtigung)
- Sachwerte:
  - Sachschäden (Monitär)
- „Individuelle Faktoren“, z. B.:
  - Naturschutz- und Naherholungsgebiete, Biotope
  - Tierbestände.

So liegt zum Beispiel im Kanton Zürich ein potentielles Störfallszenario mit einer theoretischen Anzahl von Todesopfern von weniger als 10, einer Bodenverunreinigung von unter  $0,1 \text{ km}^2$  und einem Sachschaden von unter 50 Millionen SFr bei einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 1:100.000 ( $10^{-5}$ ) pro Jahr, durchaus im genehmigungsrechtlichen Rahmen [ES CIS 2003]. Gleichermassen finden z. B. im Rahmen der o. g. „Umfassenden Risikoanalyse Schweiz“ Bewertungsparameter Anwendung, bei denen – im nationalen Rahmen gesehen – Auswirkungen auf weniger als 100 Personen als „unbedeutend“ eingestuft wurden.

Das nach festgelegten Kriterien eingeschätzte, jeweilige Ausmaß an Schädigungen wird mit Störfallwerten zwischen 0 und 1 „quantifiziert“. Ein Wert von  $\geq 0,3$  bis  $< 0,5$  entspricht dabei einem Großunfall mit schweren Schädigungen (z. B. 10 Todesopfer, 100 Verletzte, Verunreinigung von  $106 \text{ m}^3$  Wasser oder  $1 \text{ km}^2$  Wasseroberfläche, Ausfall einer Grundwasserfassung im Ausmaß von etwa 10.000 Personenmonaten, Sachschäden von ca. 340 Mio. €.). Als Ordinate wird dabei die Wahrscheinlichkeit (pro Jahr) für ein Ereignis logarithmisch aufgetragen.

Dadurch ergibt sich eine lineare Darstellung des Risikos. Dabei lassen sich die Grenzbereiche „akzeptabler Bereich“, Bereich für den Handlungsbedarf bestehen und nicht akzeptabler Bereich für das Summenrisiko auf der Grundlage der bereits beschriebenen Maßstabsbildung unterscheiden. Orientierungspunkt bei der Beurteilung eines industriellen Vorhabens ist dabei die Akzeptabilitätslinie. Besonders interessant ist der definierte Übergangsbereich. Hier wird den unterschiedlichen Bedingungen am jeweiligen Standort und Besonderheiten in der Anlagenauslegung oder –technik Rechnung getragen. Dabei spielen z. B. geographische Umstände wie eine Tal- oder Berglage des Standortes eine Rolle oder die Nähe der nächstgelegenen Wohnbebauung und die sonstige Nutzung in der Nachbarschaft. Bei industrieller Nutzung in der Nachbarschaft ist ein Dominoeffekt zu untersuchen. Die ermittelten Werte für verschiedene Störfallszenarien einer Anlage werden in einem „Wahrscheinlichkeits-Ausmaß-Diagramm“ (s. Abb. 5.2/1: Risikodarstellung Kanton Zürich) mit den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten korreliert und als Summenkurve dargestellt:



Grafik 5: Beispiel eines W-A-Diagramms mit Beurteilungskriterien und Zuteilung von Störfallwerten für die zur Anwendung gelangenden Schadenindikatoren. Schädigungen  $\geq 0.3$  gelten als schwere Schädigungen. Dieses Vorgehen gilt für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen. (Quelle: Koordinationsstelle für Störfallvorsorge Kanton Zürich)

Abb. 5.2/1: Schweiz, Risikodarstellung Kanton Zürich

Quelle: Internet, Koordinationsstelle für Störfallvorsorge Kanton Zürich, 2004

Eine quantitative Risikoermittlung ist die Grundlage für die Beurteilung der Tragbarkeit

des Risikos. Die Kantone entscheiden, ob das von einem Betrieb oder Verkehrsweg ausgehende Risiko für die Bevölkerung und die Umwelt tragbar ist oder ob zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen nötig sind. Sie bedienen sich in einzelnen Kantonen der Beurteilungskriterien, die ihnen vom Kantonsparlament vorgegeben sind [Schweiz, Basel]. Unterstützung erhalten sie dabei, beispielsweise im Kanton Basel-Landschaft durch eine Kommission zur Beurteilung von Risikoermittlungen oder im Kanton Basel-Stadt durch eine Risikokommission. Der Bund hat für die Schweiz Beurteilungskriterien und Richtlinien bereitgestellt [Schweiz, Bund]. In den Beurteilungskriterien und Richtlinien wird festgehalten, welche Risiken tragbar und welche nicht tragbar sind. „Dazwischen“ ist ein Übergangsbereich definiert, in welchem die Vollzugsbehörde über die Tragbarkeit des Risikos entscheidet.

Über die Betrachtung einzelner Betriebe hinaus verlangt die schweizerische Störfall-Verordnung die übergreifende Darstellung der Risikosituation in Form eines Risikokatasters. Dabei unterrichten die einzelnen Kantone das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) regelmäßig über die auf ihrem Gebiet vorhandenen Gefahrenpotentiale und Risiken. Im **Anhang, Kapitel 2. 3 Risikokataster des Kanton Zug** wird beispielhaft die Vorgehensweise im Kanton Zug näher beschrieben.

### 5.3 Großbritannien

Die Diskussion um die Vertretbarkeit von Risiken hat in Großbritannien eine vergleichsweise lange Tradition und steht in engem Zusammenhang mit der gesellschaftlichen Diskussion um die Ausweitung der Kernenergie in den frühen 1980'er Jahren. Resultierend aus diesem Diskussionsprozess formulierte die britische Gewerbeaufsicht (Health and Safety Executive – HSE) den Ansatz des ALARP-Prinzips (As Low As Reasonably Practicable). Der Vorgehensweise liegt die Überzeugung zu Grunde, dass ein gewisses Maß an Risiko vertretbar ist, wenn dafür ein entsprechender gesellschaftlicher Nutzen unterstellt werden kann.

Insgesamt sieht die britische HSE bei einem jährlichen Todesfallrisiko von 1:1 Million ( $10^{-6}$ ) die Schwelle erreicht, bei der zusätzliche Kosten zur Risikovorsorge nicht mehr im Verhältnis zum Sicherheitszugewinn stehen. Gleichzeitig wird ein jährliches Todesfallrisiko höher als 1: 10.000 ( $10^{-4}$ ) als nicht mehr tolerables Risiko für die Öffentlichkeit angesehen.

Die zwischen den Schwellen  $10^{-6}$  und  $10^{-4}$  befindliche Zone wird als Bereich (s. Abb.5.3/1: Großbritannien, ALARP-Prinzip) angesehen, bei dem Fall bezogen und unter Berücksichtigung einer Kosten-Nutzen-Abwägung ein vertretbares Risiko von der Aufsichtsbehörde festgelegt wird [HSE 1992]:



Abb.5.3/1: Großbritannien, ALARP-Prinzip

In Anerkennung der gesellschaftlichen Wahrnehmungskriterien von Risiken hat die britische HSE diesen Ansatz 2001 weiter präzisiert. Das Kriterium des intolerablen Risikos wurde um den Großunfall erweitert, bei dem die jährliche Wahrscheinlichkeit von 1:5.000 besteht, dass bei einem Vorfall mehr als 50 Personen auf einmal getötet werden [HSE 2001]. Dieser zunächst relativ niedrig erscheinende Grenzwert ist als Summe aller von einer Industrieansiedlung ausgehenden Risiken zu verstehen und gilt nicht im Falle einer angrenzenden Wohnbebauung. Im Bereich des Land-Use-Planning hält die britische HSE ein individuelles Todesfallrisiko von weniger als 1:1.000.000 ( $10^{-6}$ ) für vertretbar. Im Gegensatz dazu würde ein individuelles, hypothetisches Todesfallrisiko von mehr als 10:1.000.000 ( $10^{-5}$ ) für Anwohner zur Verweigerung der Genehmigung führen. Dabei nimmt die HSE eine unterschiedliche Bewertung von Risiken aufgrund einer beruflichen Tätigkeit (bei der eine gewisse Freiwilligkeit unterstellt wird) und dem Risiko für die Öffentlichkeit vor.

Im Vergleich zu den Niederlanden mit dem ALARA-Prinzip (As low as reasonably achievable), spielen in Großbritannien wirtschaftliche Erwägungen in der Abwägung der zur Vermeidung von Risiken bei industriellen Anlagen nach dem Stand der Technik zu fordernden Maßnahmen eine deutlich größere Rolle [Herrmann 2005].

#### 5.4 USA

In den USA wurden Risikostudien bezüglich der Akzeptanz von Technikrisiken bereits Mitte der 1970'er Jahre öffentlich kontrovers diskutiert. Als besonders hervorzuhebendes Beispiel sei hier der 1975 veröffentlichte „Rasmussen-Report“ [Rasmussen-Report 1975] zur Sicherheit der kommerziell genutzten Atomkraftwerke genannt. Hier wurden systematisch Risikoszenarien für Reaktorunfälle auf der Basis von Fehler- und Ereignisbäumen entwickelt und der Exposition alltäglicher Risiken (Autounfall, Blitzschlag, etc.) gegenübergestellt. Seitdem hat sich die Risikobetrachtung („Risk Assessment“) als integraler Bestandteil bei der Entwicklung von Gesetzen und Vorschriften etabliert [National Research Council 1983]. Häufig werden bei der Betrachtung von Umwelt- und Gesundheitsrisiken die Szenarien auf lebenslange (70 Jahre) oder jährliche, krebsinduzierte Todesfallrisiken in der Größenordnung von 1:10.000 ( $10^{-4}$ ), 1:100.000 ( $10^{-5}$ ), und 1:1.000.000 ( $10^{-6}$ ) angewendet [EPA 1995].

Mitte der 1980'er Jahre entwickelte sich dabei das Konzept des „*de Minimis risk*“, wobei davon ausgegangen wird, dass eine Risikoschwelle existiert, unterhalb derer es gesellschaftlich uneffektiv ist, weitere Risikominderung zu betreiben. Im Rahmen des *de Minimis risk* haben z.B. die USEPA und die Food and Drug Administration (FDA) im Gesundheitsbereich Regulierungsschwellen von 1:1.000.000 ( $10^{-6}$ ) für einen zusätzlichen Todesfall bei einer Million Betroffener über eine Lebensspanne von 70 Jahren vorgeschlagen. Im Gegensatz dazu stehen sogenannte *de manifestis risks*, die als nicht mehr vertretbar bewertet werden.

#### 5.5 Tabellarische Zusammenstellung der Bewertungskriterien

Nachfolgend werden die in den Nachbarländern sowie den USA verwendeten „Grenzwerte“ für die Szenarien Brand, Explosion und Freisetzung toxischer Stoffe sowie die tolerierbaren Risiken tabellarisch zusammengestellt:

### 5.5.1 „Grenzwerte“, Szenarien Brand, Explosion und Freisetzung toxischer Stoffe

Die nachfolgenden Tabellen (Quelle: [ARAMIS]) fassen das Spektrum an „Grenzwerten“ für die Szenarien Brand, Explosionen und Freisetzung toxischer Gase für die Länder Italien, Belgien, Frankreich und Spanien zusammen (s. Tab.: 5.5.1/1; 5.5.1/2; 5.5.1/3; 5.5.1/4):

	Wärmestrahlung (kW/m <sup>2</sup> )	Explosionsdruck (mbar)
<b>Wachsamkeitszone<sup>1</sup></b>	----	----
<b>Gefährdungszone<sup>2</sup></b>	2,5 während 30 s	20

1. Bereich, reversibler Effekte
2. Bereich in dem bestimmte Maßnahmen erforderlich sind, um die Auswirkungen von Ereignissen - unter Berücksichtigung der Einwirkzeit - zu begrenzen.

Tab. 5.5.1/1: „Grenzwerte“ in Belgien

	Wärmestrahlung <sup>2</sup> (kW/m <sup>2</sup> )	Explosionsdruck (mbar)	Toxische Effekte
<b>Irreversible Effekte</b>	3	50	SES <sup>3</sup>
<b>Letale Effekte</b>	5	140	SEL <sup>4</sup>
<b>Domino-Effekte<sup>1</sup></b>	8: ungeschützte Strukturen  12: geschützte Strukturen	200 mbar: erheblicher Schaden  350 mbar: schwerer Schaden  500 mbar: sehr schwere Schaden	----

1. Diese Grenzwerte werden von INERIS verwendet, keine offiziellen Grenzwerte.
2. Für eine Expositionszeit größer 60 s.
3. „Seuil des effets significatifs“, Grenzwert für erhebliche Schäden.
4. „Seuil des effets létaux“, Werte korrespondieren mit dem 1 % Wert für die letale Konzentration (LC<sub>1%</sub>)

Tab. 5.5.1/2: “Grenzwerte” in Frankreich

	Wärmestrahlung (kW/m <sup>2</sup> )	Explosionsdruck (mbar)	Toxische Effekte
<b>Reversible Effekte</b>	3	30	----
<b>Irreversible Effekte</b>	5	70	IDLH
<b>Beginnende Letalität</b>	7	140	----
<b>Hohe Letalität</b>	12.5	300	LC <sub>50</sub> <sup>2</sup>
<b>Domino-Effekte</b>	12.5	300	----

1. Italien verwendet ebenfalls die nachfolgend genannten Grenzwerte für nicht stationäre thermische Strahlung (Feuerball): 125 kJ/m<sup>2</sup> (reversible Effekte); 200 kJ/m<sup>2</sup> (irreversible Effekte); 350 kJ/m<sup>2</sup> (beginnende Letalität); Feuerball-Radius (hohe Letalität): 200-800 m (Domino-Effekt). Flash-Fire: ½ x beginnende Letalität und hohe Letalität.
2. Einwirkungszeit: 30 Min..

Tab. 5.5.1/3: “Grenzwerte” in Italien<sup>1</sup>

	<b>Wärmestrahlung (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Explosionsdruck (mbar)</b>	<b>Toxische Effekte</b>
<b>Achtungsbereich<sup>1</sup></b>	3	50	0,25·IDLH
<b>Eingriffsbereich<sup>2</sup></b>	5	125	IDLH
<b>Domino-Effekte</b>	12: ohne Schutzausrüstung  37: mit Schutzausrüstung	100: Gebäude  160: Anlagen(teile) unter Normaldruck  350: Anlagen(teile) unter Überdruck	

1. Die Auswirkungen eines Ereignisses sind für die Bevölkerung deutlich wahrnehmbar, erfordern jedoch keine weiteren Maßnahmen, ausgenommen besonders empfindliche Personengruppen.
2. Die Auswirkungen eines Ereignisses erreichen einen Schadensumfang, der die sofortige Einleitung von Maßnahmen erfordert.

Tab. 5.5.1/4: "Grenzwerte" in Spanien

Vor dem Hintergrund der „konservativen“ deutschen Auslegung der Seveso-II-Richtlinie im Rahmen der deutschen Umsetzung durch die Störfall-Verordnung und dem Rechtsgrundsatz der Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen sind die verwendeten Werte eher niedrig. Dies wird z. B. auch durch die Heranziehung der IDLH-Werte als Bezugswerte für das Szenarium einer Freisetzung toxischer Stoffe deutlich (IDLH: Immediate dangerous for Life and Health), die in der Regel deutlich niedriger und weniger wissenschaftlich fundiert sind als die ERPG- oder AEGL-Werte und sensible Bevölkerungsgruppen nicht vergleichbar wie diese Werte berücksichtigen (s. Kapitel 4.1 Konzentrationswerte).

## 5.5.2 Tolerierbare Risiken

Im Bereich der menschlichen Todesfallrisiken für die allgemeine Bevölkerung bewegen sich die Grenzwerte in den europäischen Nachbarländern im Bereich von 1:100.000 ( $10^{-5}$ ) bis 1:10.000.000 ( $10^{-7}$ ) pro Jahr. Als wesentlicher Orientierungspunkt für die Festlegung gesellschaftlich akzeptierter Risiken werden dabei häufig natürliche „Hintergrund“-Risiken wie die Gefährdung durch Blitzschlag oder Risiken moderner Gesellschaften wie ein tödlicher Verkehrsunfall genannt.

Gleichzeitig haben die Behörden z. B. in Großbritannien, der Schweiz und den USA spezielle Vorsorge getroffen für sogenannte „low probability, high consequence“ Risiken. Sehr seltene Ereignisse, die mit einer sehr hohen Anzahl von Todesopfern verbunden sind, werden gesellschaftlich nicht akzeptiert (s. Kapitel 3.2.1.2, Technische Gesichtspunkte, Risikoformel). Für solche Ereignisse werden strengere Maßstäbe angelegt (s. Kapitel 5.3 Großbritannien). Andererseits wird bei beruflicher Exposition, unter Berücksichtigung der Freiwilligkeit einer bestimmten Tätigkeit, allerdings auch ein höheres Risiko für die Beschäftigten akzeptiert.

Insgesamt ist innerhalb des genannten Korridors eine beachtliche „Bandbreite“ der Werte im Vergleich der genannten Länder festzustellen (s. Abb. 5.5.2/1: Risikozahlen international):

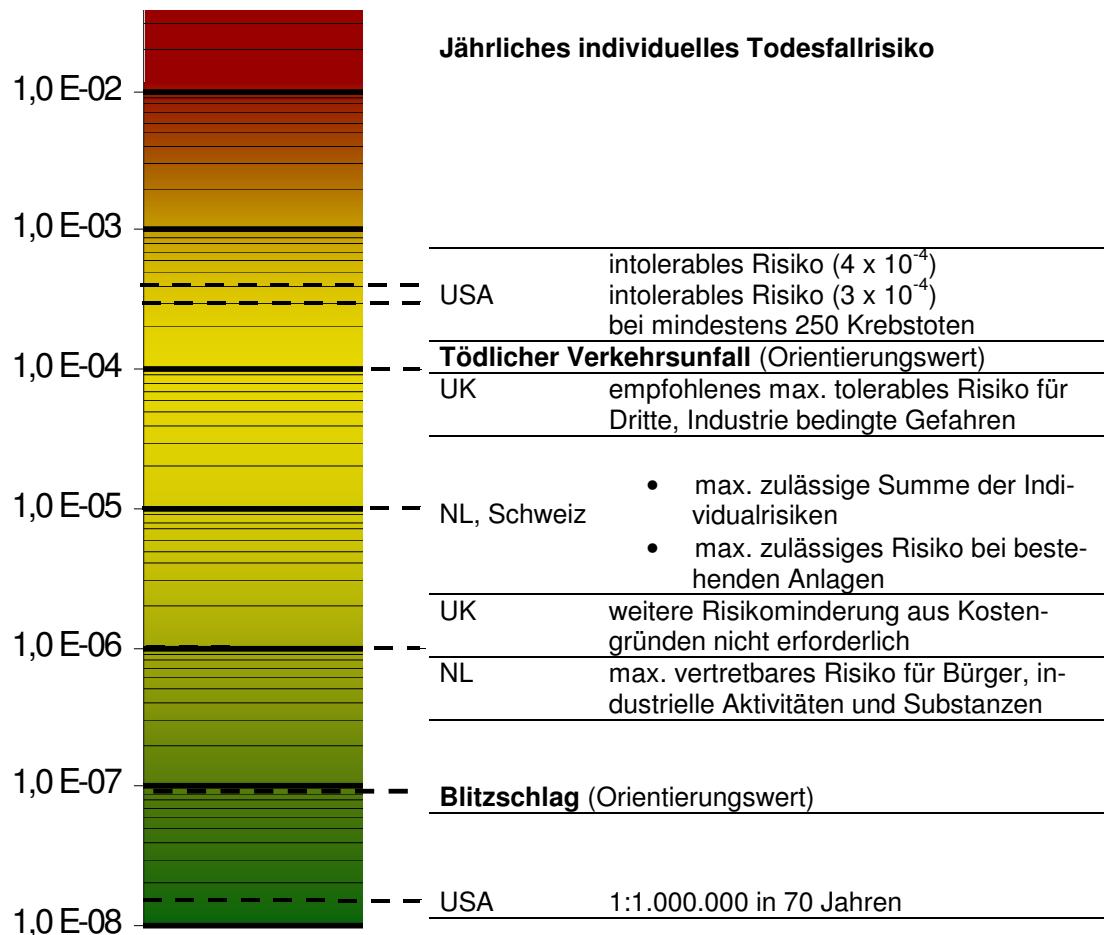


Abb.5.5.2/1: „Risikozahlen“ international

## 5.6 Forschungsaktivitäten und Arbeitskreise der Europäischen Kommission

Insgesamt lassen sich die Aktivitäten der Europäischen Kommission als Bemühen interpretieren, eine Harmonisierung des methodischen Vorgehens bei der Beurteilung der von gefährlichen Anlagen ausgehenden Risiken zu erreichen. Dabei ist eine Tendenz zu quantitativen Ansätzen erkennbar. Beispielhaft seien genannt:

### 5.6.1 ASSURANCE

Ziel des Projekts ASSURANCE (**A**sessment of **U**ncertainties in **R**isk **A**nalysis of **C**hemical **E**stablishments) war ein Vergleich der Vorgehensweisen und Ergebnisse von Risikoanalysen. Mit neun Partnern in sieben Mitgliedsstaaten wurde zwischen 1998 und 2001 die Beurteilung von Chemieanlagen untersucht. Für ein klassisches Ereignis wie den Abriss einer Verbindungsleitung mit einem Durchmesser von vier Inch wurden z. B. Werte von  $3,4 \times 10^{-8}$  bis  $2,3 \times 10^{-4}$  pro Jahr ermittelt.

Durch das Projekt wurden die großen Unterschiede in der Beurteilung von Risiken in benachbarten europäischen Ländern deutlich. Ziel eines weiteren Projektes sollte es daher sein, den Ländern Hilfestellung für eine Harmonisierung der Vorgehensweise zu leisten.

## 5.6.2 ARAMIS

ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of the Seveso II directive) war ein zeitlich auf 4 Jahre ausgelegtes Forschungsvorhaben der Europäischen Kommission (Abb.: 5.6.2/1: ARAMIS-Projekt):

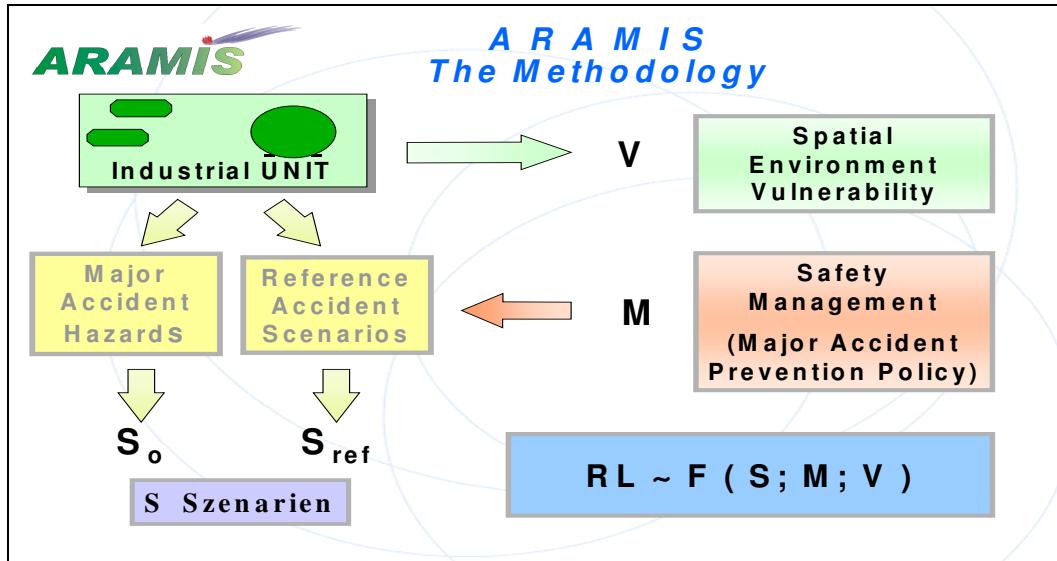


Abb. 5.6.2/1: ARAMIS-Projekt [ Salvi 2005]

Es wurde Ende 2004 abgeschlossen [ARAMIS]. Vor dem Hintergrund der Ereignisse in Enschede (NL) und Toulouse (F) hat das Vorhaben deutlich an Bedeutung und Unterstützung in den Mitgliedsländern gewonnen, nachdem sich der ursprünglich schon etwas früher geplante Start zunächst aus finanziellen Gründen verzögert hatte. Geleitet wurde das Projekt vom französischen Institut INERIS. Dabei handelt es sich um eine halbstaatliche Einrichtung, vielleicht am ehesten vergleichbar einer Mischung aus deutschem TÜV mit einem Schuss Landesumweltamt NRW.

Aufbauend auf dem Projekt ASSURANCE (s. o.) zielte das Vorhaben zum einen auf eine Harmonisierung der in der Risikoanalyse angewandten Methoden in Europa ab und zum anderen sollte ein Modell zur Bewertung der von gefährlichen Anlagen ausgehenden Risiken entwickelt werden. Durchgesetzt hat sich ein Indexmodell. Dieser Risikoindex setzt sich aus verschiedenen größeren Bausteinen zusammen. Dabei fließen auch Gesichtspunkte der Umweltverträglichkeit eines industriellen Vorhabens im Falle eines „hypothetischen“ Störfalls ein. Es werden auch Sicherheitsbarrieren berücksichtigt. Auch die Qualität des Sicherheitsmanagementsystems wird bepunktet.

Das Projekt wurde im gemeinsamen Arbeitskreis Überwachung der Ansiedlung von Störfallkommission und Technischem Ausschuss für Anlagensicherheit besprochen, fand aber im Abschlussbericht keine Berücksichtigung. Insgesamt ist der Einfluss des Projektes in Deutschland, dass nur zurückhaltend beteiligt war (s. Vorwort), gering.

## 5.6.3 European Expert Group on Land-Use-Planning

Die Europäische Kommission hat den internationalen Arbeitskreis „Land-Use-Planning“ unter der Bezeichnung *European Expert Group on Land-Use-Planning* erneut einberufen.

Gegenstand der Überlegungen ist dabei im Schwerpunkt die Umsetzung von Artikel 12 „Überwachung der Ansiedlung“ der Seveso-II-Richtlinie. Der Arbeitskreis hatte im Jahr 1999 einen Leitfaden für die Beurteilung von „Sevesobetrieben“ veröffentlicht [Guidance LUP 1999]. Offensichtlich wird auf Seiten der Europäischen Kommission nunmehr die Notwendigkeit gesehen, die in dem Leitfaden getroffenen Empfehlungen zu überarbeiten oder zu konkretisieren.

Zusätzlich soll nach den Vorgaben der im Dezember 2003 novellierten Seveso-II-Richtlinie eine europäische Datenbank zur Datenerfassung im Bereich der Anlagensicherheit eingerichtet werden. Hierzu werden Leitlinien erarbeitet. Entsprechende Forderungen wurden zwischenzeitlich in die Störfall-Verordnung von Juni 2005 übernommen (s. Kapitel 3.2.7 *Novellierung der Störfall-Verordnung vom 08.06.2005*). Die deutschen Aktivitäten wurden auf nationaler Ebene u. a. von dem gemeinsamen Arbeitskreis von SFK und TAA „Überwachung der Ansiedlung“ unterstützt.

## **6. Neue Ansätze in der Bauleitplanung Vorgehensweise und vorhandene Daten**

Die nachfolgenden Kapitel stellen im Grunde eine Einheit dar. Daher wird eine gemeinsame Überschrift gewählt. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu erreichen, erfolgt die Gliederung in die Kapitel 6 bis 9.

### **6.1 Grundsätzliche Überlegungen und Festlegung der Vorgehensweise**

Für das methodische Vorgehen lässt sich als Zwischenresümee aus den vorausgehenden Überlegungen folgendes festhalten:

Auf Grund rechtlicher Vorgaben ist in der Anlagenzulassung und insbesondere der Bauleitplanung das mit einem Vorhaben verbundene Risiko zu ermitteln. Die sehr aufwendige und Detailkenntnisse der Anlagentechnik erfordernde Probabilistik ist für den Bereich der Bauleitplanung dabei nicht leistbar und letztlich auch nicht notwendig. Ansatzpunkte zur Anwendung werden eingeschränkt für den Bereich des Vorhaben bezogenen Bauleitplans gesehen. Hier ist der Planungsstand eines Vorhabens bereits insofern konkretisiert, als dass die Art der Anlage und die vorgesehene Jahreskapazität bzw. die relevanten Stoffe und Stoffmengen im wesentlichen bereits bekannt sind. Auch der Betreiber (Investor) selbst ist bekannt (s. Kapitel 3.1.6 *Der Vorhaben bezogene Bebauungsplan*). Insofern ist auch eine Bewertung des Sicherheitsmanagements und organisatorischer Fragen möglich. Dies gilt mittlerweile auch in vielen Fällen der Bedarfsplanung, bei der in der Praxis formale rechtliche Unterschiede in den Anforderungen gegenüber dem Vorhaben bezogenen Bebauungsplan in den Hintergrund treten und der Investor häufig ebenfalls bekannt ist.

Von besonderer Bedeutung ist die Frage, welche Stoffmengen bei den Betrachtungen zu Grunde zu legen sind. Auf die Verwendung von Standardszenarien zur Ermittlung der Stoffmengen wurde bereits eingegangen.

Bei der empirischen Ermittlung der für die Risikobewertung maßgeblichen Stoffmengen fließen wesentliche Aspekte wie die Ausstattung technischer Anlagen mit technischen

Barrieren, die Wirksamkeit organisatorischer Maßnahmen und die Qualität des Sicherheitsmanagementsystems in die Betrachtungen indirekt mit ein. Die auftretenden Ereignisse sind letztlich das Ergebnis eines Zusammenwirkens der unterschiedlichsten Faktoren wie der technischen Ausstattung der Anlagen und der Anlagenbedienung (Faktor Mensch).

Als Nachteil kann aufgeführt werden, dass die zur Verfügung stehenden Daten und die Qualität der Daten für eine Beurteilung nicht immer ausreichen dürften. Dieser Nachteil lässt sich allerdings auf mittlere Sicht durch die Erhebung entsprechender Daten sowohl für Ereignisfälle als auch sog. Beinahe-Ereignisse beheben. Unter dem Begriff Beinahe-Ereignisse sind hier i. S. d. Störfall-Verordnung nicht meldepflichtige Ereignisse gemeint, deren Auswertung aber dennoch von großem Nutzen für die Beurteilung von Schwachstellen in Sicherheitssystemen sein kann. Aus den Informationen lassen sich auch „fiktive“ Freisetzungsmengen für die Ermittlung von Abständen für die Bauleitplanung herleiten, die mit Daten aus erfolgten Freisetzungen „gleichgestellt“ werden können. Dies würde zu einer größeren Anzahl empirischer Daten und einer erhöhten Sicherheit für die Verwendung realistischer Stoffmengen bei den Abstandsberechnungen führen. Die Informationen sollten allen Anlagenbetreibern und Behörden zur Verfügung stehen. Dies könnte z. B. durch ein Internet-Portal geschehen. Wünschenswert wäre des Weiteren eine bundesweite Verwaltung der Daten, z. B. durch das Umweltbundesamt.

Sofern die Datenlage qualitativ oder quantitativ für eine empirische Bewertung nicht ausreicht, muss die Berechnung der bei einem Ereignis freigesetzten Mengen auf der Grundlage standardisierter Bedingungen erfolgen (Freisetzung über ein Leck).

Die vorhandenen Daten und deren Qualität wird in den nachfolgenden Unterkapiteln eingehend untersucht.

### **6.1.1 Praktische Abgrenzung der Ebene der Bauleitplanung**

Für die Vorgehensweise in der Bauleitplanung bedarf es einer auch Praxisgesichtspunkten gerecht werdenden Abgrenzung der zu berücksichtigenden Stoffmengen gegenüber den Ebenen der Anlagenzulassung und des Katastrophenschutzes. Rechtliche oder technische Vorgaben hierzu gibt es in Deutschland bisher allerdings nicht (s. *Kapitel 2. Bisherige Bemühungen zur Berücksichtigung von Abstandsregelungen* und *3. Rechtliche Betrachtung*).

Als Grundlage für die weiteren Überlegungen zur Störfallprävention auf der Ebene der Bauleitplanung wird eine dreistufige Abgrenzung der in der Anlagenzulassung, der Bauleitplanung und im Katastrophenschutz zu berücksichtigenden Stoffmengen vorgenommen. Die dreistufige Abgrenzung verdeutlicht die nachfolgende Abbildung (Abb. 6.1.1/1: In Anlagenzulassung, Bauleitplanung und Katastrophenschutz zu berücksichtigende Stoffmenge):

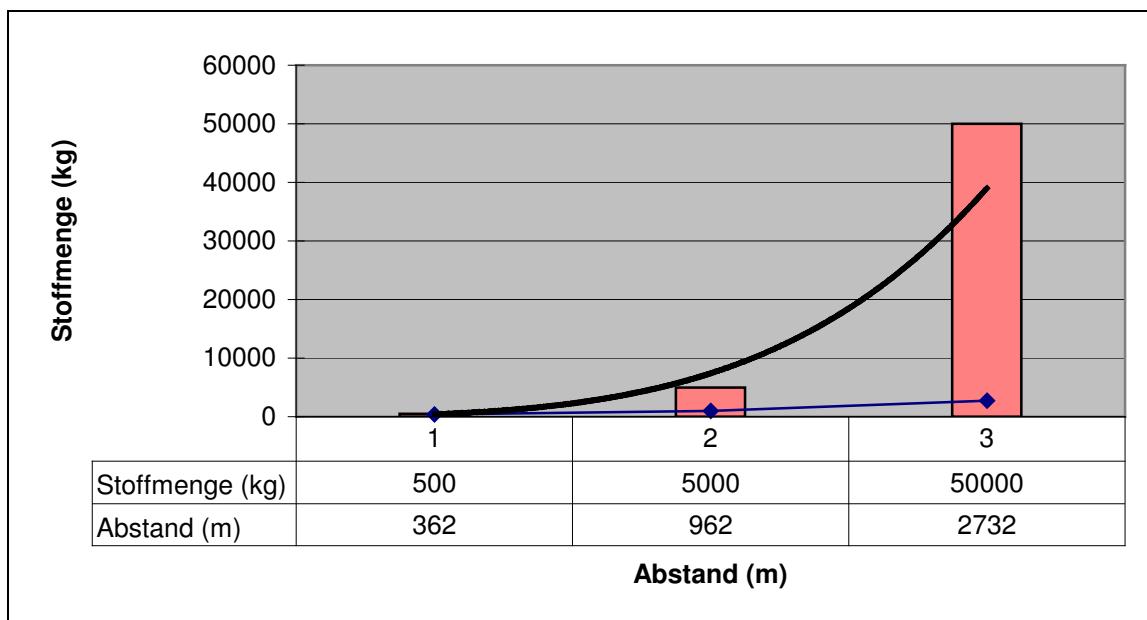


Abb. 6.1.1/1: In der Anlagenzulassung, Bauleitplanung und im Katastrophenschutz zu berücksichtigende Stoffmenge

Die Darstellung bezieht sich auf die bei mittleren Ausbreitungsbedingungen für die Stoffmengen 500 kg (Anlagenzulassung), 5.000 kg (Bauleitplanung) und 50.000 kg (Katastrophenschutz) für den Probit-1%-Wert für eine Expositionszeit von 60 Min. erhaltenen Abstand (s. Kapitel 8.1 *Freisetzung toxischer Stoffe, Beispiel Chlor*). Die angenommenen Stoffmengen sind willkürlich, geben aber für die Szenarien Anlagenzulassung und Katastrophenschutz die Vorgehensweise in der Größenordnung wieder. Mit der bei einem Ereignis freigesetzten Stoffmenge vergrößert sich der zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung erforderliche Abstand, die Darstellung ist dabei für den Abstand nicht maßstäblich. Für den Katastrophenschutz beschreibt die Abstandangabe in der Größenordnung den Bereich, in dem im Eintrittsfall sofortige Maßnahmen einzuleiten sind (z. B. Absperrungen, Evakuierung):

Eine Ausrichtung der Bauleitplanung an den Annahmen des Katastrophenschutzes würde bei Chemieanlagen in der Regel Abstände bedeuten, die nicht zur Verfügung stehen. Dabei ist zu bedenken, dass seit Bestehen der ZEMA-Datenbank (1993) in Deutschland keine Todesfälle außerhalb der Anlagen auf Grund von Störfällen zu beklagen waren. Katastrophen, resultierend aus Störfällen, gab es seit vielen Jahrzehnten nicht.

In der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung werden Szenarien, die „im Rahmen praktischer Vernunft“ ausgeschlossen werden können, nicht berücksichtigt. Es ergeben sich als Grundlage der Ausbreitungsrechnungen vergleichsweise kleine Stoffmengen. Dies führt bei den für die Zulassung oder die wesentliche Änderung von Störfallanlagen durchzuführenden Auswirkungsbetrachtungen in der Genehmigungspraxis zu mit naher Wohnbebauung vereinbaren Abständen. Eine Übernahme der in der Anlagenzulassung zu Grunde liegenden Annahmen in der Bauleitplanung würde zu sehr kleinen Abständen führen, die auf Grund der vorgestellten dreistufigen Annahme der auf den Ebenen der Anlagenzulassung, der Bauleitplanung und des Katastrophenschutzes zu berücksichtigenden Stoffmengen nicht gerechtfertigt erscheinen. Die geringen Abstände bei der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung resultieren vielmehr aus einer Einzelfallbetrachtung bereits konkret vorgestellter Vorhaben, bei denen ggf. auch zusätzliche Sicher-

heitsmaßnahmen angeordnet werden können oder eine Begrenzung der max. vorhandenen Stoffmengen erfolgt.

Im Rahmen dieser Arbeit werden empirische Daten aus Ereignissen - auf der Grundlage der vom Umweltbundesamt in der Datenbank ZEMA zur Verfügung stehenden Daten - herangezogen. Die zu berücksichtigenden Stoffmengen sind um ein Vielfaches größer als die in der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung zu Grunde gelegten Mengen. Umgekehrt ist es denkbar, die für Anlagentechnologien größte zusammenhängende Menge eines Gefahrstoffes zu berücksichtigen, z. B. die Füllung eines Eisenbahnkesselwagens oder eines Tanklastwagens. Daraus ergäben sich häufig deutlich größere Stoffmengen als hier vorgeschlagen. Dies entspräche der von der Störfallkommission vorgeschlagenen Vorgehensweise zur Ermittlung der Grundlagen für den sog. Dennoch-Störfall [SFK-GS-26].

Die gewählte Vorgehensweise ist auch vor dem Hintergrund gerechtfertigt, das ja für den sehr unwahrscheinlichen Katastrophenfall der Bauleitplanung eine weitere Schutzebene für die Anwohner und die Beschäftigten „nachgeordnet“ ist.

## **6.2 Bestandsaufnahme, Auswertung vorliegender Ereignis-Daten in Deutschland**

Um weitere Anhaltspunkte für die methodische Vorgehensweise gewinnen zu können, werden im folgenden die nach den Vorgaben der deutschen Störfall-Verordnung meldepflichtigen Ereignisse auf der Grundlage der von der Zentralen Meldestelle für Störfälle (ZEMA) erfassten Daten betrachtet. Anhand einer Analyse der Daten aus den Jahren 1999, 2000 und 2001 soll ein Eindruck vermittelt werden von der Bedeutung bestimmter Anlagentypen in Bezug auf die Häufigkeit auftretender Störfälle und die ermittelten Ursachen sowie die „typischerweise“ betroffenen Stoffe bzw. Stoffklassen. Zusätzlich wird auf den „Faktor Mensch“ näher eingegangen.

### **6.2.1 Betroffene Anlagen bzw. „Anlagentypen“**

Mit In-Kraft-Treten der Störfall-Verordnung im Mai 2000 sind nunmehr Betriebsbereiche als Bezugsgröße maßgebend. Zum Vergleich sind daher in der Tabelle auch die Anlagen nach der alten Störfall-Verordnung aufgelistet. Diese erfasste die einzelne Anlage. Auf Grund dieser Änderung der Störfall-Verordnung ist die Anzahl der Anlagen eines Betriebsbereiches nicht mehr ohne Weiteres bekannt. Betriebsbereiche können im Einzelfall einen ganzen Chemiestandort umfassen, wie das bis vor einigen Jahren z. B. bei den Standorten der Bayer AG in Dormagen, Krefeld-Uerdingen oder Leverkusen noch der Fall war.

Seit der Änderung der Störfall-Verordnung von Juni 2005 [Störfall-Verordnung 2005] entfällt der Anhang VII der Störfall-Verordnung 2000 soweit sich die Regelungen auf den deutschen Sonderweg gründeten. Danach unterlagen bestimmte Anlagen über die Vorgaben der Seveso-II-Richtlinie hinaus den Regelungen der Störfall-Verordnung auch für den Fall, dass es sich nicht um einen Betriebsbereich handelte. Davon unberührt bleiben die sich aus der Seveso-II-Richtlinie ergebenden, Stoff bezogenen Forderungen. Die Mengenschwellen für die Anwendung der Störfall-Verordnung 2005 auf die ehemals im Anhang VII erfassten Stoffe liegen allerdings deutlich höher.

In Nordrhein-Westfalen fallen derzeit 450 Betriebsbereiche unter den Anwendungsbe-

reich der Störfall-Verordnung (s. Abb.:1.1/2: Betriebsbereiche in NRW, Stand März 2006). Davon unterliegen 209 Betriebsbereiche den Grundpflichten der Störfall-Verordnung; 241 Betriebsbereiche müssen zusätzlich die erweiterten Pflichten der Störfallverordnung (insbesondere Erstellung eines Sicherheitsberichtes) erfüllen.

In einer bundesweiten Erhebung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) aus dem Jahr 2001 (eine aktuellere bundesweite Erhebung liegt zur Zeit nicht vor) wurde die Anzahl der Betriebsbereiche und Anlagen ermittelt, die in Deutschland der Störfall-Verordnung unterliegen (Tab. 6.2.1/1: Anzahl der Anlagen bzw. Betriebsbereiche nach Störfall-Verordnung):

<b>Bundesland</b>	<b>Betriebsbereiche und Anlagen<sup>4</sup>, StörfallIV (neu) (2001)</b>			<b>Anlagen mit GP<sup>1</sup>/EP<sup>2</sup> StörfallV (alt) (1998)</b>
	<b>GP<sup>1</sup></b>	<b>EP<sup>2</sup></b>	<b>Anlagen<sup>3</sup></b>	
Baden-Württemberg	137	67	k.A.	850/135
Bayern	153	116	600	1100/200
Berlin	13	6	33	88/4
Brandenburg	22	23	118	140/59
Bremen	6	7	k.A.	46/3
Hamburg	24	37	29	83/93
Hessen	40	62	20	360/190
Mecklenburg-Vorpommern	22	14	111	76/13
Niedersachsen	65	94	9	443/163
Nordrhein-Westfalen	195	209	538	1182/687
Rheinland-Pfalz	40	38	500	543/171
Saarland	0	14	k.A.	70/13
Sachsen	48	34	187	278/66
Sachsen-Anhalt	13	60	129	227/103
Schleswig-Holstein	35	24	60	183/60
Thüringen	28	11	161	193/26
<b>Gesamt</b>	<b>841</b>	<b>816</b>	<b>2495</b>	<b>5863/1985</b>

- 1) GP = Grundpflichten,
- 2) EP = Erweiterte Pflichten,
- 3) Anlagen nach Anhang VII der Störfall-Verordnung,
- 4) k. A. = Keine Angaben zur genauen Anzahl der Anlagen

Tab. 6.2.1/1: Anzahl der Anlagen bzw. Betriebsbereiche nach Störfall-Verordnung  
Quelle: LUA NRW, Internet-Darstellung von Juli 2006

Die Spalte 4 der Tab. 6.2.1/1 entfällt somit. Dies betrifft hochentzündliche verflüssigte Gase (einschließlich Flüssiggas), explosionsfähige Staub-/ Luftgemische und Ammoniak.

## 6.2.2 Meldepflichten nach der Störfall-Verordnung

Seit 1991 werden alle Meldungen in Form des Erfassungsbogens nach Anhang V der alten Störfall-Verordnung und seit Mai 2000 - mit der Änderung der Störfall-Verordnung [Störfall-Verordnung 2000] - nach Anhang VI Teil 2 der neuen Störfall-Verordnung bei der Zentralen Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen verfahrenstechnischer Anlagen ZEMA - beim Umweltbundesamt zentral erfasst, ausgewertet und in Jahresberichten veröffentlicht [ZEMA]. Die meldepflichtigen Ereignisse werden entsprechend ihrem Gefahrenpotential in Störfälle und in Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs unterteilt.

Die nachfolgende Abbildung (Abb. 6.2.2/1: Anzahl der gemeldeten Ereignisse 1991 bis 2005) zeigt die Veränderungen der Anzahl der Meldungen, differenziert nach den Kriterien des Anhangs VI Teil 1 Störfall-Verordnung 2000:

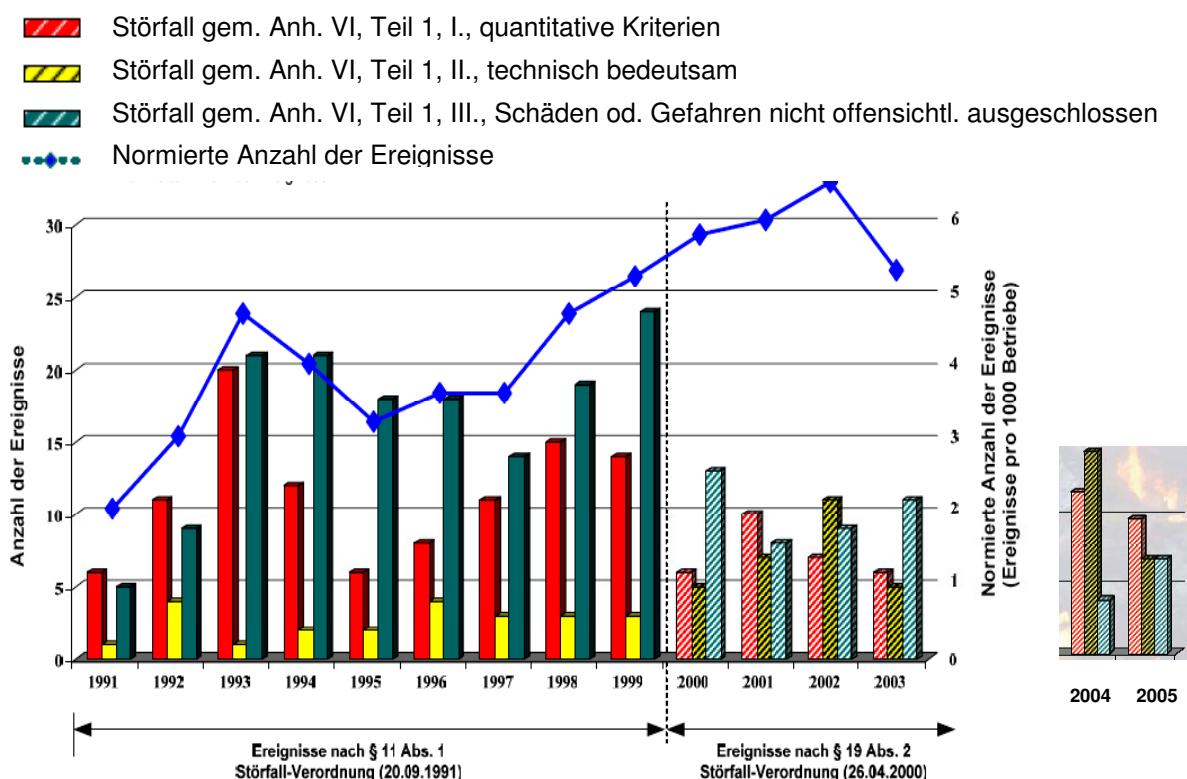


Abb. 6.2.2/1: Anzahl der gemeldeten Ereignisse 1991 bis 2005 [Kleiber 2006]

Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, wurden die alten Klassifizierungen wie folgt ersetzt:

Störfall-Verordnung 1991

- § 11 Abs. 1 Nr. 1 - Ereignisse Anhang VI Nr. I
- § 11 Abs. 1 Nr. 2a - Ereignisse Anhang VI Nr. II
- § 11 Abs. 1 Nr. 2b - Ereignisse Anhang VI Nr. III.

Störfall-Verordnung 2000:

- Ereignisse Anhang VI Nr. I
- Ereignisse Anhang VI Nr. II
- Ereignisse Anhang VI Nr. III.

Eine eindeutige Tendenz des Anteils an I.-, II.-, und III.- Meldungen ist für die letzten Jahre nicht zu erkennen. Bei den Meldungen nach II. und III. spielt die Einstufung durch die Behörden eine wesentliche Rolle. Nach den Erfahrungen aus der Praxis der Anlagenüberwachung gehen die Einstufungen nach II. oder III. häufig auf Initiativen der Behörden zurück.

Genaue quantitative Vorgaben der Störfall-Verordnung bezogen auf die bei einem Ereignis freigesetzte Stoffmenge oder die verursachten Sach- und Personenschäden sind dabei für die Meldung nach Anhang VI Nr. I zu erfüllen.

Ereignisse nach Nr. II erfüllen diese Kriterien nicht, sind aber für die Verhütung von Störfällen von besonderem technischen Interesse. Von Nr. III sind Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs erfasst, bei den Gefahren für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft nicht offensichtlich ausgeschlossen werden können [Störfall-Verordnung, Anhang VI Meldungen, Teil 1: Kriterien]. Die Erfassung der Ereignisse nach den Nrn. II und III soll sicherstellen, dass auch aus den „glimpflich“ verlaufenden Ereignissen gelernt werden kann.

Insgesamt ist die Qualität der in der ZEMA-Datei eingestellten Ereignisse recht unterschiedlich. In einigen Fällen hätte ein Hinterfragen der Meldungen durch die Aufsichtsbehörden eine deutliche Verbesserung der Meldungen herbeiführen können. Für die Kontrolle der Meldungen sollte eine Länder übergreifende Vereinbarung getroffen werden, das z. B. das UBA als Erfassungsstelle bei den meldenden Landesbehörden ergänzende Angaben nachfordern darf. Die Meldungen an das UBA erfolgen über die zuständigen Landesbehörden (in NRW z. B. das Ministerium für Umwelt, und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, MUNLV).

Bezogen auf eine auf 1000 Betriebe normierte Anzahl der Ereignismeldungen war von 1993 bis 1995 eine leichte Abnahme erkennbar, von 1996 bis 2002 war die Tendenz an gemeldeten Ereignissen ansteigend. Aktuell ist keine klare Tendenz erkennbar.

Den prozentualen Anteil an meldepflichtigen Ereignissen für Anlagen die den Grundpflichten bzw. erweiterten Pflichten unterliegen, veranschaulicht für die Jahre 2000 bis 2004 die nachfolgende Abbildung (s. Abb. 6.2.2/2: Anteil der meldepflichtigen Ereignisse aus Betriebsbereichen mit Grund- und erweiterten Pflichten, 2000 - 2004, ZEMA):

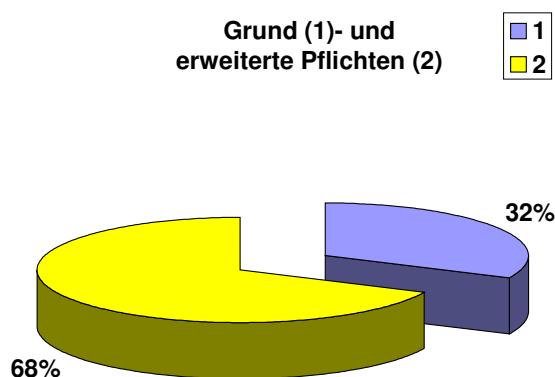


Abb.: 6.2.2/2: Anteil der meldepflichtigen Ereignisse aus Betriebsbereichen mit Grund- und erweiterten Pflichten (2000-2004, ZEMA)

Aus der Auswertung der Ereignisse ergibt sich kein einheitliches Bild über den Anteil der betroffenen Anlagen mit Grundpflichten und erweiterten Pflichten. Allerdings ist der Anteil der betroffenen Anlagen, die den erweiterten Pflichten unterliegen, über mehrere Jahre betrachtet, deutlich höher. Häufig sind aber auch Anlagen bzw. Betriebsbereiche, die „nur“

den Grundpflichten unterliegen, von Störfällen betroffen. Bei den erweiterten Pflichten ist für den Betriebsbereich insbesondere ein Sicherheitsbericht zu erstellen und im Rahmen von Immissionsschutzrechtlichen Änderungsverfahren (wesentliche Änderung gemäß § 16 BImSchG) sind sicherheitstechnisch relevante Änderungen ausführlich in Form eines Teilsicherheitsberichts darzustellen und in den Sicherheitsbericht für den Betriebsbereich einzuarbeiten. Der Sicherheitsbericht für den gesamten Betriebsbereich kann dabei an Großstandorten, z. B. der chemischen Industrie, sehr umfangreich sein. Dieser Sicherheitsbericht umfasst auch eine detaillierte Darstellung des Sicherheitsmanagements. Dabei sind die Vorgaben der Störfall-Verordnung (Anhang III) zu beachten. Der Umfang des Teilsicherheitsberichts ist hingegen auf die beantragten Änderungen begrenzt und enthält keine detaillierten Informationen zu übergeordneten Gesichtspunkten des Sicherheitsmanagements.

### 6.2.3 Auswertung der gemeldeten Ereignisse

Eine detaillierte Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse aus den Jahren 1999 bis 2004 zeigt als Tabelle bzw. Säulendiagramm die nachfolgende Darstellung (Abb. 6.2.3/1: Ereignisarten, gemeldete Ereignisse 1999 bis 2004):

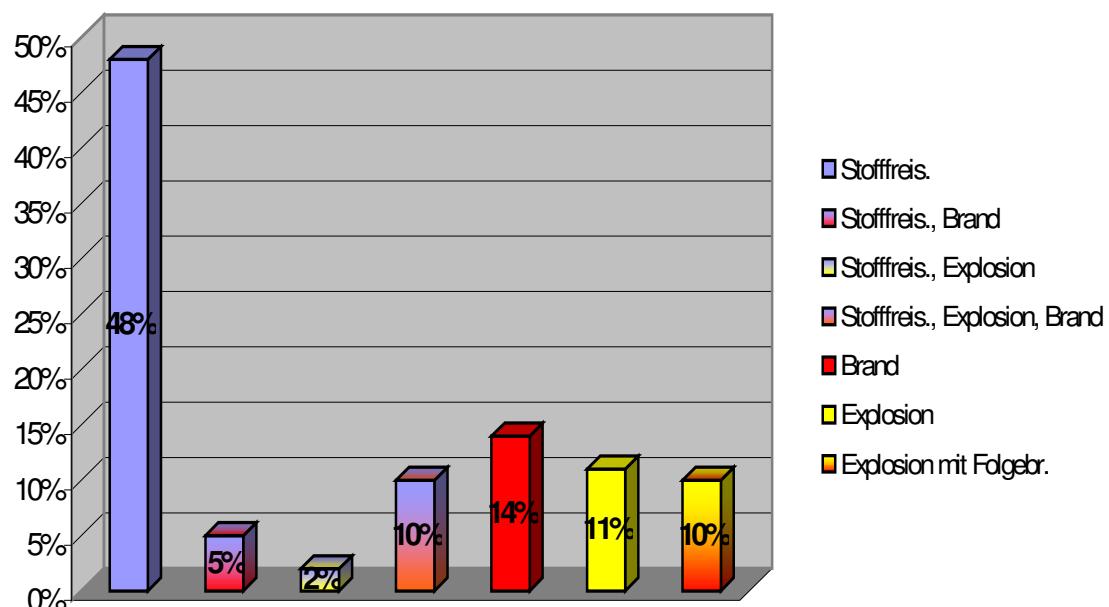


Abb. 6.2.3/1: Ereignisarten, gemeldete Ereignisse 1999 bis 2004

Unter Berücksichtigung der Mehrfachnennungen (z. B. Brand nach Stofffreisetzung) ergibt sich aus den genannten Daten für die Häufigkeit der Szenarien Freisetzung, Brand und Explosion folgendes Bild (s. Abb. 6.2.3/2: Gesamtanteil der Szenarien Brand, Explosion und Freisetzung):

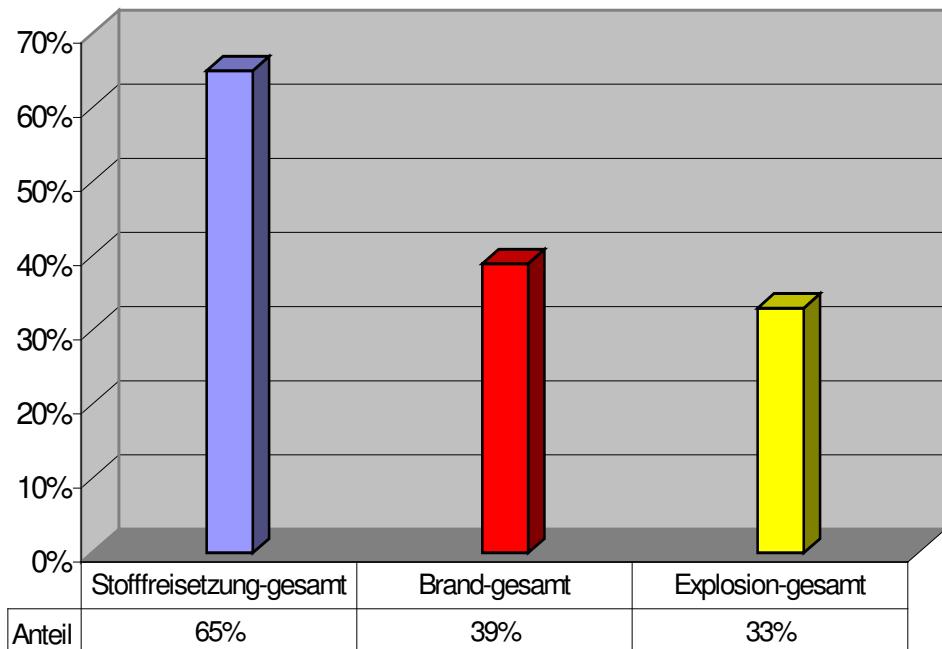


Abb. 6.2.3/2: Gesamtanteil der Szenarien Brand, Explosion und Freisetzung

Andere Szenarien wie Trümmerflug oder die Ausbreitung einer zünd- oder explosionsfähigen Wolke spielten nach den Angaben in der ZEMA-Datei bei Störfällen keine Rolle.

#### 6.2.4 Betroffene Anlagenarten

Nach der Ermittlung der für die Bewertung der Risiken von „Störfallanlagen“ maßgeblichen Szenarien werden nachfolgend die betroffenen Anlagenarten untersucht. Berücksichtigt werden die in der ZEMA-Datenbank enthaltenen meldepflichtigen Ereignisse nach den Vorgaben der Störfall-Verordnung 1991 bzw. 2000. Dabei werden die Kategorien „chemische Reaktion“ oder „physikalische Reaktion“, „technischer Fehler“, „menschlicher Fehler“ und „unbekannt“ sowie „Naturereignis“ unterschieden (s. **Anhang, Kapitel 7. ZEMA-Daten**). Auf eine weitergehende Differenzierung – insbesondere des Punktes „unbekannt“ - wird verzichtet.

Aus der nachfolgenden Tabelle lassen sich Informationen sowohl zur Anlagenart der von meldepflichtigen Störfällen betroffenen Anlagen bzw. Betriebsbereichen als auch den ermittelten Ursachen aus den ZEMA-Daten entnehmen (Tab. 6.2.4/1: Anlagenarten/ Primärursachen, gemeldete Ereignisse 1999 - 2004):

Anlagenart (4. BlmSchV, Nr.) Primärursachen	Anzahl der Ereignisse	Ereignisse (%)
<b>1 Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie</b>	7	4
Technischer Fehler (Rohr)	4	
Unbekannt oder Ursachensuche wird fortgeführt	3	
<b>3 Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung</b>	6	3
Chemische Reaktion	2	
Technischer Fehler	2	
Menschlicher Fehler (Bedienfehler)	1	

<b>Umgebungsbedingte Ursache</b>		
<b>4 Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung</b>	*	*
<b>5 Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Technischer Fehler	1	
Unbekannt	1	
<b>6 Holz, Zellstoff</b>	<b>8</b>	<b>5</b>
Technischer Fehler	6	
Physikalische Reaktion	1	
Menschlicher Fehler	1	
<b>7 Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
Chemische Reaktion	2	
Unbekannt oder Ursachensuche wird fortgeführt	2	
Technischer Fehler	1	
<b>7 Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen</b>	<b>11</b>	<b>7</b>
Technischer Fehler	3	
Chemische Reaktion	6	
Unbekannt oder Ursachensuche wird fortgeführt	1	
Menschlicher Fehler	1	
<b>9 Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Zubereitungen</b>	<b>20</b>	<b>12</b>
Chemische Reaktion	3	
Technischer Fehler	8	
Menschlicher Fehler	3	
Naturereignis	1	
Unbekannt oder Ursachensuche wird fortgeführt	4	
Physikalische Reaktion	1	
<b>10 Sonstiges</b>	<b>21</b>	<b>13</b>
Phsikalische Reaktion	1	
Technische Fehler	6	
Unbekannt oder Ursachensuche wird fortgeführt	10	
Chemische Reaktion	2	
Menschlicher Fehler	2	

\* Auf Chemieanlagen wird in Kapitel 6.2.7 Human Factor näher eingegangen

Tab. 6.2.4/1: Anlagenarten/ Primärursachen, gemeldete Ereignisse 1999 - 2004

In einer etwas anderen Darstellung ergibt sich folgendes Bild (Abb. 6.2.4/1: Anlagenarten, ZEMA (1999 - 2004)):

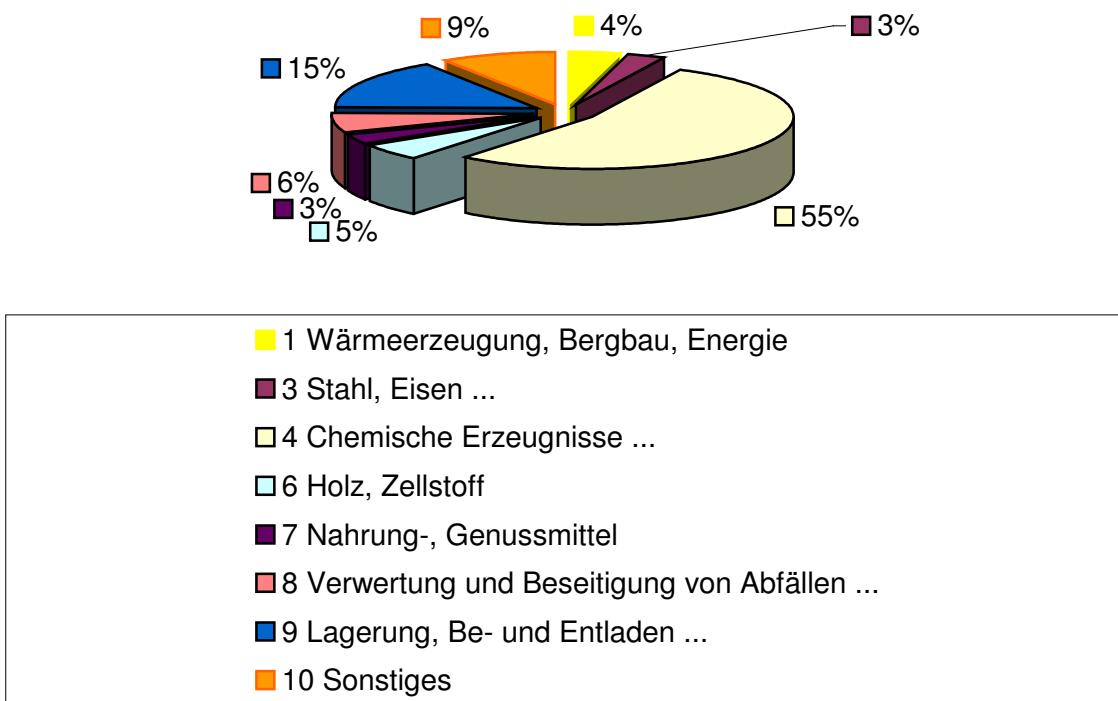


Abb. 6.2.4/1: Anlagenarten, ZEMA (1999 - 2004)

Die Anlagenarten (s. Legende) entsprechen der Systematik und Benennung nach der 4. Durchführungsverordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz [4. BlmSchV].

Anlagenarten mit einem Prozentanteil an meldepflichtigen Ereignissen unter 3 % wurden dabei nicht berücksichtigt (2: Steine und Erden ...; 5: Oberflächenbehandlung ...).

Auffallend ist der hohe Anteil von über 50 % an von Störfällen betroffenen Betriebsbereichen und Anlagen der Chemischen Industrie. Der Anteil der den Regelungen der Störfall-Verordnung insgesamt unterliegenden Anlagen bzw. Betriebsbereiche liegt für Chemieanlagen bei ca. 20 %. Insofern ist dieser Anlagentyp überproportional von Störfällen betroffenen und für die Störfallprävention von besonderer Bedeutung. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher insbesondere Chemieanlagen betrachtet.

## 6.2.5 Besonders relevante Stoffe

Wie vorausgehend dargestellt, liegt ein Schwerpunkt der betroffenen Anlagenarten bei den Chemieanlagen. Auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften der bei Chemieanlagen nach den Angaben der ZEMA-Datei beteiligten Stoffe für den Zeitraum 2000 bis 2005 wird nachfolgend eingegangen (Abb. 6.2.5/1: Häufigste an Störfällen beteiligte Stoffe (2000 - 2005)):

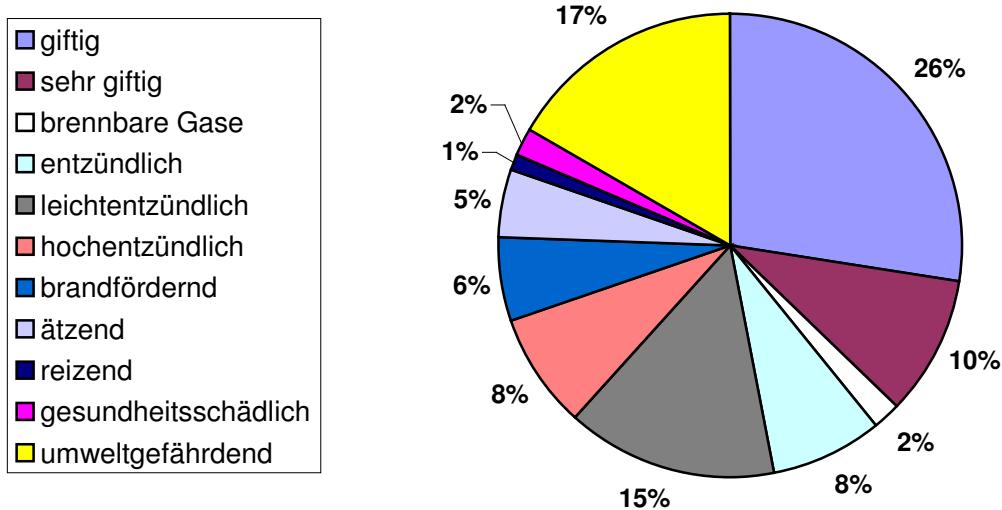


Abb. 6.2.5/1: Häufigste an Störfällen beteiligte Stoffe (2000-2005), Quelle: ZEMA

Bei der Auswertung sind Mehrfachnennungen von Stoffen zu berücksichtigen und die Entstehung von Folgeprodukten, z. B. durch Brand. Insgesamt wurden 75 Ereignisse berücksichtigt. Die Einstufung, z. B. als sehr giftig, richtet sich nach den Vorgaben der Gefahrstoffverordnung [GefStoffV, § 4].

## 6.2.6 Betroffene Betriebsvorgänge

Neben den Anlagenarten sind auch die betroffenen Betriebsvorgänge für die Ermittlung der von Störfallanlagen ausgehenden Risiken von besonderer Bedeutung. Die für die Störfälle wichtigsten Betriebsvorgänge lassen sich aus den vorhandenen ZEMA-Daten (s. Abb. 6.2.6/1: Betriebsvorgänge, gemeldete Ereignisse 1999 -2004) wie folgt ermitteln:

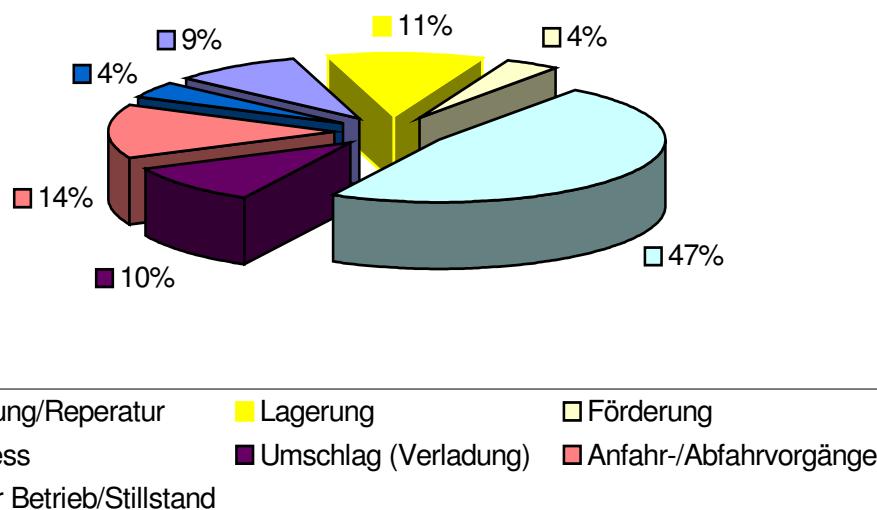


Abb. 6.2.6/1: Betriebsvorgänge, gemeldete Ereignisse 1999 -2004

Aus der Auswertung ergibt sich ein deutlicher Schwerpunkt bei den Verfahrensprozessen.

### 6.2.7 Human Factor

Vorausgehend wurden die Betriebsvorgänge in Bezug auf ihre Bedeutung für die Störfallprävention untersucht. Ein Schwerpunkt liegt dabei bei den Verfahrensprozessen. Bei der Steuerung komplexer Anlagen spielt der menschliche Faktor eine große Rolle. Des Weiteren steht bei der Bewertung der Zahlen die Frage im Raum, ob eine nicht auf die Bedürfnisse des Menschen in Stresssituationen ausgerichtete technische Auslegung der Prozesssteuerung nicht allzu leicht als menschliches Versagen klassifiziert wird. Die nähere Betrachtung der Jahre 2000 bis 2005 für die in der ZEMA-Datei vermerkten 75 Ereignisse bei Chemieanlagen ergibt folgendes Bild (Tab.: 6.2.7/1: Chemieanlagen, Primärursachen 2000 bis 2005 (%)):

<b>Technische Fehler (gesamt)</b>	<b>38:</b>
Apparate und Armaturenfehler	23
Behälter/ Flansch	5
Rohrleitungen	5
Mechanische Beschädigungen	2
Korrosion	3
<b>Chemische Reaktion</b>	<b>31</b>
<b>Menschlicher Faktor (gesamt)</b>	<b>31:</b>
Bedienfehler	15
Organisatorische Maßnahmen	13
Reparaturarbeiten	3

Tab. 6.2.7/1: Chemieanlagen, Primärursachen 2000 bis 2005 (%), Quelle: ZEMA

Jedem Ereignis aus der ZEMA-Datei wurde nur eine Hauptursache zugeordnet.

Die Auswertung zeigt den hohen Stellenwert des Human Factors bzw. des Sicherheitsmanagements neben technischen Fehlern für die Anlagensicherheit. Dabei ist auch zu bedenken, dass sich hinter den Zahlen für technische Fehler Mängel im Sicherheitsmanagement oder in der Arbeitsorganisation verbergen. Zum Beispiel kam es 2004 als Ursache für Ereignisse zum Versagen von Flanschen oder Kupplungssteilen bei Betankvorgängen bei Anlageteilen mit einer Standzeit von mehr als dreißig Jahren. Hier hätte vermutlich eine Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Anlageteile unter Heranziehung des Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik zu einem rechtzeitigen Austausch geführt.

Bei den Chemieanlagen werden für den genannten Zeitraum bei 31 % der Ereignisse eine nicht vorausgesehene chemische Reaktion als Ursache für ein Ereignis benannt und in ebenfalls 31 % menschliche Fehler. Hinter chemischer Reaktion verbergen sich unzureichend durchdachte Arbeitsprozesse, z. B. bei der manuell erfolgenden Dosierung von Chemikalien in Reaktoren. Ursächlich sind bei oberflächlicher Betrachtung technische Fehler und Bedienfehler. Sofern der Verfahrensprozess und die Bedienvorschriften erheblich angepasst wurden, wird das Ereignis als chemische Reaktion gezählt. Nur in 38 %

der Fälle können technische Fehler eindeutig ermittelt und festgestellt werden. Daraus lässt sich insbesondere für diesen Anlagentyp ein unakzeptabel hohes Maß an wissenschaftlicher „Nichtaufbereitung“ möglicher „Nebenreaktionen“ bzw. Mängel im Sicherheitsmanagement und der Sicherheitskultur in den Unternehmen ableiten. Diese Analyse sollte als Chance und Möglichkeit für weitere Verbesserungen angesehen werden.

Allerdings ist das Unfallrisiko in der gewerblichen Wirtschaft statistisch betrachtet so niedrig wie nie zuvor [Breuer 2006]. Daher sind für weitere Verbesserungen neue Wege erforderlich, welche die Sicherheitskultur und Disziplin übergreifende Ansätze mehr berücksichtigen. Darauf wird in den nachfolgenden Unterkapiteln eingegangen.

#### **6.2.7.1 Auswertung der Personenschäden**

Für die Personenschäden ergibt sich nach Auswertung der ZEMA-Daten für den Zeitraum 1999-2004 insgesamt folgendes Bild (s. Tab. 6.2.7.1/1: Personenschäden, Ereignisse nach Störfall-Verordnung 1999-2004):

<b>Personengruppe:</b>	Tote außerhalb der Anlage	Tote innerhalb der Anlage	Verletzte außerhalb der Anlage	Verletzte innerhalb der Anlage
Beschäftigte	0	22	6	192
Einsatzkräfte	0	2	33	46
Fremdfirmenarbeiter	0	0	0	1
Bevölkerung	0	0	149	0

Tab. 6.2.7.1/1: Personenschäden, Ereignisse nach Störfall-Verordnung 1999-2004

Nach den vorliegenden Daten waren im Zeitraum 1999-2004 demnach keine Toten – bei 149 Verletzten - in der Bevölkerung zu beklagen. Diese Aussage zu den Todesfällen gilt für den gesamten Zeitraum der Erfassung meldepflichtiger Ereignisse durch das Umweltbundesamt bzw. die ZEMA.

Das soziale und soziologische Geschehen rund um den Arbeitsplatz spielt bisher eine geringe Rolle bei der Beurteilung menschlicher Fehler. Arbeitsmedizinische und psychologische Fragen sollten bei der Bewältigung von Ausnahmesituationen bei Ereignissen stärker in das Blickfeld rücken (Lit., z. B.: [SFK-GS-32]; [SFK-GS-46]). Die Überlegungen bezogen auf das Personal sollten auf Fragen der technischen Auslegung und Verfahrenssteuierung Einfluss nehmen und z. B. in Konzepten für die Bewältigung von „Messwartensituationen“ im Ereignisfall und verbesserten Handlungsanweisungen ihren Niederschlag finden.

Aus den Zahlen zu den Personenschäden wird das hohe Risiko für die Einsatzkräfte erkennbar. Hieraus lässt sich ein bisher nicht ausreichend erkannter oder berücksichtigter Bedarf ableiten, (externe) Einsatzkräfte besser zu schulen, und enger mit Anlagenbetreibern zu kooperieren. Diese Bemühungen sollten sich z. B. im Sicherheitsmanagementsystem wieder finden. Für die „Bewertung“ des Faktors Mensch in der Diskussion von Störfallanlagen und darüber hinaus der Bewertung des von Störfallanlagen ausgehenden Risikos insgesamt, ist auch die Sicherheitskultur und das Sicherheitsmanagement von Anlagen sowie die Kommunikation von Risiken bedeutsam. Hierauf wird nachfolgend eingegangen.

### **6.2.7.2 Sicherheitskultur**

Ein hoher Anteil der Störfälle ist auf menschliche Faktoren zurück zu führen. Bei den von der ZEMA dokumentierten Störfällen liegt der Anteil bei ca. 20%, andere Quellen geben bis zu 80% an [SFK-GS-46]. Dieser Human Factor sollte dabei im Sinne einer erweiterten Definition verwendet werden, um die Wechselwirkungen von Mensch, Technik und Organisation besser verstehen zu können oder mit den Worten der OECD (entnommen [SFK-GS-46], OECD Workshop on Human Performance in Chemical Process Safety, 1999):

„Es sollte diesbezüglich darauf geachtet werden, den „menschlichen Faktor“ nicht nur mit menschlichen Fehlern gleichzustellen. Der Doppelcharakter des menschlichen Leistungsvermögens wurde erkannt. Der Mensch kann einerseits eine Quelle von Fehlern sein, zum Beispiel auf Grund seiner Beschränkung, mehrere, simultane, vielleicht im Widerspruch stehende Informationen gleichzeitig zu verarbeiten, andererseits hat er die Möglichkeit, über die Leistungsfähigkeit von automatischen Maschinensystemen hinauszugehen. Er stellt u. U. die letzte Hoffnung zur Meisterung unerwarteter Situationen durch seinen Eingriff dar. Menschen haben die Fähigkeit, Aktionen vorauszusagen, können komplexe und unklare Informationen integrieren und verstehen auf Grund von Erfahrung und Ausbildung, wie man mit ungewöhnlichen Situationen umgeht. Aus diesem Grund ist der Mensch für die Sicherheit unentbehrlich.“

Des Weiteren sind ökonomische und unternehmensstrategische Gesichtspunkte bei der Ermittlung und Fortschreibung des Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik von hoher Bedeutung. Selbstverständlich ist eine hohe Anlagenverfügbarkeit und ein geringer Krankenstand der Beschäftigten ein herausgehobenes Unternehmensziel. Hinzu kommt der wichtige Imagefaktor.

Ein Unternehmen und bei diesem Unternehmen Beschäftigte sind bereit, Ideen und Zeit in die Verbesserung der Anlagensicherheit, einschließlich organisatorischer Aspekte und Fragen des Managements, zu investieren. Allerdings muss der ökonomische Erfolg und die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit des Unternehmens, insbesondere als Voraussetzung für weitreichende, grundsätzliche Überlegungen zur Verbesserung der Anlagensicherheit, gewährleistet sein. Anders als bei dem hohen existentiellen unternehmerischen Erfordernis, Qualität und Produktion der erzeugten Produkte ständig zu verbessern, sind in der Anlagensicherheit Verbesserungen nicht immer sofort mit ökonomisch „eindrucks-vollen“ Zahlen belegbar. Insgesamt dürfte es daher auf Grund wirtschaftlicher Zwänge nicht immer leicht sein, die ein sehr breites Feld umspannenden Bereiche der Anlagensicherheit in den Unternehmen, entsprechend ihrer mittel- und langfristigen Bedeutung, zu etablieren.

Langfristig ist die Anlagensicherheit hingegen ein anerkannter ökonomischer und ökologischer Standortvorteil mit sehr hoher Bedeutung. Diese wirtschaftlichen Gesichtspunkte sollten die technischen Gremien auf den unterschiedlichsten Ebenen, angefangen bei den Betrieben bis hin zur Beratung der Bundesregierung, z. B. durch Wirtschaftsverbände oder die Kommission für Anlagensicherheit, verstärkt ins Bewusstsein rücken. Überlegungen in dieser Richtung werden z. B. durch die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung und die Bergische Universität Wuppertal, Bereich Sicherheitstechnik vertreten und konkretisiert. Auf einschneidende Änderungen in der Struktur der Bergischen Universität, die das Erreichte in Frage stellen könnten, weist Hartwig hin [Hartwig 2005].

Ein Kernpunkt der Überlegungen ist dabei die Verringerung der politischen und gesell-

schaftlichen Kosten durch ein Mehr an Anlagensicherheit und insbesondere eine veränderte Sicherheitskultur. Bisher aus der Historie erklärbare Abgrenzungen, z. B. zwischen Arbeitsmedizin und ingenieurwissenschaftlichen Arbeitsfeldern oder der (Arbeits-) Psychologie bis hin zu Gesichtspunkten der Hygiene sollten aufgegeben und Erkenntnisse aus den unterschiedlichen Arbeitsbereichen genutzt und zusammengeführt werden ([Schulz-Forberg 2003]; [Kramer 2003], [Hartwig 2003]; [Hartwig 2005]). Um dies bei begrenzten personellen und wirtschaftlichen Ressourcen leisten zu können, sind neue Modelle einer verstärkten Vernetzung der häufig bereits heute vorhandenen vielfältigen Informationen erforderlich. Dies wird auch recht deutlich bei der Erfassung von i. S. d. Störfall-Verordnung meldepflichtigen und nicht meldepflichtigen Ereignissen (freiwillig) durch die Zentrale Erfassungsstelle meldepflichtiger Ereignisse (ZEMA) des Umweltbundesamtes in Berlin. Auch hier wäre eine stärkere Vernetzung unterschiedlicher Arbeitsbereiche bis hin zur Integration wesentlicher Erkenntnisse z. B. aus dem Verkehrsbereich (Transport gefährlicher Güter durch die Bahn und auf der Straße) wünschenswert. Um konkrete Vorschläge zu den Möglichkeiten einer verbesserten Vernetzung der auf industrieller Seite und bei den verschiedenen Behörden vorliegenden Informationen bemüht sich z. B. die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM [ZEMA 2003].

#### 6.2.7.3 Risikomanagement und Risikokommunikation

Risikomanagement ist ein Prozess, der die Elemente der Risikoabschätzung (Analyse und Bewertung), der Risikominderung und der Risikokommunikation im Hinblick auf die herrschende oder auch herzustellende Risikoakzeptanz. Mit Hilfe des Risikomanagements werden alle Aktivitäten zur Kontrolle (im Sinne von Steuerung) von Risiken beschrieben und koordiniert. Im Rahmen des Risikomanagements wird auch die Entscheidung, unter welchen Bedingungen das verbleibende Restrisiko (z. B. eines Betriebsbereiches) als vertretbar angesehen werden kann, getroffen bzw. herbeigeführt. Dies erfolgt zwischen den Beteiligten (Betreiber, Behörde) unter Einbeziehung von Sachverständigen und betroffener Öffentlichkeit. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht das Vorgehen (Abb. 6.2.7.3/1: Risikomanagement und Risikokommunikation):

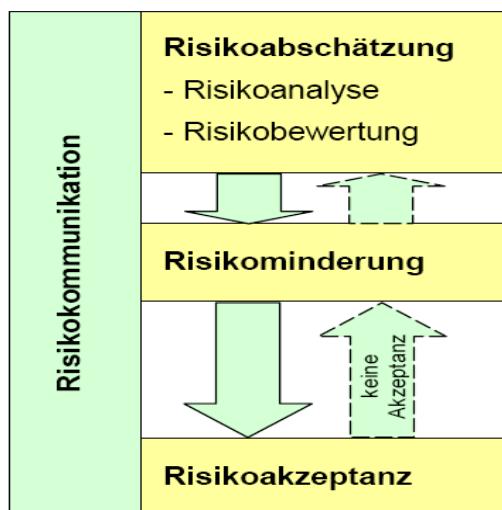


Abb. 6.2.7.3/1: Risikomanagement und Risikokommunikation  
Quelle: Darst. ähnlich [SFK-GS-41]

Dabei erfolgen die einzelnen Elemente des Risikomanagements in einer Abfolge von Ein-

zelschritten:

1. Risikoabschätzung: Risikoanalyse und Risikobewertung,
2. Risikoreduzierung,
3. Risikokommunikation,
4. Risikoakzeptanz,

die zum Teil iterativ ablaufen.

Im Bereich der Risikokommunikation gibt es in Deutschland im Vergleich mit europäischen Nachbarländern noch erheblichen Klärungs- und Darstellungsbedarf. Zum Phänomen der Risikoakzeptanz und der subjektiven Wahrnehmung sei z. B. auf den im April 2004 veröffentlichten Bericht der Störfallkommission [SFK-GS-41] und die Arbeitsergebnisse und die Empfehlungen der Risikokommission [Risikokommission 2003] verwiesen. Eine lesenswerte Zusammenfassung des Themenkreises Risikoperzeption findet sich in der Dissertation von Puls [Puls 2003].

Es lassen sich drei Paradigmen der Risikokommunikation erkennen [44. Tutzing-Symposium]:

Der erste Ansatz versteht Risikokommunikation als Aufklärung. Hier wird von einem Kenntnisgefälle zwischen den Experten für die jeweilige Risikothematik und den Laien ausgegangen; es geht darum, Risikowissen zu vermitteln. Zuweilen wird dieses Lernziel auch als „Risikomündigkeit“ beschrieben. Der Erfolg dieses Ansatzes ist umstritten. Risikowahrnehmungen sind, einmal ausgebildet, weitgehend stabil und lassen sich nicht ohne weiteres verändern. Darüber hinaus zeigt gerade auch die empirische sozialwissenschaftliche Forschung zur Risikowahrnehmung, dass soziale und emotionale Faktoren, welche die Wahrnehmung und Bewertung von Risiken beeinflussen, mit dem Aufklärungsprogramm nicht erreicht werden. Auf diese kommt es aber insbesondere an.

Der zweite Ansatz konzentriert sich auf die Gestaltung der Prozesse der Risikoregulation. Das strategische Ziel ist es, die Belange der Bürger einzubeziehen. Es wird angenommen, dass erst die Gewährleistung von Beziehungsqualitäten wie Offenheit, Transparenz und die Bereitschaft zum Zuhören einen produktiven Diskurs ermöglichen. Auch dieser Ansatz findet nur teilweise Unterstützung durch die empirische Forschung.

Den dritten Ansatz stellt die Ausweitung des klassischen Risikokonzepts dar. Hier soll versucht werden, Dimensionen der intuitiven Risikowahrnehmung in die Risikoabschätzung und -bewertung einzubeziehen. Dies klingt zunächst einleuchtend, allerdings fehlt es bisher an realisierbaren und Praxis bezogenen Konzepten zur Umsetzung dieses Ansatzes. Letztlich geht es darum, Emotionen zu gewichten.

Mit den Themen Risikomanagement und Risikokommunikation wird auch das Verhalten der Bevölkerung und die Frage einer Verbesserung der Kommunikation zwischen Anlagenbetreibern und Nachbarschaft angesprochen. Durch eine verbesserte Kommunikation lassen sich für die Bevölkerung und die Einsatzkräfte kritische Situationen möglicherweise bereits verhindern oder verringern. Eine Risiko orientierte Bewertung von Anlagen und eine offene Diskussion der Grenzen menschlicher Belastbarkeit in Stresssituationen würde es Anlagenbetreibern erleichtern, das Thema „Störfälle“ offensiver anzugehen. Die in der gesellschaftlichen Diskussion nicht offen ausgesprochene Forderung nach einem „Null-Risiko“ industrieller Anlagen für die Anwohner steht einer offenen Herangehenswei-

se allerdings entgegen und sollte ebenfalls thematisiert werden.

Hinzu kommt ein weiterer, die offene Kommunikation zwischen Anlagenbetreibern und Bürgern erschwerender Aspekt, nämlich die Befürchtung der Eingriffe Unbefugter seitens der Anlagenbetreiber und Katastrophenschutzbehörden (Lit., z. B. [SFK-GS-38]). Allerdings kommt es bei der Kommunikation möglicher Störfälle bzw. der Störfallrisiken nicht auf Detailkenntnisse zur genauen Position der Stoffquelle oder der Anlagentechnologie an, vielmehr genügen Angaben bzw. Informationen über die zu berücksichtigenden Stoffe und Stoffmengen sowie angenäherte Ortsangaben. Daher könnte zumindest bei Großstandorten bei der öffentlichen Diskussion auf sehr detaillierte Angaben über Anlagen und deren Standorte verzichtet werden.

Einen Ausweg aus der oft schwierigen Diskussion von Risiken in Deutschland zeigt Hartwig auf [Hartwig 2005]. Beim nicht zu akzeptierenden Risiko wird ein schwieriger soziopsychologischer Komplex angesprochen, der viel mit der allgemeinen Empfindlichkeit und der Perzeption von Risiken dieser Gesellschaft zu tun hat. Hartwig regt an, nicht über Risiken als Absolutwerte von Risiken nachzudenken, sondern über Veränderungen bzw. Verbesserungen der bestehenden Situation im qualitativen Sinne. Dabei sollten auch Verhältnismäßigkeitsgesichtspunkte verstärkt in die gesellschaftliche Diskussion einfließen. Z. B. können mit 1 Mio. Euro u. U. viele Straßenüberquerungen sicherer gestaltet werden, während für die Untertunnelung einer Straße nur die Planungserstellung finanziell gesichert wäre.

### 6.2.8 Anzahl der in der ZEMA-Datei gemeldeten Ereignisse

Auf Grund der in der ZEMA-Datei für weit verbreitete Stoffe wie Chlor oder Ammoniak vorgefundenen Daten aus von den Anlagenbetreibern gemeldeten Störfällen ist eine für eine empirische Ermittlung der für ein „repräsentatives“ Ereignis zu berücksichtigenden Stoffmengen möglich. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher empirisch aus der ZEMA-Datei ermittelte Stoffmengen am Beispiel des Stoffes Chlor und der Stoffe Toluol und Propan für die Ausbreitungsrechnungen zu Grunde gelegt. Die Auswertung von 86 für den Stoff Chlor gemeldeten Ereignissen (Zeitraum: 01.01.1980 bis März 2006) ergab z. B. 30 bei der Auswertung der Stoffmengen zu berücksichtigende Ereignisse. Nicht berücksichtigt wurden dabei die im Rahmen der Freisetzung anderer Chemikalien in geringen Mengen freigesetzten Mengen an Chlor.

Die Qualität der Angaben reicht im Allgemeinen aus, um die freigesetzte Stoffmenge ermitteln zu können. Ein Beispiel für eine Meldung (Freisetzung von Chlor aus einem Mischbehälter am 28.02.2003) ist dem **Anhang, Kapitel 7. Auswertung der ZEMA-Daten**, ebenfalls beigelegt. Auch die vorhandenen Daten für die mit den Stoffen Toluol und Propan in dieser Arbeit vorgestellten Ausbreitungsrechnungen erlauben qualitativ und quantitativ eine „repräsentative“ Ermittlung der für Störfälle bedeutsamen Stoffmengen. Als Ergebnis der Auswertung sollte nicht „automatisch“ die höchste gefundene Stoffmenge herangezogen werden, vielmehr ermöglichen die im oberen Bereich der Stoffmengen angegebenen Werte eine Festlegung der bei den Ausbreitungsrechnungen zu berücksichtigenden Stoffmengen. Vielmehr ist eine Abgrenzung gegenüber der Ebene des Katastrophenschutzes erforderlich (s. *Kapitel 6.1.1 Praktische Abgrenzung der Ebene der Bauleitplanung*).

## 6.2.9 Schlussfolgerungen aus den vorgefundenen Daten

Bei den Berechnungen werden auf Grund der ausgewerteten Daten (ZEMA-Datei) nur die Szenarien Freisetzung einer toxischen Wolke, Brand und Explosion berücksichtigt. Die Szenarien Trümmerflug, Freisetzung einer zünd- oder explosionsfähigen Wolke etc. werden nicht betrachtet. Nachfolgend werden die Ergebnisse der empirisch mit Hilfe der ZEMA-Daten ermittelten, von Störfällen betroffenen Anlagenarten und Szenarien (Freisetzung, Brand und Explosion) in Form einer Excel-Tabelle zusammengefasst (s. Abb. 6.2.9/1: Ereignisse und Anlagenarten, ZEMA (1999 - 2004)):

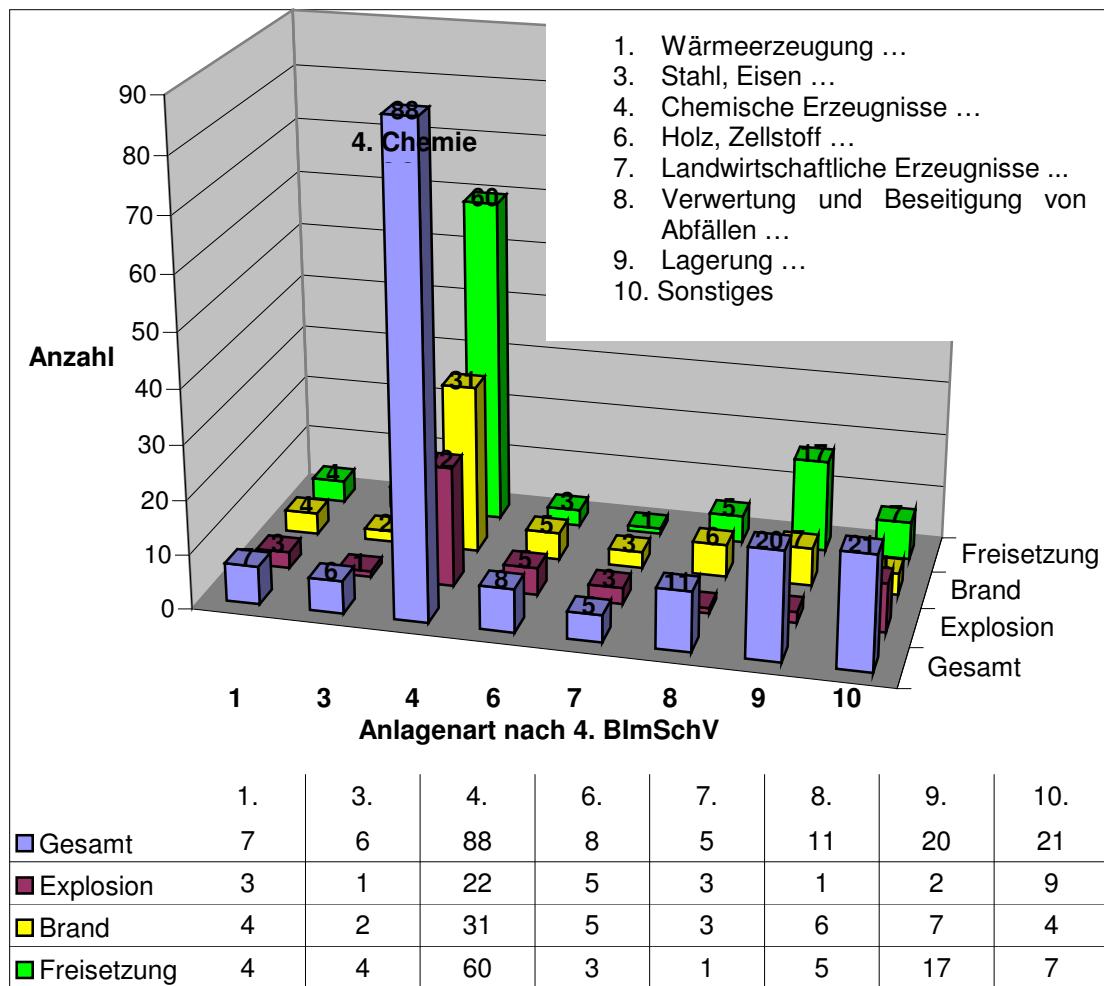


Abb. 6.2.9/1: Ereignisse und Anlagenarten, ZEMA (1999 - 2004)

Auf Grund der Auswertung und dem hohen Anteil von Chemieanlagen werden die Untersuchungen in dieser Arbeit beispielhaft auf den Bereich der Chemieanlagen und die hier verwendeten Gefahrstoffe eingeschränkt. Die vorgeschlagene empirische Vorgehensweise bezogen auf die Ermittlung der relevanten Stoffmengen für eine Reihe weit verbreiteter Stoffe ist auf Grund der vorliegenden Daten gerechtfertigt und stellt einen pragmatischen Weg zur Ermittlung belastbarer Aussagen dar. In dieser Arbeit werden beispielhaft Ausbreitungsrechnungen und -betrachtungen für den Stoff Chlor sowie die Stoffe Toluol und Propan durchgeführt.

Die Auswertung zeigt gleichzeitig den hohen Stellenwert des Human Factors bzw. des

Sicherheitsmanagements neben technischen Fehlern für die Anlagensicherheit. Daher erscheint es gerechtfertigt, bei bestehenden Anlagen und ggf. im Rahmen der Anlagenzulassung besondere Leistungen in diesem Bereich anzuerkennen.

## **7. Neue Ansätze in der Bauleitplanung**

### **Annahmen für die Erstellung von Ausbreitungsrechnungen**

In diesem Kapitel werden die Beurteilungsgrundlagen zu den Ausbreitungsrechnungen (*Kapitel 8. Neue Ansätze in der Bauleitplanung, Ausbreitungsrechnungen*) für die beispielhaft ausgewählten Stoffe und die untersuchten Szenarien Freisetzung toxischer Stoffe, Brand und Explosion vorgestellt. Aus Gründen einer besseren Verständlichkeit wird teilweise bereits auf die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen verwiesen.

Auf Grund der in Kapitel 8 vorgestellten Ergebnisse ist eine typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung für die Szenarien Brand und Explosion bei Einhaltung bestimmter Mindestabstände nicht erforderlich. Für das Szenarium Brand ergibt sich ein Mindestabstand einer Anlage zur Wohnbebauung von 100 m. Bei Tankfeldern oder vergleichbaren Einrichtungen ist der Abstand in einem Einzelgutachten festzulegen. Die für das Szenarium Explosion in der ZEMA Datei vorzufindenden Informationen sind gegenüber den Informationen zu den Szenarien Brand und Freisetzung toxischer Gase deutlich geringer. Auch für das Szenarium Explosion wird ein Mindestabstand gegenüber Wohnbebauung vorgeschlagen (300 m).

Die Überlegungen für die typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung konzentrieren sich daher auf das Szenarium der Freisetzung toxischer Gase.

#### **7.1 Anwendbarkeit von Konzentrationswerten in der Bauleitplanung**

In der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung werden Ausbreitungsrechnungen für bestimmte, im Rahmen praktischer Vernunft nicht auszuschließende Stofffreisetzung angestellt (s. a. *Kapitel 3.4 Verwendung von Standardszenarien*). Die erforderlichen Abstände ergeben sich dabei aus der Verwendung von Konzentrationswerten, die bei einem Ereignis - in einem bestimmten Abstand zur Wohnbebauung - einzuhalten sind. Es werden bevorzugt die AEGL-2-Werte [Gregel 2006] oder - sofern nicht verfügbar - die ERPG-2-Werte herangezogen ([AEGL]; [ERPG]). Der AEGL-2 oder ERPG-2-Wert darf im Falle der Freisetzung an einem gewählten Aufpunkt, in der Regel ist dies das der Störfallanlage nahegelegene Wohnhaus, nicht überschritten werden (s. *Kapitel 4.1 Konzentrationswerte und Anhang, Kapitel 4. Konzentrationswerte*).

Die beschriebene Vorgehensweise der Ermittlung von Mindestabständen zwischen Störfallanlagen und Wohnbebauung für das Szenarium der Freisetzung toxischer Gase in der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung, lässt sich in dieser Form nicht auf die Ermittlung der im Rahmen der Bauleitplanung erforderlichen Abstände übertragen. Entsprechend der rechtlichen Vorgaben ist vielmehr das mit einem Vorhaben für die Nachbarschaft und Anwohner verbundene Risiko zu berücksichtigen. Entsprechend der Definition des Begriffs Risiko ist sowohl die Häufigkeit als auch das Schadensausmaß eines Ereignisses bedeutsam.

Zum Vergleich der Ergebnisse mit der Vorgehensweise im Rahmen der immissionsrechtlichen Anlagenzulassung werden für den Stoff Chlor zusätzlich die mit den in der Anlagenzulassung verwendeten Konzentrationswerten ermittelten Abstände dargestellt (*Kapitel 8.1 Freisetzung toxischer Stoffe, Beispiel Chlor*). Die Ermittlung der bei den Ausbreitungsbetrachtungen zu berücksichtigenden Stoffmengen erfolgt wie bei der typisierenden Betrachtung empirisch auf der Grundlage der in der ZEMA-Datenbank zur Verfügung stehenden Daten.

## **7.2 Szenarium Freisetzung toxischer Gase, typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung**

Zur Ermittlung des mit dem Betrieb von Störfallanlagen für die Wohnbevölkerung verbundenen Risikos ist die Verwendung von Probit-Funktionen erforderlich. Das Risiko wird dargestellt als Produkt aus Schadensausmaß und Wahrscheinlichkeit. Mit Hilfe von Probitfunktionen lässt sich das Schadensausmaß (hier: Todesfall) in die Risikoermittlung einbringen. Die Bewertung erfolgt über die Bildung einer Risiko-Maßzahl für den im Rahmen der Bauleitplanung zu beurteilenden Standort. Die Bildung einer Risikomaßzahl beruht auf einer Anzahl von Annahmen, die eine erhebliche Vereinfachung der Bewertung des von einem Vorhaben ausgehenden Risikos gegenüber einer probabilistischen Vorgehensweise darstellen. Auf die einzelnen Punkte wird nachfolgend eingegangen:

### **7.2.1 Probit-Funktionen**

Probit-Funktionen beschreiben die aus verschiedenen Dosen (gekennzeichnet durch Konzentration und Expositionszeit) resultierenden Effekte (z. B. [Hartwig 1999]; [Puls 2002]; [Klumpe 1996]; [Lees 1996]). Die Annahmen basieren auf Tierversuchen.

Mit Hilfe von Probit-Funktionen lässt sich für einen bestimmten Effekt - z. B. Todesfolge bei Chlorgasinhalaion - der Anteil der Betroffenen an einem Expositionskollektiv für die jeweilige Konzentration und Expositionszeit bestimmen. Grundlage der Überlegungen ist dabei das durch einen Potenzansatz modifizierte Haber'sche Wirkungsprodukt von Konzentration und Expositionszeit:

$Y = a + b \ln(C^n t_c)$	Y	Probit-Funktion
a, b, n		Konstanten
C		Konzentration [ppm]
t <sub>c</sub>		Exposition [Min.]

Probit-Funktionen gibt es für gut 20 weit verbreitete Stoffe (z. B. [Guidelines CPQRA 2000], S.259 und dort genannte Lit.; z. B. [Rijnmond Studie 1981]; [Lees 1996]). Die Zahl veröffentlichter Probit-Funktionen für Chlor ist recht groß, wobei ihre Ergebnisse wegen unterschiedlicher zugrunde liegender Tierexperimente streuen [Hartwig 1999].

Um das Instrument der Probit-Beziehungen „verlässlicher“ und transparenter nutzen zu können, sollten „Rahmenbedingungen“ für die Ermittlung der Werte - Stoff bezogen - festgelegt und z. B. durch ein „paritätisch“ besetztes Gremium bestimmte Probit-Funktionen empfohlen und veröffentlicht werden. In dem Gremium sollten neben Experten und Verwaltungsfachleuten auch gesellschaftliche Gruppen wie die Naturschutzverbände, aber auch Industrie und Wirtschaft, vertreten sein.

## 7.2.2 Risiko-Referenzwerte

Eine individuelle (probabilistische) Bestimmung des von der einzelnen Anlage ausgehenden Risikos ist zum Einen auf Grund des mit der Ermittlung verbundenen Aufwandes nicht möglich. Zum Anderen sind die Anlagen - einen Sonderfall stellt der Vorhaben bezogene Bebauungsplan dar - auch noch nicht im Detail bekannt.

### 7.2.2.1 Risiko-Referenzwerte in der Literatur

Als Bezugspunkt für die typisierende Betrachtung wird daher das von einer durchschnittlichen Chemieanlage ausgehende Risiko gewählt. Risikowerte für „durchschnittliche“ Chemieanlagen können der Literatur entnommen werden. Voraussetzung ist dabei, dass die Anlage nach dem Stand der Technik errichtet und betrieben wird und das Sicherheitsmanagementsystem den an den Betrieb gefährlicher Anlagen zu stellenden Anforderungen entspricht. Die Risiko-Grenzwerte in den europäischen Nachbarländern liegen in der gleichen Größenordnung wie die in der Literatur zu findenden, durch probabilistische Verfahren bei der Untersuchung „durchschnittlicher Chemieanlagen“ (z. B. [Lees 1996], Band 1; [LUA NRW Untersuchungsvorhaben 2003]) ermittelten Werte. Die nachfolgende Tabelle fasst die Werte zusammen (Tab. 7.2.2.1/1: Referenz-Risiken und Risikogrenzwerte in Nachbarländern):

Referenz-Risiken				Risiko-Grenzwerte Nachbarländer	
Anlagenkomplexe		Einzelanlagen		Staat	Individualrisiko ( $10^{-6} \text{ a}^{-1}$ )
Neue Anlagen	$1 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$	Neue Anlagen	$1 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$	Niederlande	1 Neuanlagen 10 bestehende Anlagen
Bestehende Anlagen	$3 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$	Bestehende Anlagen	$3 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$	Schweiz (Kanton Zürich)	10
				Großbritannien	<1 kein Handlungsbedarf
					1-100 ALARP-Prinzip
					>100 Ordnungsrecht

Tab. 7.2.2.1/1: Referenz-Risiken und Risikogrenzwerte in Nachbarländern

Bei den Überlegungen wird angenommen, dass die in der Literatur zu findenden Werte für Ereignisse zu Todesfällen außerhalb der betroffenen Anlagen führen können. Wie in Kapitel 6.2.7.1 *Auswertung der Personenschäden* dargestellt, gab es auf Grund von Störfällen außerhalb der ca. 8.000 Störfallanlagen in Deutschland (einschließlich der Anlagen nach Anhang 7 der „alten“ Störfall-Verordnung) in den näher untersuchten Jahren 1993 bis 2005 (und den Jahrzehnten zuvor) keine Toten außerhalb der Werksgrenzen. Insofern ist die Annahme sehr konservativ.

## 7.2.2.2 Domino-Effekt und Stand der Technik bei älteren Anlagen

Hinter den in der Literatur gefundenen Werten für „durchschnittliche“ Chemieanlagen verbirgt sich aus der Sicht der Seveso-Richtlinie bzw. der Störfall-Verordnung der sog. Domi-

no-Effekt. Die Nachbarschaft weiterer Störfall relevanter Betriebe verzehnfacht das von dem Betrieb ausgehende Risiko. Ebenfalls wird der Stand der Technik berücksichtigt bzw. die wachsende Anfälligkeit sicherheitsrelevanter Technik mit der Betriebszeit. Hierfür wird in der Literatur eine Verdreifachung des Risikos angenommen. Insofern werden durch die Referenzwerte bereits zwei wichtige Risikofaktoren, die „technische“ Umgebung der Anlage und das Alter der Anlage - anders als bei einer reinen Abstandsbetrachtung - berücksichtigt.

Bei sehr großen industriellen Arealen steigt durch die erhöhte Anzahl von Prozesseinheiten und eine steigende Komplexität verfahrenstechnischer Prozesse das Risiko für ein Ereignis. Durch Wechselwirkungen zwischen benachbarten Störfallanlagen oder durch bei einem Störfall betroffene gemeinsame Einrichtungen benachbarter Anlagen können sich die Auswirkungen bis hin zur Katastrophe ausweiten (Lit., z. B. [Acikalin 2000]).

Ein bekanntes Beispiel ist die Explosion eines LPG-Tanklagers (LPG = Liquefied Petroleum Gas) in Mexiko am 19.11.1984. Große Mengen an LPG wurden aus einem Leck in einer überirdischen Pipeline freigesetzt. Die LPG-Wolke breitete sich über eine Fläche von ca. 200 m x 150 m aus und hatte eine sichtbare Höhe von 2 m. Das Gas wurde durch eine Fackel entzündet. Kurze Zeit später erfolgte eine verheerende Explosion, der weitere Explosionen folgten. Durch die Wärmebelastung und den Trümmerflug kam es zu weiteren Tankexplosionen. Häuser im Umkreis von 300 m wurden zerstört. Insgesamt kamen ca. 650 Menschen ums Leben und wurden ca. 6.400 Menschen verletzt. Ein solche Katastrophe kann nicht im Rahmen der Bauleitplanung berücksichtigt werden, vielmehr ist hier eine Abgrenzung zum Katastrophenschutz erforderlich. Allerdings verdeutlicht das Beispiel die zusätzliche Gefährdung insbesondere durch die Nähe anderer gefährlicher Anlagen bzw. Stoffe in diesen Anlagen.

### 7.2.3 Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte

Der Bevölkerungsdichte kommt bei einer Risikobewertung eine besondere Bedeutung zu. Im Ruhrgebiet beträgt die Einwohnerzahl etwa 1.200 Personen/ km<sup>2</sup>. In Deutschland insgesamt gilt als Durchschnittswert ca. 250 Personen/ km<sup>2</sup>. In ländlichen Regionen kann die Einwohnerzahl wesentlich geringer sein. Daher wird der Referenzwert der zu betrachtenden Anlage(n) mit dem 1%, 10%- und 90%-Wert der jeweiligen Probitfunktion verknüpft. Bei sehr dichter Wohnbebauung ist der sich aus der Verwendung des 1%-Wertes bei einer Ausbreitungsrechnung ergebende Abstand heranzuziehen. Gewählt wird eine Expositionzeit von 60 Minuten für den Aufenthalt im Freien. Noch kleinere Werte (z. B. 0,1 %) erscheinen nicht sinnvoll ebenso wie Werte oberhalb des 90-Prozentwertes, da die entwickelten Probit-Funktionen unter extremen Randbedingungen in ihrer Aussagekraft auf die Grenzen der Anwendbarkeit stoßen.

Unter noch zu erläuternden Bedingungen ist dann ein „Aufrücken“ einer Anlage zu engen Abständen möglich.

Eine Sonderrolle nehmen Industrieparks ein. Hierauf wird in *Kapitel 7.2.6 Chemie- und Industrieparks* näher eingegangen.

## **7.2.4 Zusätzliche Vorschläge**

Neben der Bevölkerungsdichte sind eine Reihe weiterer Faktoren von Bedeutung. In der rechtlichen Bewertung wird auf die nachfolgend genannten Punkte in *Kapitel 3.5 Saldierende Betrachtung in der Bauleitplanung* eingegangen. Die Darstellung beschränkt sich daher auf Stichpunkte.

### **7.2.4.1 Bonusfaktoren, Verringerung der Abstände**

Ein geringerer Abstand zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung bis zum höchstens zumutbaren Wert für Wohnbebauung (90%-Wert der Probitfunktion) ist möglich, wenn über den Stand der Sicherheitstechnik bei vergleichbaren Anlagen hinaus gehende zusätzliche Maßnahmen realisiert werden. Salopp gesprochen ist bei zusätzlichen Maßnahmen bzw. einem zu vergebenden Bonus ein „Aufrücken“ der Anlage in eine niedrigere Risikostufe möglich. Hierdurch verkürzt sich der zulässige Mindestabstand gegenüber Wohnbebauung. Die Grenze liegt dabei beim 90%-Wert der Probitfunktion. Noch geringere Abstände sollten auf der Ebene der Bauleitplanung nur im Rahmen der Anwendung der vorgeschlagenen Öffnungsklausel für sehr seltene, atypische Fälle zugelassen werden. Bei einer Verkürzung sind flankierende Auflagen im späteren Anlagenzulassungsverfahren zu treffen, bei dem die Anlagentechnik dann konkret bekannt ist, um die Bedingungen für die Festlegung verkürzter Abstände rechtlich abzusichern.

Bei bestehenden Anlagen und sofern die Anlagen und Anlagenbetreiber bereits auf der Ebene der Bauleitplanung bekannt sind, können neben besonderen, über den Stand der Technik hinausgehende Maßnahmen, das Sicherheitsmanagementsystem und besondere organisatorische Maßnahmen zusätzlich berücksichtigt werden. Besondere Leistungen können über einen Bonus im o. g. Sinne honoriert und der Abstand verkürzt werden.

Alternativ kann die für den Standort vorzunehmende Ausbreitungsrechnung auf der Grundlage der max. in der Anlage vorhandenen Stoffmengen erfolgen. Dabei sind allerdings auch An- und Abliefervorgänge etc. einzubeziehen. Aus einer Einschränkung der für die Abstandsermittlung wesentlichen Stoffe und Stoffmengen können sich erheblich verkürzte Abstände ergeben. Dies kann insbesondere beim Vorhaben bezogenen Bebauungsplan von Interesse sein, da hier die Anlagenplanung bereits bekannt ist. Technisch realisierbar wäre dies z. B. durch einen „just-in-time“ Verbrauch der sicherheitstechnisch relevanten Stoffe.

### **7.2.4.2 Malusfaktoren und Einzelgutachten**

Die geografische Situation kann für den konkreten Standort auf der Grundlage der VDI 3783 Blatt 1 und 2 berücksichtigt werden. Dabei wird zwischen 19 Ausbreitungsgebieten unterschieden. Allerdings sind auch geografische Situationen denkbar, z. B. Hanglagen, für die das Modell nur in begrenztem Maße geeignet ist und eine Ausbreitungsrechnung mit zusätzlichen „Unsicherheiten“ in den Ergebnissen behaftet ist. Als zusätzlicher Sicherheitsfaktor kann ein Malus vergeben werden (Faktor 10).

Die Anwendung des Faktors kann größere Unsicherheiten nicht abdecken und ist deshalb gegenüber einer Einzelfallbetrachtung abzuwägen. Bei kritischen Verkehrssituationen in der Nachbarschaft von Störfallanlagen, z. B. tieferliegenden Straßenschluchten oder Tun-

neln, sollte z. B. bei der möglichen Freisetzung von Schwergasen bei kritischen Abständen eine Einzelbegutachtung erfolgen.

Des weiteren sind bei Besonderheiten, z. B. der Möglichkeit eines Hochwassers an einem Standort nahe einem Fluss oder Lawinengefahr an einem Standort, zur Bewertung der Risiken ergänzende gutachterliche Einzelfallbetrachtungen erforderlich.

#### **7.2.4.3 Öffnungsklausel**

Um atypische Besonderheiten zu erfassen wird eine zusätzliche Öffnungsklausel für abweichende Festlegungen im Rahmen des Anlagenzulassungsverfahrens vorgeschlagen. Dadurch sollen zu starre planerische Regelungen verhindert werden. Dies birgt allerdings die Gefahr in sich, dass Sonderregelungen sich zum Regelfall entwickeln. Für die Anwendung dieser Öffnungsklausel sollte daher ein strenger Maßstab gelten.

#### **7.2.4.4 Extrem giftige Stoffe**

Bei der Verwendung sehr giftiger Stoffe wie Methyl- oder Butylisocyanat (Bophal) in Störfallanlagen sollte grundsätzlich auf die im Rahmen der Anlagenzulassung erforderlichen Ausbreitungsrechnungen verwiesen werden. Hier stößt die vorgeschlagene typisierende Betrachtung wegen der sich auf der Grundlage der in Kapitel 6.1 *Grundsätzliche Überlegungen und Festlegung der Vorgehensweise* dargestellten, in der Bauleitplanung zu berücksichtigenden Stoffmengen und den daraus resultierenden Abständen, auf ihre Grenzen.

Dies gilt für sehr giftige gasförmige Stoffe wegen der sehr geringen zulässigen Konzentrationen generell für die Bewertung auf der Ebene der Bauleitplanung. Bei diesen Stoffen ist eine Einzelfallbetrachtung in einem immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren erforderlich.

#### **7.2.5 Bestehende Anlagen**

Der Ansatz bietet die Chance, das von industriellen Anlagen ausgehende Risiko sowohl auf der Ebene der Bauleitplanung, wo die Anlagen im Detail noch nicht bekannt sind, als auch bei bereits bestehenden Anlagen abzuschätzen. Es wird eine abgestufte Zumutbarkeit des von gefährlichen Anlagen ausgehenden Risikos vorgestellt. Eine wesentlich höhere Zumutbarkeit für das Risiko liegt insbesondere bei Nachbarn in Chemie- oder Industrieparks vor. Dies entspricht dem Gedanken, industrielle Nutzung an dafür besonders geeigneten Standorten zu konzentrieren. Des Weiteren sind Gewerbebetriebe oder Verwaltungsgebäude im „Zwischenraum“ von industrieller Nutzung und Wohnbebauung zugelassen. Für bestehende Anlagen kann unter Verhältnismäßigkeitsgesichtspunkten (s. *Kapitel 3.1.5.1 Besonderheiten von Chemie- und Industrieparks und Anhang*, *Kapitel 1.5 Abwägungsgrundsätze*) ein größeres Risiko als für Neuanlagen zugelassen werden.

#### **7.2.6 Chemie- und Industrieparks**

Starre Abstandsregelungen in Chemie- oder Industrieparks führen letztlich dazu, dass der Planungsansatz, industrielle Ansiedlungen in Industriegebieten zu konzentrieren, ad ab-

surdum geführt wird. Daher sind hier weitere Überlegungen notwendig. Das Gelände sollte öffentlich nicht frei zugänglich sein. Es ist sicherzustellen, dass ausreichende organisatorische und technische Maßnahmen vom Anlagenbetreiber in Abstimmung mit anderen Nutzern des Geländes und insbesondere der örtlichen Feuerwehr und den Gefahrenabwehrbehörden, getroffen werden. Zusätzlich sind ein intensiver Informationsaustausch zwischen den Anlagenbetreibern und regelmäßige Schulungen und Übungen der Beschäftigten - einschließlich der externen, sich in der Anlage aufhaltenden Arbeitnehmer, zu fordern. Die Verpflichtungen sollten vertraglich zwischen den Anlagenbetreibern fixiert sein. Die Überwachungsbehörden sind in die Überlegungen und Vereinbarungen einzubeziehen.

Benachbarten Störfallbetrieben ist wechselseitig ein deutlich höheres Risiko zuzumuten als benachbarter Wohnbebauung. Unter den o. g. Voraussetzungen regelmäßiger Notfallübungen und wechselseitiger Informationen, ist zwischen benachbarten Störfallanlagen unterschiedlicher Betreiber auch ein Nullabstand zulässig. Die Pflicht intensiver Absprachen zwischen den Betreibern von benachbarten Störfallanlagen ergibt sich bereits aus § 15 Domino-Effekt der Störfall-Verordnung [§ 15 Störfall-Verordnung]. Für das Szenarium der Freisetzung toxischer Gase wird ein zweistufiges Vorgehen vorgeschlagen:

- Bei einem Abstand außerhalb des 90%-Wertes der Stoff bezogenen Probit-Funktion zwischen einer Störfallanlage und einer anderen Anlage sind keine weitergehenden Regelungen erforderlich. Gleichzeitig muss die erforderliche Risikomaßzahl vorliegen. Diese ist gesellschaftlich festzulegen. Für Anlagenkomplexe ist z. B. eine Risikomaßzahl von  $10^{-5}$  Todesfällen pro Jahr denkbar. Abweichend von der Beurteilung zulässiger Wohnbebauung wird dabei für die Expositionszeit der 15 Minutenwert der Probitfunktion anstelle des 60 Minutenwertes herangezogen. Dabei sind andere Stoffeigenschaften wie die Explosionsgrenzen ggf. zu berücksichtigen.
- Bei Abständen innerhalb dieses Wertes ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich.

Auf der Grundlage der Vorschläge ergibt sich eine zusätzliche Gliederungsmöglichkeit von Industrie- oder Chemieparks. Im Zentrum sollten unter Störfallgesichtspunkten die Störfallanlagen angesiedelt sein.

Aus der dargestellten Ermittlung einer Risikomaßzahl ergibt sich z. B. für die wesentliche Änderung einer repräsentativen „Chemieanlage“ ohne „Besonderheiten“ in einem Chemiepark eine Wahrscheinlichkeit von  $3 \cdot 10^{-5}$  Ereignissen pro Jahr als Referenzwahrscheinlichkeit ( $R_{Referenz}$ ). Diese Referenzwahrscheinlichkeit wird mit der Möglichkeit schwerwiegender Auswirkungen eines Ereignisses (Todesfolge für eine oder mehrere Personen) verbunden. Die übrigen Faktoren ( $m$ ,  $b$ ,  $n$ ) sind gleich 1.

Z. B. ergibt sich für den 1%-Probit-Wert eine Risikomaßzahl für Todesfälle von  $3 \times 10^{-7} \text{ a}^{-1}$  für einen bestimmten Abstand und eine festzulegende Expositionszeit. Dieses Risiko gilt dabei für eine Person, die sich 24 Stunden im Bereich der Anlage bzw. des ermittelten Abstands und beim Ereignis im Freien aufhält. Das „reale Risiko“ wäre daher - auch ohne weitere konservative Annahmen - also deutlich geringer (Aufenthalt in der Wohnung z. B. nur 12 Stunden, Aufenthalt im Freien nur ca. 10 Min., etc.).

Die für die verschiedenen Risiko-Maßzahlen ermittelten Abstände lassen sich auf einer Karte als Abstands- bzw. Iso-Risikolinien darstellen. In *Kapitel 9.2.1 Freisetzung eines*

*toxischen Gases* werden die Vorschläge unter Berücksichtigung der in *Kapitel 8 Neue Ansätze in der Bauleitplanung, Ausbreitungsrechnungen* erfolgenden Rechnungen am Beispiel der Freisetzung des Stoffes Chlor zusammenfassend dargestellt.

### **7.2.7 Öffentliche Verkehrswege**

Interessant ist die Frage, wie öffentliche Verkehrswege zu beurteilen sind.

Sofern durch einfache technische Maßnahmen Verkehrswege für nachfolgende Verkehrsteilnehmer gesperrt werden können, z. B. durch Ampeln, können Verkehrswege wie gewerbliche Anlagen außerhalb des Kernbereichs der Auswirkungen von Brand oder Explosionen angesiedelt werden. Für das Szenarium der Freisetzung toxischer Stoffe ist zu berücksichtigen, dass bei Aufrechterhaltung des Verkehrsflusses die passierenden Verkehrsteilnehmer der Gaskonzentration nur für Sekunden oder wenige Minuten ausgesetzt sind. Bei Schwergasen sind dabei allerdings tiefer liegende Straßenschluchten oder Tunnel zu beachten.

In solchen Fällen ist ein Gutachten erforderlich. Sofern in dem Gutachten vorgeschlagene, die Ausbreitung der Gefahrstoffe verhindernde Maßnahmen durch rechtliche Regelungen verbindlich umgesetzt werden, sind wesentlich kürzere Abstände als bei Wohnbebauung zulässig.

Bei der Fragestellung ist auch zu bedenken, dass eine Industriegesellschaft ohne Zu- und Ablieferung von Chemikalien nicht denkbar ist. Insofern spielt bei der Beurteilung bzw. Bewertung von Risiken immer die gesellschaftliche Akzeptanz eine entscheidende Rolle.

### **7.2.8 Erläuterung der Vorschläge**

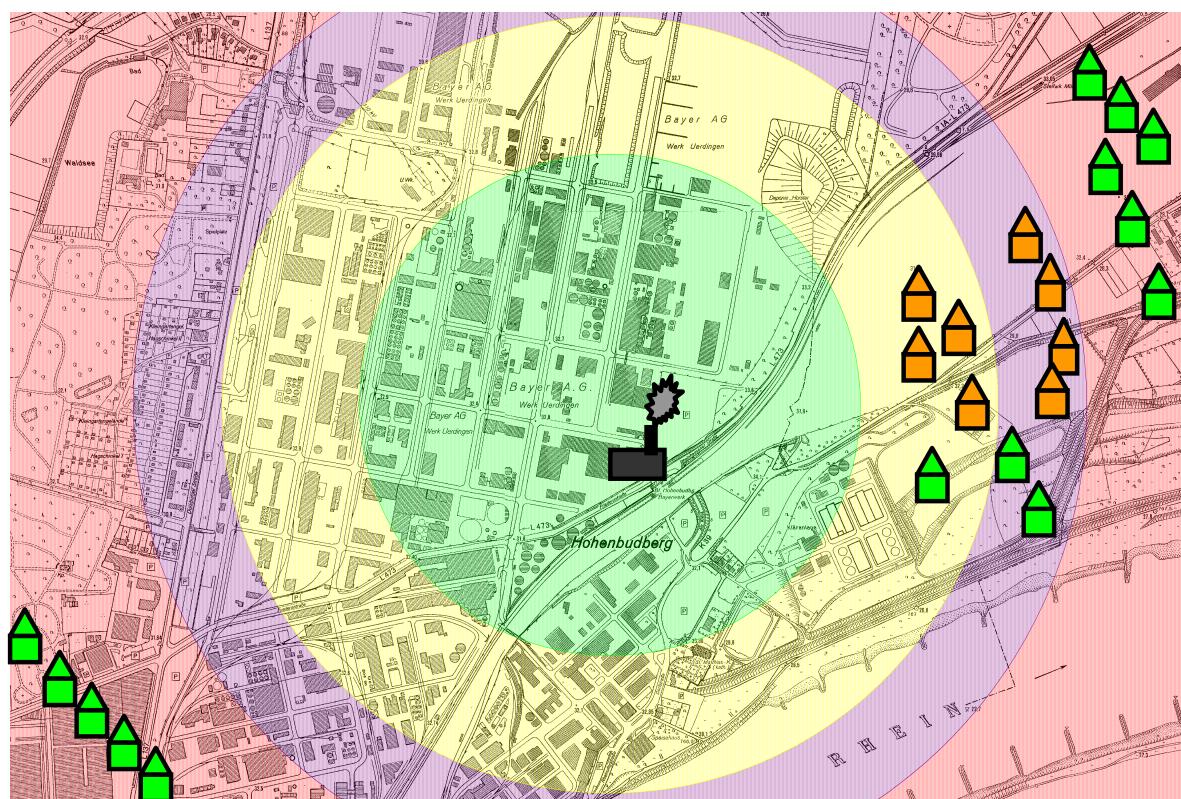
Bei den angestellten Überlegungen geht es zunächst um die Ermittlung der zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung im Rahmen der Bauleitplanung zu fordernden Abstände. Dabei stellt sich zusätzlich die Frage, was mit den „Zwischenräumen“ zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung geschehen soll.

Wohnen ist besonders schützenswert, weil - anders als beim durchschnittlich gesunden Arbeitnehmer - besonders empfindliche Personengruppen mit einzubeziehen sind. Auch können die Anwohner im Schlaf überrascht werden. Daher ist aus unterschiedlichen Gründen eine Flucht oder ein Schutz durch eingeschränkte Beweglichkeit oder nicht vorhandene Aufmerksamkeit gegeben. Ein weiterer Punkt ist die „Isolation“ der einzelnen Haushalte. Anders als in einer Behörde oder gewerblichen Unternehmen, ist es schwierig, alle Personen schnell zu erreichen. Dies ist am ehesten durch Lautsprecherdurchsagen oder Radionachrichten möglich. Aus diesen Gründen werden nach Bevölkerungsdichte und von einer Anlage erreichter Risikomaßzahl die 1%, 10% und 90%-Probitwerte für die Ermittlung des Abstands herangezogen. Unter der Voraussetzung, dass für ein bestimmtes Vorhaben eine nach der vorgeschlagenen überschlägigen Betrachtung ausreichende Risikomaßzahl erreicht wird, sind bei geringer Bevölkerungsdichte einzelne Häuser bereits in dem Bereich zwischen dem 90%-Wert und dem 10%-Wert der Probit-Funktion zulässig. Bei einem Abstand außerhalb des 1 % Wertes der Probit-Funktion bestehen gegenüber wohnlicher Nutzung keine Einschränkungen. Dabei wird eine Expositionzeit

von 60 Minuten berücksichtigt. Für die AEGL-Werte (insbesondere AEGL-2-Wert) ergeben sich für den Stoff Chlor im Vergleich unrealistisch große Abstände.

Die vorhandenen Räume zwischen wohnlicher und industrieller Nutzung können nach dem Grad der Schutzbedürftigkeit zusätzlich gestaffelt werden. Auch hierzu existieren bisher keine rechtlichen Vorgaben oder Empfehlungen der einschlägigen Gremien. Allerdings kann aus dem rechtlich etablierten Grundsatz des Gebots der gegenseitigen Rücksichtnahme, wie es sich für „gewachsene“ Gemengelagen - wie vorausgehend erläutert - für die „klassische Bauleitplanung“ in der Rechtsprechung entwickelt hat, auch für die typisierende Bewertung mit Elementen der Risikobetrachtung eine abgestufte Schutzwürdigkeit der Nutzung abgeleitet werden.

Die, nach der Schutzbedürftigkeit der Objekte abgestufte Nutzung, soll die nachfolgende Abbildung - im Vorgriff auf die Ausbreitungsrechnungen in Kapitel 8 - verdeutlichen (Abb. 7.2.8/1: Gestaffelte Flächennutzung, Szenario Freisetzung von 5.000 kg Chlor):



#### Legende:

	Bürogebäude und nicht störendes Gewerbe
	Wohnen
	industrielle Nutzung
grün:	Probit-90-%-Wert
gelb:	Probit-10-%-Wert
violett:	Probit-1-%-Wert
rosa:	AEGL-3-Wert (nicht vollständig abgebildet)

Abb. 7.2.8/1:  
Gestaffelte Flächennutzung, Szenario  
Freisetzung von 5.000 kg Chlor

Eine gestaffelte Nutzung des Raumes stellt z. B. die Ansiedlung gewerblicher Betriebe in einem Abstand mehrerer hundert Meter von einem „Seveso-Betrieb“ dar. Die relevanten Szenarien Freisetzung toxischer Stoffe, Brand oder Explosion sollten dabei mit den ansässigen Betrieben, dem potentiellen Verursacher des Szenariums und den Gefahrenabwehrbehörden regelmäßig geübt und Verhaltensregeln für den Ereignisfall vereinbart werden.

In einem weiteren „Abstandsband“ können Büros oder Verwaltungen angesiedelt werden. Einrichtungen mit hohem Publikumsverkehr wie Fußballstadien, Kirmes oder Trödelmarkt, sollten wegen der Panikgefahr nicht zugelassen werden. Die unterschiedliche Bevölkerungsdichte und die unterschiedliche Nutzung wird in der Abbildung durch die Häuschen wiedergegeben.

Eine etwas andere Darstellung veranschaulicht den Vorschlag, für die Ermittlung des zulässigen Abstandes zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung die Bevölkerungsdichte am Standort der Anlage zu berücksichtigen (Abb. 7.2.8/2: Korrelation von Abstand und Risikomaßzahl):

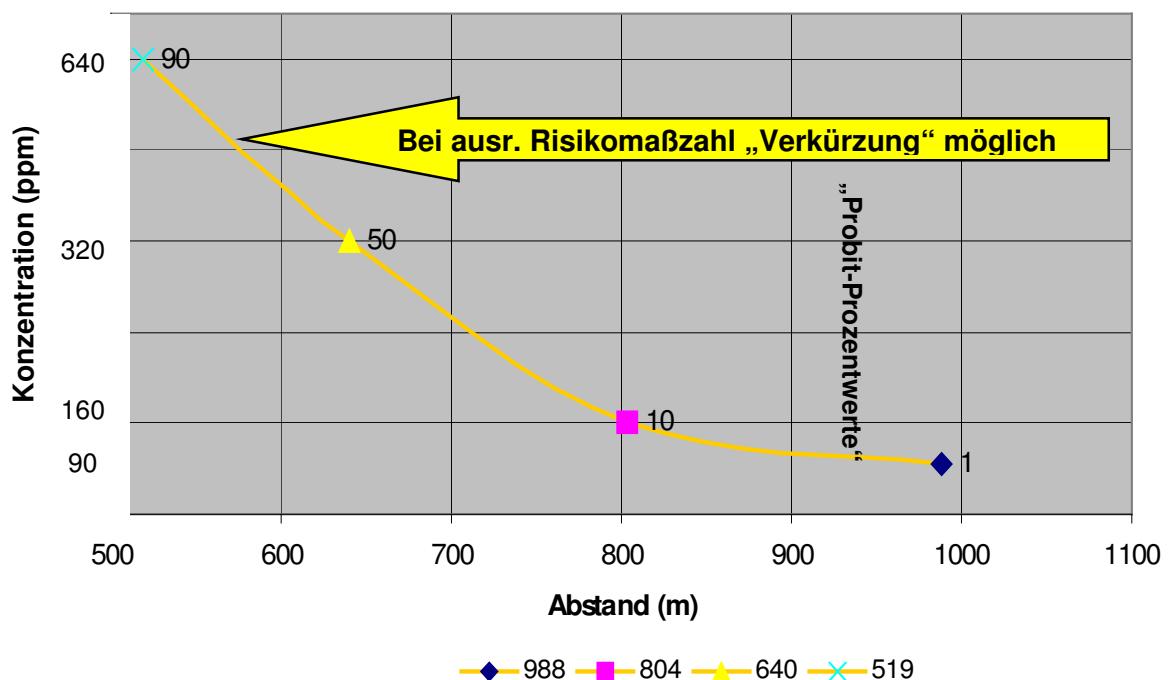


Abb. 7.2.8/2: Korrelation von Abstand und Risikomaßzahl

Dargestellt werden die Ergebnisse der in Kapitel 8.1 *Freisetzung toxischer Stoffe, Beispiel Chlor* wiedergegebenen Ausbreitungsrechnung für die Freisetzung von 5 t Chlor (Behälterversagen, spontane Freisetzung) unter mittleren Bedingungen. Bei weniger dichter Bebauung ist bei einer nach den genannten Kriterien ermittelten, ausreichend kleinen Risikomaßzahl ein verkürzter Abstand zur Wohnbebauung zulässig.

## 7.2.9 Tabellarische Zusammenfassung der Faktoren

Nachfolgend werden die in die typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung einfließenden Faktoren und Vorschläge tabellarisch zusammengefasst

(Tab.: 7.2.9/1: Korrekturfaktoren und Sonderfallbetrachtung zur Bestimmung der Risiko-Maßzahl):

„Malus“:	z. B. geografische Situation	$m = 10$
„Bonus“:	außergewöhnliche technische Sicherheitsmaßnahmen	$n = 10^{-1}$
Bevölkerungs-dichte	städtische Bevölkerungsdichte	$C_{1\%-Wert}$ (60 Min.)
	mittlere Bevölkerungsdichte	$C_{10\%-Wert}$ (60 Min.)
	sehr niedrige Bevölkerungsdichte	$C_{90\%-Wert}$ (60 Min.)
$R_{Ref}$	Neue Anlagen: Einzelanlage; Anlagenkomplex	$10^{-6} \text{ a}^{-1}; 10^{-5} \text{ a}^{-1}$
	Bestehende Anlagen: Einzelanlage; Anlagenkomplex	$3 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}; 3 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$
(Bestehende Anlage(n))	außergewöhnliche organisatorische Maßnahmen, sehr gutes Sicherheitsmanagement	$b = 10^{-1}$
Gewerbliche Nutzung	Nutzung der Zwischenräume	$C_{90\%-Wert}$ (60 Min.)
Industrie- und Chemieparks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Störfallanlagen</li> <li>• Industrie- und Gewerbe</li> </ul>	Nullabstand (Ein-zelfallprüfung) $C_{90\%-Wert}$ (15 Min.)
Sonderfallbe-trachtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelfallbetrachtung für pauschal nicht abschätzbare Faktoren:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ausbreitungsrechnung Talsituation, Verkehrstunnel</li> <li>○ keine „planerische“ Bewertung für sehr giftige Stoffe wie Methylisocyanat</li> <li>○ natürliche Gefahren wie Hochwasser</li> </ul> </li> </ul>	

Tab. 7.2.9/1: Korrekturfaktoren und Sonderfallbetrachtung zur Bestimmung der Risiko-Maßzahl

Die Ermittlung der Risiko-Maßzahl lässt sich somit in Form einer Formel wie folgt beschreiben:

$$R_{\text{Maßzahl}} = m \times (b) \times n \times R_{\text{Referenz}} \times (\text{Prozentwert Probit-Funktion})$$

Die Risikomaßzahl bezieht sich dabei auf eine festzulegende Expositionszeit von z. B. 60 Min. oder 15 Min.. Aus der Verwendung einer bestimmten, mit der Probit-Funktion für den jeweiligen Stoff hergeleiteten Konzentration, ergibt sich aus der Ausbreitungsrechnung der Abstand zwischen Quelle und Wohnbebauung bzw. sonstiger Nutzung. Dieser wird als Kreis dargestellt. Für bestimmte Besonderheiten am Standort ist zusätzlich eine gutachterliche Einzelfallbetrachtung erforderlich (z. B. Hochwasserschutz).

### 7.3 Brand, Wärmestrahlung

Die in verschiedenen europäischen Nachbarländern herangezogenen Werte für die Beurteilung der Auswirkungen von Bränden werden in Kapitel 5. *Methodische Vorgehensweise in europäischen Nachbarländern* beschrieben. Aus dem Vergleich wird eine konservative Vorgehensweise im Rahmen dieser Arbeit deutlich (Tab. 7.3/1: Szenarium Brand, Grenzwerte):

#### Brand, Wärmestrahlung

1,3 KW/ m <sup>2</sup>	Starke Sonneneinstrahlung
1,6 KW/ m <sup>2</sup>	Beginn nachteiliger Wirkung beim Menschen Sollwert in der Bauleitplanung
2 KW/ m <sup>2</sup>	zulässiger Maximal-Wert bei (teilweise) bereits bestehender Bebauung
3 KW/ m <sup>2</sup>	Beginn irreversibler Wirkung

Tab. 7.3/1: Szenarium Brand, Grenzwerte

In den Ausbreitungsrechnungen für den Stoff Toluol werden die sich für den Beginn nachteiliger Wirkung beim Menschen und einige höhere Werte (z. B. kurzfristiger Einsatz von Feuerwehrleuten möglich) berechneten Abstände dargestellt. Ein Wert von 1,6 KW/m<sup>2</sup> sollte in der Bauleitplanung im Brandfall für die benachbarte Wohnbebauung eingehalten werden. Bei (teilweise) bereits bestehenden Situationen ist ein Maximal-Wert von 2 KW/ m<sup>2</sup> zulässig. Dieser Wert wird in der Literatur zum Schutz empfindlicher Gebäude (z. B. Wohnhäuser) angegeben (s. **Anhang, Kapitel 3.11.1 Wärmestrahlung**).

Die Werte beziehen sich auf eine Einwirkzeit von mindestens 60 s auf die ungeschützte Haut. Bei den Berechnungen werden mittlere Annahmen zu Grund gelegt. Die Annahmen und das Rechenmodell sollten festgelegt werden (s. *Kapitel 7.6 Ausbreitungsbedingungen und verwendete Modelle*).

Bei außergewöhnlichen technischen und organisatorischen Maßnahmen ist es gerechtfertigt, eine Verkürzung der sich ergebenden Abstände im Rahmen der Anlagenzulassung zuzulassen.

Diese weitere Verkürzung gilt allerdings nur für benachbarte industrielle oder gewerbliche Nutzung. Bei Wohnbebauung sollte auch wegen weiterer Auswirkungen wie Rauch- und Rußbildung sowie Gerüchen ein bestimmter Mindestabstand nicht unterschritten werden. Bei Tankfeldern mit brennbaren Stoffen in der Nachbarschaft von Wohnbebauung ist der erforderliche Mindestabstand gutachterlich zu ermittelt. In diesem Fall sind ggf. wesentlich größere Abstände zur Wohnbebauung erforderlich.

Unabhängig von der Frage der Auswirkungen eines Brandes sind auch die toxischen oder explosiven Eigenschaften eines Stoffes sowie Schwergasverhalten bei der Ausbreitung zu berücksichtigen. Aus dem Szenarium Freisetzung einer toxischen Wolke können sich z. B. höhere Abstandswerte als aus der Berücksichtigung einer Explosion ergeben.

## 7.4 Explosion, Explosionsüberdruck

Die in verschiedenen europäischen Nachbarländern herangezogenen Werte werden in *Kapitel 5* wiedergegeben. Irreversible Gesundheitsschäden für den Menschen werden in der Literatur bei Werten deutlich größer 0,1 bar Spitzenüberdruck angegeben (z. B. Beginn letaler Folgen ab 0,140 bar; Trommelfellriss bei 0,175 bar Spitzenüberdruck, schwere gesundheitliche Folgen ab 0,3 bar). In dieser Arbeit wird bei den Ausbreitungsrechnungen ein Spitzenüberdruck von 0,03 bar - bezogen auf Wohnbebauung - als maßgeblich angenommen (75%-Fensterscheibenbruch). Dieser Wert (Sollwert) sollte in der Bauleitplanung möglichst eingehalten werden. Bei (teilweise) bereits bestehenden Situationen ist ein Wert von 0,05 bar Spitzenüberdruck (100 % zerstörte Fensterscheiben in Wohngebäuden, s. **Anhang, Kapitel 3.11.2 Belastungen durch Druckwirkungen**) tolerierbar.

Bei den Berechnungen werden mittlere Annahmen zu Grund gelegt. Die Annahmen und das Rechenmodell sollten festgelegt werden (s. *Kapitel 7.6 Ausbreitungsbedingungen und verwendete Modelle*).

Die vorgeschlagenen Werte sind im Vergleich mit den Werten in den Nachbarländern äußerst konservativ. Die in der Literatur zu den Gesundheitsschäden gefundenen Werte sind insgesamt allerdings wesentlich inhomogener als die Werte für den Brandfall (s. Tab. 7.4/1: Schäden durch Druckwelle):

	Spitzen-Überdruck [bar]
Fensterscheiben bekommen Sprünge	0,01
<b>Fensterscheiben werden zertrümmert (75 % Bruch)</b>	<b>0,03</b>
reparierbare Schäden an Gebäuden und Anlagen	0,1
Mittlere Schäden an Fachwerkhäusern	0,15
Mensch wird umgeworfen	0,15 - 0,2
mittlere Schäden an mehrstöckigen, Wand tragenden Ziegelsteinbauten	0,18
Lagertanks für Kohlenwasserstoffe reißen auf	0,2 - 0,25
Totalzerstörung von Industriebauten, Rohrbrücken, usw.	0,4 - 0,8
Schädigung des Gehörs	0,3
beladene Eisenbahnwaggons kippen um	0,5

Tab. 7.4/1: Schäden durch Druckwelle

Zusätzlich werden in *Kapitel 8.3 Explosion* in grafischen Darstellungen weitere Werte (z. B. von 0,01 bar, Zerstörung von 10 % der Fensterscheiben an Wohngebäuden) veranschaulicht.

## 7.5 Meteorologische Bedingungen

Wesentlich für die Schadstoffausbreitung ist die genaue Bestimmung der meteorologischen Bedingungen wie Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit, atmosphärische Stabilität, Bodenrauhigkeit und Bodentemperatur am jeweiligen, planerisch zu beurteilenden Standort.

Typische Werte zeigen die nachfolgenden Abbildungen [Hartmann 2005] am Beispiel der Stadt Düsseldorf. Die Jahres-Durchschnittstemperatur beträgt 10 bis 10,5 °C, die durch-

schnittliche Windgeschwindigkeit 3 m/s. Der Wind weht häufig aus südlicher bzw. südwestlicher Richtung (s. Abb. 7.5/1: Wind-Sektoren und Häufigkeit, Stadt Düsseldorf):

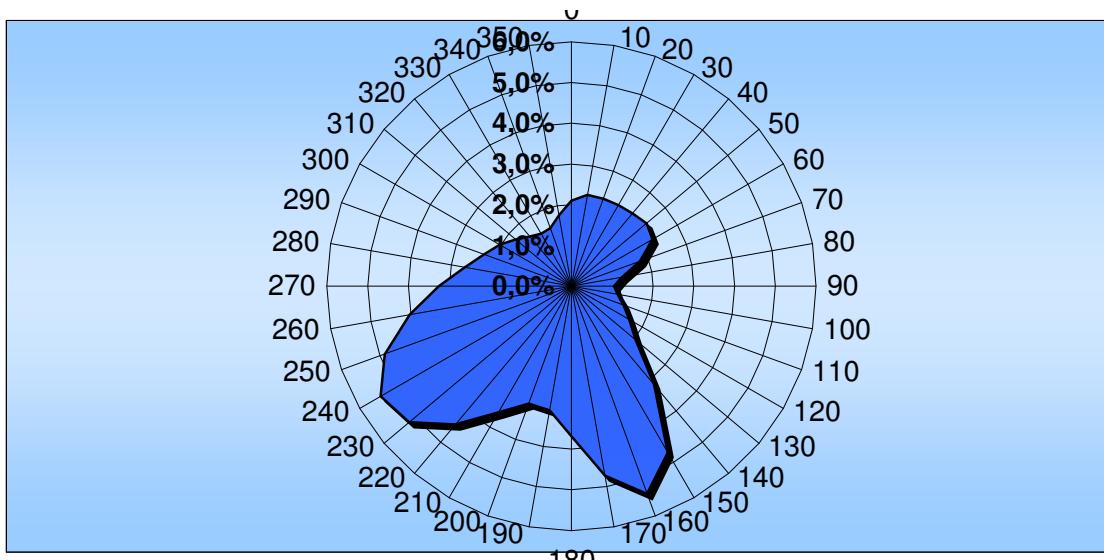


Abb. 7.5/1: Wind-Sektoren und Häufigkeit, Stadt Düsseldorf

Nach den Vorgaben der TA Luft ([TA Luft 2002], Anhang 3) ist die Windrichtung in 36 Sektoren zu je  $10^\circ$  zu klassieren. Der erste Sektor umfasst die Windrichtungen  $6^\circ$  bis  $15^\circ$ , die weiteren Sektoren folgen im Uhrzeigersinn.

Die Windgeschwindigkeiten sind in 9 Klassen eingeteilt (Tab. 7.5/1: Windgeschwindigkeitsklassen nach TA Luft):

Klasse	Windgeschwindigkeit $u_a$ ( $\text{ms}^{-1}$ )	Rechenwert $u_R$ ( $\text{ms}^{-1}$ )
1	< 1.4	1
2	1.4 bis 1.8	1.5
3	1.9 bis 2.3	2
4	2.4 bis 3.8	3
5	3.9 bis 5.4	4.5
6	5.5 bis 6.9	6
7	7.0 bis 8.4	7.5
8	8.5 bis 10.0	9
9	> 10.0	12

Tab. 7.5/1: Windgeschwindigkeitsklassen nach TA Luft

Aus dieser Einteilung ergibt sich für Düsseldorf das nachfolgend (Abb. 7.5/2 Windgeschwindigkeitsklassen, Stadt Düsseldorf) gezeigte Bild der Verteilung:

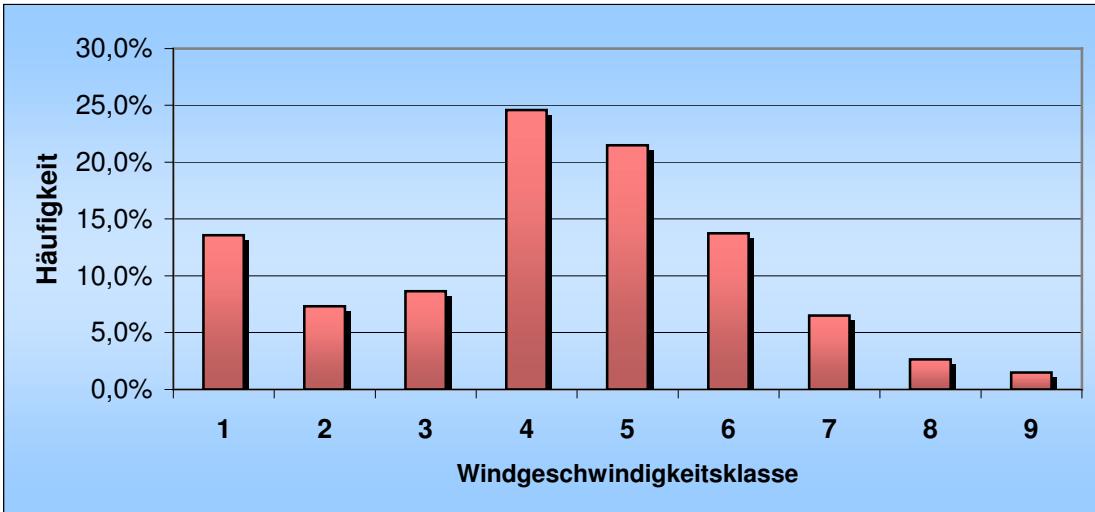


Abb. 7.5/2: Windgeschwindigkeitsklassen, Stadt Düsseldorf

Die Ausbreitungsklasse ist gemäß VDI 3782 (VDI 3782 Blatt 1, Anhang A) zu bestimmen. Für jede in der Häufigkeitsverteilung mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit größer Null aufgeführte Ausbreitungssituation ist nach dem für die Zeitreihenrechnung angegebenen Verfahren eine zeitunabhängige Ausbreitungsrechnung durchzuführen. Dabei ist als Windgeschwindigkeit  $u_a$  der Rechenwert  $u_R$  zu verwenden. Die Ausbreitungsklassen nach Klug/ Manier sind auch Grundlage der Ausbreitungsbetrachtungen nach der TA Luft ([TA Luft 2002], Anhang 3, 8.4). Die nachfolgende Abbildung (Abb.7.5/3: Ausbreitungsklassen, Stadt Düsseldorf) zeigt die Situation für Düsseldorf:

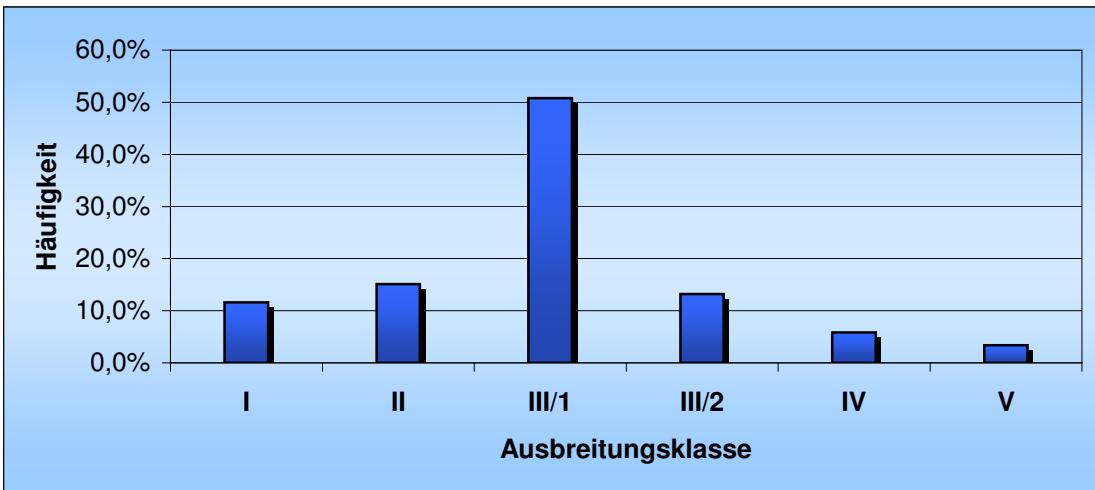


Abb. 7.5/3: Ausbreitungsklassen, Stadt Düsseldorf

Die Ausbreitungsklasse III/1 entspricht der Ausbreitungsklasse D im Programm DISMA.

Weitere Werte zur durchschnittlichen Windgeschwindigkeit und der durchschnittlichen Jahrestemperatur aus NRW lassen sich z. B. dem Luftreinhalteplan Duisburg-Nord der Bezirksregierung Düsseldorf [LRP Duisburg 2004] entnehmen. Im niederrheinischen Tiefland gelegen, herrschen in Duisburg demnach Winde aus südwestlicher Richtung vor. Die

Windgeschwindigkeit liegt im Jahresmittel bei ca. 3 m/s, wobei das Maximum mit 3,2 - 4,2 m/s im Januar und das Minimum mit unter 2,5 m/s im Juni und September zu verzeichnen ist. Insgesamt sind die Wintermonate windstärker als das Sommerhalbjahr. In Bereichen mit starker Bebauung herrschen niedrige Windgeschwindigkeiten (kleiner 2 m/s) in ca. 20 - 35% der Zeit vor. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 10°C.

Für die Ausbreitungsrechnungen ebenfalls von Bedeutung ist die Bewölkung bzw. Sonneneinstrahlung (Bedeckungsgrad). Auf Grund lokaler Besonderheiten und in Folge teilweise sehr unterschiedlicher Wetterverhältnisse im Norden und Süden Deutschlands lassen sich repräsentative Durchschnittswerte für das Jahr hierzu nicht angeben. Die Werte liegen in NRW nach Auskunft des LUA NRW [Hartmann 2005] überwiegend zwischen 70 und 75 % Bewölkung. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein mittlerer Wert von 75% angenommen. Der Einfluss von 5 % Bewölkung bei den Berechnungen ist vernachlässigbar.

Die Häufigkeit der verschiedenen Stabilitätsklassen und einer stabilen Wettersituation mit geringen Windgeschwindigkeiten lassen sich für Deutschland (s. Tab. 7.5/2: Häufigkeit der verschiedenen Stabilitätsklassen) wie folgt zusammenfassen (entnommen: [Hartwig 1999], S. 123):

Meteorologie-zone	Häufigkeiten für Stabilitätsklasse			Stabil (E, F) und geringe Windgeschw.*
	A, B (labil)	C, D (neutral)	E, F (stabil)	*1 m/s in 10 m Höhe
Nord	36 %	55 %	9 %	1,9 %
Mitte-West	31 %	57 %	12 %	1,5 %
Mitte-Ost	40 %	47 %	13 %	3,9 %
Süd	37 %	52 %	11 %	3,1 %
Mittelwert	36 %	53 %	11 %	2,6 %

Tab. 7.5/2: Häufigkeit der verschiedenen Stabilitätsklassen

Für eine eingehende Betrachtung meteorologischer Daten sei auf die Literatur verwiesen (z. B. [Klumpe, Hartwig 1993]).

## 7.6 Ausbreitungsbedingungen und verwendete Modelle

Nachfolgend wird auf die verwendeten Modelle für die Erstellung der Ausbreitungsrechnungen sowie die Ermittlung der bei den Berechnungen zu Grunde gelegten mittleren Ausbreitungsbedingungen sowie die Ergebnisse des gemeinsamen Arbeitskreises von SFK/TAA (s. Kapitel 9.3, Vorgehensweise im Leitfaden SFK/TAA-GS-1) eingegangen.

### 7.6.1 VDI 3783 Blatt 1 und 2

Computerprogramme auf der Grundlage des VDI-Modells 3783 Blatt 1 und 2 können als Standardvorgabe, z. B. im Rahmen der Erstellung von Auswirkungsbetrachtungen im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Anlagenzulassungen, bezeichnet werden. Wegen einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse und der Anerkennung der VDI-Richtlinie erfolgen die in dieser Arbeit erstellten Ausbreitungsrechnungen für leichte, dichteneutrale

und schwere Gase daher mit einem auf der Grundlage der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 und 2 arbeitenden Rechenprogramm.

Wegen der zusätzlich zu den Abstandsberechnungen zur Verfügung stehenden graphischen Funktionen wurde mit dem Programm DISMA (**D**isaster **M**anagement) des TÜV Rheinland/Berlin-Brandenburg gerechnet.

Mögliche Schwachstellen der VDI-Richtlinie lassen sich wie folgt beschreiben:

- Durch die Vereinfachungen des VDI-Modells können an quellnahen Aufpunkten Fehler auftreten. Da im Rahmen der Bauleitplanung die relevanten Abstände relativ groß sind, hat dieser Nachteil wenig Gewicht. Allerdings sollte man sich darüber im Klaren sein, dass bei Schwergasen die Ergebnisse der Kopplung von Schwergas- und Neutralgasausbreitung (Blatt 1 (Gauß-Modell) und 2 der VDI 3783) sowohl Über- als Unterschätzungen der Konzentrationen gegenüber der realen Situation ergeben können [König 1999].
- Hartwig ([Hartwig 1994]; [Hartwig 1991]) konnte im Rahmen experimenteller Untersuchungen nachweisen, dass andere Modelle wie Degadis die für Schwergase experimentell ermittelten Daten genauer abbilden. Die Untersuchungen von Hartwig haben gleichzeitig gezeigt, dass das VDI-Modell jedoch für die Schwergasausbreitung als konservative Annahme verstanden werden kann.

Der Einfluss der Wahl sehr ungünstiger (und sehr seltener) Ausbreitungssituationen auf den zu berücksichtigenden Abstand zur Quelle wird in den durchgeführten Rechnungen (s. *Kapitel 8.1.3 Ausbreitungsrechnungen Chlor, ungünstige Ausbreitungssituation*) am Beispiel des Gefahrstoffs Chlor gezeigt. Für (sehr seltene) sehr stabile meteorologische Verhältnisse ergeben sich bei den untersuchten Stoffen wesentlich größere Abstände als für „neutrale“ Bedingungen.

Die Ergebnisse des Modells DISMA werden im Rahmen einer vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen Studie [UBA-FB 202 09 428, 1999] mit einer Reihe weiterer Computerprogramme wie STOER (Programm zur **Störfall-Verordnung**) oder ProNuSs (**P**rogramm zur **n**umerischen **S**törfallsimulation) verglichen. Allen 3 Modellen gemeinsam ist die enge Anlehnung an die VDI 3783 Blatt 1 und 2. In der Beurteilung zu DISMA heißt es: „Dieses Programm ist, im Großen und Ganzen, genau auf das Problem der Umsetzung der 3. Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Störfall-Verordnung zugeschnitten. Es geht sogar darüber hinaus und stellt eine Schnittstelle zur Katastrophenschutzplanung dar.“

Die zitierte 3.Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung [Störfall-Verordnung, 3. StörfallVwV] wurde zwar zwischenzeitlich aufgehoben, wird aber in der Verwaltung weiterhin als sog. sonstige Erkenntnisquelle bei Verwaltungsentscheidungen genutzt. Eine aktuelle Verwaltungsvorschrift existiert nicht. Der Erlass scheiterte 2004 am Kompetenzgerangel der zuständigen Länder.

Der entscheidende Vorteil des Programms DISMA für die Auswahl in dieser Arbeit liegt in der graphischen Umsetzung weiterer Optionen, während z. B. STOER auf der DOS-Ebene rechnet und keinerlei zusätzliche Optionen anbietet. Die Eingabemöglichkeiten und Vorgehensweisen beim Modell DISMA werden im **A**nhang, *Kapitel 5 Programm DISMA*, in Form von Fließbildern zu den im Rahmen dieser Arbeit genutzten Optionsmöglichkeiten Stofffreisetzung, Explosionen sowie Brand und Lachenbrand, wiedergegeben (entnommen: [UBA-FB 202 09 428, Anhang 6, Teil F, Anlage 3]).

Das Modell DISMA geht von mittleren Bedingungen einer industriellen Bebauung aus. Diese mittleren Bedingungen werden allerdings nicht weiter konkretisiert. Als erheblicher Nachteil des Modells sind - anders als beim Modell STOER - weder die Rauhigkeitsklasse noch das Ausbreitungsgebiet (gemäß VDI 3783) wählbar. Sowohl die Rauhigkeit des Geländes als auch die konkreten Ausbreitungsbedingungen an einem Standort sind aber von großer Bedeutung für den im Rahmen der Bauleitplanung zu ermittelnden Abstand. Der Einfluss der (auf der VDI 3783 basierenden) Rechenprogramme auf die in der Ausbreitungsrechnung ermittelten Abstände werden am nachfolgenden Beispiel untersucht.

### **7.6.2 Rechenprogramme**

Die Bedeutung der gewählten Rechenprogramme ist sehr groß.

Für die genannten Programme ergeben sich nach eigenen Berechnungen und Berechnungen von Experten des Landesumweltamtes NRW [Delling, Bordin 2006] für die Ausbreitung von Chlor nach den im Leitfaden von SFK und TAA (*Überwachung der Ansiedlung, [SFK-TAA-GS-1]*) genannten „mittleren Bedingungen“ für die Erreichung der Konzentration des ERPG-2-Wertes (3 ppm) Abstände von ca. 2.000 m bis 2.500 m (StOER) und 3.200 m (DISMA) gegenüber ca. 1.400 m nach den Berechnungen von SFK und TAA mit dem Modell ProNuss.

Der von SFK und TAA veröffentlichte Wert von 1.400 m ist vor dem Hintergrund anderer Veröffentlichungen zu hinterfragen. So berichtet die *Hessenschau* des hessischen Rundfunks vom 18.04.2006 in Radio und Fernsehen [Hessenschau 2006] über das vorläufige „Aus“ der geplanten Ausweisung eines größeren Wohngebietes in der Umgebung des Industrieparks Frankfurt-Höchst auf der Grundlage eines von der Stadt Frankfurt in Auftrag gegebenen Gutachtens zum zwischen dem Industriepark und der Wohnbebauung auf der Grundlage von Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie zufordernden Abstandes. Dabei geht es nach den Medienberichten um die Freisetzung des Stoffes Chlor aus dem Industriepark. Nach den Ausführungen des stellvertretenden Leiters des Stadtplanungsamtes der Stadt Frankfurt in einem Fernsehinterview, ausgestrahlt am 20.04.2006, wird ein Mindestabstand zwischen Störfallanlagen und Wohnbebauung von 4.000 m auf der Ebene der Bauleitplanung gefordert.

Nachfolgend werden Ergebnisse einer Berechnung aus einem vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen Bericht [UBA-FB 202 09 428, 1999] wiedergegeben, die von Fachkreisen und der Störfallkommission nach Wissen des Autors dieser Arbeit nicht kritisiert wurden (s. Abb. 7.6.2/1: Einfluss der freigesetzten Menge auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches):

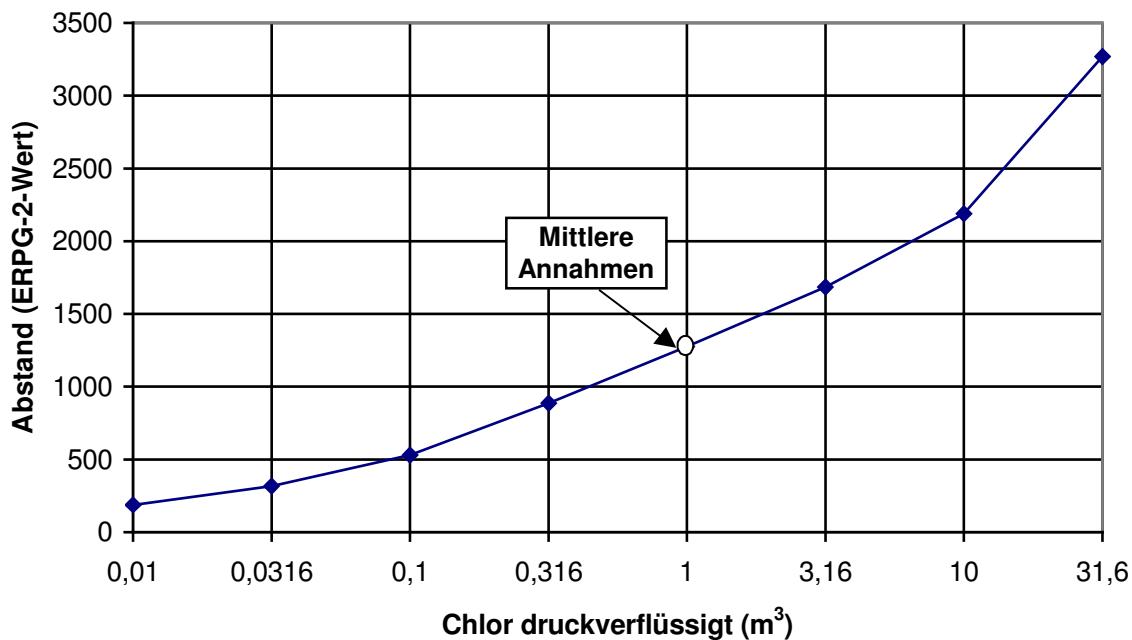


Abb. 7.6.2/1: Einfluss der freigesetzten Menge auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches (Quelle: [UBA-FB 202 09 428, 1999], Darst. ähnlich)

Der in dem Bericht ermittelte Abstand von ca. 1.300 m für die Freisetzung von 1 m<sup>3</sup> Chlor aus einem Behälter (Lachenoberfläche: 20 m<sup>2</sup>) entspricht etwa dem von SFK und TAA angegebenen Wert für die Freisetzung von ca. 5.300 kg bei einer um ein vielfaches größeren Lache (Lachentiefe: 5 mm).

Nachfolgend werden die im UBA-FB genannten mittleren Bedingungen wiedergegeben (Tab. 7.6.2/1: Mittlere Annahmen [UBA-FB 202 09 428, 1999]):

#### Mittlere Annahmen:

Spontan freigesetzte Menge an druckverflüssigtem Chlor	1 m <sup>3</sup>
Betontassenlänge	5 m
Betontassenbreite	4 m
Betontassentemperatur	15 °C
Schwergaswolke, ebenes Gelände ohne Hindernisse	
Stabilitätsklasse nach Pasquill	D
Mittlere Windgeschwindigkeit	3 m/s
Lufttemperatur	15 °C
Schwellenkonzentration (MAK-Wert)	0,5 ppm
Referenzkonzentration (ERPG2-Wert) über 60 Min.	3,0 ppm
Maximale Verdunstung	30 Min.

Tab. 7.6.2/1: Mittlere Annahmen [UBA-FB 202 09 428, 1999]

Auf Grund der starken Abweichungen in den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnungen ist die Erarbeitung verbindlicher Vorgaben zu den Eingabeparametern der Rechenmodelle im Sinne einer Anwendungsvorschrift zu fordern. Dabei sollte auch die Verwendung eines verbindlichen Rechenprogramms diskutiert werden. Dieser Weg wird zur Zeit in den Niederlanden beschritten (s. Kapitel 5. 1 Niederlande).

Die für das Szenarium Freisetzung einer toxischen Wolke angestellten Überlegungen zu den Eingabeparametern und verwendeten Rechenprogrammen bei den Ausbreitungsrechnungen gelten analog auch für die Ausbreitungsbetrachtungen zu den Szenarien Brand und Explosion. Allerdings sind die Auswirkungen unterschiedlicher Programme, bezogen auf den im Rahmen der Bauleitplanung zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung zu fordernden Abstand, weniger bedeutsam.

## **8. Neue Ansätze in der Bauleitplanung**

### **Ausbreitungsrechnungen**

Gegenstand der Berechnungen sind die Szenarien Freisetzung toxischer Stoffe, Brand und Explosion. Die Szenarien Trümmerflug oder das „Abdriften“ einer zündfähigen Wolke, werden nicht berücksichtigt (s. Kapitel 6.2.9 *Schlussfolgerungen aus den vorgefundenen Daten*). Die Berechnungen erfolgen auf der Grundlage der VDI 3783 Blatt 1 und 2 mit dem Rechenprogramm DISMA des TÜV Rheinland/Berlin-Brandenburg.

Die den Berechnungen beispielhaft zu Grunde gelegten mittleren Bedingungen in Düsseldorf und im Raum Duisburg werden in *Kapitel 7.5 Meteorologische Bedingungen* dargestellt.

Um den Einfluss der Ausbreitungsklasse zu veranschaulichen wird in 2 Ausbreitungsrechnungen für den Stoff Chlor mit der Ausbreitungsklasse „sehr stabil“ mit einer Windgeschwindigkeit von 3 m/ sec und einer Windgeschwindigkeit von 1 m/ sec (ungünstige Ausbreitungsbedingungen) gerechnet. Der Einfluss der Windgeschwindigkeit ist beim Stoff Chlor (Schwergas) gegenüber der Wahl der Ausbreitungsklasse in Bezug auf den Abstand von untergeordneter Bedeutung. Die einzelnen Parameter und verschiedene für die Ausbreitungsrechnungen erforderliche Eingabeparameter in das Rechenprogramm werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst (Tab. 8/1: Mittlere Ausbreitungsbedingungen (und ungünstige Ausbreitungsbedingungen)):

Umgebungstemperatur	10 °C
Windgeschwindigkeit	3,0 m/s* (1,0 m/s)
Quellgeometrie	Punktquelle auf Erdgleiche
Höhe des Aufpunktes	2 m (stehende Person)
Untergrund	Beton
Schichtdicke der Lache	5 mm
Lachengeometrie	kreisförmig
Zeitdauer der Exposition	60 Min.; 15 Min.
Freisetzung	augenblickliches Behälterversagen Leck (10 Min.)
Ausbreitungsklasse	neutral, D bzw. III/1 (F bzw. I, sehr stabil)
Bedeckungsgrad	75 %
Innenraum, Luftwechsel	1/ h

\* Ausbreitungsklasse 4 nach TA Luft ([TA Luft 2002]: erfasst werden Windgeschwindigkeiten von 2.4 bis 3.8 m/s)

Tab. 8/1: Mittlere Ausbreitungsbedingungen (und ungünstige Ausbreitungsbedingungen)

Zusätzlich werden für den Stoff Chlor die Ergebnisse des Szenariums Freisetzung einer toxischen Wolke durch Behälterversagen mit den Ergebnissen des Szenariums der Freisetzung durch das Ausströmen der gleichen Stoffmenge innerhalb von 10 Min. über ein kreisförmiges Leck anhand eines Beispiels verglichen. Dabei ergeben sich für die Annahme eines kreisförmigen Lecks deutlich günstigere Abstände für die Freisetzung des Stoffes Chlor.

Die Ausbreitungsbedingungen werden im Sinne einer konservativen Annahme als richtungsunabhängig angesehen. Die Erstellung einer Windrose für die Windrichtung oder eine Unterscheidung des Risikos in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung erfolgt daher nicht. Besonderheiten in den Ausbreitungsbedingungen werden allerdings über die Wahl der sog. Ausbreitungsgebiete (z. B. ebenes Gelände ohne Hindernisse oder best. Bebauungssituationen, Rauhigkeit des Geländes) durch das VDI-Modell 3783 Blatt 1 und 2 eingebracht. Das Ausbreitungsgebiet hat dabei einen beträchtlichen Einfluss auf die sich individuell für den Standort ergebenden Abstände. Der Einfluss dieser Ausbreitungsgebiete wird in *Kapitel 7.6.2 Rechenprogramme* für ein Beispiel der Ausbreitung von Chlor untersucht.

Um die Schutzwirkung des Aufenthalts in geschlossenen Räumen in die Bewertung der Annahmen einfließen lassen zu können, werden für die betrachteten „Grenzkonzentrationen“ Konzentrationsprofile für den Aufenthalt in geschlossenen Räumen erstellt. Dabei wird ein Luftwechsel von 1/h angenommen. Wie die Berechnungen zeigen, ist die Konzentration in geschlossenen Räume an den untersuchten Aufpunkten wesentlich geringer als die Konzentrationen bei einem Aufenthalt im Freien. Der angenommene Luftwechsel ist dabei sehr konservativ gewählt. Der reale Luftwechsel ist in modernen geschlossenen Räumen deutlich niedriger (s. **Anhang, Kapitel 6. Schutzwirkung von Häusern: < 0,2/h**).

## 8.1 Freisetzung toxischer Stoffe, Beispiel Chlor

Die Vorgehensweise wird am Beispiel der Freisetzung von Chlor erläutert.

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen werden für den Bayer Chemiepark Uerdingen auf einer Karte graphisch dargestellt. Die Auswahl des Kartenhintergrundes ist dabei absolut willkürlich. Der Standort zeichnet sich durch ein verzweigtes Netz der Nutzung der „Chlorchemie“ aus. Die Darstellung soll die möglichen Auswirkungen gegenüber einer rein tabellarischen Zusammenfassung von Abständen „verbildlichen“. Als Hintergrund werden z. B. im Internet verfügbare Karten verwendet. Eine genaue Darstellung der Standorte mit umfangreichen „Anlagen scharfen“ Informationen ist auf den Seiten des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW zu finden ([http://www.uvo.nrw.de/uvo/uvo\\_main.html](http://www.uvo.nrw.de/uvo/uvo_main.html)).

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 8.1/1: Gefahrstoff Chlor) fasst die wichtigsten Stoffdaten für den Stoff Chlor zusammen:

Nr., Anhang 1 Störfall-Verordnung	20
Gefährlichkeitsmerkmale*	T; N; R23,R36/37/38, R50
Molmasse	70,91 g/mol

Schmelztemperatur	-101,0 °C
Siedetemperatur	-34,1 °C
Kritische Temperatur	144,0 °C
Wasserlöslichkeit	7 g/l
Wassergefährdungsklasse	2
Geruchsschwelle	0,500 ppm
Luftgrenzwert nach TRGS 900	0,500 ppm
Luftgrenzwert nach TRGS 900	1,500 mg/m³
ERPG 1	1,000 ppm
ERPG 2	3,000 ppm
ERPG 3	20,000 ppm

\* Quelle: Datenbank Arbeitsschutz, Datenausgabe GDL 16, Stand: 01.08.2006

**AEGL-Werte** (Quelle: U.S.Environmental Protection Agency, Stand 01.08.2006):

Chlorine 7782-50-5 (Final)					
	ppm				
	10 Min.	30 Min.	60 Min.	4 hr	8 hr
<b>AEGL 1</b>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
<b>AEGL 2</b>	2.8	2.8	2.0	1.0	0.71
<b>AEGL 3</b>	50	28	20	10	7.1

Tab. 8.1/1: Gefahrstoff Chlor

### 8.1.1 Auswertbare Ereignisse (ZEMA-Datei)

Die Auswertung der ZEMA-Datenbank (Quelle: [www.umweltbundesamt.de/](http://www.umweltbundesamt.de/) ZEMA) ergibt insgesamt (Stand: 01.08.2006 ) 30 registrierte Ereignisse. Nur ein Teil der Beschreibungen enthält Angaben zur beteiligten Stoffmenge. Angaben zu den Auswirkungen in Korrelation zu Abständen sind nicht zu finden.

Die drei größten Ereignisse weisen Freisetzungsmengen von 3.000, 4.600 und 5.000 kg auf. Für die weiteren Überlegungen zu den mit der Freisetzung verbundenen Auswirkungen und Risiken wird eine fiktive augenblickliche Freisetzung von 5.000 kg Chlor zu Grunde gelegt.

Die „Datenlage für den Stoff Chlor kann in Bezug auf die Verwendung empirischer Daten zur Ermittlung der den Ausbreitungsrechnungen zu Grunde zu legenden Stoffmengen (s. Kapitel 6.2.9 Schlussfolgerungen aus den vorgefundenen Daten) als gut bezeichnet werden.“

Zum Risikopotential des Stoffes Chlor wurden von der Bergischen Universität Wuppertal am Lehrstuhl von Herrn Prof. Dr. Hartwig umfangreiche und vielfältige Untersuchungen durchgeführt (z. B.: [Hartwig 1999]; [Pötzsch 2004], [Klumpe 1996]). Die ermittelten, bei Ereignissen freigesetzten Chlormengen, z. B. bei der Be- und Entladung von Eisenbahnkesselwagen, sind teilweise deutlich höher als die in dieser Arbeit - für Prozesse - berücksichtigten Stoffmengen. Die Lagerkapazität von Eisenbahnkesselwagen beträgt ca. 60 m³ und nach Auffassung des Schifffahrt Gewerbes sollten Chlor-Ladetanks auf

Binnenschiffen im Sinne eines wirtschaftlichen Einsatzes (mindestens) über 150 m<sup>3</sup> Volumen verfügen. Die Freisetzung der Ladung eines Eisenbahnkesselwagens oder eines Tankschiffes wird der Ebene des Katastrophenschutzes zugeordnet und in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

### **8.1.2 Ausbreitungsrechnungen Chlor**

#### **Mittlere Ausbreitungsbedingungen**

Bei den nachfolgenden Berechnungen werden folgende Ausbreitungsbedingungen zu Grunde gelegt (Tab. 8.1.2/1: Chlor druckverflüssigt, Behälterversagen, mittlere Ausbreitungsbedingungen):

##### **Wetterlage:**

Wind aus West; Windrichtung	270 Grad
Windgeschwindigkeit	3,0 m/s
Lufttemperatur	10 °C
Regen	Kein Regen
Eingegebene Ausbreitungsklasse	D bzw. III/1 (neutral)
Bedeckung	75,0 %
Temperatur vor der Freisetzung	10 °C

##### **Druckverflüssigtes Gas:**

Masse (Eingabe)	5,000 t
Volumen (berechnet)	3,514 m <sup>3</sup>
Flashanteil	14,81 %
Lachenanteil	85,19 %
Bodentemperatur	10,0 °C
Bodenart	Beton
Min. Lachentiefe(Bodenart)	0,005 m

##### **Angaben zur Lache:**

Masse	4,259 t
Volumen	2,730 m <sup>3</sup>
Fläche	546,075 m <sup>2</sup>
Modellradius	13,184 m
Tiefe	0,005 m
Dauer Verdampfen/Verdunsten	285 s

Tab. 8.1.2/1: Chlor druckverflüssigt, Behälterversagen, mittlere Ausbreitungsbedingungen

Die nachfolgende Abbildung (Abb. 8.1.2/1: Chlor druckverflüssigt, (5.000 kg, spontanes Behälterversagen, Massenstrom und Approximation) verdeutlicht den zeitabhängigen Massenstrom für die Freisetzung von 5.000 kg Chlor unter der Annahme spontanen Behälterversagens:

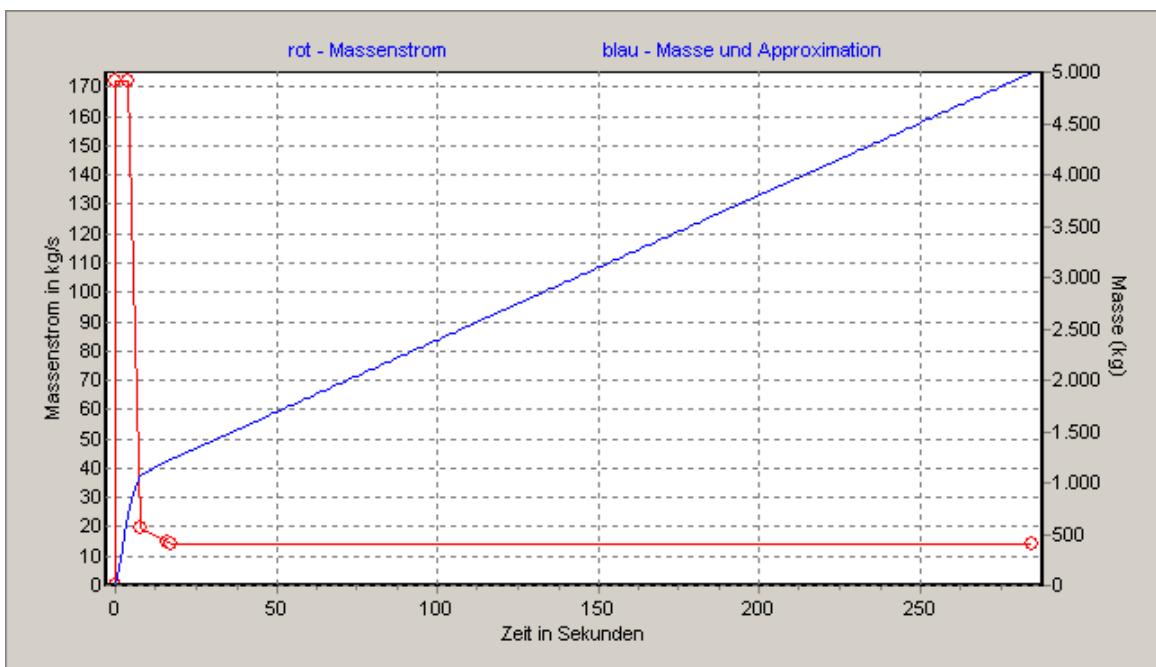


Abb. 8.1.2/1: Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, spontanes Behälterversagen), zeitabhängiger Massenstrom

Für die Schwergasausbreitung ergeben sich folgende Werte (Tab. 8.1.2/2: Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, spontanes Behälterversagen), Schwergasausbreitung):

#### Schwergasausbreitung (kreisförmig):

Größter Radius 1% Grenze*	0,214 km
Verschiebung vom Quellort:	0,068 km
Fläche:	14,421 ha
Existenzdauer:	6,0 Min.

\* Gauß'sches Fahnenmodell, Annahme nach VDI 3783 des Übergangs vom Schwergas zum „Neutralgas“ bei 1 % Wert der Konzentration des Schwergases

Tab. 8.1.2/2: Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, spontanes Behälterversagen), Schwergasausbreitung

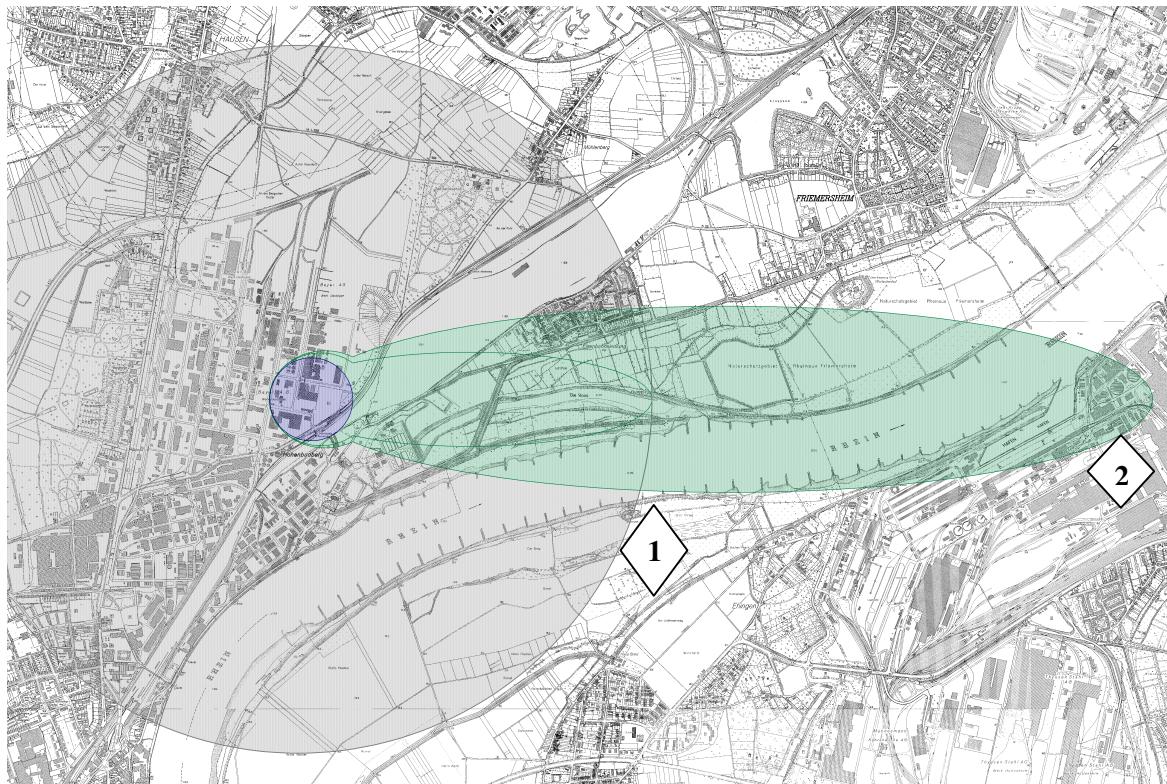
Weitere Parameter ergeben sich aus der nachfolgend dargestellten Tabelle:

Freisetzungshöhe	0 m
Konzentration	2 m über Erdboden
Innenraumkonzentration, Luftwechsel	1/ h

Tab. 8.1.2/3: Weitere Parameter

### 8.1.2.1 Ausbreitungsrechnung für die ERPG- und AEGL-Werte

Werden die Abstände von der Quelle für die ERPG-2- AEGL-2- sowie ERPG-3- (bzw. AEGL-3-) Werte (60 Min.-Werte) als Immissionsaufpunkte berechnet, ergibt sich das nachfolgend dargestellte Bild (Abb. 8.1.2.1/1: Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, Behälterversagen), mittlere Ausbreitungssituation (ERPG-2- bzw. AEGL-3-Werte)):



	Konzentration (ppm)	Radius (m)
AEGL-2	2	5.233
ERPG-2	3	4.412
AEGL-3	20	1.827
ERPG-3	20	1.827

Abb. 8.1.2.1/1: Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, Behälterversagen), mittlere Ausbreitungssituation (ERPG-2- bzw. AEGL-3-Werte)

Auf die Darstellung des AEGL-2-Wertes wurde wegen des noch größeren Abstands verzichtet. Aus den für die Aufpunkte dargestellten Konzentrationsprofilen für die Exposition im Freien und in geschlossenen Räumen (Abb. 8.1.2.1/2: Konzentrationsprofil am Aufpunkt 1 (ERPG-3-Wert, AEGL-3-Wert) und Abb. 8.1.2.1/3: Konzentrationsprofil am Aufpunkt 2 (ERPG-2-Wert)) sowie dem Konzentrationsprofil für den AEGL-2-Wert (Abb. 8.1.2.1/4: Konzentrationsprofil (AEGL-2-Wert), mittlere Ausbreitungsbedingungen) ist zu erkennen, dass bei mittleren Ausbreitungsbedingungen Konzentrationswerte im Bereich des Grenzwertes für die Exposition im Freien nur für wenige Minuten zu erwarten sind:

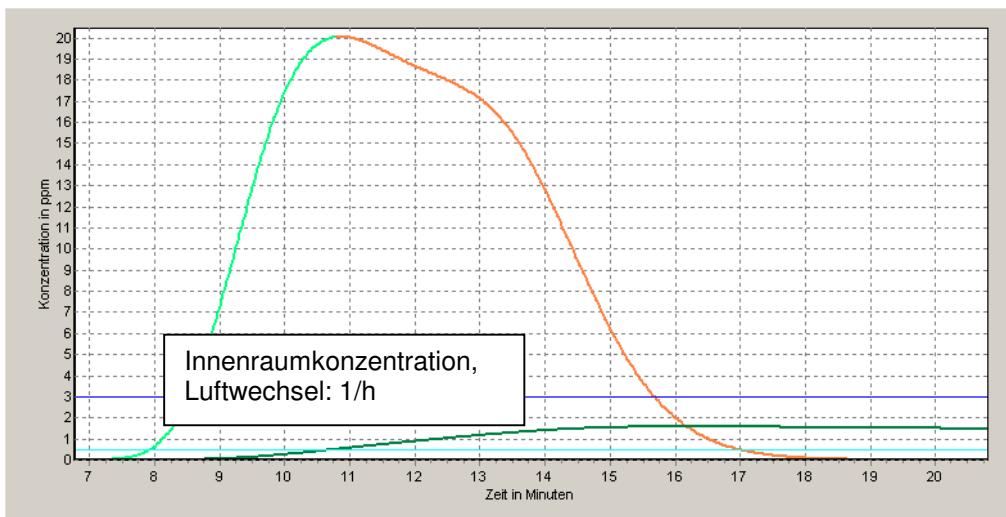


Abb. 8.1.2.1/2: Konzentrationsprofil am Aufpunkt 1 (ERPG-3- bzw. AEGL-3-Wert), mittlere Ausbreitungsbedingungen

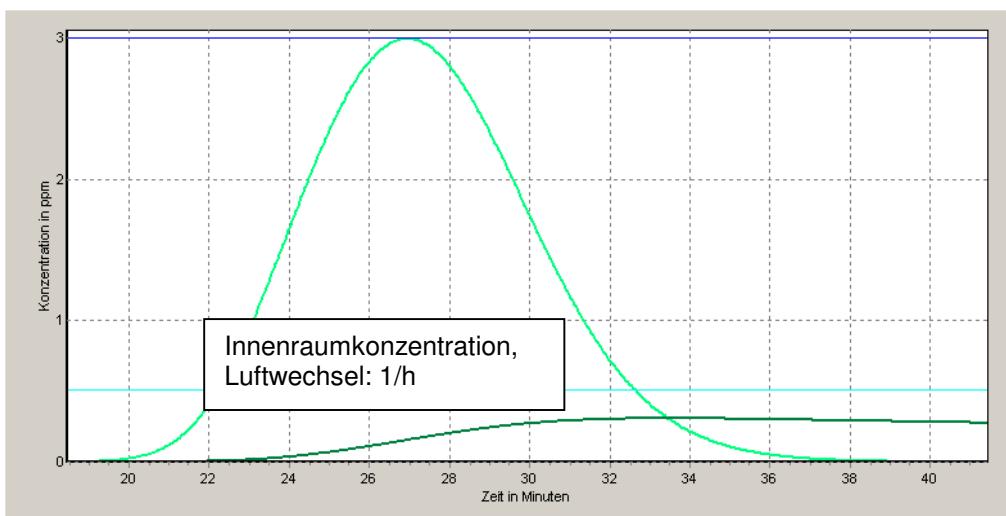


Abb. 8.1.2.1/3: Konzentrationsprofil am Aufpunkt 2 (ERPG-2-Wert), mittlere Ausbreitungsbedingungen

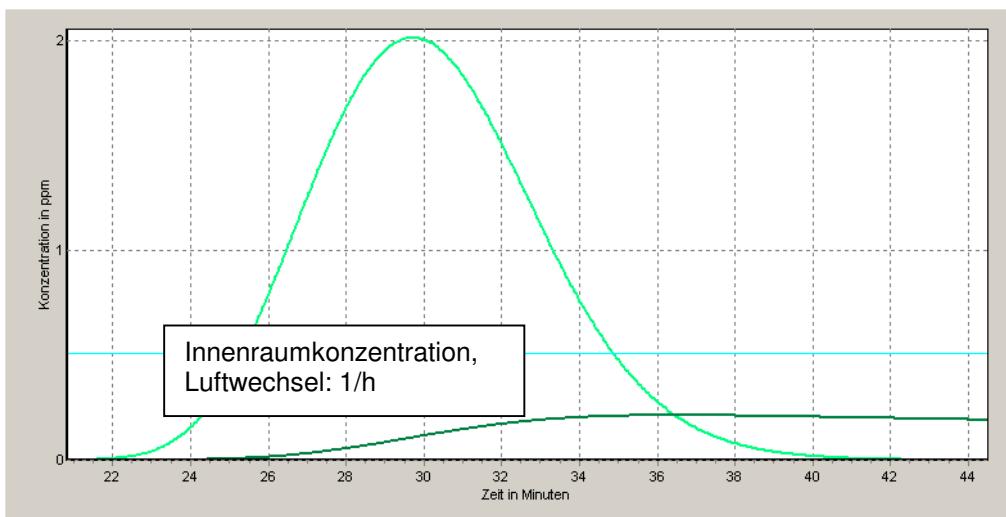


Abb. 8.1.2.1/4: Konzentrationsprofil für den AEGL-2-Wert, mittlere Ausbreitungsbedingungen

Beim Aufenthalt in geschlossenen Räumen bleibt für den „Aufpunkt ERPG-/AEGL-3-Wert“ die max. Innenraumkonzentration unter 2 ppm, d. h. deutlich unter dem ERPG-2-Wert von 3 ppm und knapp unter dem AEGL-2-Wert (2 ppm, 60 Min.). Dabei wurde eine Luftwechselrate von 1/h angenommen. Die Werte für ein modernes Einfamilienhaus liegen deutlich unter diesem Wert (max. 0,2/h). Das Maximum der Innenraumwerte wird erst nach einer Zeitverzögerung von 4 - 5 Minuten gegenüber der Zunahme der Außenkonzentration erreicht. Die Konzentration bleibt dann mangels Luftaustausch mit der Außenluft auf etwa diesem Niveau.

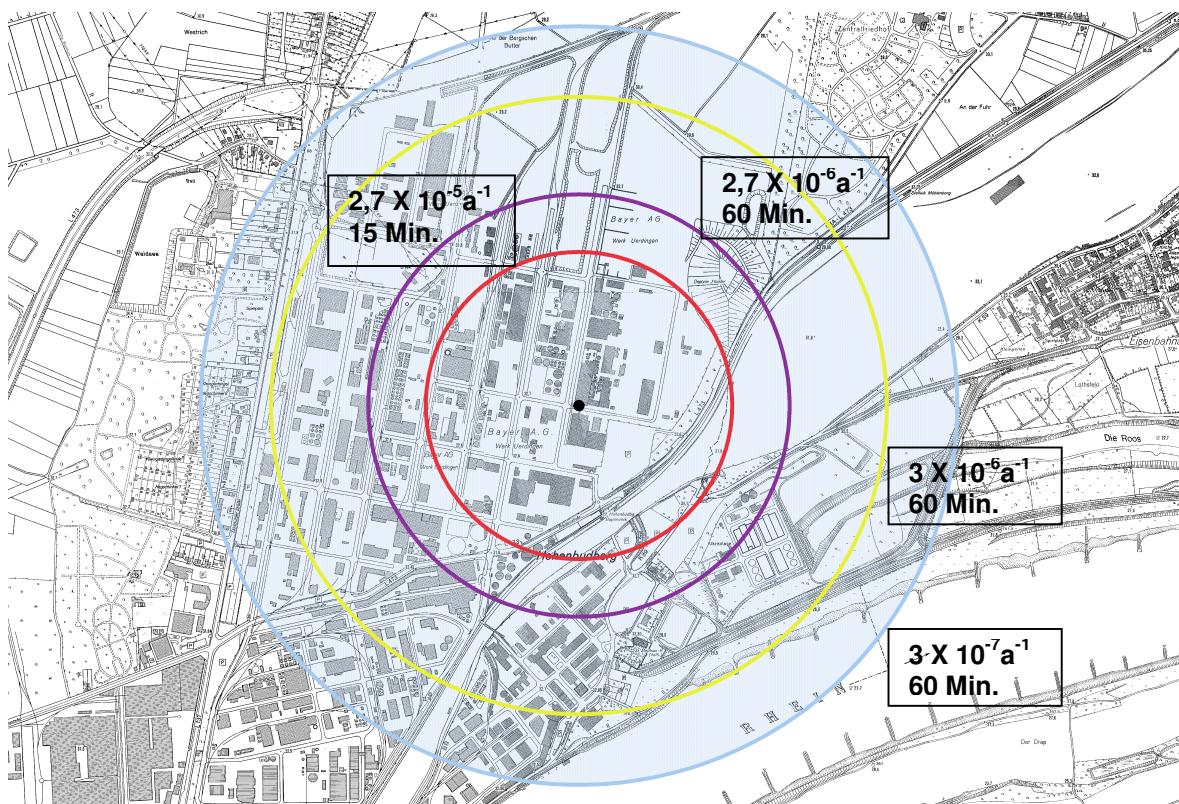
### **8.1.2.2 Ausbreitungsrechnung Probit-Funktion**

Für den Stoff Chlor wird - entsprechend einer Analyse von Hartwig ([Hartwig 1993]; [Hartwig 1999]) - die von van Heemst 1990 veröffentlichte Probit-Funktion zur Ermittlung der Abstände verwendet. Mit dieser wird im Folgenden gerechnet (Tab. 8.1.2.2/1 Probitfunktion (Chlor), Van Heemst):

Konst. A	Konst. B	Konz. [ppm]	Zeit [Min.]	Probit-Wert	Prozentwert	Abstand [m]
-10,1	1,11	<b>90</b>	60	2,686123875	1% (2,67)	<b>988</b>
-10,1	1,11	<b>160</b>	60	3,739903307	10% (3,72)	<b>804,0</b>
-10,1	1,11	<b>640</b>	60	6,278901429	90% (6,28)	<b>519</b>
-10,1	1,11	<b>1490</b>	15	6,28784798	90% (6,28)	<b>427</b>

Tab. 8.1.2.2/1 Probitfunktion (Chlor), Van Heemst

Die Expositionszeit beträgt 60 Minuten bzw. 15 Minuten (Chemie- oder Industriepark). Die bei den Ausbreitungsrechnungen zu Grunde gelegten mittleren Ausbreitungsbedingungen werden in *Kapitel 8.1.2 Ausbreitungsrechnungen Chlor Mittlere Ausbreitungsbedingungen* beschrieben. Für einen „Altstandort“ in einem Chemiepark ergeben sich dabei für eine durchschnittliche Chemieanlage ohne Korrekturfaktoren die folgenden Risikowerte (Abb. 8.1.2.2./1: Iso-Risikolinien für einen Chemiepark, Beispiel Chlor):



hellblau	Probit-1%-Wert (60 Min.)
gelb	Probit-10%-Wert (60 Min.)
violett	Probit-90%-Wert (60 Min.)
rot	Probit-90%-Wert (15 Min.)
schwarz	Punkt-Quelle, Störfallanlage

Abb. 8.1.2.2./1: Iso-Risikolinien für einen Chemiepark, Beispiel Chlor

Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 8.1.2.2/2: Konzentrationsprofil, Probit-Funktion (1%-Wert, 60 Min.)) und Abb. 8.1.2.2/3: Konzentrationsprofil, Probit-Funktion (90%-Wert, 60 Min.; 15 Min.) verdeutlichen beispielhaft das Konzentrationsprofil für die Exposition im Freien und im Innenraum am jeweiligen Messort:

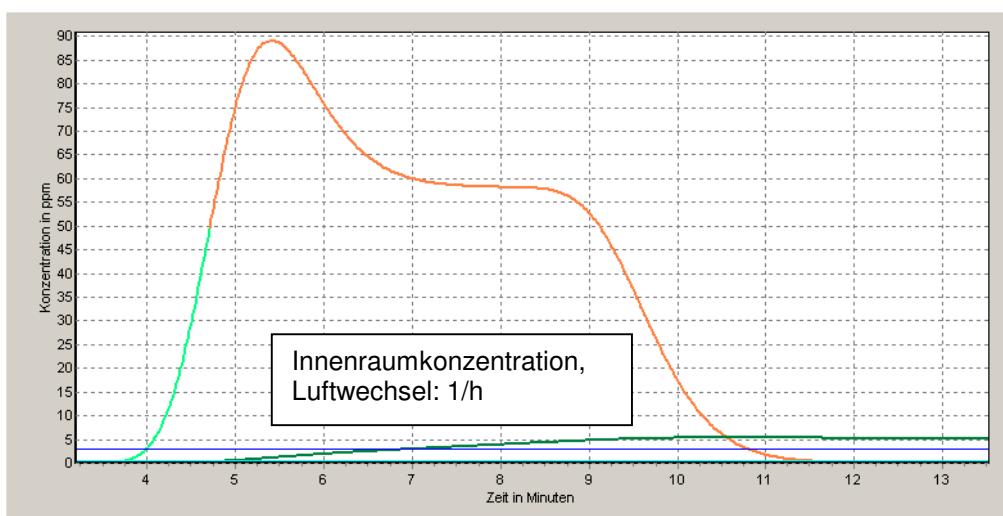


Abb. 8.1.2.2/2: Konzentrationsprofil,  $C_{\text{Probit-Funktion}} (60 \text{ Min.})$ , 1%-Wert

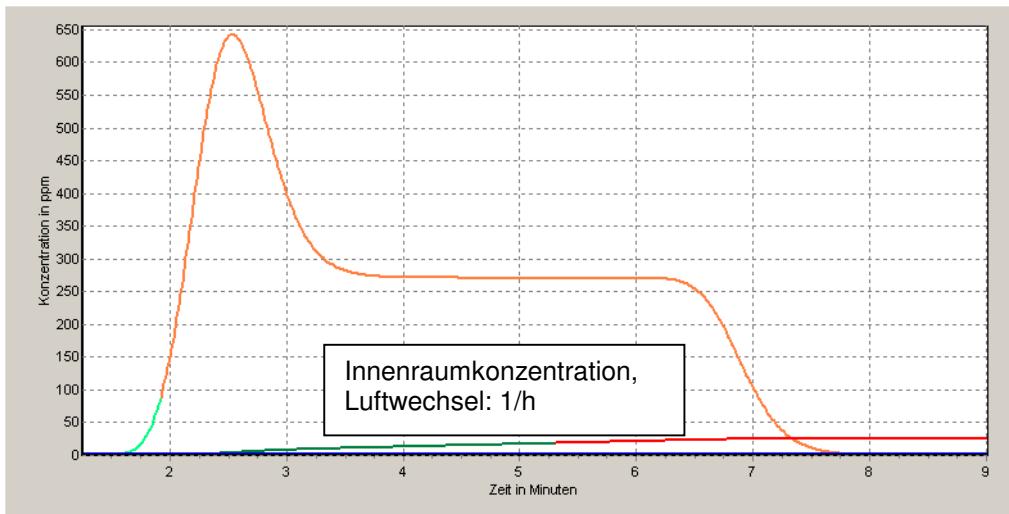


Abb. 8.1.2.2/3: Konzentrationsprofil,  $C_{\text{Probit-Funktion}}$  (60 Min.), 90%-Wert

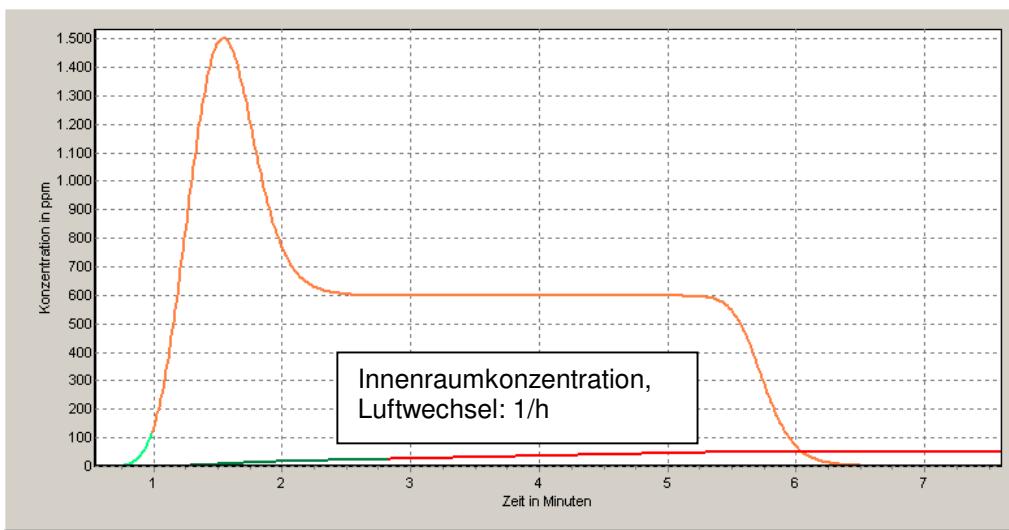


Abb. 8.1.2.2/4: Konzentrationsprofil,  $C_{\text{Probit-Funktion}}$  (15 Min.), 90%-Wert

Auch hier wird deutlich, dass die Annahme des Vorliegens einer Konzentration an einem ausgewählten Aufpunkt in der Größenordnung des „Grenzwertes“ über die Zeitdauer von 60 Min. für mittlere Ausbreitungsbedingungen nicht zutrifft. Nach ca. 10 Min. streben die Werte gegen Null.

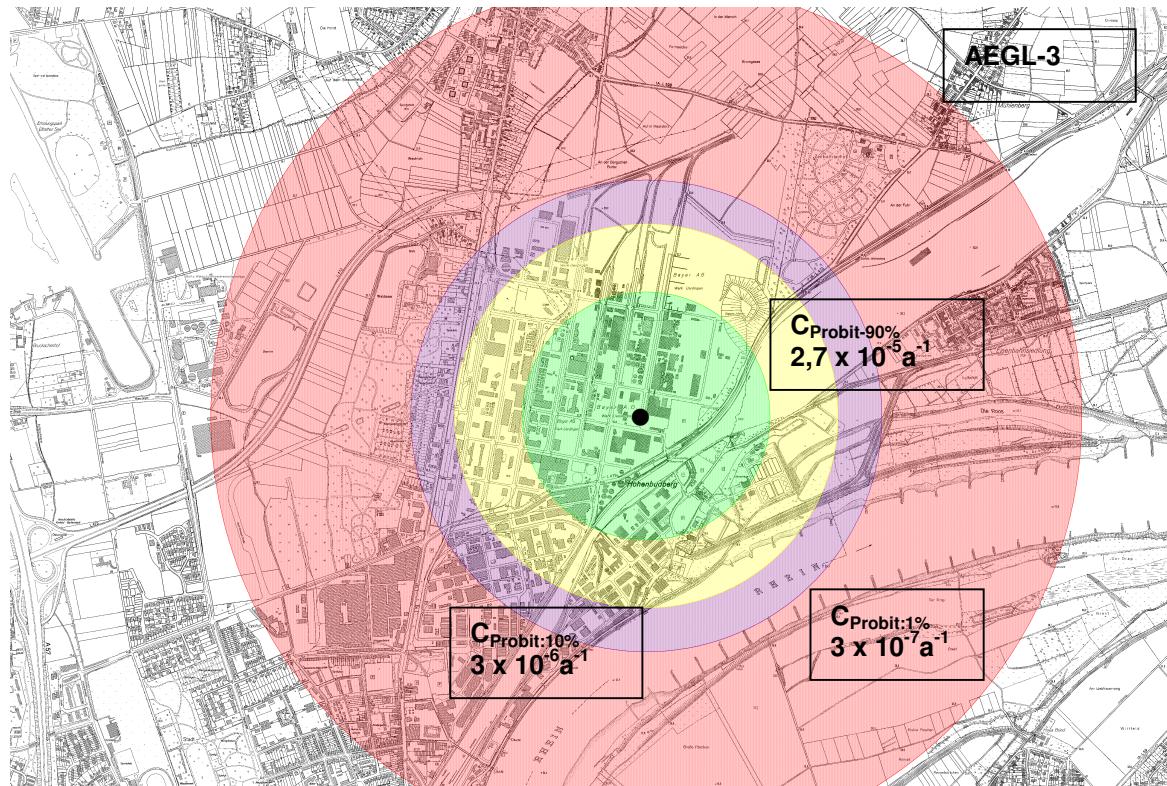
Die Konzentration in Innenräumen steigt um einige Minuten zeitverzögert gegenüber dem Anstieg der Konzentration an Gefahrstoffen im Freien an. Selbst beim  $C_{\text{Probit-90 \%}}$ -Wert werden in geschlossenen Räumen bei einer angenommenen Expositionzeit von 60 Min. lediglich Werte im Bereich des AEGL-/ ERPG-3-Wertes erreicht. Wünschenswert wäre hier ein Lüften der Räume nach ca. 10 Minuten. Spätestens dann ist von einer unkritischen Luftbelastung der Außenluft auszugehen.

Bei einer angenommenen Expositionzeit von 15 Min. sind die Werte für den Innenraum mit ca. 60 ppm wesentlich ungünstiger. Dies gilt jedoch nur für die Annahme eines Luftwechsels von 1/ h, bei geringeren Luftwechseln sind die Werte wesentlich günstiger (s. Kapitel 8.1.7 Aufenthalt in geschlossenen Räumen). Bei geschultem Personal ist davon auszugehen, dass nach ausgelöstem Alarm sofort schützende Innenräume aufgesucht

werden und Fenster und Türen geschlossen werden. Der Aufenthalt nicht unterwiesener Öffentlichkeit ist in diesem Bereich unzulässig.

### 8.1.2.3 Vergleich der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in der nachfolgenden Darstellung (Abb. 8.1.2.3/1: Ermittelte Abstände ( $C_{\text{Probit-Funktion}}$  (60 Minutenwert) und AEGL-3-Wert im Vergleich) am Beispiel eines vorhandenen Chemieparks für eine repräsentative Chemieanlage ohne Korrekturfaktoren veranschaulicht (Quelle im Zentrum, schwarzer Punkt)):



	Konzentration (ppm)	Risikomaßzahl	Radius (m)
grün	$C_{\text{Probit}} \text{ (60 Min.)}: 90\%-Wert$	$2,7 \times 10^{-5}$	519,0
gelb	$C_{\text{Probit}} \text{ (60 Min.)}: 10\%-Wert$	$3 \times 10^{-6}$	804,0
lila	$C_{\text{Probit}} \text{ (60 Min.)}: 1\%-Wert$	$3 \times 10^{-7}$	988,0
rosa	AEGL-3-Wert		1827,0

Abb. 8.1.2.3/1: Ermittelte Abstände ( $C_{\text{Probit-Funktion}}$  und AEGL-3-Wert) im Vergleich

Zusätzlich wird am Beispiel einer vorhandenen industriellen Bebauung beispielhaft und willkürlich ein Einblick in vorhandene und planerisch nicht problematisierte Situationen gewährt (Abb. 8.1.2.3/2: Aufzoomen einer bestehenden Bebauungssituation):



Abb. 8.1.2.3/2: Aufzoomen einer bestehenden Bebauungssituation

Die Auswahl der Situation erfolgte dabei absolut willkürlich. Die Farben geben (s. vorausgehende Abb. 8.1.2.3/1) die jeweilige Stoffkonzentration an.

Durch „Aufzoomen“ der Perspektive entsteht ein Eindruck zur Vereinbarkeit bestehender Nutzungen mit der vorgeschlagenen Bewertung. Bestehende Bebauungssituationen „korrespondieren“ mit den  $C_{\text{Probit}}\text{-}1\%$ - oder  $C_{\text{Probit}}\text{-}10\%$ -Werten. Andere untersuchte, aber in

dieser Arbeit nicht dargestellte Situationen liefern ein ähnliches Bild. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass die angestellten Überlegungen nicht für bestehende Anlagen sondern für die Bauleitplanung gedacht sind.

### **8.1.3 Ausbreitungsrechnungen Chlor Ungünstige Ausbreitungssituation**

Nachfolgend wird beispielhaft der Einfluss der bei den Berechnungen zu Grunde gelegten Ausbreitungsklasse [TA Luft 2002] in Verbindung mit einer mittleren Windgeschwindigkeit und in Verbindung mit einer sehr geringen Windgeschwindigkeit auf den ermittelten Abstand dargestellt. Die übrigen Parameter entsprechen jeweils der mittleren Ausbreitungssituation (s. Kapitel 8 Neue Ansätze in der Bauleitplanung, Ausbreitungsrechnungen).

#### **8.1.3.1 Ausbreitungsklasse F bzw. I; Windgeschw.: 3,0 m/s**

Bei den nachfolgenden Berechnungen werden folgende Grunddaten zu Grunde gelegt (Tab.8.1.3.1/1 Grunddaten):

##### **Wetterlage:**

Wind aus West; Windrichtung	270 Grad
Lufttemperatur	10 °C
Regen	Kein Regen
<b>Windgeschwindigkeit</b>	<b>3,0 m/s</b>
<b>Eingegebene Ausbreitungsklasse</b>	<b>F bzw. I (sehr stabil)</b>
Bedeckung	75,0 %

Tab.8.1.3.1/1 Grunddaten

Daraus ergeben sich bei den Berechnungen folgende Abstände für die Probit-Werte und den AEGL-3-Wert (Tab. 8.1.3.1/2: Ungünstige Ausbreitungsbedingungen bei mittlerer Windgeschwindigkeit):

Konzentration (ppm)	Radius (m)
C <sub>Probit</sub> (60 Min.): 90%-Wert	750
C <sub>Probit</sub> (60 Min.): 10%-Wert	1.437
C <sub>Probit</sub> (60 Min.): 1%-Wert	1.926
AEGL-3-Wert	4.450

Tab. 8.1.3.1/2: Ungünstige Ausbreitungsbedingungen bei mittlerer Windgeschwindigkeit

Für das Konzentrationsprofil der Exposition im Freien und in Innenräumen ergibt sich z. B. für den C<sub>Probit</sub> – 1 % - Wert der nachfolgend gezeigte zeitliche Verlauf (Abb. 8.1.3.1/1: Konzentrationsprofil, C<sub>Probit</sub> 1%-Wert, ungünstige Ausbreitungsbedingungen, Windgeschw.: 3,0 m/s):

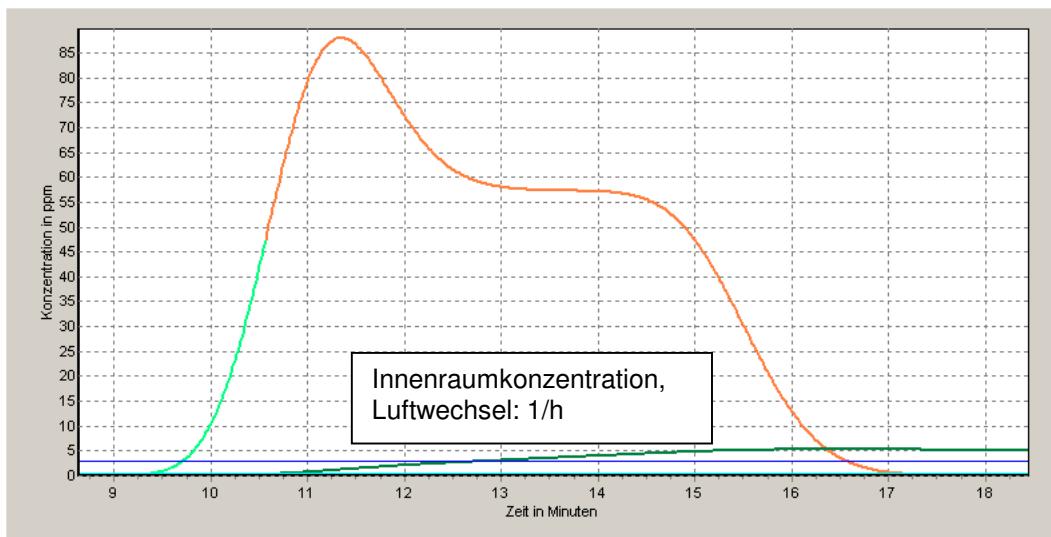


Abb. 8.1.3.1/1: Konzentrationsprofil,  $C_{\text{Probit}-1\%}$ -Wert, ungünstige Ausbreitungsbedingungen, Windgeschw.: 3,0 m/s

Es ist zu erkennen, dass der Anstieg der Konzentrationswerte etwas langsamer als bei Anwendung der neutralen Ausbreitungsklasse erst nach ca. 10 Minuten erfolgt. Der Abfall der max. Konzentration erfolgt anschließend ebenfalls etwas langsamer. Die Innenraumkonzentration erreicht einen Wert von gut 5 ppm bei einer Luftwechselrate von 1/ h.

### 8.1.3.2 Ausbreitungsklasse F bzw. I; Windgeschw.: 1,0 m/s

Bei den nachfolgenden Berechnungen werden folgende Grunddaten zu Grunde gelegt (Tab.8.1.3.2/1 Grunddaten):

#### **Wetterlage:**

Wind aus West; Windrichtung	270 Grad
Lufttemperatur	10 °C
Regen	Kein Regen
<b>Eingegebene Ausbreitungsklasse</b>	<b>F bzw. I (sehr stabil)</b>
<b>Windgeschwindigkeit</b>	<b>1,0 m/s</b>
Bedeckung	75,0 %

Tab.8.1.3.2/1 Grunddaten

Daraus ergeben sich bei den Berechnungen folgende Abstände für die Probit-Werte und den AEGL-3-Wert (Tab. 8.1.3.2/2 Abstände (ungünstige Ausbreitungsbedingungen bei niedriger Windgeschwindigkeit)):

Konzentration (ppm)	Radius (m)
$C_{\text{Probit}} (60 \text{ Min.}): 90\%-Wert$	788
$C_{\text{Probit}} (60 \text{ Min.}): 10\%-Wert$	1.536
$C_{\text{Probit}} (60 \text{ Min.}): 1\%-Wert$	2.079
AEGL-3-Wert	4.950

Tab. 8.1.3.2/2: Abstände (ungünstige Ausbreitungsbedingungen bei niedriger Windgeschwindigkeit)

Für das Konzentrationsprofil im Freien und in Innenräumen ergibt sich z. B. für den  $C_{\text{Probit}-1\%}$  - Wert der gezeigte zeitliche Verlauf (Abb. 8.1.3.2/1: Konzentrationsprofil,  $C_{\text{Probit}-1\%}$  - Wert: ungünstige Ausbreitungsbedingungen (Windgeschwindigkeit: 1 m/s)):

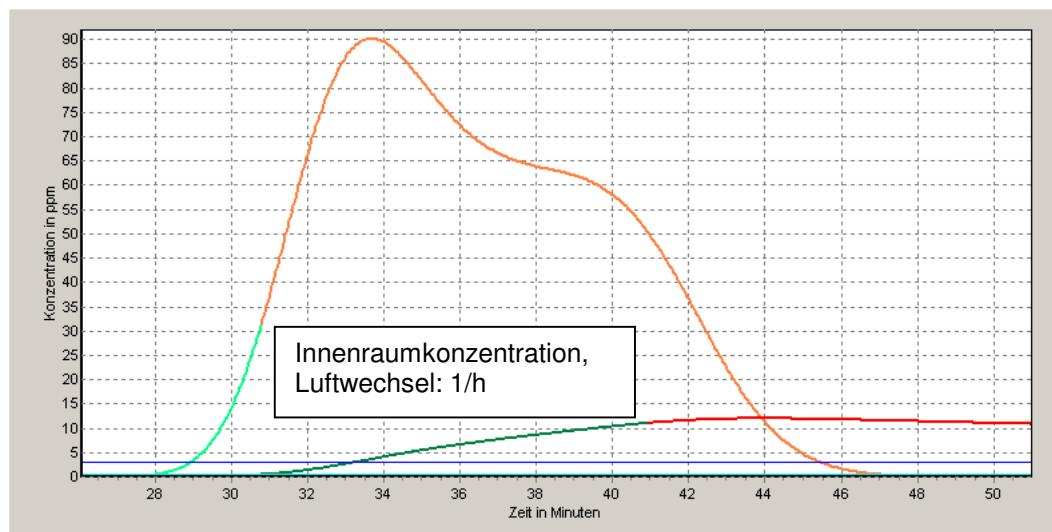


Abb. 8.1.3.2/1: Konzentrationsprofil,  $C_{\text{Probit}-1\%}$  - Wert:  
ungünstige Ausbreitungsbedingungen (Windgeschwindigkeit: 1 m/s),

Der Anstieg der Konzentrationswerte erfolgt deutlich Zeit verzögert (nach ca. 28 Min.) im Vergleich mit der neutralen Ausbreitungsklasse. Der Abfall der max. Konzentration erfolgt anschließend ebenfalls deutlich langsamer als bei einer mittleren Windgeschwindigkeit. Die Innenraumkonzentration erreicht einen Wert von 12 bis 13 ppm bei einer Luftwechselrate von 1/h. Die max. Innenraumkonzentration wird etwa 10 Min. verzögert erreicht.

#### 8.1.4 Vergleich der Ergebnisse Mittlere/ ungünstige Ausbreitungsbedingungen

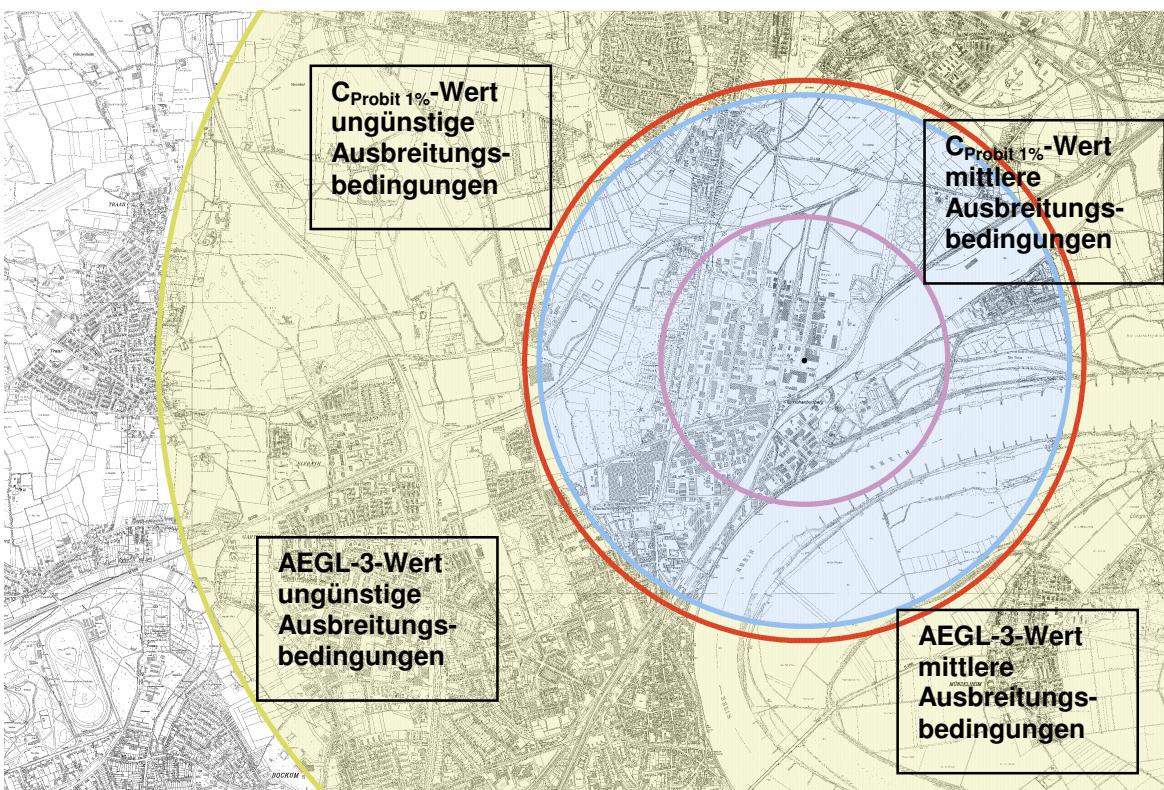
Im Unterschied zur Ausbreitung unter ungünstigen Ausbreitungsbedingungen bei mittlerer Windgeschwindigkeit werden bei ungünstigen Ausbreitungsbedingungen und niedriger Windgeschwindigkeit hohe Schadstoffkonzentrationen ca. 20 Minuten zeitverzögert erreicht (Max. nach ca. 33 Min. statt 11-12 Min.) und halten auf hohem Niveau länger an (ca. 10 Min. gegenüber ca. 5 Min.).

Die Zeitverzögerung des Konzentrationsanstiegs bietet die Chance, die Bevölkerung schützende Gegenmaßnahmen wie die Bergung von Personen bis zur Evakuierung durchzuführen. Auf der anderen Seite ist die Exposition mit den Schadstoffen deutlich höher, was insbesondere für besonders empfindliche Personen kritisch sein kann.

Die ermittelten Abstände sind bei ungünstigen Ausbreitungsbedingungen sowohl für eine Windgeschwindigkeit von 3,0 m/s als auch für den Fall 1 m/s sehr groß. Selbst unter Berücksichtigung des AEGL-/ERPG-3-Wertes wird der Abstand mit 4.450 m bzw. 4950 m unrealisierbar hoch. Der ERPG-2-Wert liegt bereits bei knapp 14 km. Bezogen auf die Windgeschwindigkeit ist der Unterschied der sich ergebenden Abstände beim Stoff Chlor (Schwergas) im Vergleich zur Bedeutung der Ausbreitungsklasse gering.

Bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten bleibt deutlich mehr Zeit bis zum Auftreten der Chlorgaswolke (28 Min. statt ca. 8 Min. für die höhere Windgeschwindigkeit). Diese Zeit kann zur Warnung der Bevölkerung und Einleitung die Auswirkungen begrenzender Maßnahmen genutzt werden. Als wesentlicher Nachteil verbleibt die Chlorkonzentration deutlich länger im Bereich oberhalb des AEGL-3-Wertes (ca. 14 Min. gegenüber ca. 5 Min.) und steigt die Innenraumkonzentration deutlich höher an als bei der Situation mit mittlerer Windgeschwindigkeit.

Die nachfolgende Abbildung (Abb. 8.1.4/1: Chlor:  $C_{\text{Probit} 1\%}$ - und AEGL-3-Werte, Vergleich mittlerer u. ungünstiger Ausbreitungsbedingungen) veranschaulicht die ermittelten Werte am Beispiel der  $C_{\text{Probit} 1\%}$ -Werte und der AEGL-3-Werte, bezogen auf die mittlere und die ungünstige Ausbreitungssituation (schwarzer Punkt im Zentrum: betrachtete Störfallanlage):



	$C_{\text{Probit}}$ -Wert	Radius (m)
Lila	1%-Wert, mittlere Ausbreitungssituation	988
Blau	AEGL-3-Wert- mittlere Ausbreitungssituation	1827
Rot	1% - Wert, ungünstige Ausbreitungssituation	1926
Gelb	AEGL-3-Wert-ungünstige Ausbreitungssituation	4450

Abb. 8.1.4/1: Chlor:  $C_{\text{Probit} 1\%}$ - und AEGL-3-Werte, Vergleich mittlerer u. ungünstiger Ausbreitungsbedingungen

Die Ergebnisse lassen sich für die mittlere und ungünstige Ausbreitungssituationen in tabellarischer Form wie nachfolgend dargestellt zusammenfassen (Tab. 8.1.4/1: Übersicht, Freisetzung 5.000 kg Chlor (Behälterversagen), mittlere und ungünstige Ausbreitungsbedingungen):

	<b>Abstand (m)</b>				
	ERPG-2- <b>AEGL-2-</b> Wert	ERPG-3-/ AEGL-3- Wert	$C_{\text{Probit}-1\%}$ - Wert	$C_{\text{Probit}-10\%}$ - Wert	$C_{\text{Probit}-90\%}$ - Wert
Mittlere Ausbreitungssituation	4.412 <b>5.233</b>	1.827	988	804	519
ungünstige Ausbreitungs- situation (3 m/s)	13.456	4.450	1.926	1.437	750
ungünstige Ausbreitungs- situation (1 m/s)	13.937	4.950	2.079	1.536	788

Tab. 8.1.4/1: Übersicht, Freisetzung 5.000 kg Chlor (Behälterversagen), mittlere und ungünstige Ausbreitungsbedingungen

Die für ungünstige Annahmen sich ergebenden Abstände bzw. Auswirkungen entsprechen nicht den in Deutschland in den letzten Jahrzehnten gemachten Erfahrungen. Bei den gemeldeten Ereignissen wurden Chlormengen von 3.000, 4.600 und 5.000 kg freigesetzt; dies führte nicht zu Toten oder Schwerstverletzten außerhalb der Anlagenstandorte. Die bei den Berechnungen getroffenen Annahmen erscheinen unter Beachtung dieses wesentlichen Punktes sehr konservativ.

### 8.1.5 Ausbreitungsrechnungen Chlor Freisetzung über ein Leck

Das Szenario der Freisetzung eines Stoffes unter „definierten“ Standardbedingungen wird häufig in immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren im Rahmen der Ausbreitungsbetrachtung von den Antragstellern und im Rahmen der gutachterlichen Stellungnahme vom LUA NRW zur Beurteilung möglicher Auswirkungen einer Stofffreisetzung herangezogen.

Eine ähnliche Vorgehensweise ist z. B. auch Grundlage der Ausbreitungsrechnungen im Leitfaden Überwachung der Ansiedlung ([SFK/TAA-GS-1], s. Kapitel 9.3 *Vorgehensweise im Leitfaden [SFK/TAA-GS-1]*). In dem Leitfaden wird überwiegend der Durchmesser DN 25 verwendet.

Im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren wird allerdings in der Regel mit wesentlich kleineren Leckraten gerechnet. Die sich daraus ergebenden Abstände sind deutlich kleiner. Sofern vorhanden werden die AEGL-2-Werte herangezogen. Nachfolgend wird beispielhaft die Freisetzung von druckverflüssigtem Chlor über ein Leck (DN-23) auf der Grundlage der bereits vorgestellten mittleren Annahmen berechnet (Tab. 8.1.5/1: Mittlere Annahmen):

#### **Wetterlage:**

Wind aus Ost; Windrichtung:	90 Grad
Windgeschwindigkeit:	3,0 m/s
Lufttemperatur:	10 °C
Regen:	Kein Regen
Eingegebene Ausbreitungsklasse:	D bzw. III/I (neutral)

Bedeckung:	75,0 %
------------	--------

Tab. 8.1.5/1: Mittlere Annahmen

Es wurde eine Freisetzungsdauer von 10 Min. gewählt (s. Tab. 8.1.5/2: Bedingungen der Freisetzung, [TAA-GS-24]):

Freisetzungshöhe	0,0 m
Stofftemperatur	10 °C
Dampfdruck	5,027 bar
Freisetzungsdauer	10,0 Min.

Kreisförmiges Leck:

Durchmesser	23 mm
Drossellänge	1 mm
Ausflusskoeffizient	0,61
Massenstrom aus dem Leck	8,410 kg/s
<b>Masse aus dem Leck</b>	<b>5,046 t</b>

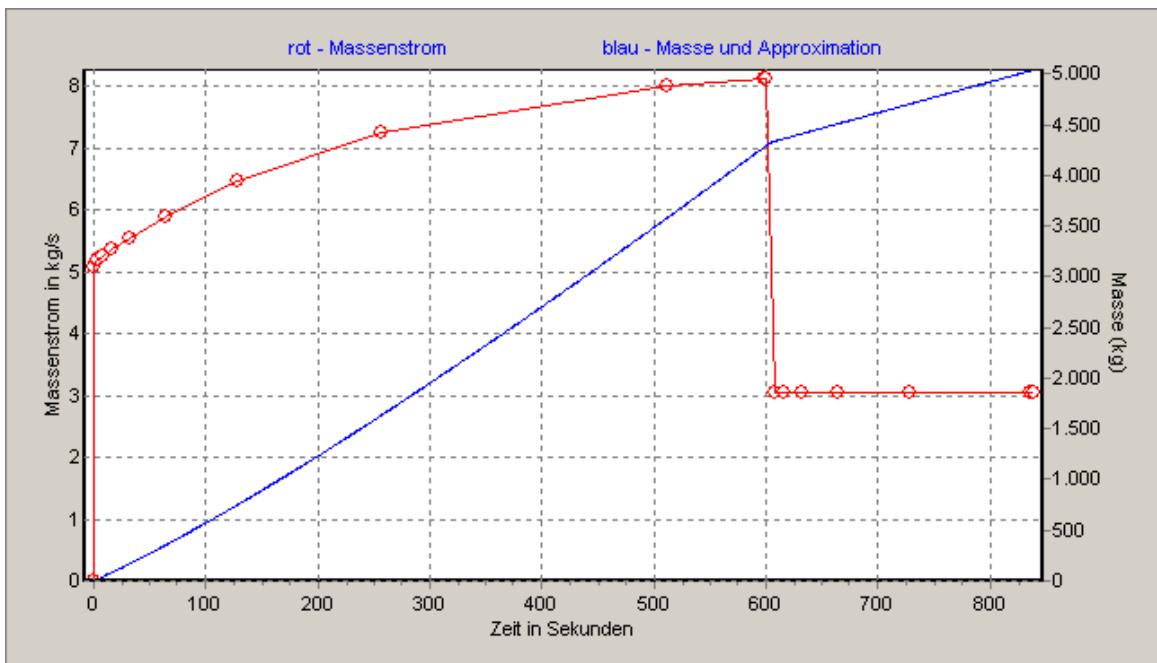
Mit Lachenbildung:

Bodenart	Beton
Min. Lachentiefe (Bodenart)	0,005 m
Eingegebene Lachentiefe	0,005 m
Bodentemperatur	10,0 °C
Lachenanteil	6,482 kg/s
Lachenfläche	179,215 m²
Durchmesser	15.106 m
Maximale Verdunstungsdauer	14,0 Min.

Tab. 8.1.5/2: Bedingungen der Freisetzung

In diesem Zeitraum sollte eine größere Freisetzung von Chlor entdeckt und Maßnahmen zur Verhinderung weiterer Freisetzungen durchgeführt sein. Der Durchmesser für das Leck von DN 23 wurde gewählt, um die Auswirkungen der Freisetzung mit dem Szenarium spontanes Behälterversagen in Bezug auf die freigesetzte Stoffmenge vergleichen zu können. Aus dem gewählten Durchmesser ergibt sich eine Freisetzung von 5.000 kg Chlor.

Die Gesamtdauer der Freisetzung beträgt ca. 14 Min.. Der Massenstrom fällt nach der gewählten Freisetzungsdauer von 10 Min. (s. Abb. 8.1.5/1 : Chlor druckverflüssigt Leck DN-23, zeitabhängiger Massenstrom) auf ca. 5,2 kg/s ab:



[s]	[kg/s]	[kg] gesamt
0	5,074752	0,000
8	5,259910	41,447
32	5,554219	171,260
128	6,479636	750,853
512	8,007400	3585,37
839	3,046113	5043,850

Abb.8.1.5/1 : Chlor druckverflüssigt (Leck DN-23), zeitabhängiger Massenstrom

Für die Schwergasausbreitung ergeben sich die folgenden Werte (Tab. 8.1.5.1/3: Schwergasausbreitung):

**Schwergasausbreitung (kreisförmig):**

Größter Radius 1% Grenze	0,102 km
Verschiebung vom Quellort	0,032 km
Fläche	3,278 ha
Existenzdauer	15,0 Min.

Tab. 8.1.5/3: Schwergasausbreitung

Für den ERPG-3- bzw. AEGL-3-Wert und den ERPG-2-Wert ergeben sich folgende Abstände (Tab. 8.1.5/4: Szenarium Leck, Abstände):

Konzentration (ppm)	Radius (m)
AEGL-3-Wert (60 Min.)	1.104
ERPG-2-Wert	3.201

Tab. 8.1.5/4: Szenarium Leck, Abstände

Für das Konzentrationsprofil im Bereich des ERPG-2-Wertes ergibt sich für die Exposition im Freien und in Innenräumen dabei das folgende Konzentrationsprofi (Abb. 8.1.5/2: Kon-

zentrationsprofil ERPG-2-Wert, Chlor (5.000 kg, Freisetzung über ein Leck (DN-23)):

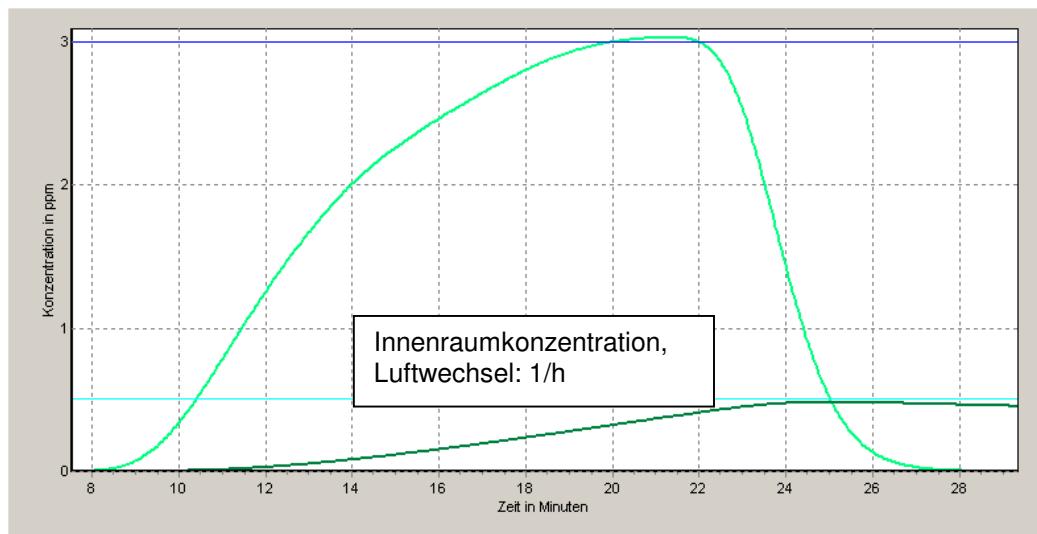


Abb. 8.1.5/2: Konzentrationsprofil ERPG-2-Wert, Chlor (5.000 kg, Freisetzung über ein Leck (DN-23))

### 8.1.6 Vergleich der Ergebnisse Freisetzung über ein Leck, Behälterversagen

Wie die Berechnungen mit dem Modell DISMA zeigen, unterscheiden sich die Konzentrationsprofile für die Freisetzung von Chlor über ein kreisförmiges Leck von der augenblicklichen Freisetzung durch Behälterversagen. Bei mittleren Ausbreitungsbedingungen sind bei der Freisetzung über ein Leck beispielsweise für den ERPG-2-Wert höhere Konzentrationen über einen Zeitraum von ca. 13 Min. zu erwarten. Der Zeitraum ist deutlich länger als bei der augenblicklichen Freisetzung (ca. 8 Min.). Dies leuchtet ein, da der Gefahrstoff über den Zeitraum von 10 Minuten kontinuierlich nachströmt.

Andererseits ist die zu erwartende max. Konzentration bei der Freisetzung der gleichen Stoffmenge über ein Leck, bezogen auf einen bestimmten Messort, deutlich niedriger. Die nachfolgende Tabelle gibt die ermittelten Abstände wieder (Tab. 8.1.6/1: Chlor, Übersicht: Vergleich spontanes Behälterversagen und Standardszenario, mittlere Ausbreitungsbedingungen):

	ERPG-2-Wert	AEGL-3-Wert
<b>Spontane Behälterversagen (5.000 kg)</b>	4.412	1.827
<b>Standardszenario (5.046 kg)</b>	3,201 km	1,104 km

Tab. 8.1.6/1: Chlor, Übersicht: Vergleich spontanes Behälterversagen und Standardszenario, mittlere Ausbreitungsbedingungen

Für das Szenario Freisetzung über ein Leck sind die Ergebnisse für den Stoff Chlor bei einem Standardszenario bezogen auf den für eine bestimmte Konzentration erforderlichen Abstand wesentlich günstiger als bei der Annahme spontanen Behälterversagens.

Insofern ist die Annahme des Behälterversagens im Rahmen dieser Arbeit für viele Stoffe als sehr konservativ anzusehen.

Dies ist ein weiterer Unterschied z. B. zur Vorgehensweise im Leitfaden von SFK/TAA (s. *Kapitel 9.3 Vorgehensweise im Leitfaden* (SFK/TAA-GS-1)).

### 8.1.7 Aufenthalt in geschlossenen Räumen

Alle dargestellten Ausbreitungsrechnungen bestätigen einen guten Schutz von Personen vor freigesetzten Gefahrstoffen durch den Aufenthalt in geschlossenen Räumen (s. **Anhang**, Kapitel 6. *Schutzwirkung von Häusern*). Die Räume sollten spätestens nach 20 Min. gut gelüftet werden. Durch den Gebäudeaufenthalt von Menschen liegen zwei schadensmindernde Effekte vor. Zum einen ergeben sich durch eine mögliche größere Höhe über dem Boden besonders bei Schwergasen geringere Konzentrationen, zum anderen verzögert das Gebäude selbst den Schadgaszutritt ([Hartwig 1999], S. 120 ff. und dort genannte Lit.).

Durch die zusätzliche Berechnung der Konzentrationen in Innenräumen wird gleichzeitig die für Maßnahmen zur Verfügung stehende Zeit bis zum Erreichen der „Grenzkonzentration“ und der Maximalkonzentration in Innenräumen ermittelt. Voraussetzung ist dabei natürlich, dass sich die Personen in Innenräumen mit geschlossenen Fenstern aufhalten. Dies wäre im Ereignisfall, z. B. durch Maßnahmen der Gefahrenabwehr, sicherzustellen. Es wird deutlich, dass die für die Einwirkungszeit von einer Stunde konzipierten Konzentrationen deutlich unterschritten werden. Aus der Darstellung für Innenräume ergibt sich, dass ein Lüften der Räume nach dem Unterschreiten der kritischen Außenkonzentration (z. B. AEGL-2-Wert) erfolgen sollte.

Die Annahme eines Luftwechsels von 1/h ist als sehr konservativ anzusehen. Die nachfolgende Tabelle zeigt für die Freisetzung von 5 t Chlor unter ungünstigen (Ausbreitungs Klasse F bzw. I, Windgeschwindigkeit 1m/s) und mittleren Ausbreitungsbedingungen (Ausbreitungsklasse neutral, Windgeschwindigkeit 3m/s) die Werte für die max. Innenraumkonzentration (Tab. 8.1.7/1: Einfluss der Luftwechselrate auf die max. Innenraumkonzentration):

	Luftwechselrate/ max. Innenraumkonz. (ppm)					
mittlere Ausbreitungsbedingungen	1/h	50	0,5/h	30	0,25/h	10-15
ungünstige Ausbreitungsbedingungen		110		70		25

Tab. 8.1.7/1: Einfluss der Luftwechselrate auf die max. Innenraumkonzentration

Aus den Werten wird die Bedeutung des Luftwechsels deutlich. Da der zu Grunde liegende 15 Minutenwert der Chlor-Probitfunktion nur bei gewerblicher oder industrieller Nutzung zum Tragen kommt, kann bei geschultem Personal und entsprechend dem Gefahrenpotential ausgestatteten Räumen von einer Luftwechselrate unter 0,25/h ausgegangen werden.

## 8.2 Brand

Für die Betrachtung des Szenariums „Brand“ werden beispielhaft für den Stoff Toluol Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen mit dem Rechenprogramm DISMA für das Szenarium Brand dargestellt.

Ergänzend werden im **Anhang** (*Kapitel 3. Modelle für die Ausbreitungsrechnungen und Berechnungsbeispiele zu den Szenarien Brand und Explosion*), Berechnungen der Universität Duisburg-Essen (Berechnungsgrundlagen und Berechnungen zusammengestellt von Prof. Dr. Schönbucher, Universität Duisburg-Essen und Herrn Dr. Schalau, BAM, für den AK-Überwachung der Ansiedlung) sowie die zugrunde liegenden Modelle wiedergegeben. Die im Rechenprogrammen DISMA für die Szenarien Brand und Explosion verwendeten Modelle und Ansätze sind sehr ähnlich [Kaiser 2005].

### 8.2.1 Freisetzung Toluol

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 8.2.1/1: Eigenschaften des Stoffes Toluol) gibt einen Überblick über wichtige Eigenschaften des Stoffes Toluols:

Nr. Anhang 1 Störfall-VO	7b
Gefährlichkeitsmerkmale*	F; Xn; R 11; R 20
Molmasse	92,14 g/mol
Schmelztemperatur	-95,0 °C
Siedetemperatur	110,6 °C
Kritische Temperatur	318,7 °C
Wasserlöslichkeit	1 g/l
<b>Gefahrenwerte:</b>	
Untere Explosionsgrenze	1,2 Volumen%
Obere Explosionsgrenze	7,1 Volumen%
Wassergefährdungsklasse	2
Geruchsschwelle	1,000 ppm
Luftgrenzwert nach TRGS 900	50,000 ppm
Luftgrenzwert nach TRGS 900	190,000 mg/m³
ERPG-1	50,000 ppm
ERPG-2	300,000 ppm
ERPG-3	1000,000 ppm

\* Quelle: Datenbank Arbeitsschutz, Datenausgabe GDL 16, Stand: 01.08.2006

**AEGL-Werte** (Quelle: U.S.Environmental Protection Agency, Stand 01.08.2006):

Toluene 108-88-3 (Interim)					
	ppm 12/10/02				
	10 Min.	30 Min.	60 Min.	4 hr	8 hr
<b>AEGL 1</b>	200	200	200	200	200
<b>AEGL 2</b>	990	570	510	510	510
<b>AEGL 3</b>	** see below	4,200*	2,900*	1,500*	1,500*

\*,\*\*: Hohe bzw. sehr hohe Maßnahmen zum Explosionsschutz erforderlich

Lower Explosive Limit (LEL) = 11,000 ppm

\* =  $\geq$  10% LEL; \*\* =  $\geq$  50% LEL

AEGL 3 - 10 min = \*\* 7,200 ppm

For values denoted as \* safety considerations against the hazard(s) of explosion(s) must be taken into account.

For values denoted as \*\* extreme safety considerations against the hazard(s) of explosion(s) must be taken into account.

Tab. 8.2.1/1: Eigenschaften des Stoffes Toluol

### 8.2.1.1 Auswertung der ZEMA-Daten und Ausbreitungsrechnungen

In der ZEMA-Datei werden 9 Ereignisse beschrieben (Stand: 01.08.2006). Die größten angegebenen Stoffmengen betragen dabei 4.000 kg und 6.400 kg. Für die nachfolgenden Berechnungen wurde eine freigesetzte Stoffmenge von 6.400 kg berücksichtigt (Tab. 8.2.1.1/1: Toluol-Brand, Daten zur Ausbreitungsrechnung):

#### **Wetterlage:**

Wind aus Nord; Windrichtung	0 Grad
Windgeschwindigkeit	3,0 m/s
Lufttemperatur	10 °C
Regen	Kein Regen
Eingegebene Ausbreitungsklasse	D bzw. III/1 (neutral)
Bedeckung	75,0 %

#### **Freisetzung Brand, Lachenbrand:**

Freisetzungshöhe	0,0 m
Lachentemperatur	10 °C
Volumen (Eingabe)	7,358 m³
Masse (berechnet)	6,400 t
Bodenart	Beton
Min. Lachentiefe(Bodenart)	0,005 m

#### **Angaben zur Lache:**

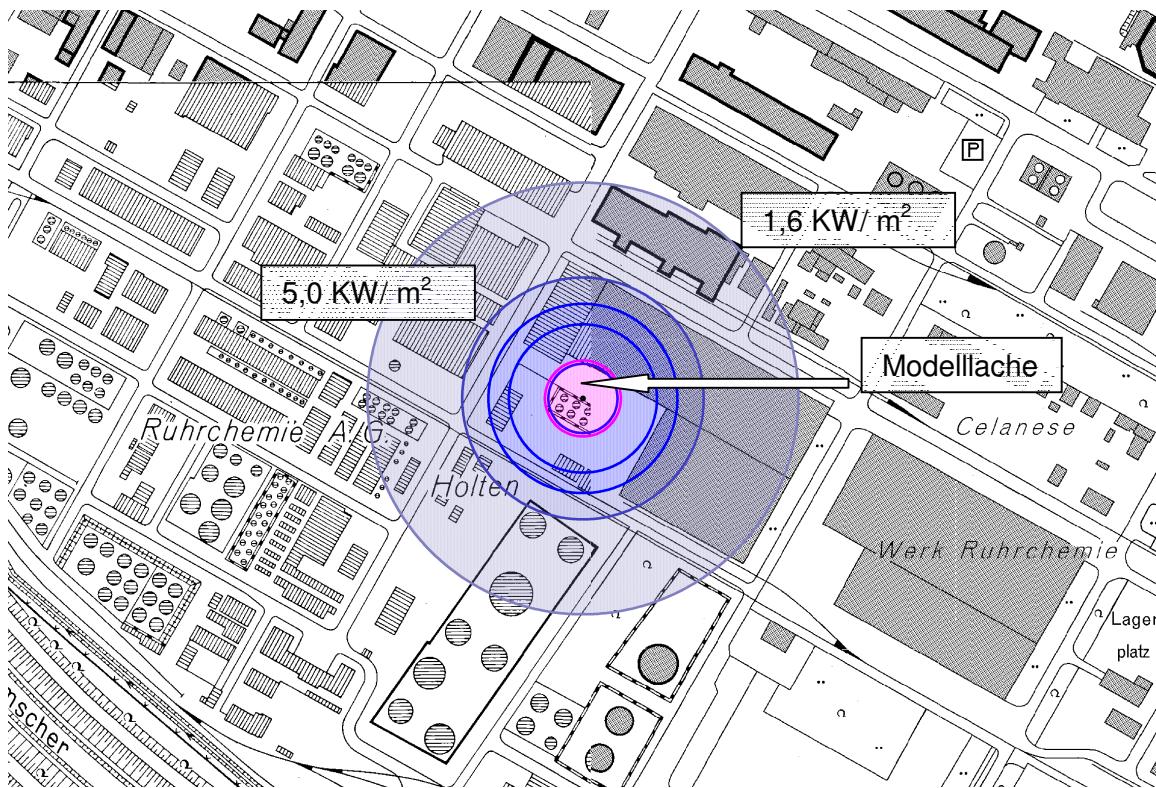
Fläche	1471,600 m²
Modellradius	21,643 m
Tiefe	0,005 m

#### **Brandfläche:**

Branddauer von	58 s
Abbrandrate	0,075 kg/(m² * s)
Brandleistung	4542,743 MW
Brandgasstrom	1241,7 kg/s
Brandüberhöhung	100,0 m
Abbrandgeschwindigkeit	0,087 mm/s
Mittlere Strahlungstemperatur	946 K
Anteil der Strahlungsleistung	8,1 %
Neigewinkel	43,8 °
Flammenhöhe	50,7 m
Max. spez. Strahlungsleistung	43,1 kW/m²

Tab. 8.2.1.1/1: Toluol-Brand, Daten zur Ausbreitungsrechnung

Nachfolgend werden die Ergebnisse mit Hilfe öffentlich im Internet verfügbarer Karten am Beispiel der Ruhrchemie in Oberhausen veranschaulicht (s. Abb. 8.2.1.1/1: Brand: Toluol 6.400 kg):



### Strahlungswirkungen

Bestrahlungsstärke, Entfernung vom Flammenrand:

<b>1.6 kW/m<sup>2</sup></b>	<b>111,8 m</b>	<b>Nachteilige Wirkungen bei Menschen</b>
5.0 kW/m <sup>2</sup>	53,9 m	Kurzfristiger Einsatz von Feuerwehrleuten
8.0 kW/m <sup>2</sup>	37,5 m	Feuerübertragung
12.6 kW/m <sup>2</sup>	24,7 m	Fabrikgebäude
37.8 kW/m <sup>2</sup>	2,1 m	Gekühlte Lagertanks

Abb. 8.2.1.1/1: Brand-Toluol-6.400 kg

Die Auswahl der vorhandenen Bebauungssituation ist dabei völlig willkürlich.

### 8.2.2 Bewertung der Auswirkungen

Die Auswirkungen beim Szenarium Brand sind, bezogen auf den im Rahmen der Bauleitplanung zufordernden Abstand, vergleichsweise gering.

Dabei ist zusätzlich von Interesse, dass die Festlegung einer zulässigen Strahlungswirkung von 1,6 KW/ m<sup>2</sup> bzw. 2 KW/ m<sup>2</sup>, als sehr konservativ zu bewerten ist (s. Kapitel 7.3 Brand, Wärmestrahlung).

Der genannte Wert gilt erst ab einer Einwirkzeit von 60 s bei ungeschützter Haut. Hinzu kommt, dass durch das Aufsuchen von Räumen oder Gebäuden die Auswirkungen erheb-

lich verringert werden können. Ebenso sind wirksame passive Maßnahmen im Bereich der Anlagen mit kalkulierbarem wirtschaftlichen Aufwand realisierbar, wie die Errichtung von Brandschutzmauern.

Daher wird ein Abstand von 100 m für den Brandfall als ausreichend betrachtet. Dieser Abstand kann bei zusätzlichen Maßnahmen zur Brandfrüherkennung und zur Brandlöschung (zur Wirksamkeit von Hydroschildern s. [Puls 2003]) ggf. weiter verkürzt werden. Diese weitere Verkürzung gilt allerdings nur für benachbarte industrielle oder gewerbliche Nutzung. Bei Wohnbebauung sollte auch wegen weiterer Auswirkungen wie Rauch- und Rußbildung sowie Gerüchen ein Mindestabstand von 100 m nicht unterschritten werden. Bei Tanken oder Tankfeldern mit brennbaren Stoffen in der Nachbarschaft von Wohnbebauung ist der erforderliche Mindestabstand gutachterlich zu ermittelt. In diesem Fall sind ggf. wesentlich größere Abstände zur Wohnbebauung erforderlich.

Unabhängig von der Frage der Auswirkungen eines Brandes sind auch die toxischen oder explosiven Eigenschaften eines Stoffes sowie Schwergasverhalten bei der Ausbreitung zu berücksichtigen. Aus dem Szenarium Freisetzung einer toxischen Wolke können sich z. B. höhere Abstandswerte als aus der Berücksichtigung einer Explosion ergeben.

### 8.3 Explosion

Für die Betrachtung des Szenariums „Explosion“ wurden beispielhaft für den Stoff Propan Ausbreitungsrechnungen mit dem Modell DISMA durchgeführt.

Ergänzend werden im **Anhang** (*Kapitel 3. Modelle für die Ausbreitungsrechnungen und Berechnungsbeispiele zu den Szenarien Brand und Explosion*) Berechnungen der Universität Duisburg-Essen (Berechnungsgrundlagen und Berechnungen zusammengestellt von Prof. Dr. Schönbucher, Universität Duisburg-Essen und Herrn Dr. Schalau, BAM, für den AK-Überwachung der Ansiedlung [SFK/TAA-GS-1]) sowie die zugrunde liegenden Modelle wiedergegeben. Die im Rechenprogrammen DISMA für die Szenarien Brand und Explosion verwendeten Modelle und Ansätze sind sehr ähnlich [Kaiser 2005].

#### 8.3.1 Freisetzung Propan

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über wichtige Eigenschaften des Stoffes Propan (Tab.8.3.1/1: Eigenschaften des Stoffes Propan):

Nr. Anhang 1 Störfall-VO	8
Gefährlichkeitsmerkmale*	F+; R 12
Molmasse	44,10 g/mol
Schmelztemperatur	-187,7 °C
Siedetemperatur	-42,1 °C
Kritische Temperatur	96,8 °C
Wasserlöslichkeit	0 g/l
<b>Gefahrenwerte:</b>	
Untere Explosionsgrenze	1,7 Volumen%
Obere Explosionsgrenze	10,9 Volumen%
Wassergefährdungsklasse	0

Geruchsschwelle	1000,000 ppm
Luftgrenzwert nach TRGS 900	1000,000 ppm
Luftgrenzwert nach TRGS 900	1800,000 mg/m <sup>3</sup>
Schwellenkonzentration	983,673 ppm

\* Quelle: Datenbank Arbeitsschutz, Datenausgabe GDL 16, Stand: 01.08.2006

**AEGL-Werte** (Quelle: U.S.Environmental Protection Agency, Stand 01.08.2006):

Propane 74-98-6 (Proposed)					
ppm					
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
<b>AEGL 1</b>	10,000*	6,900*	5,500*	5,500*	5,500*
<b>AEGL 2</b>	** see below				
<b>AEGL 3</b>	*** see below				

\*; \*\*; \*\*\*: Hohe bzw. sehr hohe Maßnahmen zum Explosionsschutz erforderlich

Lower Explosive Limit (LEL) = 23,000 ppm

\* =  $\geq 10\%$  LEL; \*\* =  $\geq 50\%$  LEL; \*\*\* =  $\geq 100\%$  LEL

AEGL 2 - 10 min/30 min/60 min/4 hr/8 hr = \*\* 17,000 ppm

AEGL 3 - 10 min/30 min/60 min/4 hr/8 hr = \*\*\* 33,000 ppm

Tab. 8.3.1/1: Eigenschaften des Stoffes Propan

### 8.3.1.1 Auswertung der ZEMA-Daten und Ausbreitungsrechnungen

In der ZEMA-Datei werden 17 Ereignisse (Stand: 01.08.2006) beschrieben. Die größte angegebene Stoffmengen beträgt dabei 5.600 kg. Für die nachfolgenden Berechnungen wird in sehr konservativer Abschätzung eine freigesetzte Stoffmenge von 5.600 kg berücksichtigt.

Es lassen sich die kaltverflüssigte und die druckverflüssigte Lagerung von Propan unterscheiden. Die Ergebnisse für die Freisetzung bei druckverflüssigter Lagerung sind deutlich ungünstiger im Sinne größerer erforderlicher Abstände. Insofern kann auch die technische Art der Lagerung als Beitrag zur möglichen Reduzierung von Abständen, z. B. alternativ zur Mengenbegrenzung, genutzt werden.

Nachstehend werden die zu Grunde gelegten Berechnungsdaten für das Szenarium spontanes Behälterversagen (Tab. 8.3.1.1/1: Berechnungsdaten Propan) wiedergegeben:

#### Wetterlage:

Wind aus West; Windrichtung	270 Grad
Windgeschwindigkeit	3,0 m/s
Lufttemperatur	10 °C
Regen	Kein Regen
Eingegebene Ausbreitungsklasse	D bzw. III/1 (neutral)
Bedeckung	75,0 %

#### Freisetzung Verflüssigtes Gas , Behälterversagen

Freisetzungshöhe:	0,0 m
Temperatur vor der Freisetzung:	10 °C

**Druckverflüssigtes Gas:**

Volumen (Eingabe):	10,908 m <sup>3</sup>
Masse (berechnet):	5,600 t
Flashanteil:	23,68 %
Lachenanteil:	76,32 %
Bodentemperatur:	10,0 °C

**Bodenart: Beton**

Min. Lachentiefe(Bodenart):	0,005 m
-----------------------------	---------

**Angaben zur Lache:**

Masse:	4,274 t
Volumen:	7,331 m <sup>3</sup>
Fläche:	0,147 ha
Modellradius:	21,603 m
Tiefe:	0,005 m
Dauer Verdampfen/Verdunsten:	154 s

**Schwergasausbreitung (kreisförmig)**

Größter Radius 1% Grenze:	0,327 km
Verschiebung vom Quellort:	0,104 km
Fläche:	33,676 ha
Existenzdauer:	5,0 min

**Explosionsfähige Atmosphäre und Zünddistanzen**

Größter Radius:	0,222 km
Verschiebung vom Quellort:	0,070 km
Fläche:	15,552 ha
Explosionsfähige Masse:	968,508 kg

**Feuerball**

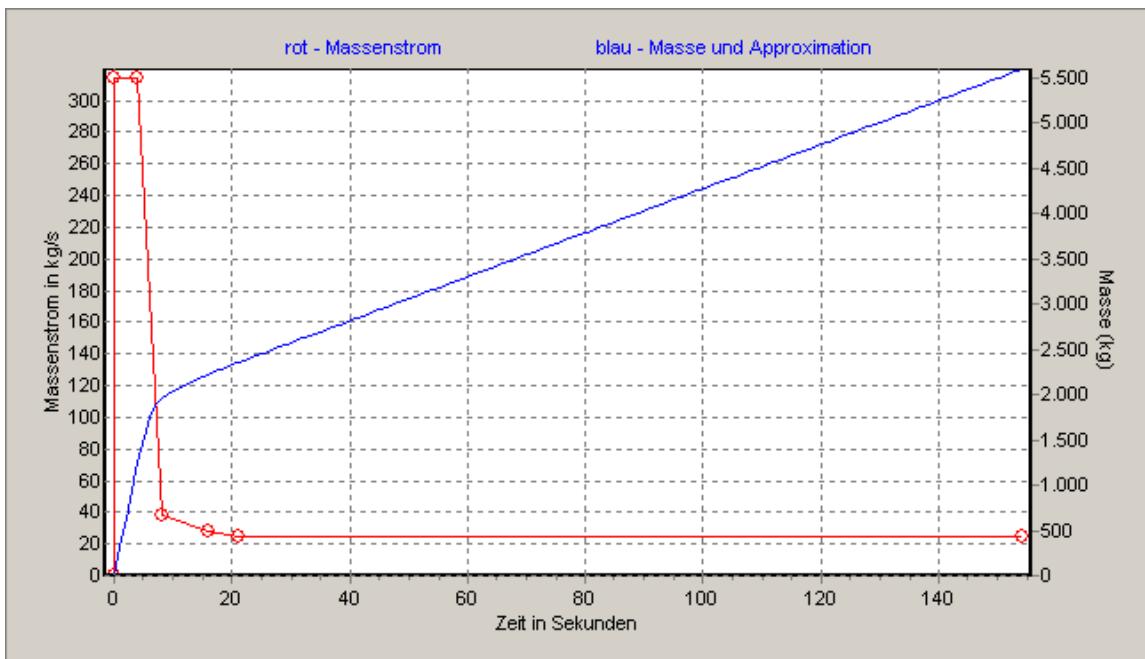
Radius:	30 m
Dauer:	5,1 s

**Strahlungswirkungen**

Radius Brandübertragung:	102 m
Radius nachteilige Wirkungen:	227 m

Tab. 8.3.1.1/1: Berechnungsdaten Propan

Der zeitabhängige Massenstrom für das Szenarium spontanes Behälterversagen wird nachfolgend abgebildet (Abb. 8.3.1.1/1: Propan druckverflüssigt (5.600 kg), zeitabhängiger Massenstrom):



#### Zeitabhängiger Massenstrom:

[s]	[kg/s]	[kg] gesamt
0	314,128013	0,000
4	314,128013	1256,512
16	27,784946	2223,476
21	24,355167	2359,428
154	24,355167	5599,791

Abb. 8.3.1.1/1: Propan druckverflüssigt (5.600 kg), zeitabhängiger Massenstrom

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Berechnungen mit Hilfe öffentlich im Internet verfügbarer Karten am Beispiel der Ruhrchemie in Oberhausen veranschaulicht (s. Abb. 8.3.1.1/2: Propan-druckverflüssigt-5.600 kg, Explosion):



<b>Radius*</b>	<b>(m)</b>	<b>Auswirkungen</b>
Schwarzer Punkt		Quellort, Störfallanlage
rosa	112	Leichte Schäden an Gebäuden und Anlagen (0,1 bar)
orange	222	explosionsfähige Atmosphäre
blau (innen)	253	75%-Fensterbruch (0,03 bar)
blau (außen)	752	10% Fensterbruch (0,01 bar)

\*Die Radien beziehen sich auf den Mittelpunkt der explosionsfähigen Wolke

Abb. 8.3.1.1/2: Propan-druckverflüssigt-5.600 kg, Explosion

Die Auswahl der vorhandenen Bebauungssituation ist dabei völlig willkürlich.

### 8.3.1.2 Bewertung der Auswirkungen

Zum Schutz vor den Auswirkungen von Explosionen erscheint im Rahmen der Bauleitplanung auf Grund der sehr vorsichtigen Wahl eines „Grenzwertes“ von 0,03 bar bzw. 0,05 bar Spitzenüberdruck bei (teilweise) bereits bestehenden Situationen ein Abstand von 300 m ausreichend (s. Kapitel 7.4 *Explosion, Explosionsüberdruck*). Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die angegebenen Radien auf den Mittelpunkt der explosionsfähigen Wolke beziehen. Da vereinfachend Radien bezogen auf die Quelle (bzw. Störfallanlage) angegeben werden, ist das Wandern der Wolke zusätzlich zu berücksichtigen. Dabei wird die mittlere Windgeschwindigkeit zu Grunde gelegt.

Unabhängig von der Frage der Auswirkungen einer Explosion sind auch die toxischen Eigenschaften eines Stoffes bei der Ausbreitung zu berücksichtigen. Aus dem Szenarium Freisetzung einer toxischen Wolke können sich z. B. höhere Abstandswerte als aus der Berücksichtigung einer Explosion ergeben.

Ebenfalls ist ggf. das Schwergasverhalten und das Brandverhalten nach der Explosion zu berücksichtigen. Ähnlich wie beim Brand sind Folgewirkungen nach einer Explosion wie weitere Explosionen und Brände nur schwer zu prognostizieren und nicht völlig auszuschließen. Entsprechend sollten auch Folgeszenarien, z. B. durch Brandschutzmaßnahmen, ausreichend berücksichtigt werden. Des Weiteren ist auch Trümmerflug mit den damit verbundenen Folgen wie Gebäude- oder Anlagenschäden oder der Gefährdung von Menschenleben, bis zu beträchtlichen Reichweiten (mehrere Kilometer) denkbar. Schäden durch Trümmerflug sind allerdings ausgesprochen selten und werden z. B. in der ZEMA-Datenbank nicht beschrieben. Diese werden daher im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt (Lit. zum Trümmerflug, z. B. [Hauptmanns 2001]).

Anders als bei einem Brand oder der Freisetzung einer toxischen Wolke bleibt bei einer Explosion keine Zeit, Gebäude oder Innenräume aufzusuchen. Dies sollte bei einer Verkürzung des Abstandes auf Grund technischer Maßnahmen kritisch berücksichtigt werden. Daher ist gegenüber Wohnbebauung ein Mindestabstand von 300 m zu fordern.

## **9    Neue Ansätze in der Bauleitplanung Zusammenfassung der Ergebnisse**

### **9.1    Zusammenfassende rechtliche Bewertung**

„Störfälle“, d. h. auf unvorhergesehene Ereignisse zurückgehende Gefahren, werden bisher in der Bauleitplanung nicht berücksichtigt. Hierzu existieren keine verbindlichen rechtlichen oder methodischen Vorgaben. Insofern werden Störfälle bisher ausschließlich auf der Ebene der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung sowie des Katastrophenschutzes einbezogen.

Bisher wird in der Bauleitplanung von einem für eine bestimmte Anlage „typischen Störgrad“ ausgegangen. Dabei werden betriebsbedingte Emissionen betrachtet. Damit sind alle, typischer Weise von einer Anlage ausgehenden Emissionen gemeint. Dies ist z. B. der von Hüttenwerken emittierte Staub. Ein anschauliches Beispiel ist noch aus den ersten Jahrzehnten der jungen Bundesrepublik Deutschland in guter Erinnerung. Bei einer bestimmten Windsituation war es im Ruhrgebiet „normal“, die Wäsche nicht zum Trocknen aufzuhängen, da roter und brauner Staub von den Hüttenwerken emittiert wurde. Ein weiteres Beispiel ist der von Hammerwerken oder Stahl verarbeitenden Betrieben ausgehende Lärm. Bei Chemieanlagen wird von Emissionen aus sog. diffusen Quellen ausgegangen, so dass z. B. bei der Waschmittelherstellung mit Geruchsbelästigungen in unmittelbarer Nähe der Werke zu rechnen ist. Diese Praxis hat sich für viele Anlagentypen bewährt und ist rechtlich anerkannt.

Anders ist dies allerdings bei nicht betriebsbedingten Emissionen größeren Ausmaßes. Hier wird der sich auf Anlagenarten beziehende Ansatz insbesondere bei Chemieanlagen - auf Grund der extremen Vielfalt der eingesetzten Stoffe und Technologien - den Anforderungen und rechtlichen Vorgaben nicht mehr gerecht. Für solche „gefährlichen Anlagen“ findet die Störfall-Verordnung Anwendung (Störfälle, s. § 2 Begriffsbestimmungen, Nr. 3 der Störfall-Verordnung). Die Anwendung der Störfall-Verordnung hängt bei industriellen Anlagen ausschließlich von den in den Anlagen bzw. Betriebsbereichen im Sinne der Störfall-Verordnung gehandhabten Stoffen und Stoffmengen ab. Auch die immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbedürftigkeit eines Vorhabens spielt dabei keine Rolle.

Nach den Vorgaben der Störfallverordnung sind die Risiken von Störfällen zu ermitteln und zu analysieren und die Wahrscheinlichkeit und Schwere dieser Störfälle abzuschätzen.

Ein wesentlicher Verknüpfungspunkt planungsrechtlicher Vorgaben und immissionsrechtlicher Forderungen ergibt sich aus Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie, der sich mit Anforderungen an die Bauleitplanung (Land Use Planning) befasst. Gemäß Artikel 12 sorgen die Mitgliedsstaaten dafür, dass in ihrer Politik der Flächenausweisung oder Flächennutzung ... *langfristig dem Erfordernis Rechnung getragen wird, dass zwischen den unter diese Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und Wohngebieten, öffentlich genutzten Gebäuden und Gebieten, wichtigen Verkehrswegen (so weit wie möglich), Freizeitgebieten und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvollen bzw. besonders empfindlichen Gebieten andererseits ein angemessener Abstand gewahrt bleibt und das bei bestehenden Betrieben zusätzliche technische Maßnahmen ... ergriffen werden*, damit es zu keiner Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung kommt.

Die Seveso-II-Richtlinie wird insbesondere durch die Störfall-Verordnung in deutsches Recht umgesetzt. Hieraus ergibt sich die Verknüpfung mit dem deutschen Immissionsrecht. Eine Umsetzung von Artikel 12, durch Übernahme der Formulierungen in die Störfall-Verordnung 2000 oder die im Juni 2005 novellierte Störfall-Verordnung, erfolgte allerdings nicht.

Die Ziele und Gebote des Artikel 12 Seveso-II-Richtlinie werden lediglich in § 50 Satz 1 BImSchG unvollständig umgesetzt. Gemäß § 50 BImSchG sind bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass von schweren Unfällen i. S. d. Art. 3 Nr. 5 der Richtlinie 96/82/EG in Betriebsbereichen hervorgerufene Auswirkungen auf die ausschließlich dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete soweit wie möglich vermieden werden. Der § 50 Satz 1 BImSchG beschränkt seinen Anwendungsbereich auf raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen. Schon diese Einschränkung kennt das Gemeinschaftsrecht nicht, das in Art. 12 der Richtlinie 96/82/EG (Anm.: Seveso-II-Richtlinie) weitergehend „andere einschlägige Politiken“ auf das Ziel der Wahrung angemessener Abstände zwischen Störfallanlagen und schützenswerten Gebieten verpflichtet. Eine detaillierte Analyse zur Umsetzung von Artikel 12 in deutsches Recht und den möglichen drittschützenden Charakter der Regelung findet sich in *Kapitel 3.2.5 Die Seveso-II-Richtlinie und deren Implementierung in deutsches Recht* dieser Arbeit.

Die bisher nicht erfolgte Anpassung des Planungs- und Immissionsschutzrechts an die europäischen Vorgaben der Störfallprävention erklärt sich aus einer in Deutschland in vielen Jahrzehnten entwickelten und ausdifferenzierten Rechtssystematik einer strikten Trennung von Planungsrecht und Immissionsschutzrecht. Auch beziehen sich die rechtlichen Regelungen auf bauliche Anlagen. Daher spielt das Baurecht und die im Baurecht verankerte Festlegung der auf einer Fläche zulässigen Nutzung bei der Bewertung baulicher Vorhaben eine die bisherige rechtliche Entwicklung prägende Rolle. Sich auf stoffliche Aspekte oder die Begrenzung von zulässigen Stoffmengen stützende planerische Vorgaben erfolgen nach Auswertung rechtlicher Kommentierungen und Gerichtsentscheidungen bisher in Deutschland nicht.

Bei der Aufstellung von Bebauungsplänen in der Nachbarschaft von ausgewiesenen Industriegebieten haben die Gemeinden auf eine angemessene Trennung von schützenswerten Baugebieten in Bezug auf die den Anwohnern zumutbaren Immissionen und In-

dustriegebieten zu achten. Diese Trennung von unverträglichen Nutzungen ist ein elementarer Planungsgrundsatz, dessen Verletzung zur Nichtigkeit der Bauleitplanung führt<sup>48</sup>. Zur Vermeidung von Konflikten können wie beim Gewerbegebiet die Gliederungs- und Differenzierungsmöglichkeiten nach §§ IV-IX der Baunutzungsverordnung [BauNVO] genutzt werden. Hiervon wird die Gemeinde etwa Gebrauch machen, um die im Industriegebiet zulässigen Gewerbebetriebe nach Art, Umfang, Bedürfnissen, Eigenschaften und Immissionsauswirkungen zu gliedern. Dabei kann die Gliederung sowohl dem Schutz be nachbarter Baugebiete gelten als auch auf eine interne Differenzierung und Schonung bestimmter Teilnutzungen gerichtet sein.

Allerdings fehlt es hier an einem allgemein anwendbaren Maßstab, insbesondere zur Beurteilung des von der konkreten Anlage ausgehenden Gefahrenpotentials. Die Hauptregulierungsinstrumente der klassischen Bauleitplanung sind dabei die Festsetzungen gemäß § 9 BauGB und der dort aufgelistete Katalog möglicher Festsetzungen im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung bzw. Aufstellung von Bebauungsplänen. Ein „Anknüpfungspunkt“ für die Beurteilung von Störfällen im Baurecht ergibt sich aus der Erweiterung der Festsetzungsmöglichkeiten durch die Berücksichtigung der von Anlagen ausgehenden „sonstigen Gefahren“ gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB. Diese Erweiterung lässt den Schluss zu, dass Störfälle bzw. die Betrachtung möglicher Auswirkungen von Störfällen grundsätzlich im Rahmen der bestehenden rechtlichen Vorgaben bereits jetzt zu berücksichtigen sind. Wünschenswert im Sinne einer erhöhten Rechtssicherheit für Investoren, Behörden und Anwohner wäre allerdings eine klarstellende Ergänzung des Gesetzgebers, in welchem Umfang bei der Bewertung der planerischen Zulässigkeit von Anlagen das von den Anlagen für die Umgebung ausgehende Risiko und damit die Handhabung bestimmter Stoffe und Stoffmengen bei Störfallanlagen vorzunehmen ist und wie dieses Risiko methodisch zu ermitteln ist.

Nach den Vorgaben der Seveso-II-Richtlinie und der Störfall-Verordnung (s. *Kapitel 3.2.4 Störfall-Verordnung 2000 und Implementierung des Risikoansatzes*) ist die Abschätzung des Ausmaßes und der Schwere der Folgen ermittelter Störfälle und die Ermittlung und Analyse von Störfällen als Mindestangabe in den Sicherheitsberichten abzuarbeiten. Der Begriff des Risikos und der Ermittlung von Ausmaß und Schwere sind in der technischen Literatur und in rechtlichen Kommentierung belegt. Eine Ermittlung von Ausmaß und Schwere sowie der Wahrscheinlichkeit von Störfällen ist nur durch eine quantifizierende Gesichtspunkte berücksichtigende Betrachtung möglich. Auf die einzelnen Gesichtspunkte und den Risikobegriff wird in *Kapitel 3.2 Störfallprävention* näher eingegangen. Insgesamt werden die bestehenden rechtlichen Vorgaben sowohl auf der Ebene der Anlagenzulassung als auch insbesondere der Bauleitplanung bisher in Deutschland nicht (vollständig) erfüllt.

### **9.1.1 Anwendung von Konzentrationswerten in der Bauleitplanung**

Wie vorausgehend ausgeführt, ist konsequenter Weise auch im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren eine quantifizierende Betrachtung zu fordern. Anders als in der Bauleitplanung sind die Anlagen allerdings im Detail bekannt. Daher können technische Maßnahmen zur Verhinderung von Störfällen und zur Begrenzung der Auswirkungen von Störfällen in die Bewertung eingebracht werden. Auch die Umgebung der Anlage ist bekannt und kann berücksichtigt werden. Letztlich findet in jedem Genehmigungsverfahren eine Einzelfallbetrachtung des mit einer Anlage verbundenen Risikos für einen Störfall statt. Diese Einzelfallbetrachtung gründet allerdings nicht auf transparenten Vorgaben.

Auch für die Verwendung von AEGL- oder ERPG-Werten bzw. Konzentrationswerten in der Anlagenzulassung gibt es keine verbindlichen rechtlichen Regelungen. Insofern erstaunt die Selbstverständlichkeit, mit der solche Werte in der Verwaltungspraxis herangezogen werden.

Andererseits ist eine Bewertung der planerischen Zulässigkeit von Vorhaben ausschließlich auf der Grundlage von Risikobetrachtungen problematisch. Die rechtliche Betrachtung mit der Forderung, Risiken zu quantifizieren darf nicht dazu führen, auf Abstände als weiterer Sicherheitsmaßnahme auf Grund sehr guter Sicherheitstechnik und gutem Sicherheitsmanagement völlig zu verzichten. Dies wäre mit einer Risikobetrachtung auch in rechtlicher Sicht nicht vereinbar, da Sicherheitsabstände grundsätzlich als sekundäre Sicherheitsmaßnahme zu verstehen sind. Unabhängig vom vorhandenen Abstand ist eine Störfallanlage nach dem Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik zu errichten und zu betreiben. Ein Null-Risiko für sehr gute Anlagen gibt es nicht, dann wäre in der Tat ein Abstand verzichtbar. Es werden daher Mindestabstände zwischen Störfallanlagen und Wohnbebauung vorgeschlagen, die auf Grund des gehandhabten Gefahrenpotentials mindestens einzuhalten sind. Bei der Freisetzung toxischer Gase ist dabei ein bestimmter Konzentrationswert (90-Prozentwert der Probitfunktion für eine Expositionszeit von 60 Min.) auch bei Erreichen einer sehr guten Risikomaßzahl mindestens einzuhalten. Eine weitere Verkürzung des Abstandes ist auf der planerischen Ebene nicht zulässig. Eine Ausnahme ist die Betrachtung von in Industriegebieten bzw. Chemie- und Industrieparks planerisch gewollten Konzentrierung von Störfallanlagen. Zwischen Störfallanlagen ist auch ein Nullabstand unter den in *Kapitel 7.2.6 Chemie- und Industrieparks* genannten Voraussetzungen möglich.

Auch für eine differenzierende Betrachtung für die Nutzung der Räume zwischen wohnlicher und industrieller Nutzung fehlt es bisher an rechtlichen Vorgaben. Vielmehr wird, z. B. bei unmittelbar benachbarter industrieller Nutzung im Chemiepark, stillschweigend von der Zulässigkeit höherer Konzentrationswerte für die Freisetzung toxischer Gase oder höhere Belastungswerte für die Szenarien Brand und Explosion für die Beschäftigten ausgegangen. Die erforderlichen, sehr hohen Konzentrationswerte bei der Freisetzung toxischer Gase gegenüber der aktuellen Praxis lassen sich mit der praktizierten Rechtsystematik allerdings nicht vereinbaren (Definition. der AEGL-2- bzw. ERPG-2-Werte, s. **Anhang, Kapitel 4. Konzentrationswerte**). Dabei werden reversible Auswirkungen zu Grunde gelegt. Eine konsequente Anwendung der AEGL-2-Werte wie in der Praxis der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung, schließt daher eine industrielle Konzentration von Störfallanlagen in Industriegebieten aus.

### 9.1.2 Bestehende Anlagen

Oft sind bei bestehenden Anlagen die vorhandenen Abstände zur Wohnbebauung gering. Wie in *Kapitel 8.1 Freisetzung toxischer Stoffe, Beispiel Chlor* gezeigt, sind die für die Ebene der Bauleitplanung auf der Grundlage von Konzentrationswerten – analog zum immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren - ermittelten Abstände beim Vergleich mit bestehenden Situationen unrealistisch hoch. Dieser Widerspruch und die Situation innerhalb von Chemie- oder Industrieparks ist nur mit einem Risiko orientierten Ansatz auflösbar.

Um eine Minderung des Risikos zu realisieren sind in der Regel zusätzliche technische und/ oder organisatorische Maßnahmen erforderlich. Von besonderer Bedeutung ist dabei

der Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit der anzuordnenden Maßnahmen (s. Kapitel 3.3 Bestehende Anlagen). Um die Erforderlichkeit zusätzlicher Maßnahmen in einer überschlägigen Bewertung zu prüfen, sind die angestellten Betrachtungen für die Bauleitplanung auch auf bestehende Anlagen übertragbar.

Da sich Abstände nicht generieren lassen, wird vorgeschlagen, mit einer typisierenden Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung einen differenzierenden Maßstab für die wechselseitige Zumutbarkeit von Gefahren einzuführen. Dabei lässt sich das ursprünglich aus dem Bereich gewachsener Mischbebauung entwickelte Gebot der gegenseitigen Rücksichtnahme auch auf das wechselseitig von benachbarten Betrieben hinzunehmende Risiko eines Störfalls übertragen. Demnach wäre das von entsprechend geschulten, gesundheitlich normal belastbaren und entsprechend ausgerüsteten Beschäftigten hinzunehmende Risiko deutlich größer, als dies für die an ein Chemieunternehmen angrenzende Wohnbebauung anzunehmen ist.

Besondere Bedeutung kommt dabei den Industrie- und Chemieparks zu. Hierauf wird in Kapitel 3.1.5 .1 Besonderheiten von Chemie- und Industrieparks näher eingegangen. Gab es vor einigen Jahren noch „geschlossene“ Chemiestandorte, ist heute an diesen Standorten eine wesentlich größere Vielfalt an rechtlich selbstständigen Anlagenbetreibern und Anlagenarten unterschiedlichster Branchen vorzufinden. Besondere Bedeutung kommt damit dem Nachbarschaftsbegriff zu. Es stellt sich die Frage, ob aus einem Eigentumswechsel neue Anforderungen an die nunmehr rechtlich unabhängigen Betriebe zu stellen sind.

Dieses Problem ist mit der klassischen Ermittlung von Abständen nicht lösbar, da sich Abstände bei gewachsener Bebauung nicht generieren lassen. Es ist plausibel, von einer höheren wechselseitigen Zumutbarkeit der Gefahren durch industrielle Nutzung zwischen den neuen Nachbarn auszugehen als dies z. B. im Verhältnis industrieller und ausschließlich wohnlicher Nutzung der Fall ist. Dabei ist die Rechtsgrundlage für eine „differenzierende Risikozumutung“ vorhanden. In der Rechtsprechung ist das Gebot der wechselseitigen Rücksichtnahme anerkannt. Auch wenn dieses im genannten Zusammenhang bisher nicht diskutiert wurde. Vielmehr waren bisher unterschiedliche, miteinander schwer vereinbare Nutzungen Gegenstand der Betrachtung. Dabei geht es um die Berücksichtigung der im sog. bestimmungsgemäßen Betrieb anfallenden Belästigungen. Insbesondere sind hier Lärm- und Geruchsbelästigungen oder sog. diffuse Emissionen bei Chemieanlagen zu nennen.

Eine Lösung sowohl aus rechtlicher als auch methodischer Sicht kann nur über eine unterschiedliche Zumutbarkeit der von gefährlichen Anlagen ausgehenden Risiken erfolgen.

## 9.2 Typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung

### 9.2.1 Freisetzung eines toxischen Gases

Für die planerische Beurteilung der Zulässigkeit von Vorhaben wird für das Szenarium der Freisetzung eines toxischen Gases eine typisierende Betrachtung von Störfallanlagen mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung vorgeschlagen. Über verschiedene zu berücksichtigende Faktoren erhält man eine Maßzahl für die Größenordnung des von einer Störfallanlage für die Wohnbevölkerung ausgehenden Risikos. Dabei wird zwischen dem Ab-

stand von Industrie und Wohnbebauung und der Öffentlichkeit nicht zugängigen Chemie- und Industrieparks unterschieden.

Zum Schutz der Wohnbevölkerung ist zusätzlich zu einer Risikobetrachtung im Sinne einer sekundären Schutzmaßnahme immer ein Mindestabstand zu fordern. Insofern wird bei der Freisetzung toxischer Gase auch ein mindestens einzuhalten Probitwert festgelegt bzw. für die Szenarien Brand und Explosion zum Schutz der Wohnbevölkerung ein Mindestabstand.

Durch die Verwendung unterschiedlicher „Referenzwahrscheinlichkeiten“ für ein Ereignis bzw. einen Störfall bei einer „durchschnittlichen“ Chemieanlage, die aus der Literatur entnommen sind (s. Kapitel 7.2.2 Risiko-Referenzwerte), lassen sich Domino-Effekte und bereits bestehende Anlagen berücksichtigen. Für Anlagenkomplexe wird von einer Verzehnfachung des Risikos ausgegangen. Ebenfalls berücksichtigt wird bei der Wahl des Referenzfaktors das Alter der Anlage. Für ältere Anlagen wird eine Verdreifachung des Risikos angenommen. Diese, auf probabilistische Untersuchungen zurückgehenden Werte für das mit dem Betrieb von durchschnittlichen Chemieanlagen verbundene Risiko, liegen in der Größenordnung der in den europäischen Nachbarländern festgelegten „Risikogrenzwerte“ (s. Tab. 9.2.1/1-7.2.2.1/1: Referenz-Risiken und Risikogrenzwerte in Nachbarländern):

Referenz-Risiken				Risiko-Grenzwerte Nachbarländer	
Anlagenkomplexe		Einzelanlagen		Staat	Individualrisiko ( $10^{-6} \text{ a}^{-1}$ )
Neue Anlagen	$1 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$	Neue Anlagen	$1 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$	Niederlande	1 Neuanlagen 10 bestehende Anlagen
Bestehende Anlagen	$3 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$	Bestehende Anlagen	$3 \times 10^{-6} \text{ a}^{-1}$	Schweiz (Kanton Zürich)	10
				Großbritannien	<1 kein Handlungsbedarf
					1-100 ALARP-Prinzip
					>100 Ordnungsrecht

Tab. 9.2.1/1-7.2.2.1/1: Referenz-Risiken und Risikogrenzwerte in Nachbarländern

Für die Ermittlung des Risikos ist es erforderlich, Stoff bezogene Probit-Funktionen in die Bewertung einzubringen. Durch die Berechnung der für unterschiedliche Prozentwerte und Referenzwerte sich ergebenden Mindestabstände zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung kann die Bevölkerungsdichte am jeweiligen Standort berücksichtigt werden. Es ergeben sich, in Abhängigkeit vom Abstand der Quelle zur schützenswerten Wohnbebauung, mit der Entfernung abnehmende Risiko-Maßzahlen.

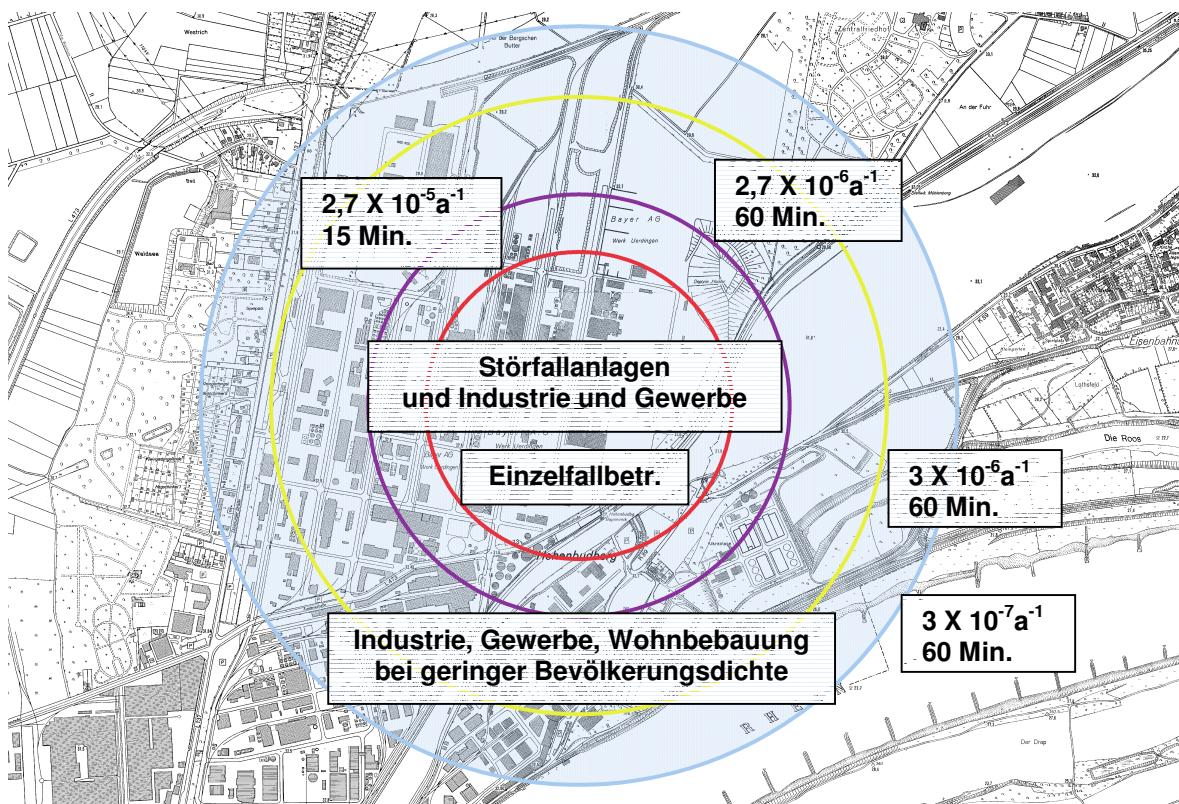
Für den maßgeblichen Abstand werden die 1%, 10% und 90%-Probit-Werte herangezogen. Sofern durch Berücksichtigung der genannten Faktoren für ein Vorhaben eine günstige Risiko-Maßzahl erreicht wird, ist das „Aufrücken“ des Vorhabens auf den Abstandswert weniger dichter Bebauung möglich. Umgekehrt müssen unter ungünstigen Umständen die Abstände entsprechend vergrößert bzw. durch zusätzliche technische oder organisatorische Maßnahmen das Risiko vermindert werden. Maßgeblich ist dabei der den

größten Abstand erfordernde, die übrigen Szenarien in Bezug auf den erforderlichen Abstand zu schützenswerter Bebauung „abdeckende“ Leitstoff.

Der Ansatz bietet die Chance, die planerische Zulässigkeit noch nicht bekannter Vorhaben (Störfallanlagen) zu bewerten, er lässt sich aber auch auf bestehende Anlagen anwenden. Zusätzlich eröffnet die Risikobetrachtung die Möglichkeit im Sinne einer differenzierenden Betrachtung eine abgestufte Zumutbarkeit des von gefährlichen Anlagen ausgehenden Risikos einzubringen.

Eine wesentlich höhere Zumutbarkeit für die mit industrieller Nutzung verbundenen Risiken liegt insbesondere bei Chemie- oder Industrieparks vor. Dies entspricht dem Gedanken, industrielle Nutzung an dafür besonders geeigneten Standorten zu konzentrieren. Des Weiteren sollten Gewerbebetriebe oder Verwaltungsgebäude im „Zwischenraum“ von industrieller Nutzung und Wohnbebauung zulässig sein. Für die Nutzung des Raumes zwischen Störfallanlage und wohnlicher Nutzung wird für industrielle oder gewerbliche Nutzung sowie die Nutzung durch Verwaltungen die Verwendung des  $C_{Probit}$ -90%-Wertes bezogen auf 15 Minuten vorgeschlagen. Veranstaltungen oder Geschäfte mit großem Publikumsverkehr sind in diesem Bereich auszuschließen. Bei der Planung z. B. von Stadien in der Nähe größerer Chemiestandorte ist der sich aus der Berücksichtigung des 1%-Wertes für eine Expositionszeit von 60 Minuten ergebende Abstand einzuhalten. In geschlossenen Chemie- und Industrieparks ohne Publikumsverkehr ist auch die Nutzung des Raumes innerhalb dieses Wertes zulässig. Allerdings ist eine gutachterliche Bewertung vorzunehmen. Dabei sind entsprechende organisatorische Maßnahmen und eine regelmäßige Schulung der Beschäftigten für den Ereignisfall Voraussetzung. Die gutachterlich vorgeschlagenen Maßnahmen zur Eingrenzung und Beherrschung der Auswirkungen eines Störfalls sind rechtlich abzusichern (s. *Kapitel 3.5 Saldierende Betrachtung*). Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Risikomaßzahlen und der erforderlichen Abstände wird in *Kapitel 7.2 Szenarium Freisetzung toxischer Gase, typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung* beschrieben.

Die für die verschiedenen Risiko-Maßzahlen ermittelten Abstände lassen sich auf einer Karte als Abstands- bzw. Iso-Risikolinien darstellen. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die Vorgehensweise für das Szenarium der Freisetzung von 5 t Chlor (Abb. 9.2.1/1 Gliederung von Chemie- und Industrieparks):



hellblau	Probit-1%-Wert (60 Min.)
gelb	Probit-10%-Wert (60 Min.)
violett	Probit-90%-Wert (60 Min.)
rot	Probit-90%-Wert (15 Min.)
schwarz	Punkt-Quelle, betrachtete Störfallanlage

Abb. 9.2.1/1 Gliederung von Chemie- und Industrieparks

Bei der Bewertung der ermittelten Abstände ist zu berücksichtigen, dass in ca. 20 Jahren seit der zentralen statistischen Erfassung der aus Ereignissen und Störfällen im Sinne der Störfall-Verordnung erfassten Auswirkungen, keine Toten außerhalb der betroffenen Anlagen zu beklagen waren. Dies spricht dafür, denkbare Auswirkungen auf die Nachbarschaft industrieller Anlagen auf Grund der vorliegenden Erfahrungen nicht zu überschätzen. Insofern sind die den Betrachtungen zugrunde gelegten Annahmen als sehr konservativ zu verstehen.

Die Vorgehensweise wird grafisch in etwas anderer Form für den Fall der Freisetzung des Stoffes Chlor in der nachfolgenden Abbildung veranschaulicht (Abb. 9.2.1/2.: Ermittlung des zulässigen Abstandes):

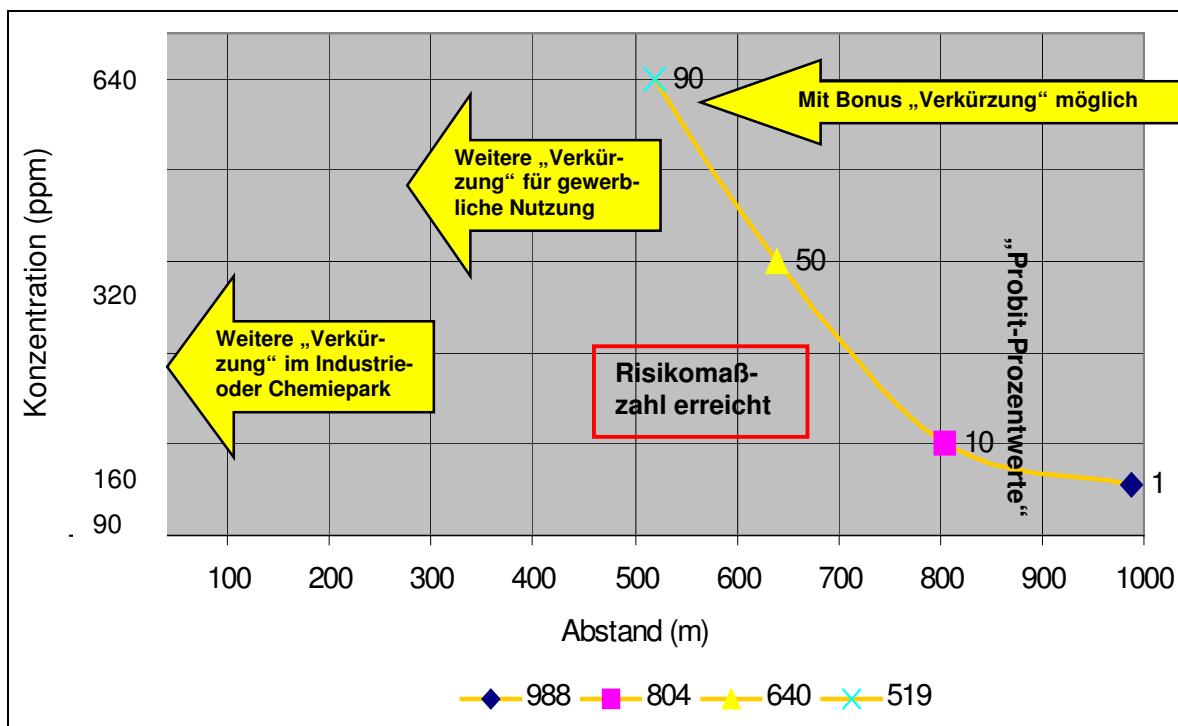


Abb. 9.2.1/2: Ermittlung des zulässigen Abstandes

Dargestellt werden die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung für die Freisetzung von 5 t Chlor (Behälterversagen, spontane Freisetzung) unter mittleren Bedingungen. Bei einer weniger dichten Bebauung ist bei einer nach den in *Kapitel 7.2 Szenarium Freisetzung toxischer Gase, typisierende Betrachtung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung* genannten Kriterien ermittelten, ausreichend kleinen Risikomaßzahl ein verkürzter Abstand zur Wohnbebauung zulässig.

Es können Daten des Standortes eingebracht werden. Dies gilt sowohl für z. B. atypische meteorologische Verhältnisse als auch die Bevölkerungsdichte. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber starren Regelungen wie z. B. der Einteilung von Anlagentypen in best. Abstandsklassen der bisherigen Verwaltungspraxis (s. *Kapitel 2.2 Abstandserlass NRW*). Die Ermittlung der am individuellen Standort erforderlichen Abstände sollte dabei unter jeweils vergleichbaren Annahmen erfolgen. Hierzu ist es erforderlich, diese verbindlich festzulegen. Dabei genügt es nicht, als Grundlage der Berechnungen z. B. die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 und 2 zu bestimmen. Zusätzlich sollte ein verbindliches Rechenprogramm festgelegt werden (s. *Kapitel 7.6.2 Rechenprogramme*). Dieses sollte neben den rechnerischen Optionen auch über die Möglichkeit graphischer Darstellungen verfügen (z. B. Konzentrationsprofile an bestimmten Aufpunkten).

Insgesamt wird durch die vorgeschlagene Vorgehensweise mehr Transparenz bei den Entscheidungen erreicht. Dabei ist es bei der Kommunikation von Risiken wichtig, auf den Charakter einer „Maßzahl“ hinzuweisen. Die ermittelte Risikomaßzahl stellt keineswegs eine exakte Analyse des für die Wohnbevölkerung in der Nachbarschaft einer Störfallanlage vorhandenen Risikos dar, sondern gründet sich auf eine größere Anzahl stark vereinfachender Annahmen. Insofern stellt die Zahl einen Orientierungswert dar für das von einer Anlage ausgehende Risiko und ist nicht absolut zu verstehen. Die Bewertung der erhaltenen Maßzahl bzw. die Zulässigkeit eines Vorhabens sollte einem gesellschaftlichen bzw. politischen Abstimmungsprozess vorbehalten bleiben. Auf Grund der in der Literatur

zu findenden Werte und den Vorgaben in europäischen Nachbarländern, wird ein Wert von  $10^{-6}$ / a für die Wahrscheinlichkeit von Todesfällen bei Neuanlagen und von  $10^{-5}$ / a bei bestehenden Anlagen als tolerierbar angesehen.

### 9.3 Vorgehensweise im Leitfaden (SFK/TAA-GS-1)

Im Leitfaden von SFK und TAA werden – in Anlehnung an immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren - die Abstände auf Grund von Konzentrationswerten Stoff bezogen für mittlere Annahmen ermittelt. Anders als im Genehmigungsverfahren, bei dem für bestimmte im Rahmen praktischer Vernunft nicht auszuschließende Ereignisse auf den Standort bezogene Ausbreitungsrechnungen (VDI 3783 Blatt 1 und 2) erstellt werden, werden allerdings „starre“ Abstandswerte vorgeschlagen. Dabei wird die Systematik des Abstandserlasses (s. Kapitel 2.2 *Abstandserlass NRW*) auf Störfälle erweitert. Die Abstandsklassen im Abstandserlass beziehen sich allerdings auf Anlagentypen, denen typische Emissionen im bestimmungsgemäßen Betrieb zugeordnet sind. Im Leitfaden erfolgt die Zuordnung von Abstandsklassen hingegen für bestimmte „Leitstoffe“.

Die Freisetzung erfolgt über ein Standardszenarium. Für den Stoff Chlor (s. Kapitel 8.1.6 *Vergleich der Ergebnisse, Freisetzung über ein Leck, Behälterversagen*) und viele andere Stoffe führt die Annahme einer kontinuierlichen Freisetzung über einen Zeitraum von 10 Min. über ein Leck zu deutlich günstigeren Abstandswerten als die momentane Freisetzung bei der Verwendung des Szenariums spontanes Behälterversagen.

Es werden mittlere Ausbreitungsbedingungen zu Grunde gelegt und für die einzelnen Stoffe „starre“ Mindestabstände benannt. Durch die Vorgabe starrer Abstände ist es nicht möglich, die Bevölkerungsdichte, die Nutzung der Umgebung der Anlage, die benachbarte Bebauung oder die Qualität des Sicherheitsmanagements zu berücksichtigen. Auf die Zumutbarkeit höherer Risiken benachbarter Anlagenbetreiber bzw. Beschäftigter im Vergleich mit Wohnbebauung sowie die Bewertung bereits bestehender Situationen wird nicht eingegangen.

Sofern sich aus der Anwendung des Standardszenariums (Beispiel: Phosgen, Acrolein, Benzol, Methanol oder LPG) mit dem Leckquerschnitt DN 25 sehr große Abstände ergeben, wird von der vorgeschlagenen Vorgehensweise allerdings abgewichen. Durch weitere Ausführungen im Leitfaden wird für eine Einzelfallbetrachtung das „Herunterrechnen“ bis auf einen Durchmesser DN 10 eröffnet (statt DN 25). Dies wird mit Betriebserfahrungen begründet und erscheint inkonsistent. Konsequenter wäre es dann, wie in dieser Arbeit, empirische Daten als Grundlage der Ausbreitungsrechnungen heranzuziehen. Im Einzelfall kann dann umgekehrt auf Standardszenarien zurückgegriffen werden, wenn empirische Daten nicht in ausreichendem Umfang vorhanden sind.

Die nachfolgende Abbildung (Abb. 9.3/1: Vergleich ZEMA-Werte und berechnete Stoffmengen) stellt die sich aus den Berechnungen des Arbeitskreises ergebenden und in der ZEMA-Datei registrierten Höchstwerte für einige Stoffe gegenüber:

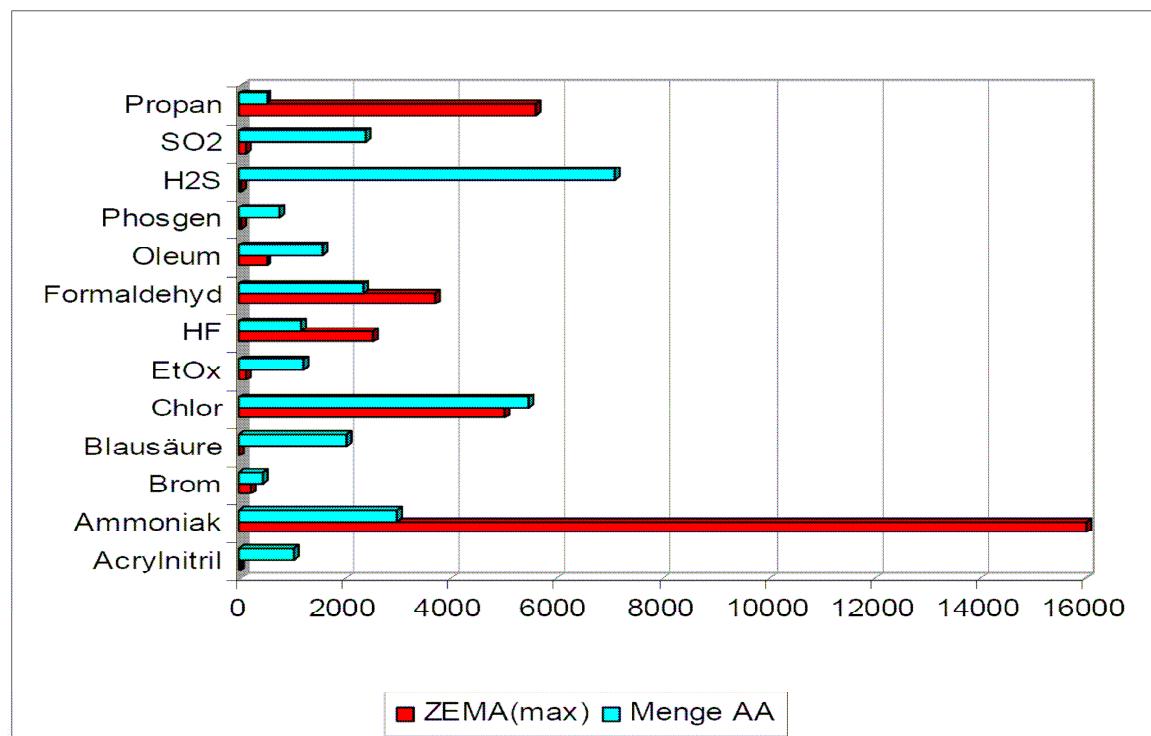
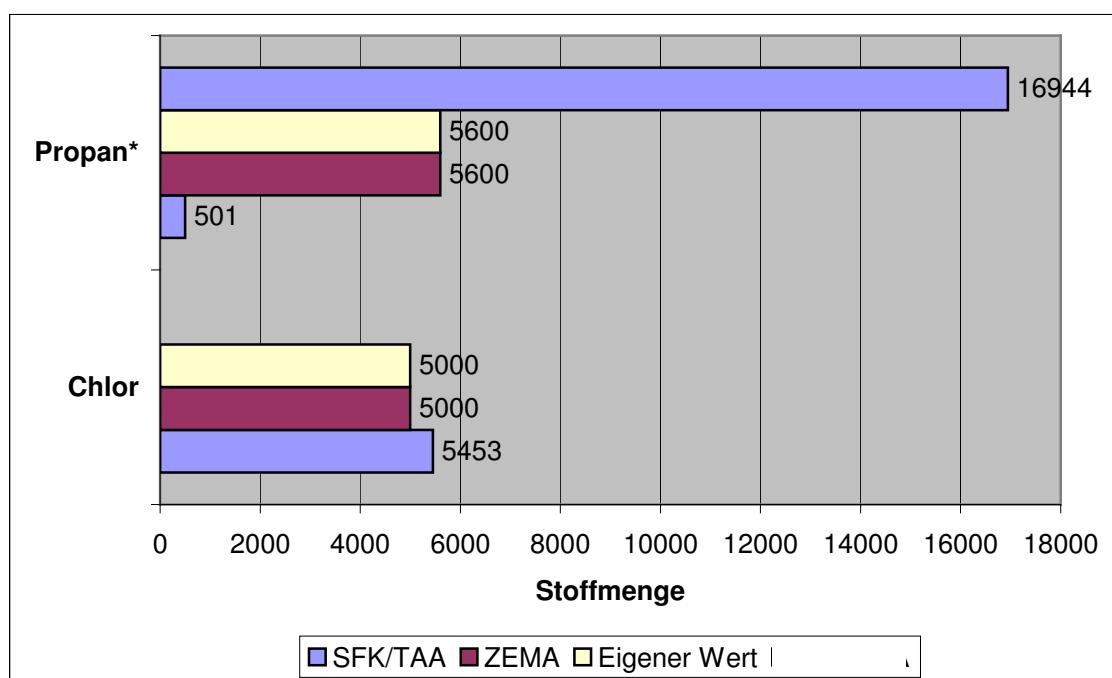


Abb. 9.3/1: Vergleich ZEMA-Werte und berechnete Stoffmengen [Uth 2006]

Für die in dieser Arbeit verwendeten Stoffe Chlor und Propan ergibt sich zum Vergleich folgendes Bild (s. Abb. 9.3/2: Vergleich der eingesetzten Stoffmengen, Stoffe Chlor und Propan):



\* In Abb. 9.3/1 ist vermutlich die explosionsfähige Masse gemeint (501 kg nach den Angaben im Leitfaden SFK/TAA-GS-1). Die freigesetzte Masse beträgt nach den Angaben im Leitfaden (Anhang 1) bei einer Freisetzungsdauer von 10 Min. demnach 16.944 kg. Diese Menge wäre korrekterweise mit den ZEMA- bzw. eigenen Daten zu vergleichen

Abb. 9.3/2: Vergleich der eingesetzten Stoffmengen, Stoffe Chlor und Propan

Die Darstellungen zeigen eine gute Übereinstimmung für den Stoff Chlor. Für Propan oder die Stoffe Oleum und Formaldehyd weichen die Werte allerdings stark sowohl nach oben als auch nach unten von den in der ZEMA-Datei zu findenden Maximalwerten ab. Für Propan wird bei den Berechnungen im Leitfaden ein Durchmesser DN 50 - abweichend von den mittleren Annahmen (DN 25) - zugrunde gelegt. Die Gründe werden nicht erläutert.

Die Vorgehensweise des Arbeitskreises lässt sich in Stichworten wie folgt zusammenfassen [Uth 2006]:

- Abstandsberechnungen für typisierte Quellterme bei Schlüsselstoffen
- Zuordnung zu Abstandsklassen
- Abgleich der in der ZEMA registrierten Ereignisse mit größeren Schäden in Bezug auf die angenommenen Quellterme
- Freisetzung in der Regel durch Quellterm aus einer Austrittsfläche von 490 mm<sup>2</sup> (entspricht DN 25)
- Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik und guter Managementpraxis
- Ausschluss von Spontanversagen von Behältern (einschließlich der Betrachtung von Trümmerwurf) oder vollständiger Abriss von großen Rohrleitungen, da hinreichend unwahrscheinlich
- Abweichungen bei Einzelstoffen aufgrund spezifischer Betriebserfahrung, z. B. Phosgen, Acrolein, Benzol, Methanol, LPG.

Die Vorgehensweise im Leitfaden lässt eine Risikobewertung, wie sie sich aus den Vorgaben der Seveso-II-Richtlinie bzw. der Störfall-Verordnung und dem Bundes-Immissionsschutzgesetz ableiten lassen, außer Betracht. Rechtliche Aspekte werden in dem Leitfaden kurz angerissen, jedoch in die Betrachtung nicht integriert. Vielmehr wird auf eine Arbeitshilfe des gemeinsamen Arbeitskreises des Länderausschusses Immissionsschutz und der Arbeitsgemeinschaft Bau - LAI/ ARGE-Bau - verwiesen. Das Papier (Stand Februar 2004) wurde bisher allerdings nicht veröffentlicht (Telefonauskunft von Herrn Dr. Uth, UBA, Vorsitzender des gemeinsamen Arbeitskreises, November 2005). Ebenso bleibt die Vorgehensweise in Nachbarländern zur Frage der Beurteilung der von industriellen Anlagen ausgehenden Risiken unberücksichtigt.

Bei der Risikobetrachtung können die vorhandenen Räume nach dem Grad der Schutzbefürftigkeit gestaffelt werden. Auch hierzu existieren bisher keine rechtlichen Vorgaben oder Empfehlungen der einschlägigen Gremien. Auch der Leitfaden SFK/TAA-GS-1 geht hierauf nicht ein. Aus dem rechtlich etablierten Grundsatz des Gebots der gegenseitigen Rücksichtnahme, wie es sich in gewachsenen Gemengelagen für die „klassische Bauleitplanung“ in der Rechtsprechung entwickelt hat (s. Kapitel 3.1.5 Weitere Aspekte der Nutzungszuordnung), lässt sich für die Bewertung des zumutbaren Risikos bei gewerblicher und industrieller Nutzung in der Nachbarschaft von Störfallanlagen eine abgestufte Schutzwürdigkeit ableiten.

Sowohl im Leitfaden von SFK und TAA als auch bei dieser Arbeit werden für die Ausbreitungsrechnungen die VDI-Modelle 3783 Blatt 1 und 2 zu Grunde gelegt. Der große Vorteil

besteht darin, dass diese Modelle allgemein anerkannt sind. Allerdings ergeben sich mit den Rechenprogrammen STOER 1998, DISMA und ProNuss, z. B. für die Ausbreitung des Stoffes Chlor (5 t, Freisetzung über ein Leck), erhebliche Unterschiede. Mit dem Modell STOER, dass als Basismodell für alle anderen „Weiterentwicklungen“ an Modellen gelten darf, erhält man für „mittlere Annahmen“ Abstände von 2.100 m bis 2.500 m und mit dem Modell DISMA ca. 3.200 m gegenüber ca. 1.400 m (gerechnet mit dem Modell ProNUSS) im Leitfaden. Auch in der Literatur gefundene Werte korrespondieren nicht mit den vom gemeinsamen Arbeitskreis veröffentlichten Abständen. Daher sollten die Ausbreitungsrechnungen nicht nur auf einer identischen Basis, sondern mit demselben Programm erstellt werden, um die Ergebnisse besser vergleichen zu können (s. *Kapitel 7.6 Ausbreitungsbedingungen und verwendete Modelle*).

Im Leitfaden und in dieser Arbeit wird von den Szenarien Freisetzung einer toxischen Wolke, Brand und Explosion als den für die Bauleitplanung wesentlichen Szenarien aus gegangen. Weitere Szenarien wie Trümmerflug oder die Ausbreitung einer zündfähigen Gaswolke (mit zeitlich verzögerter Zündung) werden nicht betrachtet. Die Daten aus der ZEMA-Datei wurden in dieser Arbeit genauer ausgewertet und rechtfertigen diese Vorgehensweise.

Die Arbeitsgruppe und der Autor dieser Arbeit stellen Stoff bezogene Überlegungen an, wie sie in der immissionsschutzrechtlichen Anlagenzulassung bereits praktiziert werden. Dies ermöglicht die Formulierung gezielter Vorgaben unabhängig vom Anlagentyp und stellt auf der Ebene der Bauleitplanung eine neue Gestaltungsmöglichkeit der Anforderungen an Betriebe dar. Bestimmte Stoffe können ausgeschlossen oder in der Menge begrenzt werden, so dass im Einzelfall für bestimmte Anlagen auch kleinere Abstände realisierbar werden.

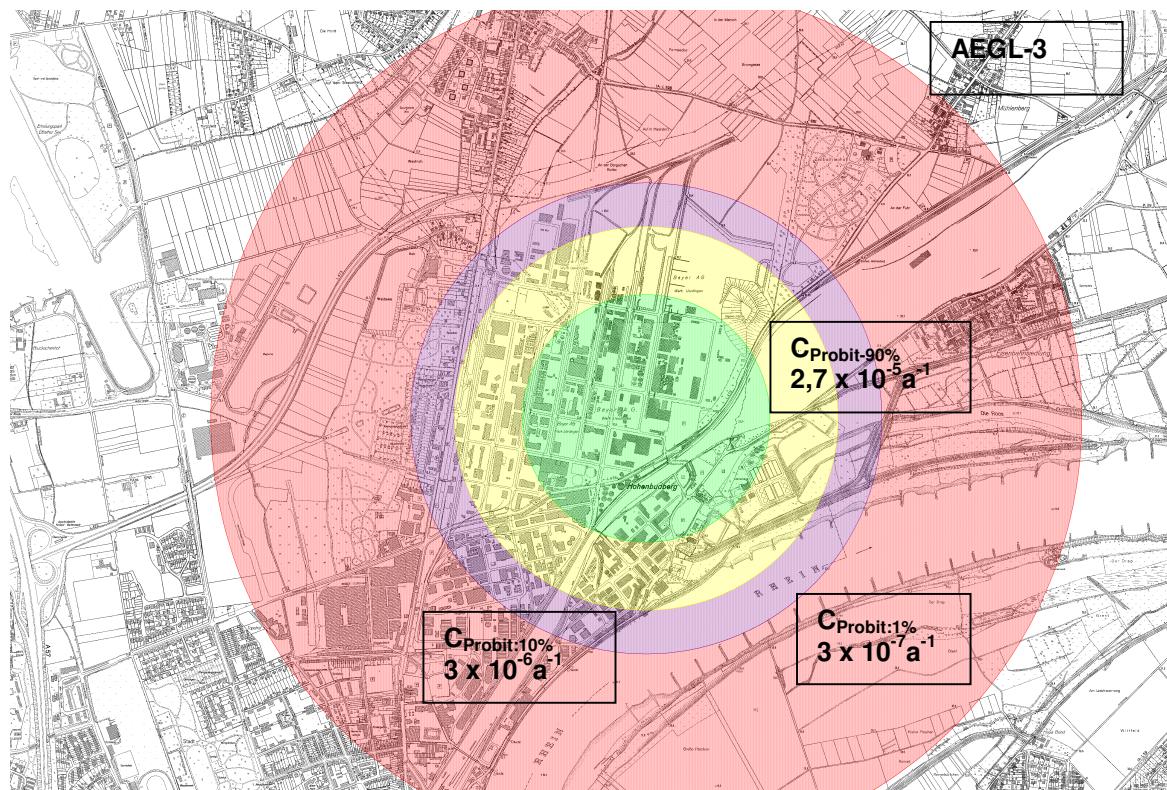
Die für die Berücksichtigung der Szenarien Brand und Explosion herangezogenen „Toleranzwerte“ sind (s. *Kapitel 7.3 Brand, Wärmestrahlung*) für den Brand sehr ähnlich (1,6 KW/ m<sup>2</sup> bzw. 1,6 KW/ m<sup>2</sup> bis max. 2,0 KW/m<sup>2</sup>) und für die Explosion (s. *Kapitel 7.4 Explosion, Explosionsüberdruck*) deutlich konservativer (0,03 bar bis max. 0,05 bar Spitzenüberdruck gegenüber 0,1 bar).

Es werden am jeweiligen Aufpunkt zusätzlich Konzentrationsprofile für den Innenraum erstellt. Hieraus ist die zeitliche Belastung und die jeweilige Konzentration für die angenommenen Bedingungen beim Aufenthalt in Räumen abschätzbar.

#### **9.4 Vergleich der Ergebnisse, Freisetzung eines toxischen Gases**

Legt man den Auswirkungsbetrachtungen die im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren häufig verwendeten AEGL-2- oder ERPG-2-Werte bei mittleren Ausbreitungsbedingungen zugrunde, sind die Abstände bei den in der Bauleitplanung zu betrachtenden Stoffmengen (s. *Kapitel 6.1.1 Praktische Abgrenzung der Ebene der Bauleitplanung*) deutlich größer als in der Realität anzutreffen. Wie am Beispiel der Freisetzung des Schadstoffs Chlor gezeigt wurde (s. *Kapitel 8.1.3 Ausbreitungsrechnungen Chlor, ungünstige Ausbreitungssituation*), führt die Annahme sehr ungünstiger Ausbreitungsbedingungen zu sehr großen, in Deutschland oder anderen Industrieländern nicht realisierbaren Abständen. Werden den Betrachtungen Probit-Funktionen zugrunde gelegt, ergeben sich wesentlich kleinere Abstände. Die Abstände für die 1% und 10%-Werte korrespondieren annähernd mit den bei bereits vorhandener Bebauung vorzufindenden

Werten (s. Abb. 9.4/1-8.1.2.3/1: Ermittelte Abstände ( $C_{\text{Probit-Funktion}}$  und AEGL-3-Wert) im Vergleich):



	Konzentration (ppm)	Risikomaßzahl	Radius (m)
grün	$C_{\text{Probit}} (60 \text{ Min.}): 90\%-Wert$	$2,7 \times 10^{-5}$	519,0
gelb	$C_{\text{Probit}} (60 \text{ Min.}): 10\%-Wert$	$3 \times 10^{-6}$	804,0
lila	$C_{\text{Probit}} (60 \text{ Min.}): 1\%-Wert$	$3 \times 10^{-7}$	988,0
rosa	AEGL-3-Wert		1827,0

Abb. 9.4/1-8.1.2.3/1: Ermittelte Abstände ( $C_{\text{Probit-Funktion}}$  und AEGL-3-Wert) im Vergleich

Die Darstellung zeigt die sich für den Stoff Chlor aus den Ausbreitungsrechnungen ergebenden Abstände (Hintergrundbild: Stadt Krefeld und Bayer Chemiepark Uerdingen) sowohl für den Fall der Festsetzung von Konzentrationswerten (hier: AEGL-3- bzw. ERPG-3-Wert) als auch für die Risikobetrachtung am Beispiel einer bestehenden, durchschnittlichen Chemieanlage in einem Chemiepark ohne die Berücksichtigung korrigierender Faktoren zur Ermittlung der Risikomaßzahl.

Ein weiterer wesentlicher Punkt zur Unterstützung der getroffenen Annahmen ist der Umstand - wie in den Berechnungen gezeigt - des hervorragenden Schutzes von Personen durch Aufenthalt in geschlossenen Räumen ([z. B.: [Hartwig und Klumpe 1993]; [Hartwig 1999]). Auf Grund der in einer konservativen Annahme von einem Luftwechsel pro Stunde berechneten Innenraumkonzentration lässt sich feststellen, dass sich die berechneten Konzentrationen häufig deutlich unterhalb irreversibler gesundheitlicher Auswirkungen bewegen (s. Kapitel 8.1.7 Aufenthalt in geschlossenen Räumen). Bei einer schnellen Warnung der Bevölkerung kann davon ausgegangen werden, dass das Aufsuchen geschlossener Räume realisiert werden kann. Hierzu ist allerdings sicher zu stellen, dass die Zeit bis zur Erhöhung der Gefahrstoffkonzentrationen im Bereich angrenzender Wohnbe-

bauung optimal zur Warnung der Bevölkerung genutzt wird. Ebenfalls ist eine entsprechende Entwarnung mit der Aufforderung Räume zu lüften (nach dem Abklingen der Konzentration im Freien) sicher zu stellen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass sowohl die ERPG-Werte als auch die gerechneten Probit-Werte für die Einwirkungszeit von 1 Stunde gelten. Die berechneten kritischen Einwirkzeiten für mittlere Ausbreitungssituationen sind deutlich geringer, befinden sich im Bereich weniger Minuten. Wie die Berechnungen zeigen, steigen die Konzentrationen schnell an, um dann nach Erreichen des Maximalwertes schnell wieder abzufallen, oft innerhalb einiger Minuten bis unter den AEGL-2-Wert.

Zwar ist eine exakte Bewertung des Zeitfaktors nicht ohne hohen wissenschaftlichen Aufwand und nur auf den jeweiligen Gefahrstoff bezogen möglich, jedoch darf davon ausgegangen werden, dass eine Einwirkzeit von wenigen Minuten im Bereich der max. Konzentration an Gefahrstoffen für die meisten weitverbreiteten Stoffe deutlich geringere Gesundheitsschäden bzw. Todesfolgen als bei voller Einwirkzeit bedeutet. Dabei ist weiterhin zu bedenken, dass die AEGL- und ERPG-Werte für sensible Personengruppen konzipiert und mit hohen Sicherheitszuschlägen in der Größenordnung mehrerer Zehnerpotenzen versehen wurden (s. **Anhang, Kapitel 4. Konzentrationswerte**).

## 9.5 Szenarien Brand und Explosion

Auf Grund der ermittelten Abstände und der Erforderlichkeit eines Mindestabstandes zwischen Wohnbebauung und industrieller Nutzung (s. *Kapitel 3.5 Saldierende Betrachtung in der Bauleitplanung*) ist für die Szenarien Brand und Explosion eine Risikobetrachtung im Rahmen der Bauleitplanung nicht erforderlich.

In Chemie- oder Industrieparks ist bei einer Verkürzung des Abstandes eine gutachterliche Einzelfallbetrachtung erforderlich. Sofern rechtlich sichergestellt ist, dass die gutachterlichen Vorschläge zur Eingrenzung und Beherrschung der Szenarien von den Anlagenbetreibern einzuhalten sind, ist im Extremfall auch ein „Nullabstand“ zulässig.

### 9.5.1 Brand

Durch die Rechnungen und die in der Literatur vorhandenen Angaben wird deutlich, dass für das Szenarium Brand, bezogen auf die Bauleitplanung, vergleichsweise „unkritische“ Abstände anzusetzen sind. Dabei sind allerdings mögliche Folgeprodukte des Brandes wie die Bildung einer toxischen Wolke oder Explosionen zu bedenken. Auf eine weitere Reduzierung der ermittelten Abstände auf Grund von Risikobetrachtungen ist bei Wohnbebauung sowohl beim Szenarium Brand als auch Explosion zu verzichten (s. *Kapitel 3.5 Saldierende Betrachtung in der Bauleitplanung*).

Sofern ein Eingreifen der Feuerwehr innerhalb von max. 10 Min. sicher gewährleistet ist, kann ein Abstand von 100 m zwischen Anlagengrenze und Wohnbebauung für das Szenarium Brand als ausreichend angesehen werden. Der Wert von 8-10 Minuten für das Eingreifen der Feuerwehr ergibt sich aus Anforderungen der Verwaltungspraxis in immisionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren und geht auf allgemein anerkannte Standards der Berufsfeuerwehr zurück [Kuboth, Schütz 2006].

Bei kleineren Anlagen bzw. gehandhabten Stoffmengen brennbarer Stoffe kann durch zusätzliche passive Maßnahmen wie Brandwände oder auch aktive Maßnahmen wie au-

tomatisch auslösende Löschsysteme, der Abstand weiter verringert werden. Hierzu sind allerdings entsprechende Maßnahmen im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren festzulegen. Diese Option einer weiteren Verringerung der Abstände im Rahmen einer detaillierten Prüfung der Anlagensicherheit und der konkreten Standortsituation im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren durch die zu beteiligenden Fachbehörden, sollte grundsätzlich gelten. Bei größeren Lagerbereichen für Gefahrstoffe oder Tanklägern ist eine gutachterliche Betrachtung erforderlich. Aus der Betrachtung können wesentlich größere Abstände resultieren.

### **9.5.2 Explosion**

Bei analogen Überlegungen ist für das Szenarium Explosion ein Abstand von 300 m zwischen der Quelle und Wohnbebauung ausreichend. Dabei wird beim Szenarium Explosion allerdings die wesentliche Einschränkung in Kauf genommen, ev. Trümmerflug nicht zu berücksichtigen. Zum Trümmerflug sind nur wenige Daten verfügbar. Intensivere Untersuchungen z. B. der vergleichsweise gut dokumentierten Auswirkungen der Explosionen 1986 in Mexiko zeigen, dass die zum Ausschluss von ggf. tödlichen Auswirkungen von Trümmerflug erforderlichen Abstände sehr groß sein können. Allerdings handelt es sich bei diesem Ereignis um einen „Gau“ wie er im Rahmen dieser Arbeit und im Rahmen der Bauleitplanung nicht berücksichtigt wird. Vielmehr wäre dies ein sog. exzeptioneller Störfall, der allenfalls im Rahmen der Katastrophenschutzplanung zu betrachten wäre. Des Weiteren trifft es im Gegensatz zu den anderen Szenarien einen kleineren Personenkreis. Diese Vorgehensweise erscheint vor dem Hintergrund einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit für dieses Szenarium gerechtfertigt. Aus der Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse von 1995 bis August 2006 (ZEMA-Datenbank) ergaben sich keine Hinweise auf Trümmerflug.

## **9.6 Ausblick**

Die in dieser Arbeit vorgestellte typisierende Betrachtung im Rahmen der Bauleitplanung mit Hilfe von Elementen der Risikobewertung am Beispiel der Chemieanlagen stellt einen Kompromiss zwischen der in Deutschland bisher praktizierten deterministischen Vorgehensweise und der mit vertretbarem Aufwand für komplexere Vorhaben nicht leistbaren probabilistischen Vorgehensweise dar. Eine ausschließlich deterministische Betrachtung wie z. B. im Leitfaden von SFK und TAA [SFK/TAA-GS-1], entspricht nicht den rechtlichen Vorgaben und lässt sich vor dem Hintergrund der Entwicklung im benachbarten Ausland und der Entwicklung an Großstandorten der Chemie bei der Kommunikation von Risiken mangels Transparenz der Entscheidungskriterien nur noch schwer vermitteln. Auch bleibt bei den bisherigen Ansätzen die Nutzung der „Zwischenräume“ von industrieller Nutzung und Wohnbebauung unverständlich. Dies gilt auch für die Bewertung bereits bestehender Anlagen, die bisher von den Überlegungen ausgenommen werden. Hier sollten einheitliche Kriterien Anwendung finden. Dies ist nur über die Risikobewertung und einen für die Beurteilung der zulässigen Risiken gesellschaftlich und politisch festzulegenden Maßstab möglich. Erforderlich ist daher eine verstärkte gesellschaftliche und politische Kommunikation und Diskussion der unterschiedlichen Ansätze, um eine ausreichende Basis auch für die Erörterung der mit industriellen Nutzungen verbundenen Risiken zu erhalten.

Sowohl aus methodischer als auch rechtlicher Sicht bleiben - neben einer verbesserten Kommunikation von Risiken und den festzulegenden Abständen - eine Reihe von Punk-

ten, die einer genaueren Betrachtung zu unterziehen sind. So sollten die Ausschlusskriterien für sehr giftige Stoffe genauer definiert werden. Die Berechnungsgrundlagen für die Ausbreitungsrechnungen und zu verwendenden Rechenmodelle sind sorgfältig auszuwählen. Dabei sollten sowohl Behörden als auch Industrie, Experten und Vertreter gesellschaftlicher Gruppen mitarbeiten.

Aus rechtlicher Sicht sollte der Rahmen für die Öffnungsklauseln intensiver betrachtet werden. Dabei könnte das Instrument der Sicherheitsleistungen, wie es heute bereits bei der Errichtung von Abfallbehandlungsanlagen oder bei der Zulassung des vorzeitigen (Bau-) Beginns eine Rolle spielt, weiterführen. Die bereits bestehenden rechtlichen Vorgaben des Baurechts und Immissionsschutz- bzw. Störfallrechts sind in einzelnen Punkten zu ergänzen (z. B. § 9 BauGB, § 50 BImSchG). Die Vorgaben der Seveso-II-Richtlinie zum Konsultationsverfahren sollten in den Einzelgesetzen oder „Ressort übergreifend“ konkretisiert werden.

## **Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen**

# **Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen**

## **Zusammenfassung**

Abb. Z/1 Bauleitplanung, Malta 2006, eigenes Photo

### **Kapitel 1: Einleitung**

- Abb. 1/1 Explosion nördlich von London am 11.12.2005, Quelle: NGZ, Neuss-Grevenbroicher-Zeitung (Internet) vom 13.12.2005
- Abb. 1.1/1 Wuppertal Juni 1999, Quelle: Tageszeitungen (Internet, z. B. NGZ)
- Abb. 1.1/2 Betriebsbereiche in NRW, Stand März 2006, Quelle: LUA NRW (Internet)

### **Kapitel 2: Bisherige Bemühungen zur Berücksichtigung von Abstandsregelungen**

Tab. 2.2.1/1 Abstandserlass NRW 1998, Abstandsliste

### **Kapitel 3: Rechtliche Betrachtung**

- Tab. 3.1.1/1: Stufensystem der Raumordnung
- Abb.: 3.1.1/1: Flächennutzungsplan der Stadt Düsseldorf (Auszug), Quelle: Internet, Stand: 06.09.2006
- Abb. 3.1.1/2: Luftbild und Bebauungsplan Oerschbachstraße in Düsseldorf, Quelle: Internet, Stand 06.09.2006
- Tab. 3.1.2/1: Abgrenzung im öffentlichen Baurecht
- Tab. 3.1.6/1 Vorhaben bezogener Bebauungsplan
- Abb. 3.2.1.2/1 Risikohyperbeln
- Abb. 3.2.1.2/2: Grenzrisiko, Darst. ähnlich [SFK-GS-41]
- Abb. 3.2.5.1/1: Instrumente der kommunalen Bauleitplanung und Bedeutung
- Abb. 3.6/1: Gefahrenabwehrplanung,, Quelle: [UBA-FB 202 09 428]

### **Kapitel 4: Technische Methodik der Analyse von Risiken**

- Tab.: 4.1/1 Verfügbare AEGL- und ERPG-Werte (Stand: Februar 2006, [AEGL])
- Tab. 4.1/2 Chlor, ERPG- und AEGL-Werte im Vergleich
- Tab. 4.1/3 Grenzwerte für toxische Substanzen (ppm)

## **Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen**

Abb. 4.2/1	Schematische Darstellung der Risikobetrachtung, Quelle [SFK-GS-41]
<b>Kapitel 5:</b>	<b>Methodische Vorgehensweise in europäischen Nachbarländern</b>
Abb. 5.1/1	Niederlande, Darst. des lokalen Risikos (Iso-Risikolinien) und sozialen Risikos (FN-Kurven), Quelle: Internetdarstellung des Rijksinstitut voor Volksgezondheid en Milieu (Niederlande), Januar 2005
Abb. 5.2/1:	Schweiz, Risikodarstellung Kanton Zürich, Quelle: Internet, Koordinationsstelle für Störfallvorsorge Kanton Zürich, 2004
Abb. 5.3/1	Großbritannien, ALARP-Prinzip
Tab. 5.5.1/1	„Grenzwerte“ in Belgien
Tab. 5.5.1/2	„Grenzwerte“ in Frankreich
Tab. 5.5.1/3	„Grenzwerte“ in Italien
Tab. 5.5.1/4	„Grenzwerte“ in Spanien
Tab. 5.5.2/1	„Risikozahlen“ international
Abb. 5.6.2/1	ARAMIS-Projekt [ Salvi 2005]
<b>Kapitel 6:</b>	<b>Neue Ansätze in der Bauleitplanung Vorgehensweise und vorhandene Daten</b>
Abb. 6.1.1/1	In der Anlagenzulassung, Bauleitplanung und im Katastrophen- schutz zu berücksichtigende Stoffmenge
Tab. 6.2.1/1	Anzahl der Anlagen bzw. Betriebsbereiche nach Störfall- Verordnung , Quelle: LUA NRW, Internet-Darstellung von Juli 2006
Abb. 6.2.2/1	Anzahl der gemeldeten Ereignisse 1991 bis 2005 [Kleiber 2006]
Abb.: 6.2.2/2	Anteil der meldepflichtigen Ereignisse aus Betriebsbereichen mit Grund- und erweiterten Pflichten (2000-2004, ZEMA)
Abb. 6.2.3/1	Ereignisarten, gemeldete Ereignisse 1999 bis 2004
Abb. 6.2.3/2	Gesamtanteil der Szenarien Brand, Explosion und Freisetzung
Tab. 6.2.4/1	Anlagenarten/ Primärursachen, gemeldete Ereignisse 1999 - 2004
Abb. 6.2.4/1	Anlagenarten, ZEMA (1999 - 2004)
Abb. 6.2.5/1	Häufigste an Störfällen beteiligte Stoffe (2000-2005), Quelle: ZEMA

## **Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen**

- Abb. 6.2.6/1 Betriebsvorgänge, gemeldete Ereignisse 1999 -2004

Tab. 6.2.7/1 Chemieanlagen, Primärursachen 2000 bis 2005 (%), Quelle: ZE-MA

Tab. 6.2.7.1/1 Personenschäden, Ereignisse nach Störfall-Verordnung 1999-2004

Abb. 6.2.7.3/1 Risikomanagement und Risikokommunikation, Quelle: Darst. ähnlich [SFK-GS-41]

Abb. 6.2.9/1: Ereignisse und Anlagenarten, ZEMA (1999 - 2004)

Kapitel 7

## **Neue Ansätze in der Bauleitplanung, Annahmen für die Erstellung von Ausbreitungsrechnungen**

- Tab. 7.2.2.1/1 Referenz-Risiken und Risikogrenzwerte in Nachbarländern

Abb. 7.2.8/1 Gestaffelte Flächennutzung, Szenarium Freisetzung von 5.000 kg Chlor

Abb. 7.2.8/2 Korrelation von Abstand und Risikomaßzahl

Tab. 7.2.9/1 Korrekturfaktoren und Sonderfallbetrachtung zur Bestimmung der Risikomaßzahl

Tab. 7.3/1 Szenarium Brand, Grenzwerte

Tab. 7.4/1 Schäden durch Druckwelle

Abb. 7.5/1 Wind-Sektoren und Häufigkeit, Stadt Düsseldorf

Tab. 7.5/1 Windgeschwindigkeitsklassen nach TA Luft

Abb. 7.5/2 Windgeschwindigkeitsklassen, Stadt Düsseldorf

Abb. 7.5/3 Ausbreitungsklassen, Stadt Düsseldorf

Tab. 7.5/2 Häufigkeit der verschiedenen Stabilitätsklassen

Abb. 7.6.2/1 Einfluss der freigesetzten Menge auf die Ausdehnung des Gefahrenbereichs (Quelle: [UBA-FB 202 09 428, 1999], Darst. ähnlich)

Tab. 7.6.2/1 Mittlere Annahmen [UBA-FB 20209428, 1999]

Kapitel 8:

## **Neue Ansätze in der Bauleitplanung Ausbreitungsrechnungen**

- |            |   |
|------------|---|
| Tab. 8/1   | Mittlere Ausbreitungsbedingungen (und ungünstige Ausbreitungsbedingungen) |
| Tab. 8.1/1 | Gefahrstoff Chlor   |

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Tab. 8.1.2/1	Chlor druckverflüssigt, Behälterversagen, mittlere Ausbreitungsbedingungen
Abb. 8.1.2/1	Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, spontanes Behälterversagen), zeitabhängiger Massenstrom
Tab. 8.1.2/2	Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, spontanes Behälterversagen), Schwergasausbreitung
Tab. 8.1.2/3	Weitere Parameter
Abb. 8.1.2.1/1	Chlor druckverflüssigt (5.000 kg, Behälterversagen), mittlere Ausbreitungssituation (ERPG-2- bzw. AEGL-3-Werte)
Abb. 8.1.2.1/2	Konzentrationsprofil am Aufpunkt 1 (ERPG-3- bzw. AEGL-3-Wert), mittlere Ausbreitungsbedingungen
Abb. 8.1.2.1/3	Konzentrationsprofil am Aufpunkt 2 (ERPG-2-Wert), mittlere Ausbreitungsbedingungen
Abb. 8.1.2.1/4	Konzentrationsprofil für den AEGL-2-Wert, mittlere Ausbreitungsbedingungen
Tab. 8.1.2.2/1	Probitfunktion (Chlor), Van Heemst
Abb. 8.1.2.2/1	Iso-Risikolinien für einen Chemiepark, Beispiel Chlor
Abb. 8.1.2.2/2	Konzentrationsprofil, $C_{\text{Probit-Funktion (60 Min.)}}$ , 1%-Wert
Abb. 8.1.2.2/3	Konzentrationsprofil, $C_{\text{Probit-Funktion (60 Min.)}}$ , 90%-Wert
Abb. 8.1.2.2/4	Konzentrationsprofil, $C_{\text{Probit-Funktion (15 Min.)}}$ , 90%-Wert
Abb. 8.1.2.3/1	Ermittelte Abstände ( $C_{\text{Probit-Funktion}}$ und AEGL-3-Wert) im Vergleich
Abb. 8.1.2.3/2	Aufzoomen einer bestehenden Bebauungssituation
Tab. 8.1.3.1/1	Grunddaten
Tab. 8.1.3.1/2:	Ungünstige Ausbreitungsbedingungen bei mittlerer Windgeschwindigkeit
Abb. 8.1.3.1/1	Konzentrationsprofil, $C_{\text{Probit-1\%}}$ - Wert, ungünstige Ausbreitungsbedingungen, Windgeschw.: 3,0 m/s
Tab. 8.1.3.2/1	Grunddaten
Tab. 8.1.3.2/2	Abstände (ungünstige Ausbreitungsbedingungen bei niedriger Windgeschwindigkeit
Abb. 8.1.3.2/1	Konzentrationsprofil, $C_{\text{Probit - 1 \%}}$ - Wert: ungünstige Ausbreitungsbedingungen (Windgeschwindigkeit: 1 m/s)
Abb. 8.1.4/1	Chlor: $C_{\text{Probit 1\%}}$ - und AEGL-3-Werte, Vergleich mittlerer u. ungünstiger Ausbreitungsbedingungen

## **Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen**

Tab. 8.1.4/1	Übersicht, Freisetzung 5.000 kg Chlor (Behälterversagen), mittlere und ungünstige Ausbreitungsbedingungen
Tab. 8.1.5/1	Mittlere Annahmen
Tab. 8.1.5/2	Bedingungen der Freisetzung
Abb.8.1.5/1	Chlor druckverflüssigt (Leck DN-23), zeitabhängiger Massenstrom
Tab. 8.1.5/3	Schwergasausbreitung
Tab. 8.1.5/4	Szenarium Leck, Abstände
Abb. 8.1.5/2:	Konzentrationsprofil ERPG-2-Wert, Chlor (5.000 kg, Freisetzung über ein Leck (DN-23))
Tab. 8.1.6/1	Chlor, Übersicht: Vergleich spontanes Behälterversagen und Standardszenarium, mittlere Ausbreitungsbedingungen
Tab. 8.1.7/1	Einfluss der Luftwechselrate auf die max. Innenraumkonzentration
Tab. 8.2.1/1	Eigenschaften des Stoffes Toluol
Tab. 8.2.1.1/1	Toluol-Brand, Daten zur Ausbreitungsrechnung
Abb. 8.2.1.1/1	Brand-Toluol-6.400 kg
Tab. 8.3.1/1	Eigenschaften des Stoffes Propan
Tab. 8.3.1.1/1	Berechnungsdaten Propan
Abb. 8.3.1.1/1	Propan druckverflüssigt (5.600 kg), zeitabhängiger Massenstrom
Abb. 8.3.1.1/2	Propan druckverflüssigt, 5.600 kg, Explosion

## **Kapitel 9: Neue Ansätze in der Bauleitplanung Zusammenfassung der Ergebnisse**

Tab. 9.2.1/1-7.2.2.1/1	Referenz-Risiken und Risikogrenzwerte in Nachbarländern
Abb. 9.2.1/1	Gliederung von Chemie- und Industrieparks
Abb. 9.2.1/2	Ermittlung des zulässigen Abstandes
Abb. 9.3/1	Vergleich ZEMA-Werte und berechnete Stoffmengen [Uth 2006]
Abb. 9.3/2	Vergleich der eingesetzten Stoffmengen, Stoffe Chlor und Propan
Abb. 9.4/1-8.1.2.3/1	Ermittelte Abstände ( $C_{\text{Probit-Funktion}}$ und AEGL-3-Wert) im Vergleich

## **Anhang**

## Anhang, Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
<b>1. Bauleitplanung</b>	1
1.1 Der Bebauungsplan	1
1.2 Typen	2
1.2.1 Qualifizierter Bebauungsplan	2
1.2.2 Der Vorhaben bezogene Bebauungsplan	2
1.3 Begründung des Bebauungsplans	4
1.4 Zulässigkeit eines Vorhabens, planerische Einordnung	4
1.4.1 Vorhaben im unbeplanten Innenbereich	5
1.4.2 Vorhaben im Außenbereich	5
1.5 Abwägungsgrundsätze	5
1.5.1 Gebot der planerischen Konfliktbewältigung	6
1.5.2 Gebot der Rücksichtnahme auf schützenswerte Individualinteressen	6
1.5.3 Modifizierung der Grundsätze in Gemengelagen	7
1.6 Festsetzungen nach BauGB und BauNVO	8
1.6.1 Darstellungs-, Gliederungs- und Ausschlussmöglichkeiten nach § 1 IV bis 1 IX BauNVO	9
1.6.2 Gliederungsmöglichkeiten nach §1 IV BauNVO	9
1.6.3 Festsetzungen nach § 1 IX BauNVO	11
1.7 Baunutzungsverordnung, Definitionen	11
<b>2. Risikobewertung</b>	13
2.1 Methodik, Kurzdarstellung einiger Methoden der Sicherheits- und Risikoanalyse	13
2.1.1 Verfahren für die qualitative Analyse	14
2.1.1.1 Checklistenverfahren	14
2.1.1.2 Ausfalleffektanalyse (FMEA, FMECA)	14
2.1.1.3 PAAG-Verfahren (Hazard and Operability Analysis – HAZOP)	15
2.1.2 Verfahren, die für die quantitative Analyse geeignet sind	16
2.1.2.1 Ereignisablaufanalyse	16

## Anhang, Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite
2.1.2.2	Fehlerbaumanalyse	19
2.1.3	Verfahren für die halbquantitative Analyse	19
2.1.3.1	DOW-Index	19
2.1.3.2	LOPA (Layer of Protection Analysis)	20
2.1.3.3	SQUAFTA (Semi-quantitative fault tree analysis)	21
2.1.3.4	Risikograph zur Klassifizierung von sicherheitsrelevanten PLT-Einrichtungen	21
2.2	Neuere Entwicklungen in der quantifizierenden Risikobetrachtung, Faktor Mensch	23
2.2.1	Mess- und Regelungstechnik	23
2.2.2	Menschliche Zuverlässigkeit	23
2.2.3	Zuverlässigkeitsmerkmale	24
2.2.4	Quantifizierungsmethoden	26
2.2.4.1	THERP	26
2.2.5	Technische Zuverlässigkeitskennzahlen, Methoden zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines potentiellen Schadens	27
2.3	Risikokataster des Kanton Zug	27
<b>3.</b>	<b>Modelle für die Ausbreitungsrechnungen und Berechnungsbeispiele zu den Szenarien Brand und Explosion</b>	<b>31</b>
3.1	Freisetzung einer Flüssigkeit	32
3.2	Verdampfung bzw. Verdunstung einer Flüssigkeit	32
3.3	Konvektiver Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeit	34
3.4	Wärmestrom aus dem Boden	34
3.5	Wärmestrahlung	35
3.6	Verdunstungsmodell nach Mackay/Matsugu	35
3.7	Schwergasausbreitung	36
3.8	Leichtgasausbreitung	38
3.8.1	Vertikale Temperaturschichtung	38
3.8.2	Windgeschwindigkeit	39

## Anhang, Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite
3.8.3	Effektive Quellhöhe	39
3.8.4	Bodenrauhigkeit	39
3.9	VDI-Modelle 3783 Blatt 1 und 2, Interpretation der Ergebnisse	40
3.10	Modelle und Berechnungsbeispiele zu den Szenarien Brand und Explosion von Prof. Dr. Schönbucher, Universität Duisburg-Essen	42
3.10.1	Brand: Randbedingungen, Berechnungsgrundlagen und Modelle	42
3.10.1.1	Berechnungsmodelle	43
3.10.1.2	Brand, Berechnungsbeispiele Universität Duisburg Essen	46
3.10.2	Explosionen: Randbedingungen, Berechnungsgrundlagen und Modelle	47
3.10.2.1	Modelle	47
3.10.2.2	Berechnungen für den Stoff Propan	49
3.11	Belastung durch Wärmestrahlung und Druckwirkungen	49
3.11.1	Wärmestrahlung	49
3.11.2	Belastungen durch Druckwirkungen	51
<b>4.</b>	<b>Konzentrationswerte</b>	53
4.1	AEGL-Werte	53
4.2	ERPG-Werte	55
4.3	Vertrauensbereich der Werte	56
4.4	Forschungsprojekt Acutex	57
<b>5</b>	<b>Programm DISMA</b>	57
<b>6</b>	<b>Schutzwirkung von Häusern</b>	66
<b>7</b>	<b>ZEMA-Daten</b>	67

## Anhang

### 1. Bauleitplanung

Im Folgenden wird auf die rechtlichen Grundlagen der Bauleitplanung auf der kommunalen Ebene näher eingegangen. Dabei werden unterschiedliche Typen des Bebauungsplans erläutert.

Wesentliche planerische Abwägungsgrundsätze sowie die Festsetzungs- und Gliederungsmöglichkeiten nach dem Baugesetzbuch und der Baunutzungsverordnung werden dargestellt. Hinweise zu Gerichtsurteilen und rechtlichen Mitteilungen erfolgen zu diesem Kapitel mittels **Endnoten**.

#### 1.1 Der Bebauungsplan

Der in der Regel für einen Teil des Gemeindegebiets aufgestellte Bebauungsplan enthält für den Bürger unmittelbar wirkende, verbindliche Festsetzungen nach §§ 8 I, 9 Baugesetzbuch [BauGB]. Er umfasst zumeist mehrere Grundstücke, kann aber auch für nur ein (größeres) Grundstück aufgestellt werden. Besondere Bestimmungen über die Größe und Begrenzung des Plangebietes bestehen nicht. Auch eine Einzelplanung für ein konkretes Projekt ist dabei nicht ausgeschlossen, wenn hierdurch die Gesamtkonzeption der städtebaulichen Ordnung nicht leidet<sup>49</sup>. Auch können die Festsetzungen auf ein einzelnes Grundstück beschränkt werden (Briefmarkenbebauungsplan)<sup>50</sup>. Die Bauleitplanung muss allerdings durch entsprechende städtebauliche Ziele gerechtfertigt sein und der städtebaulichen Entwicklung und Ordnung dienen (§ 1 III BauGB).

Im Gegensatz zum Flächennutzungsplan wird der Bebauungsplan als Satzung beschlossen (§ 10 I BauGB). Er regelt über die eher grobkörnigen Darstellungen der Grundzüge der städtebaulichen Ordnung im Flächennutzungsplan hinaus die parzellenscharfe Nutzung des Bodens und ist Grundlage für die entsprechend seinen Festsetzungen zu erteilende Baugenehmigung (§ 30 BauGB), Ausnahmen und Befreiungen nach § 31 I und II BauGB. Nach § 2 III, IV BauGB besteht auf die Aufstellung, Änderung, Ergänzung und Aufhebung von Bauleitplänen und städtebaulichen Satzungen kein Rechtsanspruch. Auch ein Anspruch auf Fortführung eines eingeleiteten Planungsverfahrens besteht nicht. Insofern kommt in der Bauleitplanung immer auch ein nicht zu unterschätzendes (kommunal-)politisches Element zum Tragen, d. h., ein privater Vorhabenträger ist teilweise von der bauleitplanerischen Unterstützung der Gemeinde für sein Vorhaben abhängig. Unter bestimmten Umständen ist auch im Rahmen eines immissionsschutzrechtlichen Zulassungsverfahrens das Einvernehmen der Gemeinde einzuholen. Wird dieses – möglicherweise missbräuchlich – verweigert, kann die zuständige Genehmigungsbehörde das verweigerte Einvernehmen in vielen Fällen nicht ersetzen und der Genehmigungsantrag ist abzulehnen. Über den Klageweg kann dann ggf. der Weg für eine Zulassung des Vorhabens geebnet werden; allerdings ist dies mit einem erheblichen Zeitverlust für den Vorhabenträger verbunden.

## **1.2 Typen**

Es lassen sich drei Typen von Bebauungsplänen unterscheiden. Der klassische Bebauungsplan ist der qualifizierte Bebauungsplan. Auf diesen wird in der Arbeit insbesondere eingegangen. Zusätzlich gewinnt der Vorhaben bezogene Bebauungsplan zunehmend an Bedeutung. Trotz formaler Unterschiede zwischen dem qualifizierten Bebauungsplan und dem Vorhaben bezogenen Bebauungsplan sind die Unterschiede in der Verwaltungspraxis in der aktuellen Entwicklung gering [Albrecht 2006]. So geben häufig konkrete Vorhaben den Anstoß zur Erstellung von Bebauungsplänen. Dies gilt z. B. an Großstandorten der Chemischen Industrie, für die teilweise keine qualifizierten Bebauungspläne vorliegen.

### **1.2.1 Qualifizierter Bebauungsplan**

Das Gesetz unterscheidet den qualifizierten (§ 30 I BauGB) und den einfachen Bebauungsplan (§ 30 III BauGB). Ein Bebauungsplan ist qualifiziert, wenn er Festsetzungen über Art und Maß der baulichen Nutzung, die überbaubare Grundstücksfläche und die örtlichen Verkehrsflächen enthält. Hierauf wird in der Arbeit genauer eingegangen.

### **1.2.2 Der Vorhaben bezogene Bebauungsplan**

Ein neueres Rechtsinstrument ist der Vorhaben bezogene Bebauungsplan (§§ 30 II, 12 BauGB). Er wird auf der Grundlage eines Vorhaben- und Erschließungsplans von der Gemeinde als Satzung beschlossen. Ursprünglich war der Vorhaben- und Erschließungsplan nur im Gebiet der ehemaligen DDR und sodann in den fünf neuen Bundesländern verfügbar. Durch das Investitionserleichterungs- und Wohnbaulandgesetz v. 22.4.1993 wurde das Anwendungsgebiet dann auf die gesamte Bundesrepublik ausgedehnt.

Nach § 12 I BauGB kann die Gemeinde durch einen Vorhaben bezogenen Bebauungsplan die Zulässigkeit von Vorhaben bestimmen, wenn der Vorhabenträger auf der Grundlage eines mit der Gemeinde abgestimmten Plans zur Durchführung der Vorhaben und der Erschließungsmaßnahmen bereit und in der Lage ist und sich zur Durchführung innerhalb einer bestimmten Frist und zur Tragung der Planungs- und Erschließungskosten ganz oder teilweise vor dem Satzungsbeschluss verpflichtet (Durchführungsvertrag). Soll durch den Vorhaben bezogenen Bebauungsplan ein UVP-pflichtiges Vorhaben [UVPG] ausgewiesen werden, muss innerhalb des Planaufstellungsverfahrens eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt und ein Umweltbericht nach § 2a BauGB erstellt werden. Die UVP-Pflicht besteht für alle Vorhaben nach der Anlage 1 zum UVPG und auch für die Vorhaben, die nach Nr. 18 der Anlage 1 zum UVPG im Bebauungsplanverfahren UVP-pflichtig sind. Dies gilt z. B. für die Ausweisung von Industriezonen.

Im Unterschied zum sonstigen Bebauungsplan nach § 30 I und III BauGB, der an die Festsetzungen in § 9 BauGB und an die BauNVO gebunden ist, bestehen diese Bindungen beim Vorhaben bezogenen Bebauungsplan nicht. Vorhabenträger und Gemeinde sind daher frei darin, anstatt von Festsetzungen die bauliche und sonstige Nutzung der einbezogenen Grundstücke sachgerecht zu bestimmen. Dabei können die Regelungen auch durchaus über die Festsetzungsmöglichkeiten hinausgehen. Folgende Vorgaben müssen erfüllt werden:

Das Vorhaben muss ausreichend konkretisiert sein und der Vorhabenträger muss sich zur

Durchführung des Vorhabens innerhalb einer angemessenen Frist verpflichten. Um beide Voraussetzungen erfüllen zu können, sollte der Anlagentyp und der Umfang der Investition dem Investor bereits im Wesentlichen bekannt sein. Hieraus sind Rückschlüsse auf Art und Menge gefährlicher Chemikalien möglich, mit denen im Betrieb umgegangen wird. Insofern kann die planerische Beurteilung durch die Gemeinde auf der Grundlage eines fortgeschrittenen Erkenntnisstandes erfolgen.

In den Rechtsfolgen sind der Vorhaben bezogene Bebauungsplan und der Bebauungsplan weitgehend gleichgestellt. Der Vorhaben bezogene Bebauungsplan ist ein Unterfall des Bebauungsplans (§ 30 I BauGB). Es ist ein Vorhaben- und Erschließungsplan (VEP) zu erstellen; dieser ist Bestandteil des von der Gemeinde als Satzung (§ 12 BauGB) erlassenen Vorhaben bezogenen Bebauungsplans (s. Abb. 1.2.2/1: Vorhaben bezogener Bebauungsplan):

<b>Satzung</b>	<p>Voraussetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Vorhabenträger und Gemeinde abgestimmter VEP</li> <li>• Verfügbarkeit der Grundstücke</li> <li>• Verpflichtung des Vorhabenträgers zur:           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektdurchführung</li> <li>- Übernahme Erschließungskosten</li> <li>- Sicherheitsleistung</li> </ul> </li> </ul> <p>Keine Bindung an:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Festsetzungskatalog n. § 9 BauGB</li> <li>• §§ 14 bis 28, 39 – 79, 127 – 135c BauGB</li> </ul>	<b>Vorhaben- und Erschließungsplan</b>
	<p>Bebauungsplan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bindung an Festsetzungskatalog</li> <li>• Geltung des allgemeinen Städtebaurechts</li> <li>• Verfügbarkeit der Grundstücke nicht Voraussetzung</li> </ul>	

Abb. 1.2.2/1: Vorhaben bezogener Bebauungsplan

Dies gilt insbesondere für Ausnahmen und Befreiungen nach § 31 BauGB, die Vorabgenehmigung bei formeller und materieller Planreife nach § 33 BauGB, die Anwendung des § 36 BauGB und die Änderungsmöglichkeiten nach § 13 BauGB. Dies ergibt sich aus dem Charakter des Vorhaben bezogenen Bebauungsplans als Unterfall des Bebauungsplans.

Die Zusammenarbeit zwischen Gemeinde und Vorhabenträger bei der Aufstellung des Vorhaben bezogenen Bebauungsplans gestaltet sich nicht selten zu einer Gratwanderung zwischen notwendiger Kooperation und unzulässiger subjektiver Abwägungssperre durch vertragliche Bindungen und Einflussnahmen des Vorhabenträgers. Zwar hat die Rechtsprechung die Möglichkeiten der Zusammenarbeit zwischen Gemeinde und Investor gegenüber der früheren härteren Linie gelockert und auch Kooperationsverträge für zulässig erachtet, durch die Gemeinde und Vorhabenträger im Hinblick auf die Verwirklichung eines bestimmten Projektes zusammenarbeiten<sup>51</sup>. Die vertraglichen Bindungen dürfen allerdings nicht so weit gehen, dass eine rechtsstaatlich gebotene Abwägung dabei auf der

Strecke bleibt<sup>52</sup>.

### **1.3 Begründung des Bebauungsplans**

Dem Bebauungsplan ist nach § 9 VIII BauGB eine Begründung beizufügen. In ihr sind die Ziele, Zwecke und wesentlichen Auswirkungen des Bebauungsplans darzulegen. Ebenso wie der Erläuterungsbericht für den Flächennutzungsplan hat auch die Begründung für den Bebauungsplan eine wichtige Funktion, die mit dem Abwägungsgebot in Zusammenhang steht. Die Begründung ist zwar nicht Bestandteil des Bebauungsplans, sie soll aber die wesentlichen Elemente der Abwägung erkennen lassen und über die Zusammenstellung des Abwägungsmaterials sowie die Gewichtung und Bewertung der Belange Auskunft geben. Fehlt die Begründung, so ist der Bebauungsplan nicht rechtswirksam. Die Begründung kann sich dabei auf die zentralen Regelungen des Bebauungsplans beschränken. Die Begründungspflicht soll dabei als zwingende Verfahrensvorschrift sicherstellen, dass städtebauliche Rechtfertigung und Erforderlichkeit sowie die Grundlagen der Abwägung jedenfalls in ihren zentralen Punkten dargestellt werden, um eine effektive Rechtskontrolle des Plans zu ermöglichen. Daneben soll die Begründung die Festsetzungen des Plans verdeutlichen und Hilfe für ihre Auslegung sein.

### **1.4 Zulässigkeit eines Vorhabens, planerische Einordnung**

Im Rahmen der bauaufsichtlichen Prüfung - eigenständig oder im Rahmen eines immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens - ist für die materielle Anwendung der Vorgaben aus Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie in erster Linie die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit des Vorhabens von Bedeutung.

Die bauordnungsrechtliche Prüfung befasst sich je nach landesrechtlicher Ausgestaltung z.B. mit Anforderungen an den Baukörper, zum Brandschutz, an die Erschließung des Grundstücks und an vor den Außenwänden von Gebäuden freizuhaltenden Abstandsfächern. Andere öffentlich-rechtliche Vorschriften sind, soweit in den Landesbauordnungen vorgesehen, ebenfalls zu berücksichtigen.

Unter bauplanungsrechtlichem Blickwinkel können neue Betriebe sowohl im Geltungsbereich eines Bebauungsplans (§ 30 BauGB) - insbesondere mit der Ausweisung Gewerbe- / Industriegebiet - als auch innerhalb des unbeplanten Innenbereichs (§ 34 BauGB) - insbesondere mit einer bestehenden gewerblich / industriellen Nutzung - angesiedelt werden.

In seltenen Fällen ist eine Ansiedlung im Außenbereich (§ 35 BauGB) denkbar. Für die Änderung bestehender Betriebe (soweit sie städtebaulich relevant ist) und die Entwicklungen in der Nachbarschaft gelten ebenfalls die nachfolgenden Grundsätze, da die Vorgaben des Bauplanungsrechts für die Errichtung, die Änderung und die Nutzungsänderung von Vorhaben gelten (§ 29 Abs. 1 BauGB) und auch bei heranrückender Bebauung bzw. Entwicklungen in der Nachbarschaft zu berücksichtigen sind.

Im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans im Sinn von § 30 Abs. 1 BauGB sind Vorhaben in bauplanungsrechtlicher Hinsicht zulässig, wenn sie den Festsetzungen des Bebauungsplans nicht widersprechen und die Erschließung gesichert ist. Entsprechendes gilt für den Vorhaben bezogenen Bebauungsplan nach § 30 Abs. 2 BauGB.

#### **1.4.1 Vorhaben im unbeplanten Innenbereich**

- a) Für Gebiete innerhalb eines im Zusammenhang bebauten Ortsteils, für die kein Bebauungsplan besteht, in denen die Eigenart der näheren Umgebung jedoch einem der Baugebiete der BauNVO entspricht, beurteilt sich gemäß § 34 Abs. 2 BauGB die Zulässigkeit eines Vorhabens danach, ob es nach der BauNVO zulässig wäre. Es gelten somit die selben Vorgaben wie für Gebiete mit Bebauungsplänen.
- b) Entspricht das Gebiet keinem der Gebiete der BauNVO, so ist ein Vorhaben gemäß § 34 Abs. 1 Satz 1 BauGB zulässig, wenn es sich nach Art und Maß der baulichen Nutzung, der Bauweise und der Grundstücksfläche, die überbaut werden darf, in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt. Satz 2 stellt klar, dass die Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewahrt bleiben müssen. Die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung ist grundsätzlich hierbei als Unterfall erfasst und wird außerdem durch das im Rahmen des „Einfügens“ zu beachtende Gebot der Rücksichtnahme abgedeckt.

Auch § 34 BauGB begründet somit sowohl die Verpflichtung als auch die erforderliche Flexibilität zur Wahrung von angemessenen Schutzabständen.

#### **1.4.2 Vorhaben im Außenbereich**

Gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 4 BauGB sind Vorhaben im Außenbereich privilegiert zulässig, die wegen ihrer nachteiligen Wirkung auf die Umgebung nur im Außenbereich ausgeführt werden sollen. Hierunter können insbesondere Betriebe fallen, die aufgrund ihrer Explosionsgefahr oder der sonstigen von ihnen ausgehenden Störfallrisiken innerhalb der Baugebiete unverträglich wären, wenn für sie dort kein Standort zur Verfügung steht. Auch hier ist jedoch die Wahrung von angemessenen Abständen zu berücksichtigen, da als weitere Voraussetzung dem Vorhaben keine öffentlichen Belange entgegenstehen dürfen (§ 35 Abs. 1 BauGB). Hierzu zählt u.a. auch die in § 1 Abs. 5 BauGB genannte Sicherheit der Wohn- und Arbeitsverhältnisse.

### **1.5 Abwägungsgrundsätze**

Einen großen Raum in der Rechtsprechung zur Bauleitplanung nimmt der Bereich der Abwägung ein. Dabei wird gerichtlich geprüft, ob die für die Entscheidung der Gemeinde im Rahmen der Bauleitplanung relevanten Gesichtspunkte berücksichtigt und gegeneinander abgewogen wurden, die Entscheidung selbst steht dabei oft nicht im Vordergrund, vielmehr geht es um die Ausübung des Ermessens. Da in der Bauleitplanung sehr vielen Schutzgütern und Umständen Rechnung zu tragen ist, wurden von der Rechtsprechung umfangreiche Kriterien für die Beurteilung einer ordnungsgemäßen Abwägung (Abwägungsgrundsätze) entwickelt. Die bei der Bauleitplanung zu berücksichtigenden Belange sind zwar prinzipiell gleichgeordnet, der Ausgleich zwischen den betroffenen Belangen erfolgt aber letztlich erst in einer Bewertung der konkreten Einzelfallumstände vor dem Hintergrund der jeweiligen städtebaulichen Konzeption. Allgemein anerkannte Grundsätze des Städtebaus in dem Sinne, dass sich aus solchen Handlungsmaximen zwingende und allgemeingültige Schlussfolgerungen für die Behandlung von Einzelproblemen der Stadtplanung ableiten ließen, sind kaum erkennbar. Die Frage nach den allgemein anerkannten Grundsätzen des Städtebaus muss daher verneint werden, wenn man hierunter unmittelbar in Rechtsnormen umsetzbare Planungsgrundsätze versteht<sup>53</sup>. Dennoch lassen

sich insbesondere folgende „Leitsätze“ formulieren:

### 1.5.1 Gebot der planerischen Konfliktbewältigung

Es entspricht einem anerkannten Abwägungsgrundsatz, dass die mit der Planung verbundenen Konflikte soweit wie möglich auch durch die Planung gelöst werden sollen. Das Gebot stellt Grundanforderungen an die Bauleitplanung und verlangt, dass die danach zu berücksichtigenden Belange in die Abwägung eingestellt werden. Der Plan darf dabei der Plandurchführung nur überlassen, was diese tatsächlich zu leisten vermag. Das Gebot der planerischen Konfliktbewältigung hat verschiedene Ausprägungen:

- Das Gebot der größtmöglichen Ausschöpfung des in dem Planungsrecht vorgegebenen Konfliktlösungspotentials
- Das Gebot der größtmöglichen Vermeidung der Verschiebung der planerischen Konfliktlösung (planerischer Konflikttransfer). Sich abzeichnende Konflikte sind nach Möglichkeit zu vermeiden oder in der Planung zu lösen, nicht jedoch von vornherein ohne sachliche Berechtigung zu verschieben.

Die nachfolgende Tabelle fasst die einzelnen Gesichtspunkte unter Berücksichtigung der genannten Punkte zusammen (Tab.1.5.1/1: Planerische Konfliktbewältigung):

Durch Planung zu bewältigende Konflikte:	Konflikttransfer:	Gemengelagen:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Baugenehmigung</li><li>• Immissionsschutz</li><li>• Verkehrslenkung</li><li>• Städtebaulicher Vertrag</li><li>• Fachplanung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konfliktbewältigung im Begleit- oder Nachfolgeverfahren, z. B. im Immissionsschutzrecht oder Naturschutzrecht</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bildung von „Mittelwerten“</li><li>• Verbesserungsgebot</li></ul>

Tab. 1.5.1/1: Planerische Konfliktbewältigung

Besondere Anforderungen an die Bauleitplanung stellen vorhandene Gemengelagen, die zwischen industrieller Nutzung und Wohnbebauung entstanden sind. Hier sollte die Planung durch entsprechende Reduzierung der Konfliktsituationen und ggf. durch Schutzaufgaben zu einer Verbesserung der vorgefundenen Situation beitragen.

### 1.5.2 Gebot der Rücksichtnahme auf schützenswerte Individualinteressen

Bei der Bauleitplanung sind zu schützende Individualinteressen zu berücksichtigen. Für die gemeindliche Bauleitplanung lassen sich aus dem Rücksichtnahmegericht folgende Einzelgebote ableiten<sup>54</sup>:

#### Grundsatz der Differenzierung und Schonung:

Die Rücksichtnahme auf schutzwürdige Belange ist nicht i. S. absoluter Vorränge zu verstehen, sondern verlangt eine differenzierende Betrachtung nach dem jeweiligen Schutzgut und den sonst zu berücksichtigenden Belangen. Die Planung muss auf das Schutzpotential ggf. mit differenzierenden Ausweisungen reagieren.

### **Grundsatz der Trennung unverträglicher Nutzungen:**

Wohnnutzung und ihrem Wesen nach umgebungsbelastende Industrie sollen nach Möglichkeit nicht auf engem Raum zusammengeführt werden<sup>55</sup>. In abgestufter Form gilt dieser Grundsatz auch für das Nebeneinander von Wohnen und Gewerbe.

### **Grundsatz der planerischen Vorbeugung:**

Die Bauleitplanung soll möglichst Vorsorge dafür treffen, dass unverträgliche Nutzungen nicht auf engem Raum aufeinander stoßen und auch im Übrigen keine Konflikte entstehen, die des späteren Ausgleichs bedürfen.

### **Grundsatz der Beherrschbarkeit von Emissionen:**

Die planerischen Ausweisungen sollten jeweils eine verträgliche Einbindung der zugelassenen Nutzung in die Umgebung gewährleisten. Allerdings kann hier ggf. ein Ausgleich noch im Einzelgenehmigungsverfahren nach Maßgabe des § 15 I BauNVO erfolgen.

### **Grundsatz des Vorrangs der Konfliktvermeidung:**

Die Bauleitplanung sollte bewältigungsbedürftige Konflikte nach Möglichkeit vermeiden und sie nicht erst entstehen lassen, um sie anschließend durch Schutzauflagen oder andere Maßnahmen abzumildern. Die Trennung von unverträglichen Nutzungen hat daher grundsätzlich einen Vorrang vor der Zusammenführung solcher Nutzungen und der Anordnung von Schutzauflagen.

### **Berücksichtigung von Bestands- und Vertrauensschutzinteressen:**

Soll in einen vorhandenen Bestand eingegriffen werden, so unterliegt die Planung dem qualifizierten Abwägungsgebot<sup>56</sup>.

#### **1.5.3 Modifizierung der Grundsätze in Gemengelagen**

In vorhandenen Gemengelagen als Bereich, in denen unterschiedliche Nutzungen aufeinanderstoßen oder sich mischen, sind die vorgenannten Grundsätze modifiziert:

Es bestehen gesteigerte Duldungspflichten der schutzbedürftigen Nutzung und verminderter Einwirkungsmöglichkeiten belastender Nutzungen. Die Planung hat diese Probleme durch Verteilung von Last und Gunst zu bewältigen und möglichst auf eine Reduzierung und Milderung der Konflikte hinzuwirken.

Das Einwirkungs- und Duldungspotential unterschiedlicher Nutzungen ist durch die Bildung von Mittelwerten<sup>57</sup> zu bestimmen. Immissionsempfindliche Nutzungen haben einen im Vergleich zu anderen Baugebieten geringeren Schutzanspruch, Gewerbe und Industrie müssen auf schutzempfindliche Nutzungen mehr als sonst erforderlich Rücksicht nehmen, so dass sich im Übergangsbereich unterschiedlicher Nutzungen ein Mittelwert zu bilden ist. Die Mittelwertbildung erfolgt dabei allerdings nicht schematisch, sondern Einzelfall bezogen.

Bei der Abwägung von Belangen im Verflechtungsbereich der unterschiedlichen Nutzungen sind die Möglichkeiten der Gliederung oder Nutzungseinschränkungen nach § 1 IV-X BauNVO zu nutzen.

## **1.6 Festsetzungen nach BauGB und BauNVO**

Die Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan gem. § 9 BauGB beziehen sich auf bauliche oder sonstige Anlagen. Denn nur für bodenrechtlich relevante Vorhaben hat der Bundesgesetzgeber nach Art. 72, 74 I Nr. 18 GG die konkurrierende Gesetzgebungskompetenz. Es muss sich dabei um Anlagen handeln, die in einer auf Dauer gedachten Weise künstlich mit dem Erdboden verbunden sind und städtebauliche Relevanz haben<sup>58</sup>.

Für den Bebauungsplan besteht ein umfangreicher Katalog an Festsetzungsmöglichkeiten aus Zeichnung, Farbe, Schrift und Text (§ 9 BauGB), die dem konkreten Inhalt des Bebauungsplans entsprechen. Die Festsetzungsmöglichkeiten sind allerdings abschließend in § 9 BauGB und der ergänzend heranzuziehenden BauNVO aufgeführt. Festsetzungen, die in § 9 BauGB und der BauNVO keine Rechtsgrundlage finden, sind unzulässig<sup>59</sup>. Die einzelnen Festsetzungsmöglichkeiten sind in § 9 BauGB geregelt. Die Gemeinde muss sich dabei an den Katalog des § 9 BauGB und die Vorgaben der BauNVO halten. Sie hat kein eigenes Festsetzungserfindungsrecht<sup>60</sup>. Vielmehr besteht für bauplanungsrechtliche Festsetzungen ein Typenzwang<sup>61</sup>. Weicht die Gemeinde von den Festsetzungsmöglichkeiten ab, so ist die von diesem Fehler betroffene Festsetzung wegen Verstoßes gegen den bauplanungsrechtlichen Typenzwang nichtig<sup>62</sup>, d. h., die planende Gemeinde ist bei ihren städtebaulichen Regelungen grundsätzlich an die Baugebietstypen der BauNVO gebunden. Allerdings kann die Gemeinde die unterschiedlichen Baugebietstypen der BauNVO durch Ausschluss, durch allgemeine oder durch ausnahmsweise Zulässigkeit von bestimmten Nutzungen bei Wahrung des Gebietscharakters modifizieren, nicht jedoch korrigieren.

Für die zeichnerischen Festsetzungsmittel ist die aufgrund des § 2 V Nr. 4 BauGB erlassene Planzeichenverordnung (PlanZV) zu beachten. In ihr sind die einzelnen bei der Planaufstellung zu verwendenden Planzeichen aufgeführt. Nur soweit die Planzeichenverordnung keine Planzeichen enthält, ist die Gemeinde bei der Verwendung von Planzeichen frei. Der Gemeinde steht es allerdings frei, welcher Mittel sie sich bedient, um dem Bestimmtheitsgebot zu genügen. Aus § 2 PlanZV folgt, dass sie nicht strikt an die Planzeichen gebunden ist, die in der Anlage 4 dieser Verordnung enthalten sind. Sie hat die Wahl zwischen zeichnerischen Festsetzungen und textlichen Beschreibungen und kann auch beide Elemente miteinander kombinieren. Weicht sie von der Darstellungsart der Planzeichnung ab, so wird hierdurch allein die Bestimmtheit nicht in Frage gestellt, wenn der Inhalt der Festsetzung gleichwohl hinreichend deutlich erkennbar ist. Maßgeblich ist, ob der mit der PlanZV verfolgte Zweck sich auch mit dem von der Gemeinde gewählten Mittel erreichen lässt<sup>63</sup>. § 9 BauGB stellt klar, dass die jeweiligen Festsetzungen (nur) aus städtebaulichen Gründen getroffen werden können<sup>64</sup>.

Die Planaussagen müssen eindeutig, verständlich und klar sein. Dies gebietet der Bestimmtheitsgrundsatz. Unklarheiten und Missverständnisse sowie nicht eindeutige Festsetzungen führen zur Unwirksamkeit dieser Festsetzungen und können die Nichtigkeit des gesamten Plans nach sich ziehen<sup>65</sup>.

Im Bebauungsplan können nach § 9 I Nr. 1 BauGB Art und Maß der baulichen Nutzung festgesetzt werden. Für die Festsetzung der Art der baulichen Nutzung sind die Bauflächen und Baugebiete nach §§ 1 bis 15 BauNVO maßgeblich (s. Kapitel 3.6.1).

Nach § 9 I Nr. 2 BauGB können die Bauweise, die überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen festgesetzt werden. Zu-

sätzlich bestehen zahlreiche weitere Festsetzungsmöglichkeiten etwa für die Größe, Breite und Tiefe der Baugrundstücke (§ I Nr. 3 BauGB).

### **1.6.1 Darstellungs-, Gliederungs- und Ausschlussmöglichkeiten nach § 1 IV bis 1 IX BauNVO**

Der § 1 IV bis 1 IX BauNVO gibt der planenden Gemeinde umfangreiche Gliederungs- und Ausschlussmöglichkeiten i. S. einer planerischen Modifizierung und Feinsteuerung an die Hand, mit denen die Nutzungen differenziert und den speziellen örtlichen Verhältnissen angepasst werden können (s. Tab. 1.6.1/1: Gliederung nach § 1 IV bis X BauNVO):

<p><b>§ 1 IV BauNVO</b>, Gliederung des Baugebietes nach:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Art der zulässigen Nutzung</li> <li>• Der Art der Betriebe und Anlagen, deren besonderen Bedürfnissen und Eigenschaften</li> </ul>	<p><b>§ 1 V BauNVO</b>, Festsetzungen über allgemein zulässige Nutzungen als:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht zulässig</li> <li>• Ausnahmsweise zulässig</li> </ul>
<p><b>§ 1 VI BauNVO</b>, Festsetzung über ausnahmsweise zulässige Nutzungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht zulässig</li> <li>• Allgemein zulässig</li> </ul>	<p><b>§ 1 VII BauGB</b>, Festsetzungen für:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmte Geschosse</li> <li>• Bestimmte Ebenen</li> <li>• Sonstige Teile baulicher Anlagen</li> </ul>
<p><b>§ 1 VIII BauNVO:</b> Festsetzungen für Teile des Baugebietes</p>	<p><b>§ 1 IX BauNVO:</b> Festsetzungen für bestimmte Arten von Anlagen</p>
<p><b>§ 1 X BauNVO:</b> bestandsorientierte Planungen</p>	

Tab. 1.6.1/1: Gliederung nach § 1 IV bis X BauNVO

### **1.6.2 Gliederungsmöglichkeiten nach § 1 IV BauNVO**

Auch bei Festsetzungen in einem Bebauungsplan, die ein Baugebiet gem. § 1 IV BauNVO gliedern, muss die allgemeine Zweckbestimmung des Baugebietes gewahrt bleiben<sup>66</sup>. Jedes Baugebiet dient einer auf den Gebietstyp zugeschnittenen und insofern allgemeinen Zweckbestimmung. Diese darf durch die planerischen Festsetzungen nicht verloren gehen, da anderenfalls die Pflicht des § 1 II 1 BauNVO verletzt wird, im Bebauungsplan ein in § 1 II BauNVO bezeichnetes Baugebiet festzusetzen. Das Baugebiet muss bei einer Gesamtbetrachtung noch seinen Gebietscharakter wahren. Die Gliederung nach § 1 IV BauNVO kann als Zielsetzung verfolgen:

- einen innerbetrieblichen Nachbarschutz zu gewährleisten
- benachbarte Gebiete vor gebietsübergreifenden Immissionen zu schützen,
- vorhandene oder geplante Infrastruktureinrichtungen besser ausnutzen zu können,
- sich ergänzende Nutzungen zusammenzufassen und an bestimmter Stelle zu konzentrieren.

Dabei kann auch nach den besonderen Bedürfnissen wie Standortbindungen, Verkehrsanschlüssen, besonderen Schutzbedürftigkeiten oder Flächenbedarf sowie nach besonderen Eigenschaften wie Umweltverträglichkeit, Emissionsverhalten oder Störungsgrad gegliedert werden.

Die Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten hinsichtlich der Art und des Maßes der baulichen Nutzung sowie der Bauweise und der überbaubaren sowie der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sind im Einzelnen in der BauNVO geregelt. Im Flächennutzungsplan können die für die Bebauung vorgesehenen Flächen nach der allgemeinen Art ihrer baulichen Nutzung dargestellt werden als Wohnbauflächen (W), gemischte Bauflächen (M), gewerbliche Bauflächen (G) und Sonderbauflächen (S) (s. Tab.1/3: Bauflächen und Baugebiete der BauNVO).

Den Bauflächen sind insgesamt 10 Baugebiete zugeordnet, die nach der besonderen Art ihrer baulichen Nutzung untergliedert sind (Tab. 1.6.2/1: Bauflächen und Baugebiete der BauNVO):

<b>Wohnbauflächen (W):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleinsiedlungsgebiete (WS)</li> <li>• Reine Wohngebiete (WR)</li> <li>• Allgemeine Wohngebiete (WA)</li> <li>• Besondere Wohngebiete (WB)</li> </ul>	<b>Gemischte Bauflächen (M):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dorfgebiete (MD)</li> <li>• Mischgebiete (MI)</li> <li>• Kerngebiete (MK)</li> </ul>
<b>Gewerbliche Bauflächen (G):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewerbegebiete (GE)</li> <li>• Industriegebiete (GI)</li> </ul>	<b>Sonderbauflächen (S):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erholung (§ 10 BauNVO)</li> <li>• Sonstige Sondergebiete (§ 11 II BauNVO)</li> <li>• Einzelhandel (§ 11 III BauNVO)</li> </ul>

Tab. 1.6.2/1: Bauflächen und Baugebiete der BauNVO

Die für die Baugebiete geltenden Vorschriften der §§ 2 bis 11 BauNVO sind dabei nach einer einheitlichen Struktur aufgebaut. Absatz 1 der Vorschrift enthält jeweils die allgemeine Zweckbestimmung des Baugebiets. In Absatz 2 werden jeweils die in diesem Gebiet allgemein zulässigen Nutzungen aufgeführt (Regelbestimmung). Absatz 3 enthält jeweils die ausnahmsweise zulässigen Nutzungen (Ausnahmebestimmung). Mit diesem Regelungstatbestand in dem jeweiligen Absatz 3 knüpft die Vorschrift an § 31 I BauGB an, wonach von den Festsetzungen des Bebauungsplans solche Ausnahmen zugelassen werden können, die in dem Bebauungsplan nach Art und Umfang ausdrücklich vorgesehen sind.

Bei der Prüfung der Zulässigkeit einer ausnahmsweise vorgesehenen Nutzung ist jeweils zu fragen, ob der Gebietscharakter, insbesondere hinsichtlich des Störungsgrades und der Andersartigkeit der beabsichtigten Nutzung den Gebietstyp des jeweiligen Baugebietes oder benachbarte nutzungen beeinträchtigen.

Widerspricht die beabsichtigte Nutzung den Festsetzungen des Bebauungsplans und ist sie auch nach der BauNVO nicht ausnahmsweise zulässig, so kann sie nach § 31 II BauGB dispensiert werden, wenn die Grundzüge der Planung nicht berührt werden und

(1) Gründe des Wohls der Allgemeinheit die Befreiung erfordern, (2) die Abweichung städtebaulich vertretbar ist oder (3) die Durchführung des Bebauungsplans zu einer offenbar nicht beabsichtigten Härte führen würde und wenn die Abweichung auch unter Würdigung nachbarlicher Interessen mit den öffentlichen Belägen vereinbar ist. Die Anwendung dieser Vorschrift setzt zunächst voraus, dass die Grundzüge der Planung nicht berührt werden. Sind diese allerdings nicht berührt, ist eine Befreiung nach der Neufassung des § 31 II durch das BauROG unter Anwendung eines weniger strengen Maßstabs möglich. Die Grenze für mehrere Befreiungen ist jedoch erreicht, wenn es sich um so viele zu regelnde Fälle handelt, dass ein Planungserfordernis nach § 1 III BauGB besteht und damit die Grundzüge der Planung betroffen sind.

### **1.6.3 Festsetzungen nach § 1 IX BauNVO**

Im Vergleich zu § 1 V BauNVO bietet die Anwendung von § 1 IX BauNVO eine weitergehende Anlagen bezogene Nutzungsdifferenzierung. Sofern besondere städtebauliche Gründe vorliegen, kann im Bebauungsplan festgesetzt werden, dass nur bestimmte Arten der in den Baugebieten allgemein oder ausnahmsweise zulässigen oder sonstigen Anlagen zulässig oder nicht zulässig sind oder nur ausnahmsweise zugelassen werden können. Die Regelung ermöglicht damit, die Gliederungs- und Differenzierungsmöglichkeiten auf einzelne Nutzungsarten zu beziehen, die sich als Teile von in den Baugebietsvorschriften der BauNVO erwähnten Nutzungen darstellen. § 1 X BauNVO gestattet damit, über § 1 V BauGB hinausgehend, auch einzelne Unterarten von Nutzungen sowie Anlagen mit planerischen Festsetzungen nach § 1 V bis VIII BauNVO zu erfassen<sup>67</sup>.

Mit besonderen städtebaulichen Gründen sind dabei besondere Gründe für die Beschränkung der baulichen Nutzung des betroffenen Grundstücks gemeint. Der Bebauungsplan bzw. dessen Begründung muss dabei erkennen lassen, dass mit den Festsetzungen ein bestimmter Typ von baulichen Anlagen und sonstigen Anlagen erfasst wird.

## **1.7 Baunutzungsverordnung, Definitionen**

### **Reine Wohngebiete**

Sie dienen nach § 3 I BauNVO dem Wohnen. Zulässig sind Wohngebäude (§ 3 II BauNVO). Ausnahmsweise können Läden und nicht störende Handwerksbetriebe, die zur Deckung des täglichen Bedarfs für die Bewohner des Gebietes dienen, sowie kleinere Betriebe des Beherbergungsgewerbes zugelassen werden. Nach § 3 III 2 BauNVO 1990 können auch Anlagen für soziale Zwecke sowie den Bedürfnissen der Bewohner des Gebietes dienende Anlagen für kirchliche, kulturelle, gesundheitliche und sportliche Zwecke ausnahmsweise zugelassen werden. Bei der Entscheidung über die Ausnahme ist jeweils zu fragen, ob das Vorhaben nach Art und Umfang und insbesondere auch seines Störungsgrades noch mit dem Gebietstyp des reinen Wohngebietes vereinbar ist.

### **Allgemeine Wohngebiete**

Sie dienen vorwiegend dem Wohnen (§ 4 I BauNVO). Von den reinen Wohngebieten unterscheiden sie sich dadurch, dass dort das Wohnen zum einzigen Merkmal der allgemein zulässigen Nutzungen gehört, während beim allgemeinen Wohngebiet auch andere, das

Wohnen nicht störende Nutzungen das Bild prägen. Zulässig sind Wohngebäude sowie die der Versorgung des Gebietes dienenden Läden, Schank- und Speisewirtschaften, nicht störende Handwerksbetriebe sowie Anlagen für kirchliche, kulturelle, soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke (§ 4 II BauNVO). Bei der Beurteilung der Zulässigkeit ist auf den Gebietscharakter des allgemeinen Wohngebiets abzustellen.

## **Gewerbegebiete**

Sie dienen nach § 8 I BauNVO vorwiegend der Unterbringung von nicht erheblich belästigenden Gewerbebetrieben. Vom Industriegebiet unterscheidet sich das Gewerbegebiet dadurch, dass das Industriegebiet ausschließlich der Unterbringung von Gewerbebetrieben dient, während das Gewerbegebiet vorwiegend (nur) der gewerblichen Nutzung dient. Auch ist der im Industriegebiet zulässige Störungsgrad höher als in einem Gewerbegebiet. Im Gewerbegebiet ist die Wohnnutzung, abgesehen von betriebsbezogenen Wohnungen nicht zulässig. Allgemein zulässig sind nach § 8 II BauNVO in einem Gewerbegebiet Gewerbebetriebe aller Art, Lagerhäuser, Lagerplätze und öffentliche Betriebe, Geschäfts-, Büro- und Verwaltungsgebäude, Tankstellen und Anlagen für sportliche Zwecke. Ausnahmsweise können nach § 8 III BauNVO Wohnungen für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen sowie für Betriebsinhaber und Betriebsleiter, die einem Gewerbebetrieb zugeordnet sind und ihm gegenüber in Grundfläche und Baumasse untergeordnet sind, Anlagen für kirchliche, kulturelle, soziale und gesundheitliche Zwecke sowie Vergnügungsstätten zugelassen werden.

Nach § 1 IV bis IX BauNVO bestehen für Gewerbegebiete zahlreiche Gliederungs- und Differenzierungsmöglichkeiten, die in der Praxis genutzt werden und sicherstellen, dass unverträgliche Nutzungskonflikte insbesondere auch im Verhältnis zu angrenzenden anderen nutzungen ausgeschlossen oder doch auf ein mit den planerischen Vorgaben verträgliches Maß reduziert werden. Gewerbegebiete können dabei so gegliedert werden, dass Beeinträchtigungen der nutzungen innerhalb des Gebietes vermieden werden und ein ausreichender Schutz der in den Gebieten arbeitenden und ggf. wohnenden Bevölkerung gewährleistet ist. Zugleich kann durch eine Gliederung des Gewerbegebietes ein Schutz benachbarter Wohn- und Mischgebiete erreicht werden.

Wegen des zu hohen Störungsgrades sind die im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung nach § 4 BImSchG i. V. mit § 2 der 4. BImSchV genehmigungsbedürftigen Anlagen ganz überwiegend nicht zulässig. Solche Betriebe sind ganz überwiegend in das Industriegebiet zu verweisen. Dabei ist im Einzelfall zu prüfen, ob Standort und Betriebsweise mit den Anforderungen des Gewerbegebietes vereinbar sind.

## **Industriegebiete**

Sie dienen nach § 9 I BauNVO ausschließlich der Unterbringung von Gewerbebetrieben, und zwar vorwiegend solcher Betriebe, die in anderen Baugebieten, z. B. im Gewerbegebiet oder im Mischgebiet unzulässig sind oder nur im Rahmen einer Einzelfallprüfung zugelassen werden können. Hierzu gehören nicht zuletzt flächenintensive störende Betriebe des Großgewerbes, z. B. Chemiewerke und in neuerer Entwicklung Industrieparks. Aus der Sicht der Störfallprävention nicht unproblematisch ist dabei die Entwicklung ehemals

von einem Unternehmen (in einer Hand) betriebener Flächen zu einer Verästelung mehrerer Unternehmen unterschiedlichster Nutzung.

In der Regel handelt es sich bei den Betrieben im Industriegebiet um immissionsschutzrechtliche genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 4 BlmSchG i. V. mit § 2 der 4. BlmSchV. Wegen ihres Störungsgrades und des mit dem Betrieb der Anlagen verbundenen Gefahrenpotentials unterliegen viele dieser Anlagen zusätzlich den Regelungen der Störfall-Verordnung. Das Industriegebiet nimmt in der Skala der zulässigen Störungen den vierten und höchsten Störungsgrad ein. Für die zulässigen Lärmimmissionen und Luftbelastungen können die TA-Lärm und die TA-Luft als antizipierte Sachverständigengutachten<sup>68</sup> bzw. normkonkretisierendes Verwaltungshandeln<sup>69</sup> von besonderer Bedeutung sein.

Allgemein zulässig sind in einem Industriegebiet nach § 9 II BauNVO Gewerbebetriebe aller Art, Lagerhäuser, Lagerplätze und öffentliche Betriebe sowie Tankstellen. Ausnahmsweise können nach § 9 III BauNVO für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen sowie für Betriebsinhaber und Betriebsleiter Wohnungen, die dem Gewerbebetrieb zugeordnet sind und ihm gegenüber in Grundfläche und Baumasse untergeordnet sind, sowie Anlagen für kirchliche, kulturelle, soziale, gesundheitliche und sportliche Zwecke zugelassen werden. Für die Zulässigkeit des betrieblichen Wohnens gelten damit zunächst die gleichen Grundsätze wie beim Gewerbegebiet. Allerdings ist im Industriegebiet noch sorgfältiger zu prüfen, ob es zu Konflikten mit der industriellen Nutzung kommen kann. An die Notwendigkeit des betrieblichen Wohnens sind daher beim Industriegebiet wegen des größeren Störungsgrades der industriellen Nutzung im Vergleich zum Gewerbegebiet noch höhere Anforderungen zu stellen. Geschäfts-, Büro- und Verwaltungsgebäude sind, anders als in Gewerbegebieten nach § 8 II Nr. 2 BauNVO, in Industriegebieten als selbstständige Anlagen nicht zulässig, ausgenommen sie sind Bestandteil von Gewerbebetrieben.

## 2. Risikobewertung

Das nachfolgende Kapitel 2 des Anhangs ist in drei Abschnitte unterteilt:

Zunächst werden die wichtigsten Schritte bei der systematischen Risikoanalyse und die bekanntesten methodischen Ansätze kurz dargestellt (*Kapitel 2.1. Methodik, Kurzdarstellung einiger Methoden der Sicherheits- und Risikoanalyse*).

Dann wird auf die Bemühungen in den letzten Jahren zur Quantifizierung des Faktors Mensch eingegangen (*Kapitel 2.2 Neuere Entwicklungen in der quantifizierenden Risikobetrachtung, Faktor Mensch*)

In einem weiteren Abschnitt wird die Vorgehensweise im Kanton Zürich zur Darstellung der mit industrieller Nutzung verbundenen Risiken skizziert (*Kapitel 2.3 Risikokataster des Kanton Zug*).

### 2.1 Methodik, Kurzdarstellung einiger Methoden der Sicherheits- und Risikoanalyse

Es gibt eine große Anzahl systematischer Prüfmethoden, die sich auf vielleicht 8 grund-

sätzliche Vorgehensweisen zurück führen lassen. Die große Anzahl erklärt sich aus Anpassungen und Optimierungen, zugeschnitten auf die Bedürfnisse einzelner Firmen und Konzerne.

Dabei lassen sich qualitative und quantitative Methoden unterscheiden.

### **2.1.1 Verfahren für die qualitative Analyse:**

#### **2.1.1.1 Checklistenverfahren**

Checklisten [Gefahrenermittlung, Gefahrenbewertung 1997] stellen eine systematische Auflistung gewonnener Erfahrung dar; sie sind Merk- und Erinnerungsstellen für Punkte, die aufgrund bisheriger Erfahrungen kontrolliert werden müssen. Checklisten können dabei beliebig detailliert und dem jeweiligen Zweck angepasst werden und erlauben mit geringem Aufwand die Überprüfung sicherheitstechnischer Fragestellungen. Checklistenverfahren werden zur Identifizierung möglicher Gefahrenpotentiale angewendet, wobei jede Komponente und jedes Teilsystem anhand der Merkposten auf mögliche Gefahrenquellen untersucht wird.

Die Anwendung von Checklisten bietet sich bei vergleichbaren Situationen an, birgt aber die Gefahr in sich, dass bei Kombination spezieller verfahrens- und anlagenspezifischer Gegebenheiten Probleme übersehen werden. Das Checklistenverfahren wird daher hauptsächlich als vorlaufendes Verfahren zu den anderen Analyseverfahren benutzt.

#### **2.1.1.2 Ausfalleffektanalyse (FMEA, FMECA)**

Die Ausfalleffektanalyse (engl. FMEA: Failure Mode- and –Effect Analysis – Ausfallart und Fehlereffektanalyse / FMECA: Failure Mode, Effect and Criticality Analysis) ist eine induktive, qualitative bzw. halbquantitative Methode zur Identifizierung möglicher Gefahrenzustände in einem System (DIN 25448). Mit dieser Methode werden die Folgen bzw. Auswirkungen verschiedener Ausfallarten von Komponenten für den Prozess und das Gesamtsystem ermittelt. Die Wahrscheinlichkeiten für einen Ausfall lassen sich teilweise quantifizieren, insofern ist auch eine quantitative Verwendung der Methode, häufig zusammen mit einer Fehlerbaumanalyse, möglich.

Ziel der FMEA ist das Auffinden von Schwachstellen in Systemen sowie die Feststellung möglicher Einzelfehler, deren Auftreten zum Ausfall des Systems führen, mit dem Ziel, Gegenmaßnahmen treffen zu können. Ausfalleffektanalysen untersuchen nur einzelne Fehler und keine Ausfallkombinationen und können zur Vorbereitung einer Fehlerbaumanalyse dienen.

Untersucht werden die Ausfälle aktiver und passiver Bauteile des Systems sowie die geplanten einzelnen Bedienhandlungen des Personals.

Alle Einzelfehler und alle potentiell zu kritischen oder katastrophalen Ereignissen führenden Fehler werden in einer Liste erfasst. Die Liste wird durch eine qualitative Beurteilung des Risikos für den Betrieb des Systems oder der Komponente und durch eine Begründung für das Verbleiben des für den betrachteten Ausfall verantwortlichen Bauteils für das Restrisiko ergänzt.

Schritte einer FMEA sind:

- Auflistung aller Komponenten
- Identifizierung der Ausfallarten
- Bestimmung der Folgen/Auswirkungen
- Kategorisierung der Auswirkungen auf das Gesamtsystem/die Umgebung und gegebenenfalls der Häufigkeiten
- Bewertung und Vergleich.

### **2.1.1.3 PAAG-Verfahren (Hazard and Operability Analysis - HAZOP)**

Als besonders geeignet für die Untersuchung von Chemieanlagen hat sich die in den 1970'er Jahren bei ICI in Großbritannien entwickelte HAZOP-Verfahren [HAZOP] erwiesen. Dieses Verfahren ist in Deutschland übernommen und unter dem Namen PAAG (Prognose, Auffinden der Ursachen, Abschätzung der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen) bekannt geworden.

Die Vorgehensweise besteht darin, auf der Grundlage einer vollständigen Beschreibung der Anlage alle ihre Teile (Funktionseinheiten) und deren Funktion in Frage zu stellen. Ziel ist dabei, herauszufinden, welche Abweichungen von der Sollfunktion des Anlagenteils, d.h. von seinem bestimmungsgemäßen Betriebszweck, auftreten können. Des Weiteren wird nach denkbaren Gründen für die Abweichung und nach ihren möglichen Folgen gefragt.

Dies wird durchgeführt, indem man systematisch u.a. die Leitworte (s. Tab. 2.1.1.3/1: Leitworte für eine PAAG-Studie) auf Prozessbedingungen, Anlagenfunktionen, Stoffe, Zeit und Ort anwendet:

Leitwort	Bedeutung
Nein oder nicht (kein oder keine)	Verneinung der Sollfunktion
Mehr	Mengenmäßiger Anstieg
Weniger	Mengenmäßige Verringerung
Sowohl als auch	Qualitativer Anstieg
Teilweise	Qualitative Verringerung
Umkehrung	Logische Verkehrung der Sollfunktion
Anders als	Vollständiger Austausch

Tab. 2.1.1.3/1: Leitworte für eine PAAG-Studie

Im allgemeinen treffen die Leitworte auf die Anlagenfunktionen und - möglicherweise mit Ausnahme der Umkehrung - auch auf Stoffe zu. Sie sind gelegentlich sinngemäß zu modifizieren.

Die Untersuchung wird zweckmäßiger Weise von einer Gruppe von Bearbeitern durchgeführt, die unterschiedlich ausgebildet sind. Dabei sollten Disziplinen wie Verfahrenstechnik, MSR- und Elektrotechnik, Sicherheitstechnik, Anlagenauslegung und -betrieb vertreten sein. Die Gruppe sollte von einer Person geleitet werden, die zwar die Untersuchungstechnik beherrscht, aber nicht unbedingt Spezialist für den betrachteten Prozess sein muss.

Grundlage für die Untersuchung einer Anlage sind ihr R+I Fließbild und eine detaillierte Prozessbeschreibung. Die Anlage wird in Funktionseinheiten durchgegangen. Dabei werden Prozessparameter wie Durchfluss, Druck, Temperatur und Konzentration unter Zuhilfenahme der Leitworte betrachtet. Mögliche Gründe und Folgen der dabei gedanklich analysierten Abweichungen werden herausgefunden und Gegenmaßnahmen getroffen. Ziel des PAAG-Verfahrens ist es, alle Gefahrenpotentiale aufzufinden, ihre auslösenden Ereignisse zu identifizieren und die entsprechenden störfallverhindernden bzw. begrenzenden Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen. Die einzelnen Schritte des Verfahrens können – ähnlich wie bei der Ausfalleffektanalyse FMEA – in strukturierter Form dokumentiert werden.

## 2.1.2 Verfahren, die für die quantitative Analyse geeignet sind:

### 2.1.2.1 Ereignisablaufanalyse

Bei der Ereignisablaufanalyse (*DIN 25419*) werden ausgehend von einem definierten auslösenden Ereignis (z. B. Bruch einer Rohrleitung, Ausfall der Energieversorgung) und abhängig von Erfolg oder Versagen dann notwendiger Eingriffe von Sicherheitssystemen, die verschiedenen möglichen Auswirkungen dieses Ereignisses ermittelt. Dabei ist es zweckmäßig, nach anlageninternen und anlagenexternen Ereignissen zu unterscheiden. Anlageninterne Ereignisse sind zum Beispiel:

- mechanisches Versagen von aktiven Komponenten (z. B. Pumpen) und passiven Komponenten (z. B. Rohrleitungen oder Behälter),
- Fehlfunktion oder Ausfall von Regel- Mess- oder Steuereinrichtungen;
- Ausfall von Energie- und Medienversorgung;
- menschliches Fehlverhalten.

Anlagenexterne Ereignisse sind zum Beispiel:

- Naturereignisse wie Blitzschlag, Erdbeben, Überschwemmung;
- Einwirkungen aus anderen Industrieanlagen im Nahbereich;
- Einwirkungen durch Verkehrsmittel (z. B. Flugzeugabsturz oder Explosion eines Tankwagens aufgrund eines Unfalls);
- Sabotage.

Es ist nicht möglich, alle denkbaren auslösenden Ereignisse im Einzelnen zu analysieren. Es reicht vielmehr aus, die wesentlichen zu behandeln, d. h. diejenigen, die in bezug auf Eintrittshäufigkeit und Auswirkung bedeutsam sind.

Die zu erwartenden Häufigkeiten der auslösenden Ereignisse werden im allgemeinen aus Beobachtungen abgeleitet werden. Entweder werden Schätzwerte direkt aus den Betriebserfahrungen gewonnen (z.B. für das Eintreten von Rohrleitungslecks) oder das auslösende Ereignis wird in solche Unterereignisse zerlegt, für die Betriebserfahrungen vorliegen, und die Eintrittshäufigkeit wird dann mit Hilfe der Fehlerbaumanalyse ermittelt. Darüber hinaus gibt es Fälle, in denen die zu erwartende Eintrittshäufigkeit nur durch Expertenurteil geschätzt werden kann.

Je nachdem, welche Gegenmaßnahmen erforderlich und welche Funktionen von Betriebs- oder Sicherheitssystemen zur Durchführung dieser Gegenmaßnahmen vorhanden

sind, ergeben sich aufgrund des nicht auszuschließenden Versagens dieser Funktionen Verzweigungen in den möglichen Ereignisabläufen. Diese lassen sich in einem Ereignisablaufdiagramm (s. Abb. 2.1.2.1/1: Ereignisablaufdiagramm) zusammenfassen:

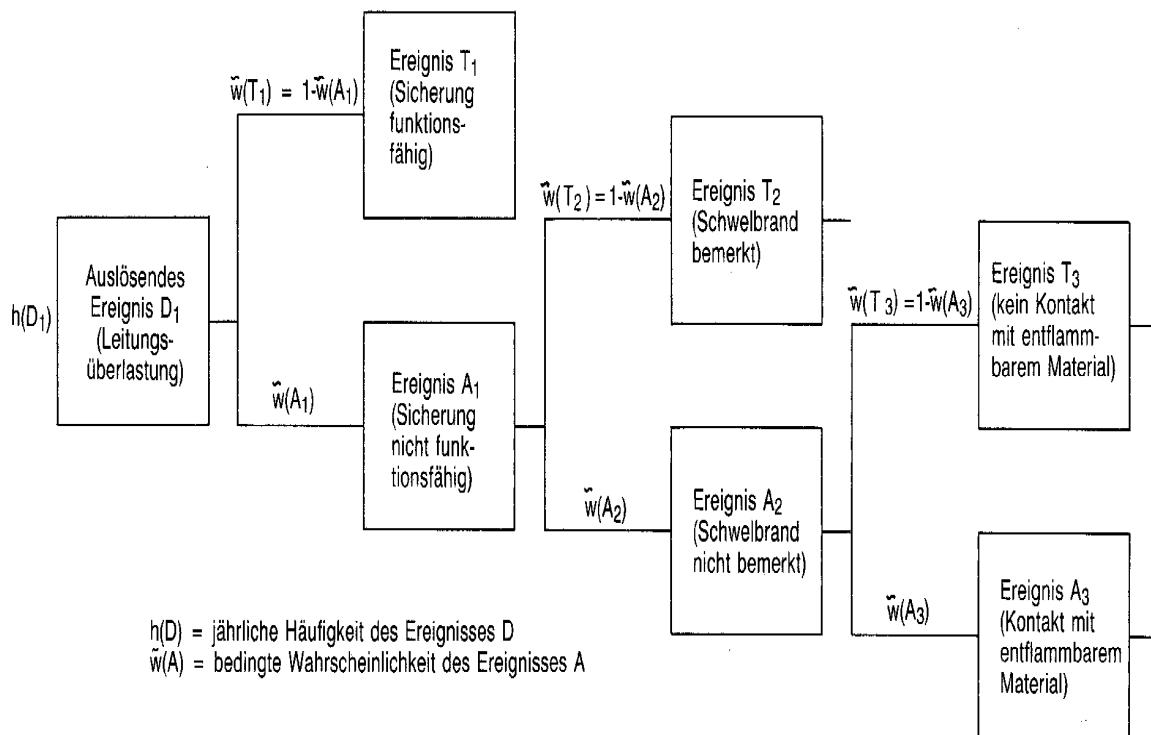


Abb. 2.1.2.1/1: Ereignisablaufdiagramm (DIN 25419)

Welche Systeme ihre Funktion aufrecht erhalten und welche neu angefordert werden müssen, wird durch Simulation des anlagendynamischen Verhaltens festgestellt. Die Simulation stützt sich auf mathematische Modelle für physikalische oder chemische Vorgänge. Jeder Zweig des Ereignisablaufdiagramms ist die statische Beschreibung eines in der Zeit kontinuierlich ablaufenden Vorgangs. Dieser wird durch einige wenige Punkte dargestellt, bei denen in Abhängigkeit vom Funktionieren oder Versagen der benötigten Systeme über den weiteren Verlauf des Prozesses entschieden wird.

Zur Festlegung der Mindestanforderungen für die Erfüllung einer Systemfunktion werden häufig Informationen aus Störfallsimulationen verwendet, die im Rahmen anderer Untersuchungen, beispielsweise im Rahmen eines immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens, durchgeführt wurden. Die Ereignisablaufanalyse lässt sich in zwei Teilaufgaben gliedern, und zwar

- in die systemtechnischen Untersuchungen, die sich mit dem Ereignisablauf beschäftigen, soweit er durch das Eingreifen der Betriebs- und Sicherheitssysteme bestimmt wird und
- in die Untersuchungen, die den weiteren, aus einem angenommenen Versagen von Betriebs- und Sicherheitssystemen resultierenden Ereignisablauf innerhalb der Anlage bis hin zur Freisetzung von Schadstoffen und Energien behandeln.

In die Ereignisablaufdiagramme für die erste Teilaufgabe werden alle Verzweigungen im Ereignisablauf aufgenommen, die aufgrund anlagendynamischer Untersuchungen und der

Anforderungen an die Betriebs- und Sicherheitssysteme von Bedeutung sind. Dabei bedient man sich im allgemeinen der binären Logik, d. h. Systeme werden entweder als voll funktionsfähig oder voll ausgefallen betrachtet und mögliche Zwischenzustände einem der beiden Zustände - in der Regel dem Ausfall - zugeordnet. Die materielle Grundlage für die logische Entscheidung sind dabei die Ergebnisse der anlagendynamischen Untersuchungen, die auf Modellrechnungen, experimentellen Ergebnissen sowie ingenieurmäßigen Einschätzungen fußen.

Dabei werden die möglichen Auswirkungen eines unterstellten auslösenden Ereignisses (z.B. Rohrbruch) untersucht.

Erfolg oder Misserfolg der zur Beherrschung des unerwünschten Ereignisses angeforderten Sicherheitssysteme werden insbesondere mit Hilfe physikalischer und chemischer Analyse ermittelt oder aus Experimenten gewonnen. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich für die quantitative Risikoabschätzung nutzen. Sie bilden die Grundlage für die Erstellung von Fehlerbäumen, aus denen (quantitative) Verzweigungswahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Die Ergebnisse der Wechselwirkungen zwischen dem auslösenden Ereignis und den Sicherheitssystemen werden dabei in einem Ereignisablaufdiagramm dargestellt.

Auslösende Ereignisse können z. B. sein:

- Lecks in Produktleitung
- Rohrbrüche
- Wärmeaustauscherrohrlecks
- Betriebliche Ereignisse, z. B. Stromausfall (Notstrom).

Unsicherheiten der Analyse sind zum Teil in der Festlegung der Mindestanforderungen an die Systemfunktionen zu suchen. Ein Versagen der Systemfunktion wird unterstellt, wenn die Mindestanforderungen an die Systemfunktionen nicht erfüllt werden. Die ungenaue Kenntnis der Parameter zur Beschreibung der physikalischen Vorgänge bei den einzelnen Ereignisabläufen wird durch pessimistische Annahmen der Randbedingungen bei der Ermittlung der Mindestanforderungen kompensiert oder durch Berücksichtigung von „konservativen“ Rechnungen“ festgelegt.

Die Aussagesicherheit der Ergebnisse der Analyse hängt im Wesentlichen mit der Angabe der Ermittlung der Unsicherheit der Eingabegrößen für die physikalischen und probabilistischen Modelle ab, wobei insbesondere der Fehlerfortpflanzung eine besondere Bedeutung beigemessen werden muss. Fehler ergeben sich aus:

- den Unsicherheiten in den Parameterwerten, die aufgrund von unvollständigen Daten geschätzt werden,
- der Modellgenauigkeit; die Modelle beschreiben die Realität der Anlage und ihres Verhaltens vereinfacht,
- der Unsicherheit der Vollständigkeit der Analysen bzgl. aller Abläufe.

Zusätzlich ist bei der praktischen Durchführung der Ereignisablaufanalyse auf folgende Gesichtspunkte zu achten:

- Es können Abhängigkeiten von Systemfunktionen untereinander bestehen. Diese können dadurch begründet sein, dass die Gegenmaßnahmen bei Eintreten eines auslösenden Ereignisses vielfach von Systemen durchgeführt werden, die nicht un-

abhängig voneinander sind. Die Anforderungen an die Systemfunktionen hängen dabei vom jeweils betrachteten Ereignisablauf und von der Art des auslösenden Ereignisses ab.

- Es können systembedingte Folgeausfälle auftreten. Da der Aufbau der Ereignisabläufe, d. h. die Kette der aufeinanderfolgenden Ereignisse, dem zeitlichen Ablauf des Störfalls entspricht, müssen bei jedem Ereignis in der Kette die Folgen der vorausgehenden Ereignisse berücksichtigt werden. Würde beispielsweise Wasser, das aus einem Leck austritt, einen Messfühler eines Schutzsystems funktionsuntüchtig machen, so wäre dies bei später erforderlichen Maßnahmen zu berücksichtigen.

Die Ereignisablaufanalyse wird darüber hinaus für die Erstellung von Störfall-Szenarien für die Beschreibung eines Störfalls, z.B. nach einer Stofffreisetzung oder einem Brand, verwendet.

### **2.1.2.2 Fehlerbaumanalyse**

Die Vorgehensweise bei der Fehlerbaumanalyse sowie Stärken und Schwächen in Bezug auf die Anwendung im Rahmen der Bauleitplanung werden in der Arbeit (Kapitel 4.2) näher erläutert.

### **2.1.3 Verfahren für die halbquantitative Analyse:**

Ein wesentliches Hindernis für die umfassende Nutzung der Fehlerbaumanalyse für Chemieanlagen ist der Mangel an geeigneten Zuverlässigkeitsskenngrößen. Dieser führt bei Analysen zu zeitraubendem und fehlerträchtigem Suchen. Dabei leidet die Qualität der Untersuchungsergebnisse ohnehin darunter, dass mangels anlagenspezifischer Daten die spezielle Situation (Typ von Komponenten, Qualität der Instandhaltung etc.) in einer Anlage nicht vollständig erfasst werden kann. Einige - insbesondere in den USA aktuell sehr populäre Methoden - versuchen daher die Vorteile und Stärken der Ereignisablaufanalyse und Fehlerbäume mit einfachen, praktikablen Ansätzen zur Datenabschätzung bzw. Ermittlung zu verknüpfen.

#### **2.1.3.1 Dow-Index**

Ein Gefährdungsindex wird durch die Erfassung des gefährlichen Inventars der zu untersuchenden Anlage sowie durch eine Bewertung der Stoffe und des angewandten Produktionsverfahrens mit empirisch gewonnenen Faktoren ermittelt [DOW]. Die Methodik wurde ursprünglich zu Versicherungszwecken entwickelt und erlaubt durch Berechnung eines Zahlenwertes das in der betrachteten Anlage vorhandene Gefährdungspotential zu bewerten.

Ein Vorteil dieser Methode ist eine teilweise Vergleichbarkeit der von unterschiedlichen Anlagen ausgehenden Risiken zwischen den Anlagen bzw. Anlagentypen. Allerdings muss die Vorgehensweise dann im Detail festgelegt und transparent gemacht werden. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, „Tools“ für einzelne relevante Kriterien zu ergänzen bzw. im Einzelfall auszuklammern.

Ein gewisser Nachteil besteht im Fehlen von z. B. DIN-Normen für die Anwendung der Methode und einem nicht unerheblichen, subjektiven Beurteilungselement, das bei der Einstufung einzelner Ereignisse bzw. Ereignisabläufe in Punktewerte und bei der Bildung eines Gesamtwertes aus diesen einzelnen Bereichen. Hier muss letztlich eine Abwägung getroffen werden, zwischen einer sehr praktikablen und an den Einzelfall anpassungsfähigen Vorgehensweise und der Bereitschaft, bei der Risikoabschätzung Nachteile in der Genauigkeit zu akzeptieren.

Es gibt eine Reihe von Gefährdungsindizes. Am bekanntesten ist jedoch der „Dow Chemical Company's Fire and Explosion Index“. Mit der Anwendung des Indexes werden die nachfolgend aufgeführten Ziele verfolgt:

1. Quantifizierung des erwarteten Schadens aus möglichen Explosionen, Brand- und Reaktivitätsstörfällen auf realistische Weise
2. Identifizierung der Anlagenteile, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zum Entstehen oder zur Ausweitung eines Störfalls beitragen
3. Bewusstmachen des mit dem Index ermittelten Risikopotentials beim Management.

Nach einem Punktesystem werden Gefahren (z.B. gefährliche Stoffeigenschaften) bewertet; sie führen zu einem Malus. Demgegenüber steht ein Bonus für Sicherheitssysteme.

Trotz der Verwendung von Zahlen bleibt als wesentliches Element des Dow Chemical Company's Fire and Explosion Indexes das Ziel, dem Ingenieur das Schadenspotential der einzelnen Anlagenbereiche vor Augen zu führen und ihm zu ermöglichen, Wege zu finden, das Schadenspotential und den damit verbundenen materiellen Verlust wirkungsvoll und kosteneffizient zu mindern.

Bei der Anwendung des Indexes ist es erforderlich, den gesunden Menschenverstand und gute Urteilskraft sowohl bei der Berechnung als auch bei der Deutung der Ergebnisse walten zu lassen. Das Gefährdungspotential wird verbal durch folgende Einstufungen beschrieben „leicht“, „gemäßigt“, „mittel“, „groß“ und „äußerst groß“

### **2.1.3.2 LOPA (Layer of Protection Analysis)**

Eine neuere Entwicklung auf dem Gebiet der Risikoanalyse für Chemieanlagen ist die Layer of Protection Analysis [LOPA 2001]. Sie beruht auf den Grundgedanken der Ereignisablaufanalyse. Bei ihr werden den auslösenden Ereignissen (z. B. Ausfall einer Kühlmittelpumpe) generische Ausfallraten zugewiesen. Gleiches gilt für die Nichtverfügbarkeiten der Schutzbarrieren, mit denen die auslösenden Ereignisse beherrscht werden sollen (z. B. Begrenzungs- und Abschaltungssysteme). Diese Barrieren müssen voneinander unabhängig sein. Um eine Risikoabschätzung zu erreichen, werden die erwarteten Eintrittshäufigkeiten unerwünschter Ereignisse (z.B. Freisetzung von Gefahrstoffen), die eintreten, nachdem die Barrieren des Systems versagt haben, mit kategorisierten Unfallfolgen verknüpft.

LOPA gibt Abschätzungen der Größenordnung des Risikos, soll aber detailliertere Untersuchungen nicht ersetzen. LOPA findet in der Industrie der USA Anwendung; deutsche

Betreiber entwickeln derzeit Verfahrensweisen, die sich stark an die Vorgehensweise anlehnen.

### **2.1.3.3 SQUAFTA (Semi-quantitative fault tree analysis)**

Im Programmsystem SQUAFTA werden generische Bereiche von Zuverlässigkeitsskenngrößen verwendet. Diese sollen deren Unsicherheiten berücksichtigen, die u.a. dadurch verursacht werden, dass ermittelte Anlagendaten auf eine Anlage mit anderen Bedingungen übertragen werden. Zahlenangaben werden als zusätzliche Hinweise zur Systemverbesserung gemacht. Das Programmsystem beinhaltet Zuverlässigkeitsskenngrößenbereiche für übliche Komponenten von Chemieanlagen, die entsprechend ihrem Funktionsprüfungsintervall durch Angabe einer Kardinalzahl angewählt werden. Entsprechendes gilt für die erwarteten Eintrittshäufigkeiten auslösender Ereignisse und Wahrscheinlichkeiten menschlicher Fehler.

Die Methode erlaubt es, die Vorteile der Fehlerbaumanalyse bei geringem Aufwand zu erzielen. Dazu gehört im Vergleich zu LOPA insbesondere die Möglichkeit, Abhängigkeiten zu erfassen; denn deren Nichtbeachtung führt zu nicht konservativen Ergebnissen bei der Sicherheitsanalyse. Darüber hinaus lassen sich die ermittelten erwarteten Eintrittshäufigkeiten mit Störfallfolgenabschätzungen (z. B. nach LOPA) verbinden, um zu einer Abschätzung des Risikos zu gelangen.

### **2.1.3.4 Risikograph zur Klassifizierung von sicherheitsrelevanten PLT-Einrichtungen**

Eine sehr häufig angewandte halb quantitative Methode ist der Risikograph (DIN V 19250). Er wird bei der Klassifizierung von sicherheitsrelevanten MSR-Einrichtungen bzw. PLT-Einrichtungen sowohl national, als auch international angewendet.

Das Risiko, vor dem sicherheitstechnische Systeme schützen sollen, wird ohne das betrachtete sicherheitstechnische System abgeschätzt. Dabei werden mit Hilfe eines „Risikographen“, der analog der Risikomatrix aufgebaut ist, eine Risikoabschätzung durchgeführt (s. Abb. 2.1.3.4/1: Risikograph aus DIN V 19250 zum Personenschutz):

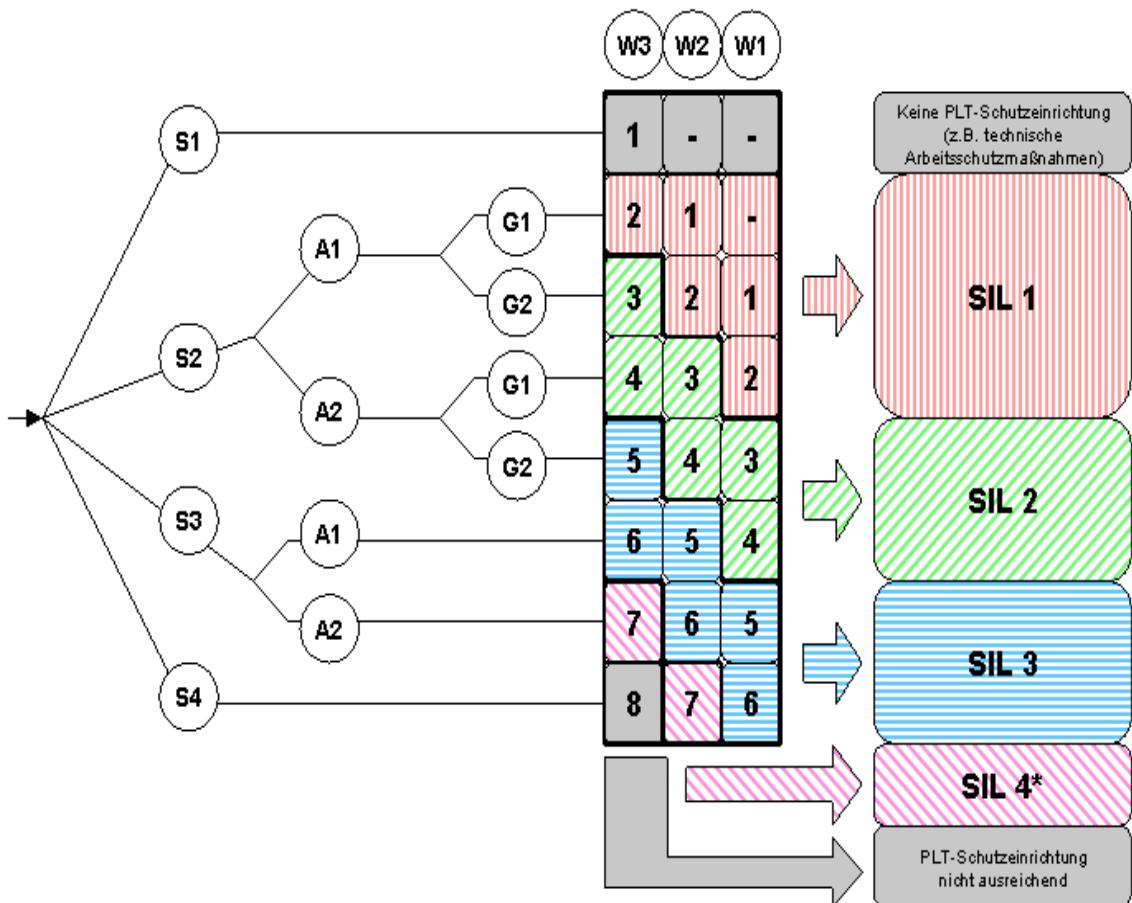


Abb. 2.1.3.4/1: Risikograph aus DIN V 19250 zum Personenschutz  
 (Quelle: VDI/VDE 2180, Entwurf Okt 2005, [Euteneuer 2006])

Da eine exakte Quantifizierung von Risiken bzw. von Teilrisiken oft nicht möglich bzw. sehr aufwendig und schwierig ist, werden zur Vereinfachung Einflussgrößen (Parameter) eingeführt, die es ermöglichen, Art und Höhe der Gefahrensituation bei Versagen, bzw. Nichtverfügbarkeit der PLT-Schutzeinrichtung zu beschreiben.

Die wesentlichen Risikoparameter sind das Schadensausmaß (S1: leichte Verletzung bis S4: katastrophale Auswirkung) sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit (mit W1: sehr gering bis W3: relativ hoch). Außerdem ist bei den Parametern für das Schadensausmaß noch eine gewisse Differenzierung in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer von Personen (A) und von der Möglichkeit der Gefahrenabweitung (G) gegeben.

Mit dieser Vorgehensweise, die in der (2004 zurückgezogenen) DIN V 19250 beschrieben ist und in der VDI/VDE 2180 fortbesteht, erhält man sogenannte Anforderungsklassen. Je höher die Ordnungszahl einer Anforderungsklasse (Anforderungsklassen 1 – 8) ist, desto höher ist das Teilrisiko, das durch das sicherheitstechnische System abgedeckt werden muss und desto strenger sind deshalb die grundsätzlichen Anforderungen an die Schutzeinrichtung.

Auch in die internationale Normung (EDIN IEC 61511-3, sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie, Teil 3: Anleitung für die Bestimmung von Sicherheits-Integritätslevels) hat diese Vorgehensweise Eingang gefunden. Gemäß der EDIN IEC

61511-3 werden sogenannte Sicherheits-Integritätslevel (SIL 1-4) bestimmt, denen Anforderungen an die PLT-Schutzeinrichtung zugeordnet werden.

## **2.2 Neuere Entwicklungen in der quantifizierenden Risikobetrachtung, Faktor Mensch**

### **2.2.1 Mess- und Regelungstechnik**

Seit einigen Jahren ist in der Normung eine deutliche Tendenz zur Quantifizierung der Risikobetrachtung festzustellen. Dies gilt nicht zuletzt für den wichtigen Bereich der Mess- und Regeltechnik. So finden auch wie in dieser Arbeit dargestellt, Definitionen z. B. aus der DIN 19250 oder der *ISO Guide 51*, Eingang in die Risikobetrachtung.

Hier erlangen quantifizierende Betrachtungen zunehmend an Bedeutung. Dies ist für die Risikoabschätzung der von „Sevesobetrieben“ ausgehenden Gefahren von großer Bedeutung. Wie schon dargestellt, sind für eine Risikoabschätzung die Verfügbarkeit von Zuverlässigkeit- und Ausfalldaten verfahrenstechnischer Größen von entscheidender Bedeutung.

### **2.2.2 Menschliche Zuverlässigkeit**

Z. B. aus der Auswertung von Störfällen und Beinahe-Störfällen durch das Bundesumweltamt (ZEMA) ist bekannt, dass der Anteil des Faktors Mensch bzw. des „Anlagenfahrs“ hoch ist. Die prozentualen Angaben schwanken allerdings stark [SFK-GS-32]. Untersuchungen der Zentralen Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA) haben gezeigt, dass über ein Drittel der nach Störfall-Verordnung meldepflichtigen Ereignisse von 1998 durch menschliche Fehler (z. B. Fehler beim Fahren der Anlage) verursacht wurden. Im Vergleich zu den Vorjahren 1993-97 war eher eine steigende als fallende Tendenz dieses Fehleranteils [ZEMA 1998] festzustellen.

Hinter dem genauen Zahlenwert verbirgt sich zusätzlich ein nicht exakt einschätzbarer Dunkelfaktor, da technische und organisatorische bzw. menschliche Fehler nicht immer sicher abzugrenzen sein dürfen. In Grenzfällen wird vielleicht doch eher eine technische Ursache konstatiert, um das Untersuchungsverfahren abzukürzen. Auf der anderen Seite lässt sich bei sehr weitreichender Betrachtung fast jeder Unfall auf menschliches Versagen im weitesten Sinne zurück führen, bis hin zum Konstruktionsfehler eines Anlagenteils oder einer sicherheitstechnisch bedeutsamen Anlagenkomponente.

Des Weiteren ist der eher „dünne“ Detaillierungsgrad der aus der Datenbank herauszulenden Informationen bei der Bewertung zu berücksichtigen. Sehr interessant wäre hier eine eingehendere Analyse und die Entwicklung von „Abschneidekriterien“ für die Zuordnung der Unfälle auf Grund technischer Ursachen und menschlicher Fehlhandlungen. Dies könnte für die Ursachenermittlung und die zu folgernden Maßnahmen hilfreiche Hinweise erbringen.

Um wesentliche Erkenntnisfortschritte zu erreichen, müssten allerdings viele kleinere oder Beinahe-Unfälle in den einzelnen Betrieben systematisch untersucht und unter unterschiedlichen Gesichtspunkten wie Managementfragen, technischer Auslegung und Ar-

beitspsychologie oder –medizin beleuchtet werden. Dies wäre letztlich auch ökonomisch nicht uninteressant, da Anlagensicherheit auch als Standortvorteil verstanden werden sollte.

Alle Faktoren, die die Fähigkeit des Menschen, eine Aufgabe zuverlässig durchzuführen, beeinflussen, werden nach der *VDI 4006 Blatt 1* von November 2002 leistungsbeeinflussende Faktoren (Performance Shaping Factors, PSF) genannt. Im nachfolgenden Diagramm (Tab. 2.2.2/1: Menschliche Leistung) wird zwischen externen, so genannten sachlichen, und internen, so genannten menschlichen leistungsbeeinflussenden Faktoren unterschieden:

Sachliche Leistungsvoraussetzungen				Menschliche Leistungsvoraussetzungen			
Organisatorische Vorbedingungen		Technische Vorbedingungen		Leistungsfähigkeit		Leistungsbereitschaft	
Aufbauorganisation	Ablauforganisation	Aufgabenschwierigkeit	Situative Faktoren	Physische Leistungsfähigkeit	Psychische Leistungsfähigkeit	Physische Leistungsbereitschaft	Psychische Leistungsbereitschaft
Management	Arbeitszeit	Betriebsmittelgestaltung	Arbeitsplatzgestaltung	Konstitution	Mentale Anlagen	Disposition	Innere Motivation (Interesse, Neigung, Stimmungslage)
Entlohnungsformen	Arbeitsvorbereitung	Arbeitsinhalt	Anthropomorphe Gestaltung	Geschlecht	Bildungsniveau	Tagesrhythmis	
Weiterbildung	Arbeitsanweisung	Aufgabenbenauslegung	Gestaltung der Umwelt	Alter	Übung und Training	Krankheit	Äußere Motivation
				Kondition			

Tab. 2.2.2/1: Menschliche Leistung

Sachliche leistungsbeeinflussende Faktoren entstehen durch organisatorische und technische Vorbedingungen. Oft können die leistungsbeeinflussenden Faktoren – im Gegensatz zu den technischen Vorbedingungen - nur verbal beschrieben werden.

### 2.2.3 Zuverlässigkeitsmerkmale

Als Kenngröße für die quantitative Behandlung der Zuverlässigkeit menschlichen Handelns wird die Fehlhandlungswahrscheinlichkeit (*Human Error Probability, HEP*) herangezogen. Eine Schätzgröße (als Erwartungswert *EW*) für die Fehlhandlungswahrscheinlichkeit wird durch das Verhältnis der Zahl *n* der beobachteten Fehlhandlungen zur Gesamtzahl *N* der Durchführungen der Handlung definiert:

$$HEP = n/N$$

Die Fehlhandlungswahrscheinlichkeit wird in Anlehnung an die Ausfallwahrscheinlichkeit technischer Komponenten geschätzt.

Im Vergleich zur Technik zeichnet sich der Mensch aber durch eine ungleich höhere Variabilität und Komplexität aus. Beispielsweise wird ein Mensch in gleichen Situationen sich nicht immer in gleicher Weise verhalten, bzw. eine konstante Funktion ausüben. Hierdurch wird eine genaue statistische Schätzung der Fehlhandlungswahrscheinlichkeit und der Validität der Fehlhandlungswahrscheinlichkeit bei Quantifizierungsverfahren schwierig. Dieser Umstand erfordert zum einen spezielle Methoden zur Bewertung menschlichen Handelns. Zum anderen weisen Zuverlässigkeitskenngrößen zur quantitativen Behandlung der „Systemkomponente“ Mensch erheblich größere Unsicherheiten auf als Kenngrößen technischer Komponenten. Dabei wird zur Ermittlung von Fehlhandlungswahrscheinlichkeiten im Wesentlichen auf Literaturdaten für vergleichbare Handlungen (generische Daten) oder Beobachtungen von Fehlhandlungen in dem zu analysierenden bzw. in einem vergleichbaren Mensch-Maschine-System (systemspezifische Daten) zurückgegriffen.

Einen allgemeinen Überblick über Wahrscheinlichkeiten für menschliche Fehler bei unterschiedlichen Aufgaben gibt die nachfolgende Tabelle (Tab. 2.2.3/1: Aufgabenbeschreibung in Abhängigkeit von den situativen Anforderungen und der kognitiven Belastung):

	Fehlerwahrscheinlichkeit
Einfache und häufig durchgeführte Aufgaben bei geringem Stress und genügend zur Verfügung stehender Zeit in gewohnten Situationen (z. B. ohne ablenkende oder störende zusätzliche Einflüsse, gute Rückmeldung)	$1 \cdot 10^{-3}$
Komplexe und häufig durchgeführte Aufgaben in gewohnten Situationen mit geringem Stress und genügend zur Verfügung stehender Zeit, wobei eine gewisse Sorgfalt bei der Durchführung notwendig ist	$1 \cdot 10^{-2}$
Komplexere und regelmäßig durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	$1 \cdot 10^{-1}$
Komplexere und selten durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	$3 \cdot 10^{-1}$
Hochkomplexe oder sehr selten durchgeführte Aufgaben in ungewohnten Situationen (z. B. ablenkende oder störende Einflüsse, unzureichende Rückmeldung), bei sehr hohem Stress oder geringer zur Verfügung stehender Zeit	$1 \cdot 10^{-1}$

Tab. 2.2.3/1: Aufgabenbeschreibung in Abhängigkeit von den situativen Anforderungen und der kognitiven Belastung

Als weitere wichtige Erkenntnisquellen zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit menschlicher Fehlhandlung sind zu nennen:

- VDI 4008 Blatt 2 (1986) Bool'sches Modell
- VDI 4008 Blatt 3 (1986) Markoff-Zustandsänderungsmodell mit endlich vielen Zuständen

- VDI 4004 Blatt 1 (1986) Zuverlässigkeitsskenngrößen, Übersicht
- VDI 4009 Blatt 1 (1986) Überblick über Zuverlässigkeitstests.

#### 2.2.4 Quantifizierungsmethoden

Die *VDI 4006 Blatt 2* vom Februar 2003 unterscheidet zwischen 7 Quantifizierungsmethoden und 3 Quantifizierungsprinzipien. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick (Tabelle 2.2.4/2: Quantifizierungsprinzipien; Tab. 2.2.4/1: Quantifizierungsmethoden):

<b>ASEP</b>	Accident Sequence Evaluation Program
<b>ESAT</b>	Expertensystem zur Aufgaben-Taxonomie
<b>HCR</b>	Human Cognitive Reliability Model
<b>HCR/ ORE</b>	HCR/ Operator Reliability Experiments
<b>HEART</b>	Human Error Assessment and Reduction Technique
<b>SLIM</b>	Success Likelihood Index Methodology
<b>THERP</b>	Technique of Human Error Rate Prediction

Tab. 2.2.4/1: Quantifizierungsmethoden

Prinzip	Beispiele
Aufgabenbezogene Quantifizierung durch Aufgabenzerlegung und Vergleich mit bekannten Fehlerwahrscheinlichkeiten für Teilaufgaben	THERP (detailliert) ASEP HEART (teilweise)
Zeitbezogene Quantifizierung	HCR HCR/ ORE (normierte Skala) THERP (absolute Zeitskala)
PSF (Performance Shaping Factors: Quantifizierung leistungsbeeinflussende Faktoren)	SLIM, HEART (Nutzung vorgegebener Modelle) HCR/ ORE, ESAT (Zuhilfenahme von Richtlinien zur Modellerstellung)

Tab. 2.2.4/2: Quantifizierungsprinzipien

Die in der *VDI 4006 Blatt 2* näher bezeichnete Vorgehensweise findet zunehmend Anwendung zur Beurteilung des „Faktors Mensch“ in der probabilistischen Risikoanalyse.

##### 2.2.4.1 THERP

Diese Vorgehensweise wurde in der Mineralölindustrie bei der THERP-Methodik, z. B. nach Swain, in Anlehnung an die Vorgehensweise in der Atomindustrie, bereits Anfang der 1980'er Jahre eingeführt ([SFK 1984]; [Swain, Guttmann 1980]). Das Aufgaben bezogene Quantifizierungsprinzip besteht dabei aus der Durchsicht einer Liste von „Human Error Probability's“ (HEP's) mit zugehörigen Aufgabenbeschreibungen und der Auswahl einer HEP, die auf die zu bewertende Handlung am ehesten zutrifft. Das zur Methode

THERP vorliegende Handbuch umfasst eine Liste von rund 100 HEP's, die (in erster Linie) nach Mensch-Maschine-Schnittstellen („HEP's in reading displays“, „HEP's in operating controls“, „HEP's of omission per item of instruction“ etc.) sortiert sind.

Der THERP-Benutzer ist dazu angehalten, durch die Beurteilung leistungsbeeinflussender Faktoren (Performance Shaping Factors – PSF's) die Übertragbarkeit einer ausgewählten HEP zu prüfen und gegebenenfalls Modifizierungen vorzunehmen.

Dieser komplexe Beurteilungsprozess setzt die Kenntnis der im dritten Teil („Human Performance Models and Estimated HEP's“) der im THERP-Handbuch dokumentieren Informationen voraus (so VDI 4006 Blatt 2/ Part 2, S. 27 ff.).

## **2.2.5 Technische Zuverlässigkeitsskennzahlen, Methoden zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines potentiellen Schadens**

Für die im Rahmen der Risikoanalyse ermittelten Versagensarten von System und Komponenten ist jeweils auch deren Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Zuverlässigkeit zu ermitteln. Diese Daten werden benötigt, um z. B. die Verzweigungen in Ereignisablaufdiagrammen mit Wahrscheinlichkeiten belegen zu können bzw. die Häufigkeit der auslösenden Ereignisse festzulegen. Wichtige Zuverlässigkeitsskenngrößen sind z. B.:

- Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung
- Ausfallwahrscheinlichkeit bei Funktions- und Prüfintervallen
- Ausfallwahrscheinlichkeit während der Betriebszeit.

Die erforderlichen Daten für die Zuverlässigkeitssanalyse können auf drei verschiedenen Wegen bereitgestellt werden:

1. Die grundsätzlich optimale Vorgehensweise ist die Auswertung der anlagenspezifischen Daten/Beobachtungen.
2. Sind die anlagenspezifischen und/oder komponentenspezifischen Daten und/oder unvollständig oder statistisch unzureichend, so kann auf generische Daten zurückgegriffen werden. Generische Daten sind solche Zuverlässigkeitssdaten, die auf Betriebserfahrungen in anderen als der zu untersuchenden Anlage beruhen.
3. Wenn die beiden zuvor genannten Wege nicht zum Erfolg führen, so können die Zuverlässigkeitssdaten nur durch Expertenurteil (Engineering judgement) geschätzt werden.

## **2.3 Risikokataster des Kanton Zug (Baudirektion des Kanton Zug 1998)**

Das Risikokataster des Kanton Zug (Schweiz) gibt einen Überblick über die Chemie- und Hochwassergefahren im Kanton und ist eine Grundlage für Beschlüsse der Behörden sowie für die Vorbereitung von Katastropheneinsätzen [Dinkloh 2003]. Es enthält Angaben zu allen Betrieben, die der schweizerischen Störfallverordnung unterliegen sowie zu einer Reihe zusätzlicher Betriebe, die größere Mengen Chemikalien lagern oder verarbeiten. Weiterhin werden auch die von Schienenstrecken und größeren Straßen ausgehenden Risiken durch Gefahrgutunfälle beurteilt. Zusätzlich enthält das Kataster Angaben zu Hochwassergefahren der wichtigsten Gewässer im Kanton.

Ebenso dient es als Informationsquelle für die Bevölkerung, d. h., die Karten und die vorgenommene Bewertung sind „öffentliche“ und stehen z. B. der Nachbarschaft als Diskussionsgrundlage mit Politik oder Anlagenbetreibern zur Verfügung. Dies kann als Ausdruck einer transparenten Umgangskultur mit Gefahrenquellen einschließlich technischer Anlagen gewertet werden. In der Darstellungsform handelt es sich dabei um ein kartographisches Verzeichnis der vorhandenen Gefahrenquellen. Bisher werden aus der Darstellung keine raumplanerischen Maßnahmen bzw. planerischen Vorgaben auf der Ebene der Bauleitplanung in der Schweiz abgeleitet.

Zunächst werden auf Grund der örtlichen Verhältnisse anhand von acht Indikatoren für Personen- und Umweltschäden fünf Schadenausmaßklassen gebildet, die von „Ausmaß klein“ bis zu „Ausmaß sehr groß“ reichen (s. Abb. 2/3/1: Ausmaßbeurteilungsraster (Baudirektion des Kantons Zug 1998)):

Indikatoren	Ausmass-klassen	A1 Ausmass klein	A2 Ausmass mittel	A3 Ausmass erheblich	A4 Ausmass gross	A5 Ausmass sehr gross
Personenschäden	Anzahl Todesopfer		1	10	100	1'000
	Anzahl Verletzte	1	10	100	1'000	10'000
	Anz. Belästigte/ Geschädigte	30	300	3'000	30'000	300'000
Umweltschäden	Kontaminiert Boden [km <sup>2</sup> ]	0.001	0.01	0.1	1	10
	Überschwemm. Boden [km <sup>2</sup> ]	0.01	0.1	1	10	100
	Verschmutztes Grundwasser	Grundw. verschm., Fass. nicht beeintr.	weniger wichtige Fass. verschmutzt	wichtige Fassungen verschmutzt		
	Verschm. Oberflächengewässer	Verschm. Bäche; Verschm. b. Einlauf in Flüsse und Seen	erhebl. Vers. Lorze, Sihl/Wsee; lokale V. Reuss, A'see, Z'see	starke Vers. Lorze, Sihl/Wsee; erheb. V. Reuss, A'see, Z'see	starke Verschmutz. Reuss, Agerisee	starke Verschmutz. Zugersee
	Sachwerte [Mio Fr.]	0.6	6	60	600	6000

Abb. 2.3/1: Ausmaßbeurteilungsraster (Baudirektion Kanton Zug 1998)

Anschließend werden diese Schadenausmaßklassen durch ein Risikobeurteilungsschema (s. Abb. 2.3/2: Risikobeurteilungsschema (Baudirektion des Kantons Zug 1998)) mit Wahrscheinlichkeitsklassen korreliert:

Ausmass-klassen Wahr-scheinl.klassen	A1 Ausmass klein	A2 Ausmass mittel	A3 Ausmass erheblich	A4 Ausmass gross	A5 Ausmass sehr gross
W1 gelegentlich	R2	R3	R4	R5	R5
W2 selten	R1	R2	R3	R4	R5
W3 sehr selten	R0	R1	R2	R3	R4
W4 äusserst selten	R0	R0	R1	R2	R3
W5 unvorstellbar	R0	R0	R0	R1	R2

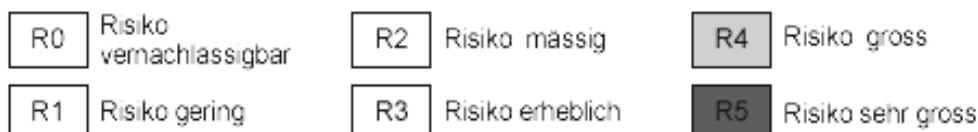


Abb.2.3/2: Risikobeurteilungsschema (Baudirektion Kanton Zug 1998)

Man erhält für sehr unterschiedliche Bereiche (Betriebe; Verkehrswege; Gewässer) qualitative Risikoklassen von „vernachlässigbar“ bis „sehr groß“.

Das Risikokataster des Kantons Zug besteht aus zwei Elementen, einer kartographischen Darstellung und Diagrammen. Die kartographische Darstellung wurde mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) erstellt. Die Risikodaten wurden stark vereinfacht durch Symbole dargestellt, wobei die Größe der Symbole auf die ermittelte Risikostufe eines Betriebes, Verkehrswegeabschnittes oder Gewässers für Mensch und Umwelt hinweist. Das Risikokataster basiert auf einer topographischen Karte im Maßstab 1:25.000, welche zusätzliche Informationen, beispielsweise zum Überbauungsgrad, zu Gewässerschutzbereichen und Naturschutzgebieten liefert.

Als Ergänzung zu der kartographischen Darstellung bieten Diagramme zu jedem untersuchten Objekt weitergehende Informationen. Sie zeigen, welche Risiken jeweils im Vordergrund stehen und welchen Umfang Schäden annehmen können. Dabei wird z. B. zwischen den sehr unterschiedlichen Risikoformen wie Hochwasser und den von Chemiebetrieben ausgehenden Risiken unterschieden.

Die nachfolgende Darstellung zeigt einen Ausschnitt des Risikokatasters des Kantons Zug (Abb.2.3/3: kartographische Darstellung des Risikokatasters des Kantons Zug):

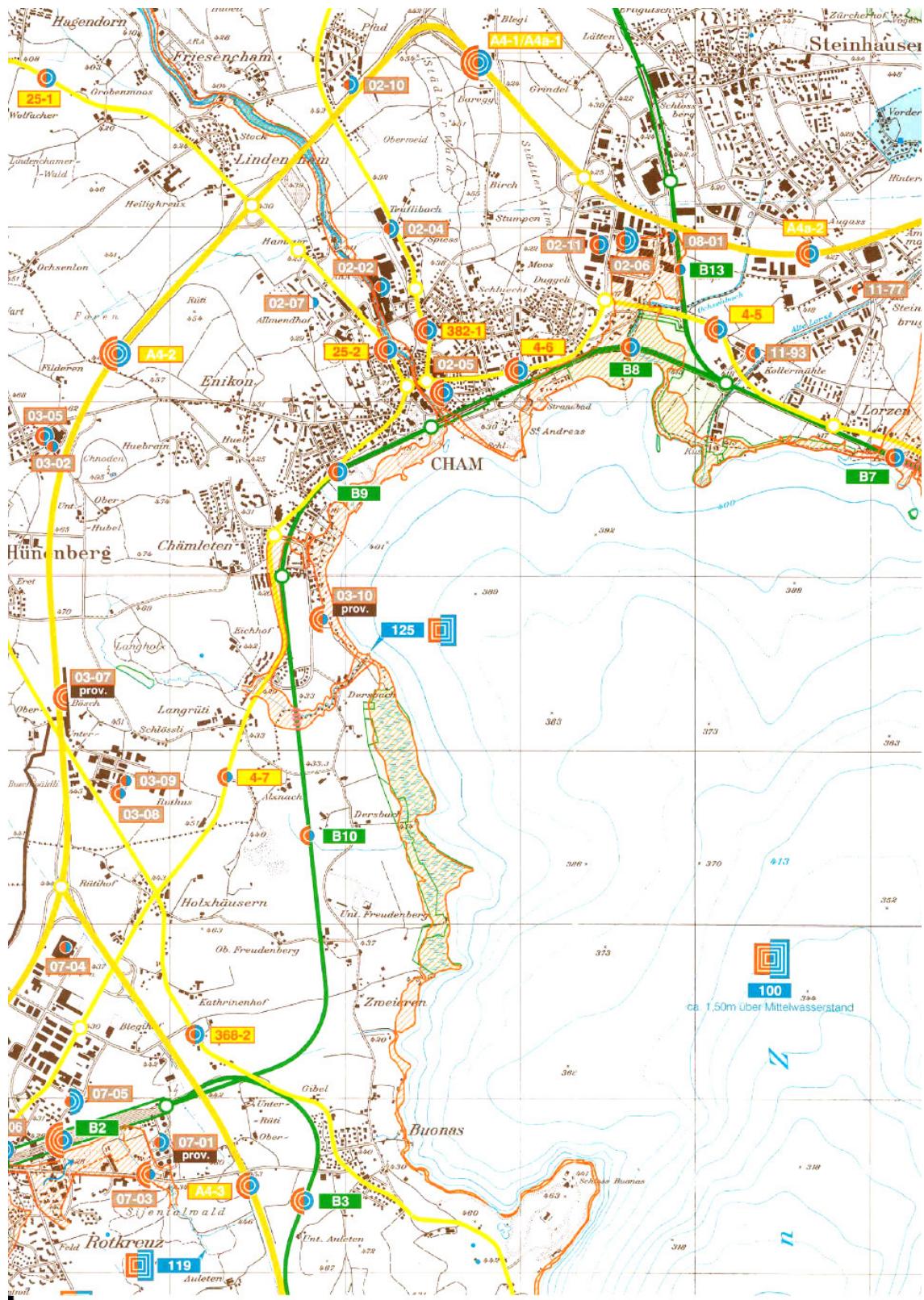


Abb. 2.3/3: kartographische Darstellung, Risikokataster Kanton Zug

Die nachfolgende Abbildung gibt die Legende zum Risikokataster wieder (Abb. 2.3/4: kartographische Darstellung des Risikokatasters des Kantons Zug, Legende):

## Betriebe / Verkehrswege

- |   |  |
|---|--|
| <b>11-03</b>  | Betriebsnummer   |
| <b>N4a-2</b>  | Nummer Nationalstrassenabschnitt                           |
| <b>25-1</b>   | Nummer Durchgangsstrassenabschnitt                         |
| <b>B12</b>  | Nummer Bahnabschnitt                                       |
|  | Nationalstrassenabschnitt<br>mit Abschnittsanfang, -ende   |
|  | Durchgangsstrassenabschnitt<br>mit Abschnittsanfang, -ende |
|  | Bahnabschnitt<br>mit Abschnittsanfang, -ende               |
|  | Erdgas-Hochdruckleitung                                    |

## Gewässer

- 252** Gewässernummer  
— Gewässer

## Chemierisiken

(Detailangaben siehe separate Diagramme)

- | für Mensch | für Umwelt    |
|------------|---------------|
|            | Risikostufe 1 |
|            | Risikostufe 2 |
|            | Risikostufe 3 |
|            | Risikostufe 4 |
|            | Risikostufe 5 |

**prov.** Risikobeurteilung provisorisch

## Gewässerschutz

- Schutzone / Schutzareal hydrogeologisch ausgeschieden
  - Zone hydrogeol. noch nicht ausgeschieden (schematisch dargestellt)
    - Quellfassung
    - Grundwasserfassung

## Naturschutz

- Naturschutzgebiet**  
(genaue Abgrenzung siehe Schutzpläne des Regierungsrates  
bzw. Zonen- und Ortspläne der Gemeinden)

## Überflutungen

-  Überflutete Gebiete für ein Regenereignis QR,  $Q100 < QR < Q1000$  mit Überflutungsrichtung
  -  Gefahr für Autobahn
  -  Gefahr für Bahnlinie und Eisenbahn
  -  Extrem gefährdete Gebäude

## Hochwasserrisiken

(Detailangaben siehe separate Diagramme)

- | für Mensch      | für Umwelt |
|-----------------|------------|
| ■ Risikostufe 1 | ■          |
| □ Risikostufe 2 | □          |
| ■ Risikostufe 3 | ■          |
| ■ Risikostufe 4 | ■          |
| ■ Risikostufe 5 | ■          |

Abb. 2.3/4: kartographische Darstellung Risikokataster Kanton Zug, Legende

### **3. Modelle für die Ausbreitungsrechnungen und Berechnungsbeispiele zu den Szenarien Brand und Explosion**

Nachfolgend werden die bei den Berechnungen in dieser Arbeit in dieser oder sehr ähnlicher Form (Rechenprogramm DISMA, TÜV Rheinland/Berlin-Brandenburg: Besprechung im März 2003 und verschiedene Telefonate in 2005 mit Herrn Dr. W. Kaiser, TÜV Rheinland/Berlin-Brandenburg) verwendeten Modelle beschrieben (Kapitel 3.1 bis 3.8 entnommen: [SFK/TAA-GS-1], Anhang 2).

Zu den Szenarien Brand und Explosion werden zusätzlich Berechnungen von Herrn Prof. Dr. Schönbucher, Universität Duisburg-Essen vorgestellt. Die Berechnungsgrundlagen und Berechnungen wurden im März 2004 von Herrn Prof. Dr. Schönbucher und Herrn Dr. Schalau, BAM, für den gemeinsamen Arbeitskreis von Störfallkommission und Technischem Ausschuss für Anlagensicherheit *AK-Überwachung der Ansiedlung* zusammengestellt, allerdings von diesem Arbeitskreis im Leitfaden [SFK/TAA-GS-1] nicht veröffentlicht.

### 3.1 Freisetzung einer Flüssigkeit

Die aus einer Leckfläche austretende Flüssigkeitsmenge berechnet sich nach [Geike 1993]:

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

Hierbei ist  $\mu$  die Ausflusszahl,  $\rho_{fl}$  die Flüssigkeitsdichte,  $A$  die Leckfläche,  $\Delta p$  der an der Leckstelle herrschende Überdruck,  $g$  die Erdbeschleunigung,  $h$  die Höhe der Flüssigkeitsoberfläche über dem Austrittspunkt der Flüssigkeit und  $\xi$  der Reibungsbeiwert. Die Ausflusszahl liegt im Bereich von 0,61 (scharfkantig) bis 0,92 (runde Düse) (siehe [Kuchling 1994]).

Der Reibungsbeiwert ist im vorliegenden Fall im Wesentlichen eine Funktion der Strahlkontraktion und berechnet sich nach [Geike 1993]:

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

Für die vorliegenden Berechnungen wird eine Ausflusszahl von 0,61 oder 0,62 angenommen und eine mögliche Flüssigkeitssäule oberhalb der Freisetzungsstelle nicht berücksichtigt.

### 3.2 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  $\dot{m}_g$

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

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 berücksichti-

gen:

- 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:

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

$$\dot{Q}_{Verd} = \dot{m} * h_v$$

Hierbei bedeuten:

$\dot{m}_0$	[kg/s]	Ausströmender Massenstrom
M	[kg]	Masse der Flüssigkeit in der Lache
$T_0$	[K]	Temperatur der ausströmenden Flüssigkeit
$T_{fl}$	[K]	Flüssigkeitstemperatur
$c_p$	[J/kg K]	Wärmekapazität (Index 0: der austretenden Flüssigkeit)
$\dot{Q}_B$	[J/s]	Wärmestrom aus dem Boden
$\dot{Q}_{Konv}$	[J/s]	Wärmestrom durch Konvektion
$\dot{Q}_{Str}$	[J/s]	Wärmestrom durch Strahlung
$\dot{Q}_{Verd}$	[J/s]	Wärmestrom infolge Verdunstung

### 3.3 Konvektiver Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeit

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

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

Der Wärmeübergangskoeffizient wird aus dem Ansatz für eine mittlere Nusselt-Zahl bei einer längsangeströmten ebenen Platte in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit  $w$  berechnet [VDI-Wärmeatlas 1998]:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$$

$$Pr = \frac{\eta c_p}{\lambda}$$

$$Re = \frac{w l}{v}$$

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

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

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

Für die Überströmlänge  $l$  wird konservativ der Lachendurchmesser angesetzt.

### 3.4 Wärmestrom aus dem Boden

Als Lösung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung erhält man für den Wärmestrom aus dem Boden wie bei [Lebuser, Schecker 1987] und [Wörsdörfer 1994] dargestellt:

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

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  $R$ , innerer Radius  $r$ ) 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:

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

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 [Brisoe, Shaw 1980] wird folgende Beziehung verwendet:

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

Die Ausbreitung der Lache wird durch die minimale Schichtdicke begrenzt. Als Anhaltswerte können hierzu die bei [Lebuser, Schecker 1987] zitierten Werte verwendet werden:

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

### 3.5 Wärmestrahlung

Eine umfassende Berücksichtigung der Wärmeübertragung durch Strahlung muss nach [Lebuser 1989] 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:

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

Für die solare Einstrahlung werden an wolkenlosen Sommertagen Werte von 0,9 bis 1,4 kW/m<sup>2</sup> angegeben. Bei den Berechnungen wird von 1 kW/m<sup>2</sup> ausgegangen.

### 3.6 Verdunstungsmodell nach Mackay / Matsugu

Aus einer Stoffbilanz in der Grenzschicht oberhalb der Flüssigkeitslache lässt sich, wie bei [Deutsch 1995] 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 lautet ([Lebuser 1989] und dort genannte Lit.):

$$k = 0,0292 u^{0,78} L_c^{-0,11} \left( \frac{v}{D_{AB}} \right)^{-0,67}.$$

hierbei ist die Windgeschwindigkeit  $u$  in [m/h] einzusetzen. Die charakteristische Überströmlänge  $L_c$  ist entweder der Durchmesser einer runden Lache oder die Seitenlänge in Windrichtung einer Auffangwanne. Da bei der Verdunstung die Gaskonzentration in der Luft gering ist, wird für die kin. Viskosität  $v$  der Stoffwert von Luft bei Umgebungstemperatur verwendet.

Der Vergleich dieses Modells mit experimentellen Untersuchungen an Methanollachen ergab bei Deutsch [Deutsch 1995] und bei Lebuser [Lebuser 1989] ausreichende bis große Stoffübergangskoeffizienten.

### 3.7 Schwergasausbreitung

Für die Ausbreitungsberechnung von, im Vergleich zu Luft, schweren Gasen wird die VDI Richtlinie 3783 Blatt 2 "Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungschwerer Gase - Sicherheitsanalyse" 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.

Bei den Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die Gasfreisetzung auf einem Industriegelände mit Gebäuden und Anlagen erfolgt. Die Abstände zwischen den Gebäuden und die Gebäudehöhe kann berücksichtigt werden. Alternativ kann mit der Ausbreitungsklasse ebenes Gelände ohne Ausbreitungshindernisse gerechnet werden.

Es können 19 Ausbreitungsklassen eingegeben werden. Hierzu wurden Windkanalversuche durchgeführt. 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 und 2), dass der Schwergascharakter nicht weiter berücksichtigt werden muss und die Ausbreitungsrechnung mit der VDI Richtlinie 3783 Blatt 1 für leichte und dichteneutrale Gase

Richtlinie 3783 Blatt 1 für leichte und dichteneutrale Gase durchgeführt werden kann. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht schematisch die Vorgehensweise für die verschiedenen Szenarien (Abb. 3.7/1: Schema zur Gefahrstoffausbreitung in der Luft):

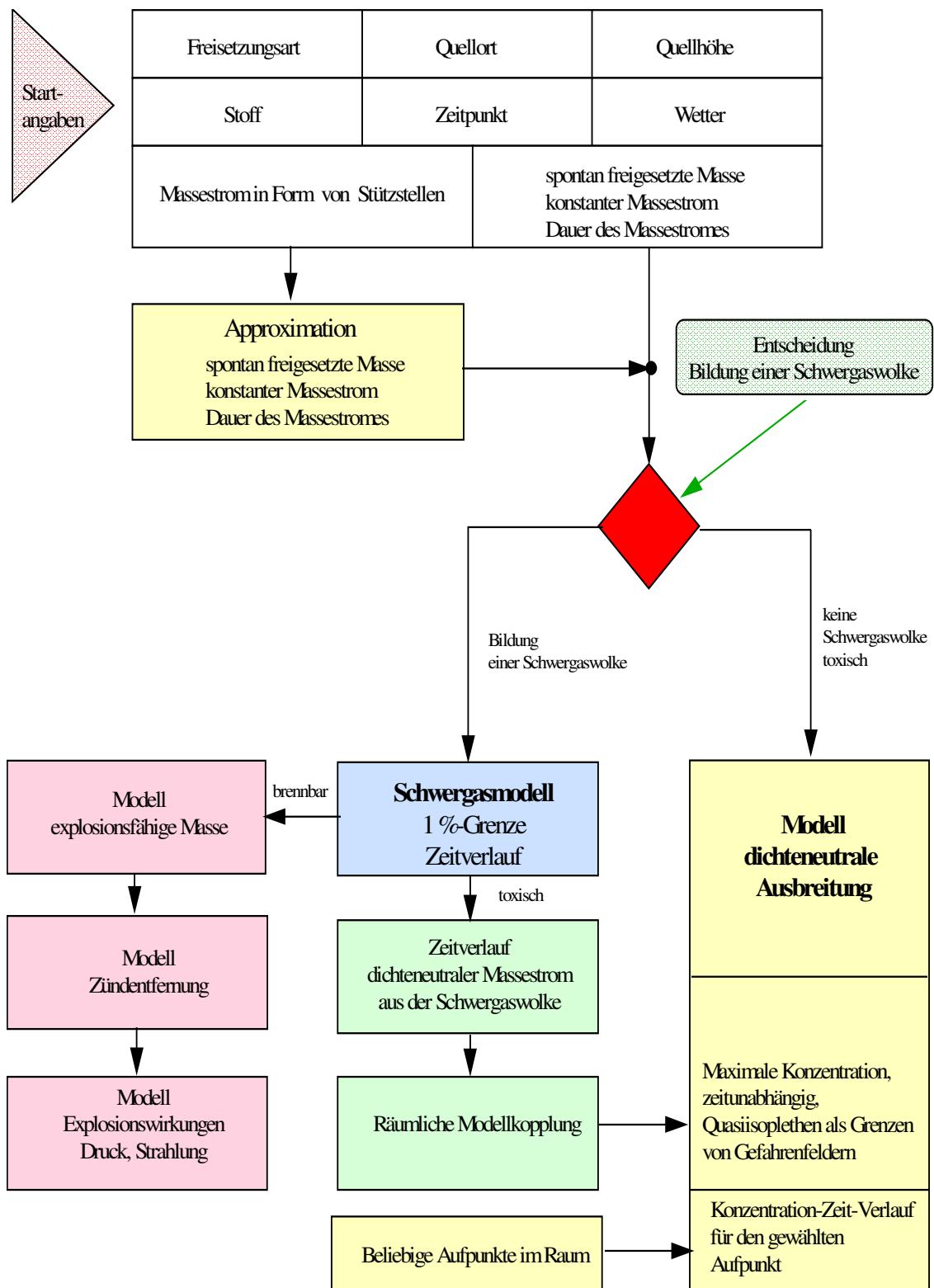


Abb. 3.7/1: Schema zur Gefahrstoffausbreitung in der Luft,  
Quelle: [UBA-FB 20409428, 1999]

### **3.8 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" herangezogen. Die Berechnungsgrundlage ist ein Gauß'sches Ausbreitungsmodell. Es wird die Freisetzung einer Gaswolke in einer Höhe  $h$  über dem Erdboden angenommen, deren Mittelpunkt mit konstanter Windgeschwindigkeit fortbewegt wird. Bei den 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 Gesamtvolume 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 sind verschiedene Ausbreitungssituationen zu unterscheiden.

Ungünstigste bzw. mittlere Ausbreitungssituationen entstehen durch unterschiedliche

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

#### **3.8.1 Vertikale Temperaturschichtungen**

Wie bei Schönbucher und Scheller [Schönbucher, Scheller 1981]) 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

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

wird eine derartige Temperaturschichtung als indifferent (neutral, adiabat) bezeichnet, weil sich ein Luftballon nach einer Steighöhe von 100 m infolge abnehmenden Druckes adiabat um  $-0,98^\circ C$  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 Luftballon ist wärmer als seine Umgebung, so dass der Ballon 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 Luftsichten, 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

Luftballon 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 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.

### **3.8.2 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.

### **3.8.3 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 würde auch Fluorwasserstoff als Dichte neutrales Gas behandelt.

### **3.8.4 Bodenrauhigkeit**

Über die Bodenrauhigkeit wird der Einfluss des Geländes auf die Turbulenz der Atmosphäre und somit auf die Verteilung der Gaswolke berücksichtigt. Es werden hierbei 5 effektive Rauhigkeitslängen  $Z_0$  für verschiedene Geländetypen festgelegt (Tab.3.8.4/1: Rauhigkeitslängen):

<b>Z<sub>0</sub> [m]</b>	<b>Beschreibung des Geländes</b>
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

Tab. 3.8.4/1: Rauhigkeitslängen

Die Turbulenzstruktur im bebauten Gelände (Stadt- oder Industriegebiet) wird maßgeblich durch die Anordnung der Gebäude und Anlagen bestimmt und kann daher 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 Berechnungen der Universität Duisburg-Essen (Prof. Dr. Schönbucher) wird von einer sehr turbulenten Strömung in einem Stadtgebiet ( $Z_0=1,2$  m) ausgegangen.

### 3.9 VDI-Modelle 3783 Blatt 1 und 2, Interpretation der Ergebnisse

Die im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren von den Antragstellern nach den Vorgaben der Störfall-Verordnung vorgelegten Auswirkungsbetrachtungen im Rahmen der Sicherheitsberichte oder sonstiger Sicherheitsbetrachtungen basieren auf den Modell-Annahmen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 (Ausbreitung dichteneutraler und leichter Gase) und 2 (Ausbreitung schwerer Gase). In NRW wird das Landesumweltamt NRW als Obergutachter von den Genehmigungsbehörden regelmäßig mit der Beurteilung der Sicherheitsberichte bzw. Teilsicherheitsberichte im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren beauftragt. Dabei werden vom LUA NRW eigene Berechnungen, ebenfalls auf der Grundlage der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 und Blatt 2, ange stellt.

Bei der Arbeit mit Störfallablaufszenerien ist für die realistische Beurteilung eine Vorstellung über die Unschärfe der gewonnenen Ergebnisse erforderlich. Die Größe der Gefährdungsbereiche ist häufig nicht nur von der freigesetzten Stoffmenge, sondern auch von vielen Annahmen und Voraussetzungen abhängig. In den folgenden Abbildungen werden die Parameter freigesetzte Stoffmenge, Stabilitätsklasse nach TA Luft und Windschwindigkeit variiert, während die anderen Parameter unverändert den mittleren Annahmen entsprechen. Die nachfolgende Abbildung (Abb. 3.9/1: Einfluss der freigesetzten Menge auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches) wird in Zusammenhang mit einem

Vergleich der mit den Rechenprogrammen STOER, DISMA und Pronuss für die Freisetzung des Stoffes Chlor ermittelten Abstände in *Kapitel 7.6.2 Rechenprogramme* der Arbeit bereits wiedergegeben:

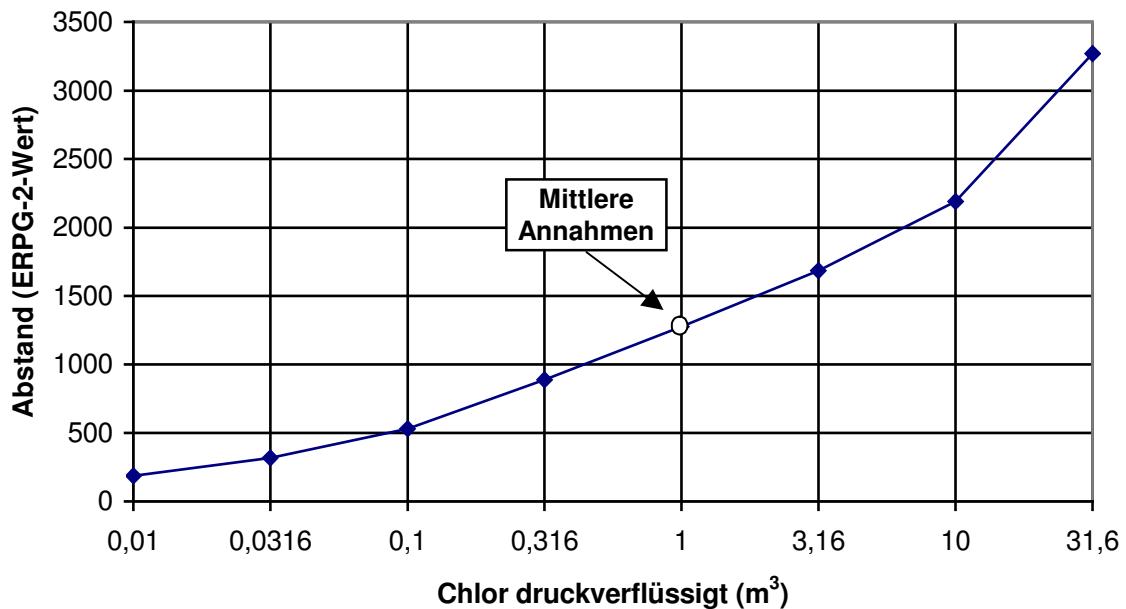


Abb. 3.9/1: Einfluss der freigesetzten Menge auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches  
Quelle: [UFOPLAN 202 09 428]

Als Abstand für die Einhaltung des ERPG-2-Wertes ergibt sich z. B. bei einer freigesetzten Chlormenge von  $1 m^3$  bei mittleren Annahmen ein Abstand von 1.250 m. Ähnliche Überlegungen lassen sich auch für den ERPG-3-Wert etc. anstellen.

Die große Bedeutung der bei der Ausbreitungsrechnung gewählten Stabilitätsklasse nach TA Luft veranschaulicht die nachfolgende Darstellung (Abb. 3.9/2 Einfluss der Stabilitätsklasse auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches):

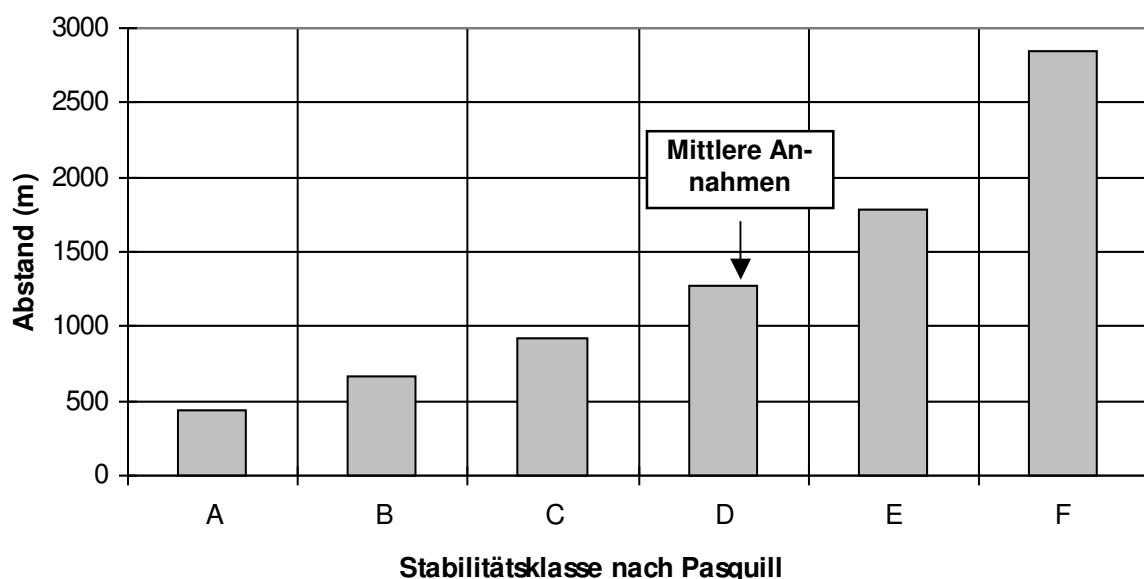


Abb.3.9/2: Einfluss der Stabilitätsklasse auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches,  
Quelle: [UBA-FB 20409428, 1999]

Der große Einfluss der Stabilitätsklasse wird in *Kapitel 8.1 Freisetzung toxischer Stoffe, Beispiel Chlor* der Ausbreitungsrechnungen für mittlere und ungünstige Ausbreitungsbedingungen beispielhaft für die Freisetzung des Stoffes Chlor (Behälterversagen) gezeigt.

Den wesentlichen Einfluss der angenommenen Windgeschwindigkeit, wieder am Beispiel der Freisetzung des Gefahrstoffes Chlor (druckverflüssigt, 1 m<sup>3</sup>), verdeutlicht die nachfolgende Abbildung (Abb.3.9/3: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches):

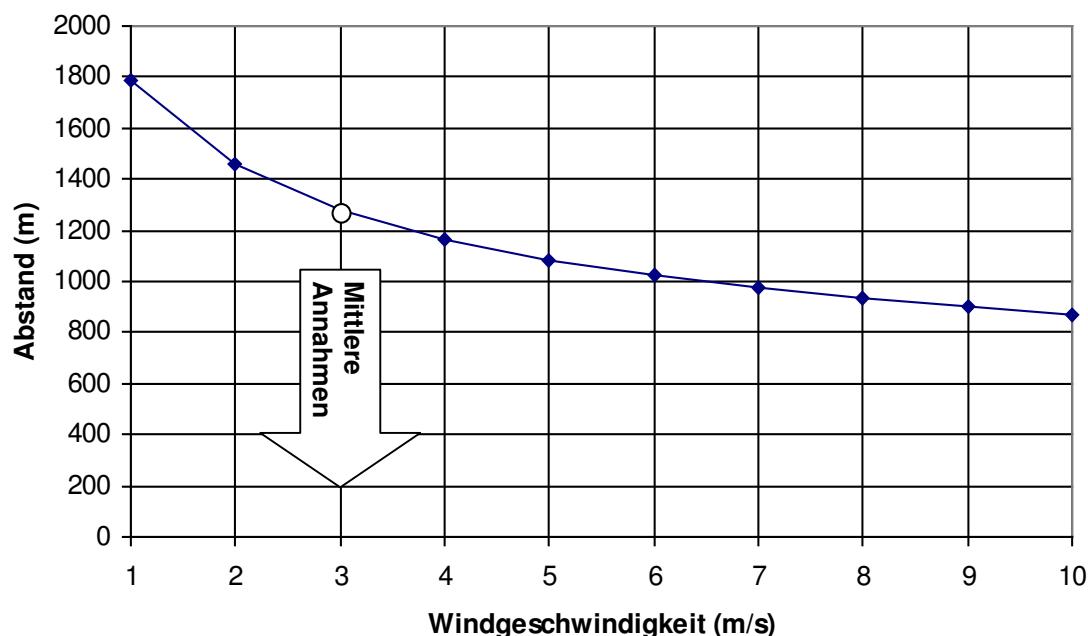


Abb.3.9/3: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Ausdehnung des Gefahrenbereichs,  
Quelle: [UFOPLAN 202 09 428]

### 3.10 Modelle und Berechnungsbeispiele zu den Szenarien Brand und Explosion von Prof. Dr. Schönbucher, Universität Duisburg-Essen

Nachfolgend werden Berechnungsbeispiele und zu Grunde liegende Modelle von Herrn Prof. Dr. Schönbucher, Universität Duisburg-Essen, für die Szenarien Brand und Explosion wiedergegeben. Diese Berechnungen wurden von Herrn Dr. Schalau, BAM, für den AK-Überwachung der Ansiedlung der Störfallkommission im März 2004 zusammengestellt.

#### 3.10.1 Brand: Randbedingungen, Berechnungsgrundlagen und Modelle

Bei den Berechnungen wurden die nachfolgend vorgestellten Annahmen verwendet (Tab. 3.10.1/1: Randbedingungen, Berechnungen der Universität Duisburg-Essen):

##### Leckage, z. B. Abriss einer Rohrleitung

Betrachtete Rohrleitungs durchmesser	DN 15, DN 20, DN 25, DN 32, DN 40, DN 50
Temperatur des Gefahrstoffs	20 °C
Betriebsdruck	2 bar, Pumpendruck

Aggregatzustand	flüssig;
Ausflusszahl	0,62 (scharfkantig)
Freisetzungsdauer	10 Minuten

### Lachenbildung

Untergrund	Beton
------------	-------

### Lachenbrand

mittlere spezifische Wärmestrahlung, Gefahrstoff unabhängig	100 kW/ m <sup>2</sup>
Zeitdauer	10 Minuten

Tab. 3.10.1/1: Randbedingungen, Berechnungen der Universität Duisburg-Essen

#### 3.10.1.1 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 gefährdeten 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,  $\varepsilon_F$  der Emissionsgrad der Flamme,  $\sigma$  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-Wärmealas [VDI-Wärmealas] 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 [Seeger 1987] betrachtet wird (Abb. 3.10.1.1/1: Sichtbare strahlende Fläche bei einer zylindrischen Flamme):

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

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

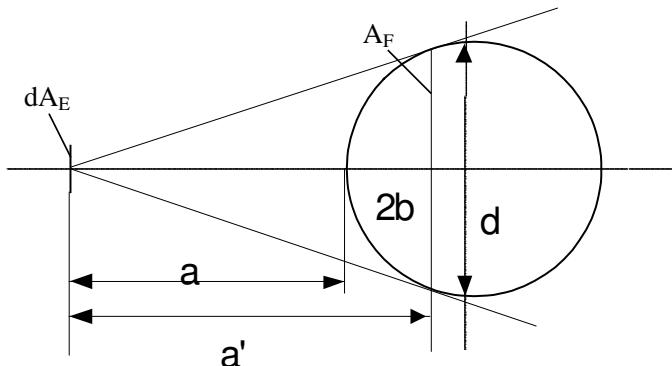


Abb.3.10.1.1/1: Sichtbare strahlende Fläche bei einer zylindrischen Flamme

Wie in der Literatur [Literatur Brand] ausführlich diskutiert, ist durch die großen Temperaturschwankungsbreiten innerhalb der Flamme eines Kohlenwasserstoffbrandes und durch die schwierige Definition der Flammenfläche bei Experimenten eine mittlere Flammen-temperatur nur mit großer Unsicherheit zu bestimmen, z. B. geht das Zylinder-Flammenstrahlungsmodell [Seeger 1979] für eine Flamme (Dieselkraftstoff) von einer mittleren Flamentemperatur von ca. 900 °C bei einer mittleren spezifischen Ausstrahlung von 100 kW/m<sup>2</sup> aus.

Der Vergleich mit Messungen zeigt, dass bei kleineren Branddurchmessern von 1 - 5 m die obere Grenze der mittleren spezifischen Ausstrahlung von 100 kW/m<sup>2</sup> erreicht wird und mit Zunahme des Branddurchmessers bzw. größerer Rußbildung die mittlere spezifi sche Ausstrahlung und damit auch die mittlere, effektive Flamentemperatur 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/m<sup>2</sup> vorausgesetzt.

Neben der Flamentemperatur 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 er-

reichen muss die Schichtdicke der Lache entsprechend der Abbrandgeschwindigkeit ausreichend groß sein. Bei experimentellen Untersuchungen in Brandwannen bis 500 m<sup>2</sup> wurden folgende Abbrandgeschwindigkeiten gemessen:

Pentan	8 – 12 mm/min
Superbenzin	4 – 5 mm/min
Dieselkraftstoff	3 – 4 mm/min.

Burgess u. a. entwickelten eine empirische Beziehung zur Berechnung der Abbrandgeschwindigkeit v<sub>a</sub> aus dem Heizwert H<sub>c</sub> und der Verdampfungsenthalpie h<sub>v</sub>

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

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 [Literatur Brand] zeigt, variiert das experimentell oder theoretisch abgeleitete Flammenlänge-Flammendurchmesser-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 der Literatur angegebene Wärmestrahlung in Verbindung mit der Flammengeometrie zu verwenden.

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

$$\text{H/d} \geq 3: \quad \frac{H}{d} = 42 \left( \frac{v_a \rho_f}{\rho_{Luft} \sqrt{gd}} \right)^{0,61}$$

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

### 3.10.1.2. Brand, Berechnungsbeispiele Universität Duisburg-Essen

Beispielhaft betrachtet werden die Stoffe Methanol, Ethylenoxid und Benzol (Tab. 3.10.1.2/1: Methanol, Berechnungen; Tab. 3.10.1.2/2: Ethylenoxid, Berechnungen; Tab. 3.10.1.2/3: Benzol, Berechnungen):

Rohr-nennweite	Massenstrom (kg/s)	Lachendurchmesser/ Flammenhöhe (m)	Entfernung (m) 1,6 kW/m <sup>2</sup>	Entfernung (m) 3 kW/m <sup>2</sup>
DN 15	1,66	10,7 / 12,7	42	29
DN 20	2,96	14,3 / 16,4	56	38
DN 25	4,62	17,8 / 19,9	68	46
DN 32	7,57	22,8 / 24,7	85	59
DN 40	11,82	28,5 / 30,0	105	72
DN 50	18,47	35,7 / 36,5	129	88

Tab. 3.10.1.2/1: Methanol, Berechnungen

Rohr-nennweite	Massenstrom (kg/s)	Lachendurchmesser/ Flammenhöhe (m)	Entfernung (m) 1,6 kW/m <sup>2</sup>	Entfernung (m) 3 kW/m <sup>2</sup>
DN 15	1,75	6,7 / 10,8	34	24
DN 20	3,11	8,9 / 13,9	44	31
DN 25	4,86	11,2 / 17,0	55	38
DN 32	7,96	14,3 / 21,0	69	47
DN 40	12,43	17,9 / 25,6	85	59
DN 50	19,43	22,3 / 31,0	104	72

Tab. 3.10.1.2/2: Ethylenoxid, Berechnungen

Rohr-nennweite	Massenstrom in kg/s	Lachendurchmesser/ Flammenhöhe (m)	Entfernung (m) 1,6 kW/m <sup>2</sup>	Entfernung (m) 3 kW/m <sup>2</sup>
DN 15	1,76	5,2 / 9,9	29	19
DN 20	3,11	7,0 / 12,8	38	25
DN 25	4,87	8,7 / 15,5	46	30
DN 32	7,97	11,1 / 19,2	59	38
DN 40	12,46	13,9 / 23,4	72	46
DN 50	19,46	17,4 / 28,4	89	57

Tab. 3.10.1.2/3: Benzol, Berechnungen

Aus den Ergebnissen wird für die weit verbreiteten Beispielstoffe deutlich, dass im Vergleich zur Freisetzung gasförmiger sehr giftiger Stoffe, kleine Abstände die Gefahren durch Wärmestrahlung erheblich reduzieren.

Bei den angenommenen Modellen sind bei einer Entfernung von 100 m selbst bei einer Freisetzung über ein DN 50 Leck keine irreversiblen Gesundheitsschäden zu erwarten.

### 3.10.2 Explosionen: Randbedingungen, Berechnungsgrundlagen und Modelle

Nachfolgend werden die für die Störfallauswirkungsbetrachtungen gewählten Randbedingungen für das Szenarium Explosion zusammengefasst (Tab. 3.10.2/1: Randbedingungen Explosion, Universität Duisburg-Essen):

#### Abriss einer Rohrleitung

Betrachtete Rohrleitungs durchmesser	DN 15, DN 20, DN 25, DN 32, DN 40, DN 50
Temperatur des Gefahrstoffs	20 °C
Betriebsdruck	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.

Tab. 3.10.2/1 Randbedingungen Explosion, Universität Duisburg-Essen

Bei einer gasförmigen Freisetzung aus einer verfahrenstechnischen Anlage kann davon ausgegangen werden, dass dies unter erhöhtem Druck erfolgt, so dass sich ein Freistrahlf ausbildet. 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.

#### 3.10.2.1 Modelle

Große Gaswolken mit entsprechend 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 [Wiekema 1980] herangezogen. Mit diesem Modell kön-

nen 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.

$S = 40 \text{ m/s} :$	$\frac{\Delta p}{p_0} = 0.02 \frac{L}{R}$
$S = 80 \text{ m/s} :$	$\frac{\Delta p}{p_0} = 0.06 \frac{L}{R}$
$S = 160 \text{ m/s} :$	$\frac{\Delta p}{p_0} = 0.15 \frac{L}{R}$

$$L = \left( \frac{2}{3} \pi r_0^3 \frac{3,510^{-6} [\text{J} / \text{m}^3]}{p_0} \right)^{1/3}$$

Der Radius R wird vom Mittelpunkt der als Halbkugel idealisierten Gaswolke gemessen. Der Radius der Halbkugel beträgt  $r_0$  und wird aus der gesamten explosionsfähigen Masse und der unteren Explosionsgrenze berechnet. Als Umgebungsdruck  $p_0$  wird ein Wert von 1,013 bar<sub>abs</sub> angenommen.

Einflussparameter auf die Ergebnisse dieses Modells sind 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 [Giesbecht 1980] u. a. wird der in der Praxis meist nicht vorliegende ideale stöchiometrische Mischungsgrad im Volumenvergrößerungsfaktor berücksichtigt, der im Idealfall 7 beträgt. Für Modellierungen von Störfall bedingten, und somit unbestimmten Mischungsverhältnissen, wird in Übereinstimmung mit in diesem Kapitel genannten Literatur der Volumenvergrößerungsfaktor 3,5 angesetzt. Hierdurch wird die unvollständige Verbrennung bei der Deflagration von Brenngasmischwolken (ca. 30 % der Gesamtmenge) berücksichtigt. Die Berechnung der Flammengeschwindigkeit erfolgt nach

$$S = 0.7 v S_1 e_{\text{DW}}^{1/4} E_{\text{Gas}}^{1/6}$$

hierbei bedeuten:

v [ ]	Volumenvergrößerungsfaktor = 3.5
$S_1 \text{ [m/s]}$	laminare Flammengeschwindigkeit ( ca. 0,5 m/s)
$e_{\text{DW}} \text{ [kJ/kg]}$	an die Umgebung abgegebene physikalische Arbeit = 60 kJ/kg
$E_{\text{Gas}} \text{ [MJ/kg]}$	verfügbare Verbrennungsenergie = unterer Heizwert x Masse

Die Beziehung für die Flammengeschwindigkeit wurde aus den Messungen der Deflagration einer Propylen/Luft-Wolke nach einem Behälterbersten ermittelt. Die Flammengeschwindigkeiten bei anderen Freisetzungarten (Freistahl, 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.

### 3.10.2.2 Berechnungen für den Stoff Propan

Beispielhaft ergeben sich die für das Szenario Rohrabriss von der Universität Duisburg-Essen gerechneten Werte (Tab. 3.10.2.2/1: Propan, Berechnungen):

Rohrnennweite	Massenstrom (kg/s)	untere Zünddistanz (m)	explosionsfähige Masse (kg)	Entfernung (m) 0,03 bar	Entfernung (m) 0,1 bar
DN 15	2,54	44	28	67	-
DN 20	4,52	55	56	95	48
DN 25	7,06	66	95	124	60
DN 32	11,57	80	172	167	78
DN 40	18,07	96	293	219	100
DN 50	28,24	114	501	288	126

Tab. 3.10.2.2/1: Propan, Berechnungen

Aus den Ergebnissen für den weit verbreiteten Beispielstoff Propan wird deutlich, dass relativ kleine Abstände die Gefahren durch Explosionen auf ein beherrschbares Maß reduzieren. Bei den angenommenen Modellen sind bei einer Entfernung von 200 - 300 m selbst bei einer Freisetzung über ein DN 50 Leck keine erheblichen Gesundheitsschäden zu erwarten.

Größere Gebäudeschäden können schon bei einer Distanz von gut 100 m ausgeschlossen werden.

## 3.11 Belastungen durch Wärmestrahlung und Druckwirkungen

Nachfolgend werden wesentliche Kennzahlen zur Einschätzung der mit den Szenarien Brand und Explosion verbundenen Wirkungen auf Menschen und Gebäude zusammengefasst.

### 3.11.1 Wärmestrahlung

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 (Tab.3.11.1/1: Wirkung/Entzündung ohne Schutzmaßnahmen) zusammengestellt:

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

Tab. 3.11.1/1: Wirkung/Entzündung ohne Schutzmaßnahmen

Die hinsichtlich der Zulässigkeit kritischen Bestrahlungsstärken beliebiger Dauer ( $P''_\infty$ ) sind in der folgenden Tabelle (Tab. 3.11.1/2: Kritische Bestrahlungsstärken) angegeben:

<b>Objekt/ Wirkung</b>	<b>Kritische Bestrahlungsstärke (kW/m<sup>2</sup>)</b>
Grenze für nachteilige Wirkungen	1,6
Empfindliche Gebäude: Krankenhäuser, Altenheime, Schulen, Wohnhäuser	2,0
Öffentliche Straßen	4,5
Grenze für wahrscheinl. Feuerübertragung	8,0
Ungekühlte Lagertanks	10,0
Fabrikgebäude: Leitwarten, Werkstätten	12,6
Gekühlte Lagertanks	37,8

Tab. 3.11.1/2: Kritische Bestrahlungsstärken

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 Einwirkungsdauern 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 eine Exponentialfunktion mit einer Zeitkonstanten  $\tau$  beschrieben werden kann, gilt auch:

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

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

dauer  $t_{Sch}$  bis zum Erreichen der Schmerzgrenze von der Bestrahlungstärke ( $P''_{Str}$ ) ist in der folgenden Tabelle (Tab.3.11.1/3: Bestrahlungsstärke und Schmerzgrenze) enthalten:

$P''_{Str}$ in $\text{kW/m}^2$	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

Tab. 3.11.1/3: Bestrahlungsstärke und Schmerzgrenze

Bei einer Bestrahlungsstärke von  $10,5 \text{ kW/m}^2$  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  $5 \text{ kW/m}^2$  ist ein kurzfristiger Feuerwehreinsatz möglich. In besonderen Schutzzügen sind auch noch Belastungen mit  $8 \text{ kW/m}^2$  zulässig. Für Menschen kann eine Bestrahlungsstärke von  $1,6 \text{ kW/m}^2$  als Beginn nachteiliger Wirkungen betrachtet werden. In den Auswirkungsbetrachtungen werden in den Berechnungen der Universität Duisburg-Essen dieser Wert und der im europäischen Ausland verwendete Wert von  $3 \text{ KW/ m}^2$  berücksichtigt.

### 3.11.2 Belastungen durch Druckwirkungen

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 eine Auswahl aus der umfangreicheren Zusammenstellung in einem für das UBA von der BAM erarbeiteten Forschungsbericht [UBA-FB 92-026, 1992].

Glasscheiben werden schon bei geringen Spitzenüberdrücken zerstört. Die folgende Tabelle (Tab. 3.11.2/1: Spitzenüberdruck und Schadensbild) gibt einen Überblick zum Glasbruch:

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

Tab 3.11.2/1: Spitzenüberdruck und Schadensbild

Den Zusammenhang zwischen Schäden an Häusern und den Spitzenüberdrücken veranschaulicht die nächste Tabelle (Tab. 3.11.2/2: Spitzenüberdruck und Schadensbild an Gebäuden):

<b>Schadensbild</b>	<b><math>\Delta p</math> (bar)</b>
Schäden an Fensterrahmen, Türen, Dächern	0,005
Geringe Schäden an Dächern	0,020
Gelegentl. Beschädigung von Fensterrahmen, Risse im Mauerputz	0,035
Zerstörung der Dächer und Wände von Holzhäusern	0,06
Zerstörung Seitenwandverkleidungen	0,075
Beschädigung des Außenputzes	0,085
Zerstörung gemauerter Wände	0,10
Zerstörung von Wänden aus Ziegel- und Schlackesteinen	0,13
Zerstörung von 20 bis 30 cm dicken Ziegelsteinausfachungen	0,15
Mittlere Schäden an Fachwerkgebäuden	0,20
Zerstörung 24er Mauerwerk	0,25
Schwere Schäden an Fachwerkgebäuden	0,31
Nahezu vollständige Zerstörung üblicher Gebäude	0,40
Zerstörung 50er Mauerwerk	0,50

Tab. 3.11.2/2: Spitzendruck und Schadensbild an Gebäuden

Den Zusammenhang zwischen Schäden an Anlagenteilen und den Spitzenüberdrücken zeigt eine weitere Tabelle (Tab.3.11.2/3: Spitzenüberdruck und Schäden an „Anlagenteilen“):

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

Tab. 3.11.2/3: Spitzenüberdruck und Schäden an Anlagenteilen

Den Zusammenhang zwischen Personenschäden und den Spitzenüberdrücken enthält die abschließende Tabelle (Tab. 3:11.2/4 Spitzenüberdruck und Personenschäden):

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

Tab. 3.11.2/4 Spitzenüberdruck und Personenschäden

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

#### **4. Konzentrationswerte**

Neben einer Auswahl der im Rahmen der Bauleitplanung bedeutsamen Szenarien zur Beurteilung der von „Sevesobetrieben“ für die Schutzgüter Mensch, Umwelt und Sachwerte ausgehenden Gefahren müssen die ermittelten Faktoren in ihrer Bedeutung analysiert werden. Hierzu sind in einem ersten Schritt Randbedingungen wie die örtlichen Verhältnisse, benachbarte Betriebe und die Nähe zur nächsten Wohnbebauung von besonderer Bedeutung. In einem weiteren Schritt ist ein Beurteilungsmaßstab für die „Verträglichkeit“ der ermittelten Auswirkungen insbesondere für die am nächsten gelegene Wohnbebauung zu bestimmen. Dies kann durch die Auswertung historischer Daten aus Ereignissen oder mit Hilfe von Berechnungsmodellen geschehen. Voraussetzung zur Ermittlung von Abständen sind jedoch Bezugswerte in Form von Konzentrations- oder Dosiswerten. Eine Übersicht über die Vielzahl unterschiedlicher Beurteilungswerte vermittelt die umfangreiche Zusammenstellung in [SFK-GS-17].

Als Konzentrationswerte kommen für die Bauleitplanung und die immissionsschutzrechtliche Anlagenzulassung insbesondere die AEGL- und die ERPG-Werte in Betracht ([AEGL]; [ERPG]). Da die Werte für jeden einzelnen Stoff ermittelt werden müssen, ist die Verfügbarkeit von Werten ein ganz wesentlicher Gesichtspunkt der Auswahl. Die ERPG-Werte werden von der American Industrial Hygiene Association (AIHA) festgelegt. Es gibt zur Zeit Werte für 113 Stoffe (Stand: Februar 2006).

##### **4.1 AEGL-Werte**

Im Jahr 1996 startete das AEGL-Programm, in dem das National Advisory Committee (NAC) on Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances auf Betreiben der amerikanischen Umweltbehörde U. S. Environmental Protection Agency (EPA) etc. AEGL's entwickelt. AEGL's durchlaufen einen mehrstufigen Prozess bis zur endgültigen Freigabe. Aktuell mit Stand Februar 2006 sind für 24 Stoffe "final" AEGLs, für 62 Stoffe "interim" AEGL's und für 86 Stoffe "proposed" AEGL's veröffentlicht. Weitere 13 Stoffe befinden sich im "holding" Status. Für diese sind noch keine Werte vorgeschlagen worden. AEGL-Werte werden vom *National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances (NAC/ AEGL Committee)* entwickelt. Die nachfolgende Abbildung gibt die Definitionen und Merkmale der Einstufungen wieder (Abb. 4.1/1: Charakteristika der AEGL's):

Merkmal(e)	Definitionen
Lebensbedrohliche gesundheitliche Auswirkungen	
Irreversible Gesundheitseffekte; Fluchtfähigkeit beeinträchtigt	<b>AEGL-3</b> ist die luftgetragene Stoff-Konzentration (ausgedrückt in ppm oder mg/m <sup>3</sup> ), ab der vorhergesagt wird, dass die allgemeine Bevölkerung lebensbedrohliche oder tödliche Gesundheitseffekte erleiden kann. Luftgetragene Stoff-Konzentrationen unterhalb des AEGL-3- aber oberhalb des AEGL-2-Wertes bedeuten Expositionshöhen, die irreversible oder andere schwerwiegende, lang andauernde Gesundheitseffekte hervorrufen oder die Fähigkeit zur Flucht beeinträchtigen können.
Spürbares Unwohlsein, Flucht möglich	<b>AEGL-2</b> ist die luftgetragene Stoff-Konzentration (ausgedrückt in ppm oder mg/m <sup>3</sup> ), ab der vorhergesagt wird, dass die allgemeine Bevölkerung irreversible oder andere schwerwiegende, lang andauernde Gesundheitseffekte erleiden oder bei denen die Fähigkeit zur Flucht beeinträchtigt sein kann. Luftgetragene Stoff-Konzentrationen unterhalb des AEGL-2- aber oberhalb des AEGL-1-Wertes bedeuten Expositionshöhen, die spürbares Unwohlsein hervorrufen können.
Leichte sensorische Reizungen	<b>AEGL-1</b> ist die luftgetragene Stoff-Konzentration (ausgedrückt in ppm oder mg/m <sup>3</sup> ), ab der vorhergesagt wird, dass die allgemeine Bevölkerung ein spürbares Unwohlsein erleiden kann. Luftgetragene Stoff-Konzentrationen unterhalb des AEGL-1-Wertes bedeuten Expositionshöhen, die leichte Geruchs-, Geschmacks- oder andere sensorische Reizungen hervorrufen können.

Abb. 4.1/1: Charakteristika der AEGL's

Sie dienen der Orientierung von Anlagenbetreibern, dem Staat, lokalen Behörden und der Öffentlichkeit über die Auswirkungen gefährlicher Chemikalien bei kurzzeitiger Exposition.

In Amerika besteht insbesondere über das Forum Internet für „Jedermann“ die Möglichkeit, sich in die „Grenzwertfindung“ einzuschalten und Aspekte einzubringen und vorzutragen. Diese Möglichkeit wird unterstützt durch umfangreiches im Internet öffentlich verfügbares Informationsmaterial und ausführliche wissenschaftliche Erläuterungen und Begründungen zur Vorgehensweise für jeden einzelnen Stoff. Zusätzlich besteht die Möglichkeit Dokumente in umfangreicher Form in einem Informationscenter (z. B. TSCA Non-confidential Information Center) persönlich einzusehen oder sich per Fax Dokumente zuschicken zu lassen. Dabei wird für die Erstellung der Kommentare, um eine möglichst hohe Effizienz sowohl bei der Erstellung der Kommentare durch die „Öffentlichkeit“ als auch bei der Auswertung und Bearbeitung der Kommentare zu erreichen, u. a. eine „Checkliste“ in Form von 8 wesentlichen, zu beachtenden Punkten angeboten.

Die AEGL-Werte stellen Grenzwerte für die Exposition der Öffentlichkeit dar und sind anwendbar für Ausnahmesituationen in einem zeitlichen Fenster von 10 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 4 Stunden und 8 Stunden für 3 unterschiedliche Stufen. Sofern alle Werte vorhanden sind, gibt es für einen Stoff also 15 unterschiedliche Beurteilungswerte. Dabei werden jeweils unterschiedlich starke toxische Effekte – bezogen auf den jeweiligen Stoff

– zu Grunde gelegt. Die ermittelten Werte gelten für die Bevölkerung einschließlich Säuglingen und Kindern und anderen besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen.

Mit anwachsender Konzentration wird dabei ein Anwachsen der Auswirkungen und der Schwere der gesundheitlichen Effekte angenommen. Obwohl es sich um Grenzwerte für die Bevölkerung einschließlich sensibler Bevölkerungsgruppen handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass besonders sensible Personen im Einzelfall von Auswirkungen und gesundheitlichen Effekten unterhalb der Grenzwerte betroffen sind.

Die AEGL-Werte werden für einzelne Chemikalien entwickelt. Dadurch ist auf der einen Seite ein sehr hohes Maß an Sorgfalt und Akzeptanz der Werte auch in der kritischen Öffentlichkeit gewährleistet, auf der anderen Seite aber auch ein sehr hoher zeitlicher und wissenschaftlicher Aufwand verbunden. Dabei werden wichtige Daten und Informationen aus allen verfügbaren Quellen wie veröffentlichte wissenschaftliche Literatur, Veröffentlichungen von Behörden und Einrichtungen, Erkenntnisse der Industrie, öffentliche Datenbanken und Expertenwissen aus Industrie und Behörden gesammelt und ausgewertet. Eine wichtige Rolle spielt dabei das National Advisory Committee (NAC/AEGL-Komitee), in dem relevante gesellschaftliche Gruppen vertreten sind (Behörden, u. a. aus den Bereichen Umwelt, Gesundheitsschutz, Arbeitsschutz, Verkehr, Energie, Medizin und Verteidigung sowie Industrie, Interessenverbände einschließlich Feuerwehrverband, Gewerkschaften und Umweltgruppen, Wissenschaft und Bundesstaatenvertreter [Kalberlah & G. Winkelmann 1999].

Wurden die Werte nach möglichen Einsprüchen durch die Öffentlichkeit (Internet-Publikation und Regierungsanzeiger „Federal Register“) ein zweites Mal im NAC-AEGL-Komitee abgestimmt und mit Zweidrittel-Mehrheit verabschiedet, erreichen sie den Status als „Interim“-AEGL-Werte, die noch von der Wissenschaftsakademie der USA zu überprüfen sind. Diese werden schließlich in endgültige Werte („final AEGL values“) umgewandelt.

## 4.2 ERPG-Werte

Die *Emergency Response Planning Guidelines (ERPG's)* werden vom ERPG-Komitee der *American Industrial Hygiene Association* entwickelt. Es sind Orientierungswerte, um von einer Exposition des Menschen mit toxischen Chemikalien verursachte gesundheitliche Beeinträchtigungen zu beschreiben (s. Abb. 4.2/1: Charakteristika der ERPG's):



Merkmal(e)	Definitionen
Lebensbedrohliche gesundheitliche Auswirkungen	
Keine lebensbedrohlichen gesundheitlichen Auswirkungen	<b>ERPG-3</b> ist 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.
reversible gesundheitlichen Auswirkungen, Flucht nicht beeinträchtigt	<b>ERPG-2</b> ist die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass innerhalb 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.
Max. leichte, vorübergehende gesundheitliche Auswirkungen	<b>ERPG-1</b> ist die maximale luftgetragene Konzentration, bei der davon ausgegangen wird, dass innerhalb 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.

Abb. 4.2/1: Charakteristika der ERPG's

Im Gegensatz zu den AEGL-Werten gelten ERPG-Werte jeweils für den Zeitraum einer Exposition des Menschen von 1 Stunde. Für eine Reihe von Stoffen existieren nur die ERPG-2- und ERPG-3-Werte, d. h. 2 Werte für den jeweiligen Stoff. Eine Extrapolation der Werte auf längere Zeiträume wird vom ERPG- Komitee abgelehnt.

Der Umgang mit Unsicherheits- oder Extrapolationsfaktoren ist weniger klar geregelt als beim AEGL-Konzept [F. Kalberlah & G. Winkelmann 1999]. Zwar sind im ERPG-Komitee inzwischen auch Behördenvertreter einbezogen, die gesellschaftlichen Gruppen sind jedoch weniger repräsentativ vertreten als beim AEGL- Komitee. Der Aufwand zur Ermittlung der Daten und Informationen ist bei der Ermittlung der AEGL-Werte deutlich höher.

#### 4.3 „Vertrauensbereich“ der Werte

Die Werte werden teilweise aus Tierversuchen abgeleitet. Dabei ist zu bedenken, dass bei den Interspezies-Extrapolationen z. B. aus den Ergebnissen von Tierversuchen mit Ratten bei dem Stoff Phosgen ein Sicherheitsfaktor von 3 bis teilweise 10 verwendet wird. Bei weiteren Annahmen fließen ebenfalls Sicherheitsfaktoren ein, sodass die von den Gremien festgesetzten Werte um Zehnerpotenzen im Sinne einer konservativen Abschätzung über dem ermittelten Wert liegen können. Neben Ausgleichsfaktoren für Inter- und Intraspeziesunterschieden können zusätzlich sog. Modifikationsfaktoren eingeführt werden, so dass der Gesamtsicherheitsfaktor einen Zahlenwert von 30 bis 100 annehmen

kann und die veröffentlichten Werte insgesamt mit einem gesicherten Vertrauensbereich versehen sind [SFK-GS-28, 1999; Stephan, U. Strobel 2002].

Des Weiteren ist zu bedenken, dass bei den meisten Stoffen die Grenzwerte als Konzentrationswerte nur für einen wesentlich kürzeren Zeitraum als 1 Stunde auftreten.

Dies hängt wesentlich von den Stoffeigenschaften (z. B. Siedepunkt) ab. Bei dem Stoff Brom (Siedepunkt 53 °C) z. B. liegt über einen längeren Zeitraum eine hohe Konzentration vor („Rampenprofil“), bei den meisten Stoffen (z. B. Ammoniak) wird die höchste Konzentration nur sehr kurz erreicht und sinkt dann schnell und deutlich ab.

Auch ist eine Expositionsdauer von 1 Stunde bei einem Störfall für den Fall der Freisetzung toxischer Stoffe als sehr konservative Annahme zu werten. Wesentlich wahrscheinlicher ist der Fall, dass nach einem Zeitraum von 10 – 30 Minuten Maßnahmen eingeleitet und bereits durchgeführt wurden, die eine weitere Ausbreitung des toxischen Stoffes (technisch an der Quelle oder durch Maßnahmen, welche die Ausbreitung unterbinden) verhindern. Daher wird dann die Expositionsdauer von 1 Stunde deutlich unterschritten. Auch wird ein „ungeschützter“ Aufenthalt von Personen über 60 Min. im Freien angenommen. Wesentlich wahrscheinlicher ist es, dass betroffene Personen innerhalb weniger Minuten schützende Innenräume aufsuchen oder in Sicherheit gebracht werden können.

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, werden bei den AEGL-Werten seit 2000 auch für einen Zeitraum von 10 Minuten AEGL-Werte abgeleitet (s. z. B.: [SFK-GS-28]).

Obwohl sowohl die ERPG- als auch die AEGL-Werte in Deutschland seit vielen Jahren im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren für Neuanlagen und wesentliche Änderungen von Störfallanlagen Anwendung finden, gibt es hierzu keine Rechtsgrundlage. Weder in einschlägigen Gesetzen, Verordnungen oder nur die Verwaltung bindenden Verwaltungsvorschriften oder ministeriellen Erlassen finden sich hierzu für die Vollzugsbehörden verbindliche Vorschriften oder konkretisierende Hinweise. Insofern finden die Genehmigungsverfahren für Störfallanlagen bei konsequenter Betrachtung im rechtsfreien Raum statt (s. *Kapitel 4.1 Konzentrationswerte*).

#### **4.4 Forschungsprojekt Acutex**

Auf das Forschungsprojekt Acutex der Europäischen Kommission zur Entwicklung anlagentypischer „Leitwerte“ für die Ermittlung von Sicherheitsabständen im Rahmen der Bauleitplanung wird in Kapitel 7.1 *Konzentrationswerte* dieser Arbeit eingegangen.

### **5. Programm DISMA**

Nachfolgend (s. Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA) werden die wichtigsten Funktionen des Modells DISMA tabellarisch zusammengefasst ([Quelle: UFOPLAN 202 09 428, Anhang 6, Anlage 3: DISMA]:

Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA

### Anlage 3: DISMA

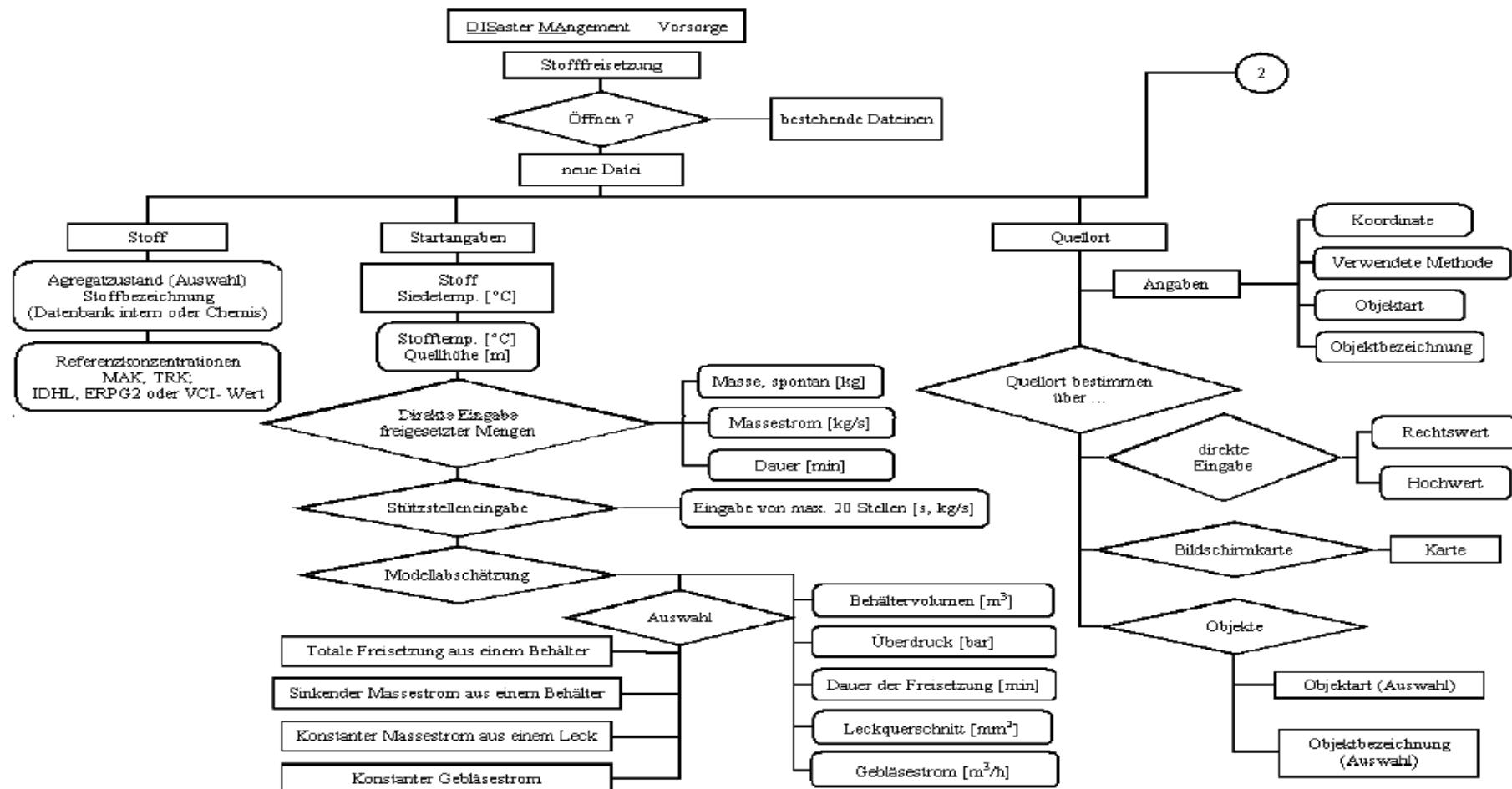


Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA

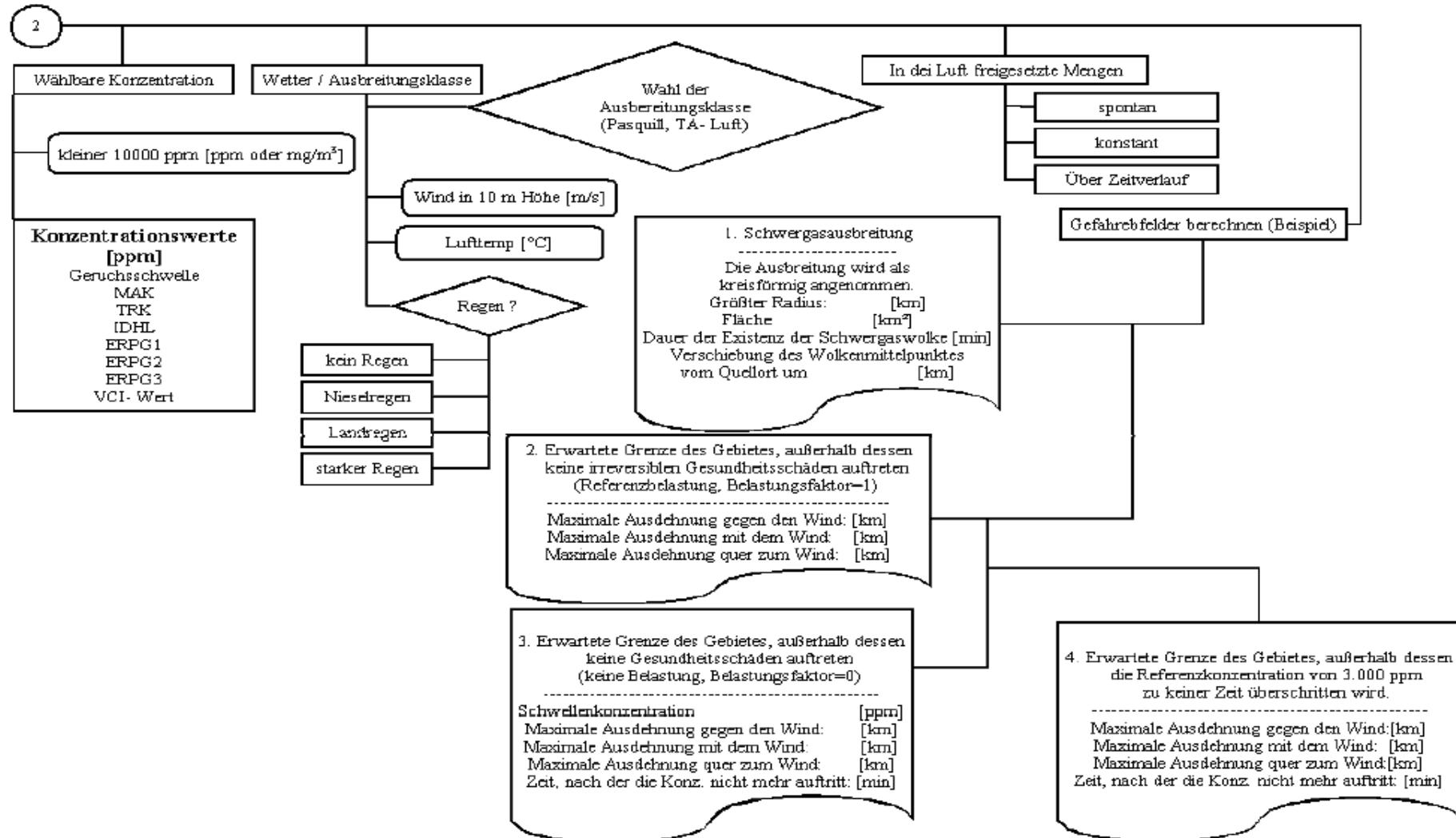


Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA

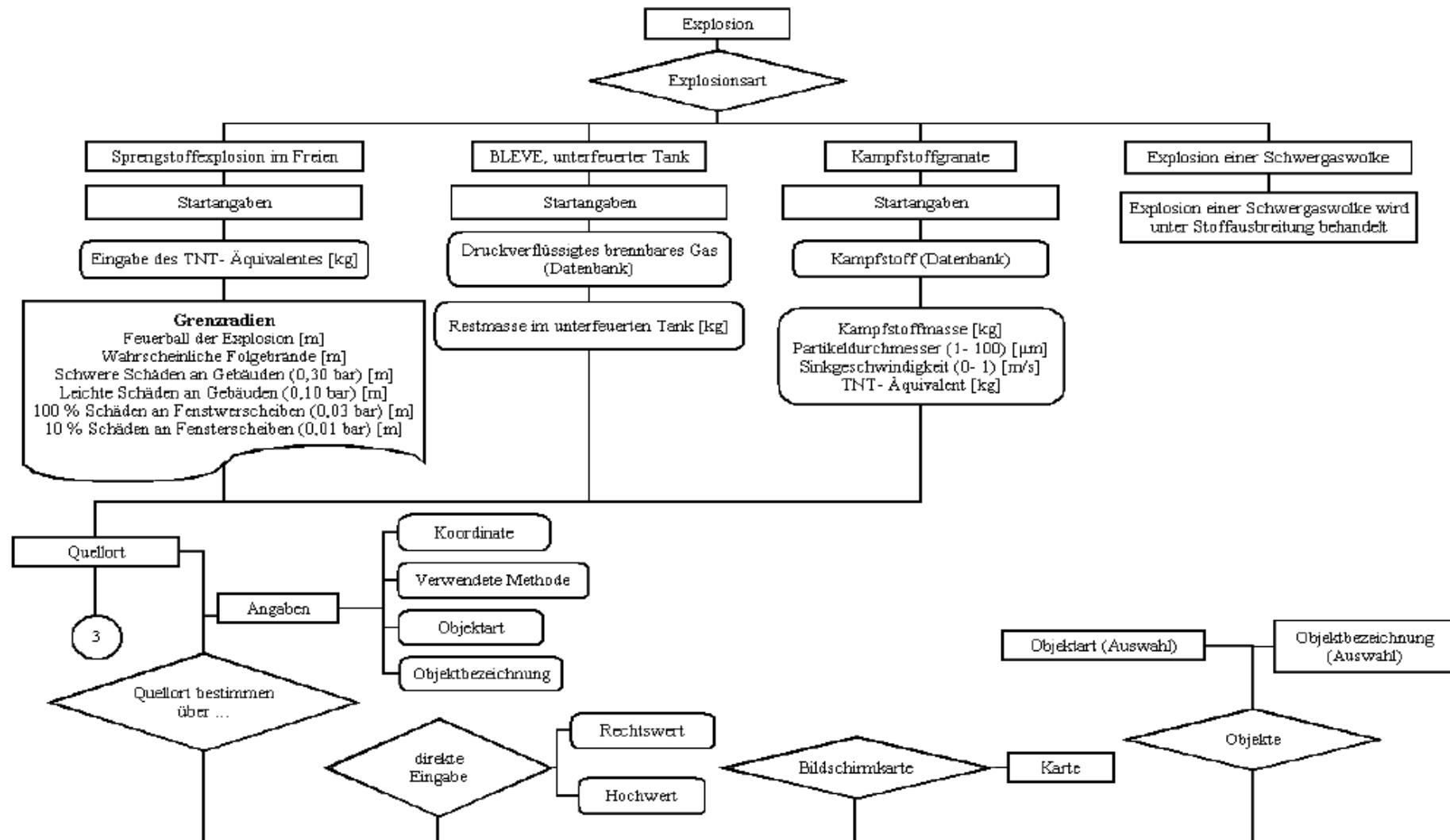


Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA

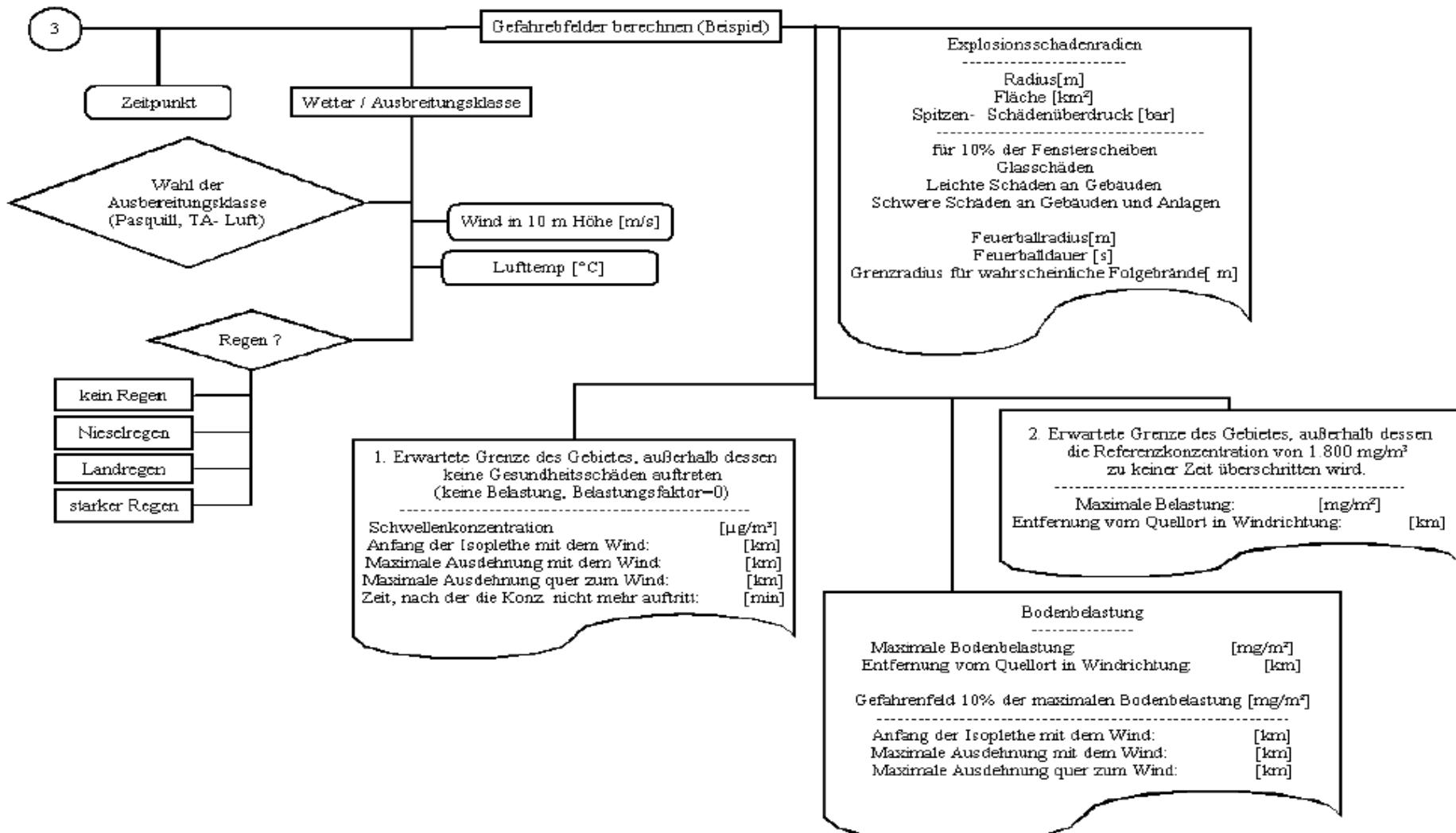


Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA

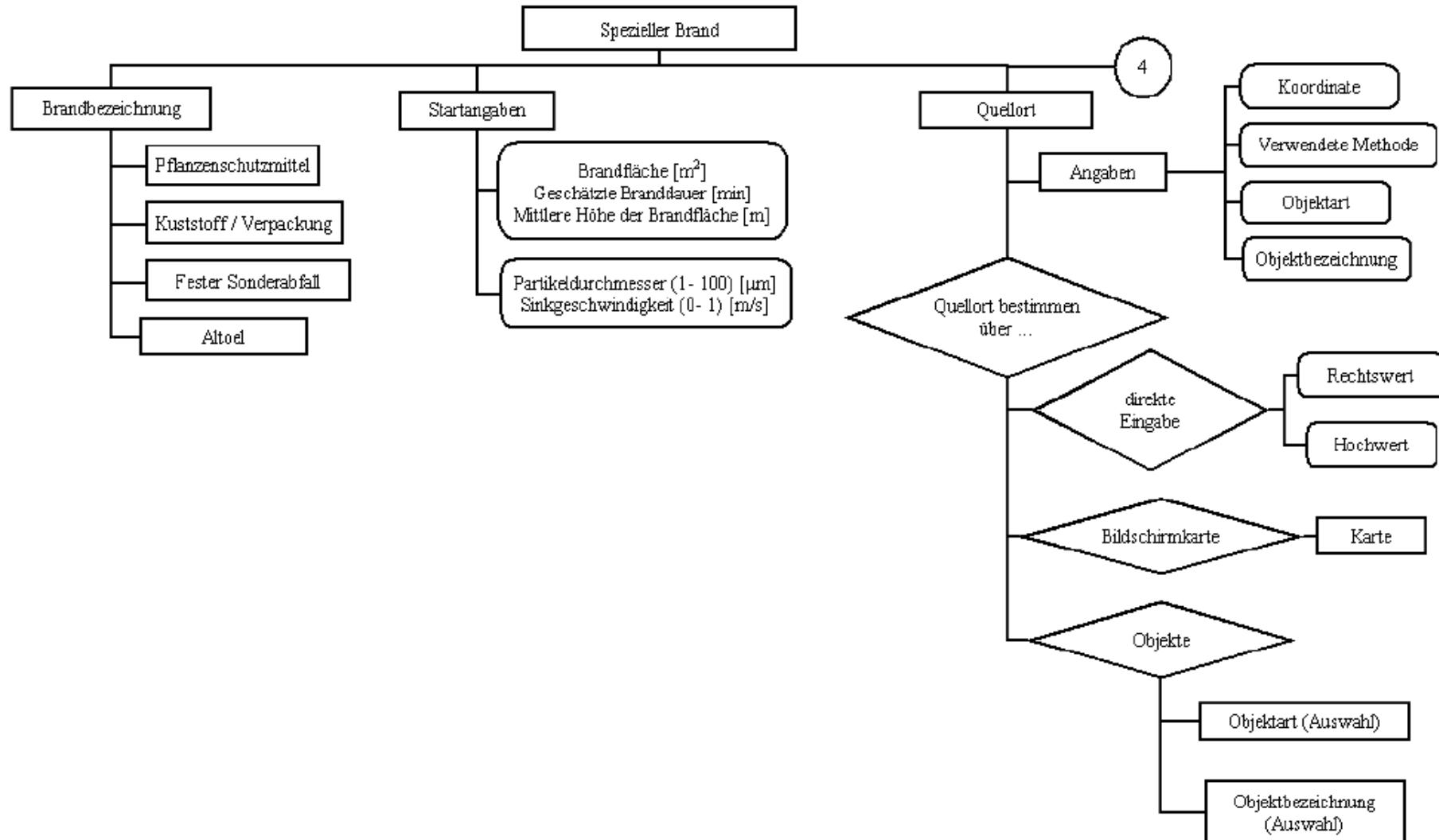


Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA

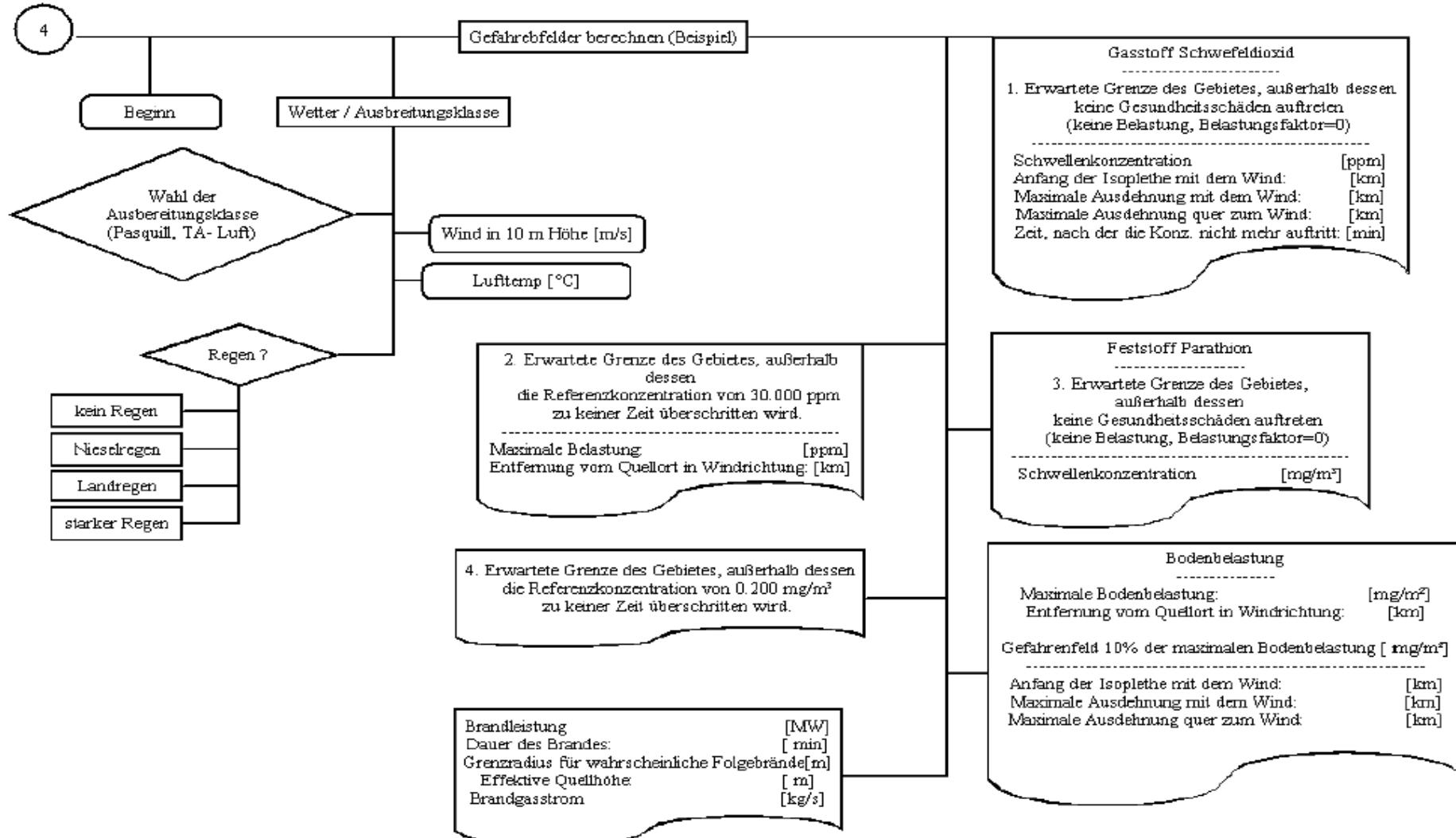


Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA

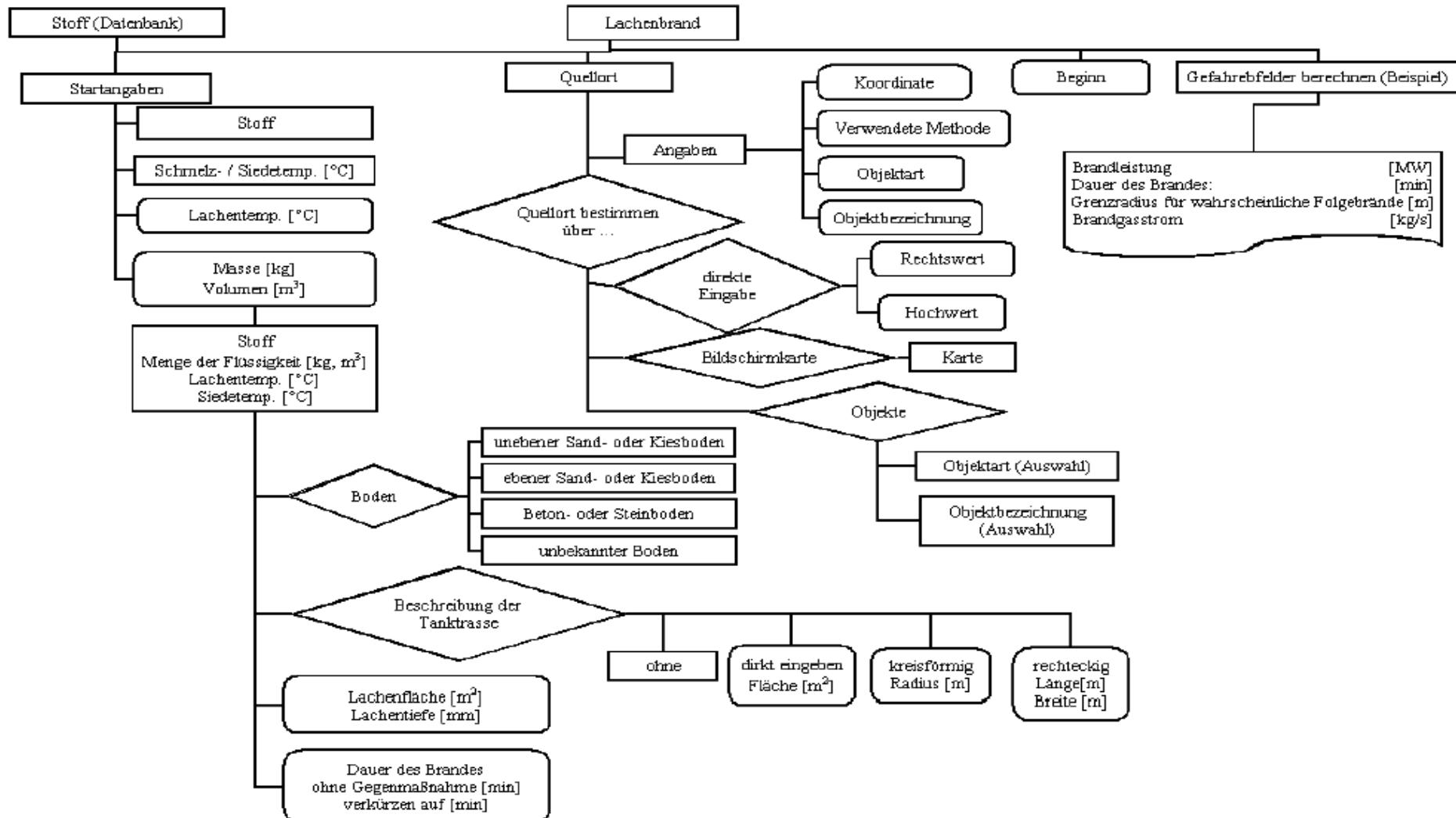
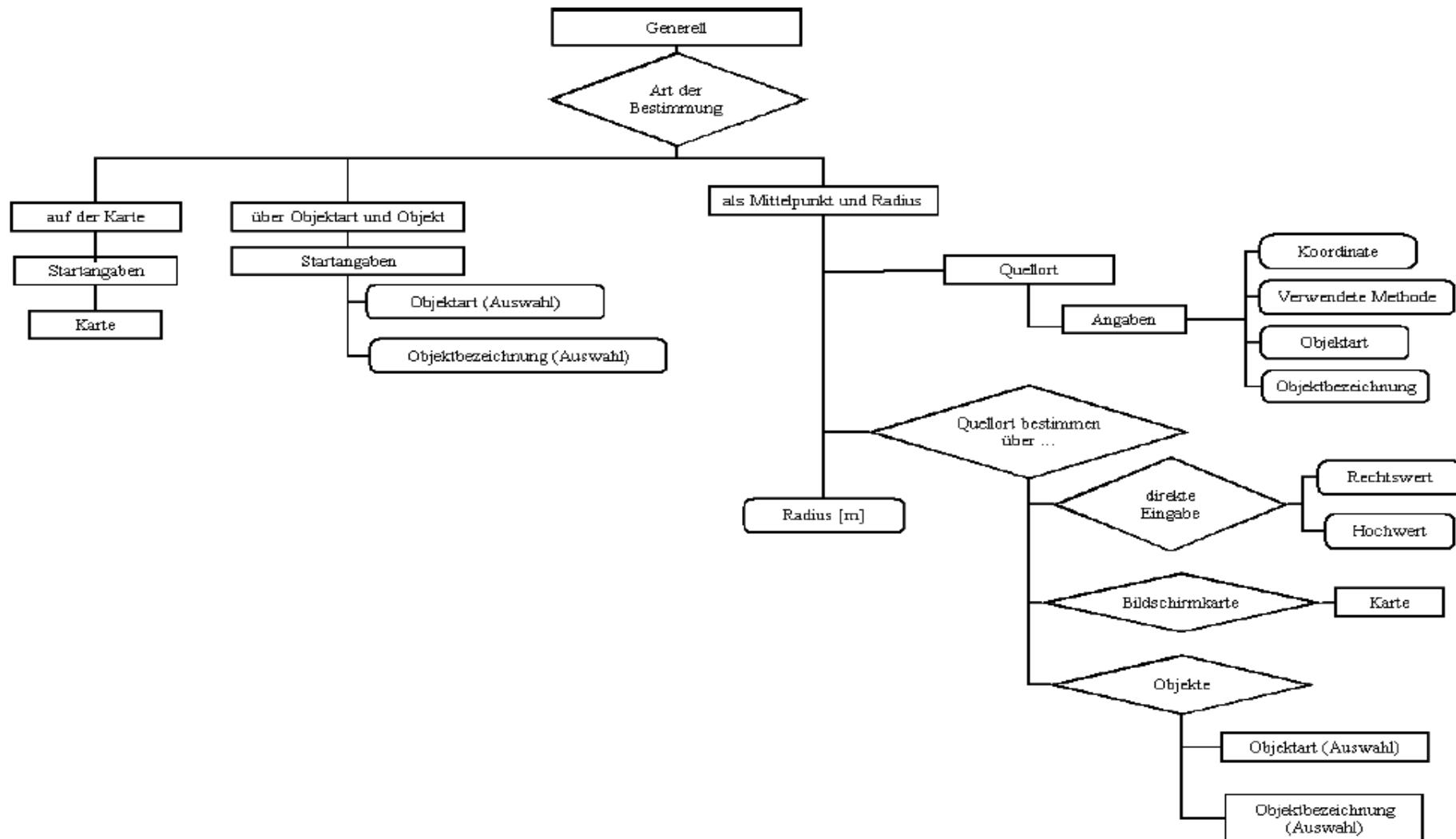


Abb. 5/1 bis 5/8: Funktionen von DISMA



## 6. Schutzwirkung von Häusern

Bei der natürlichen Lüftung von Räumen in Häusern kann man Luftwechselraten von  $n_{Luft} = 0,4/h$  für Kellerräume bis  $n_{Luft} = 2$  für andere Räume annehmen. Bei der technischen Lüftung werden erheblich höhere Luftwechselraten erreicht. Im Rahmen dieser Arbeit wurde im Sinne einer konservativen Annahme von einer Luftwechselrate von 1/h bei den Auswirkungsbetrachtungen ausgegangen. Angaben aus Messergebnissen zur Luftwechselrate in Wohngebäuden (s. Tab. 6/1: Beispiele für Luftwechselraten) können der Literatur entnommen werden (z. B. [UFOPLAN 202 09 428] und dort genannte weitere Literatur; [Zivilschutzforschung 1997]):

Altbau	Massivhaus	Energiesparhaus
$n_{Luft} \leq 0,24 \text{ h}$	$n_{Luft} \leq 0,14 \text{ h}$	$n_{Luft} \leq 0,11 \text{ h}$

Tab 6/1: Beispiele für Luftwechselraten

Durch den geringen Luftaustausch mit der Umgebung nimmt die Konzentration in Innenräumen im Vergleich mit der Konzentration im Freien verzögert zu. Daraus ergibt sich insbesondere bei kurzfristigen äußeren Belastungen mit luftgetragenen, toxischen Gefahrstoffen eine bemerkenswerte Schutzwirkung. Sie ist um so besser, je geringer die Luftwechselrate ist. Insofern sind das Aufsuchen von Häusern, Abstellen von Belüftungs- und Klimaanlagen sowie das Verschließen von Türen und Fenstern wirksame Schutzmaßnahmen bei Störfällen mit der Ausbreitung toxischer Stoffe über die Atmosphäre.

Für den Fall einer mit der Zeitkonstanten  $\tau$  ansteigenden äußeren Konzentration kann man das Verhältnis der Innenraumkonzentration  $C_i$  zur maximalen äußeren Konzentration  $C_a$  abschätzen. Die Zeitkonstante  $\tau$  nimmt mit der Entfernung zur Quelle zu. Für den Zeitverlauf der äußeren Konzentration wird angenommen:

$$C_a(t) = C_{a\infty} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) .$$

Daraus ergibt sich für das Verhältnis der Innenraumkonzentration  $C_i$  zur maximalen äußeren Konzentration

$$C_a : \frac{C_i}{C_{a\infty}} = 1 - e^{-n_{Luft} \cdot t} + \frac{1}{1 - \frac{1}{n_{Luft} \cdot \tau}} \cdot \left( e^{-n_{Luft} \cdot t} - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Die Zeit  $t$  und die Zeitkonstante sind in Stunden einzusetzen; die Luftwechselrate geht pro Stunde ein. Die folgende Tabelle enthält einige Zahlenwerte für das Verhältnis der Innenraumkonzentration  $C_i$  zur maximalen äußeren Konzentration  $C_a$  im Fall  $n_{Luft} = 1/h$  (Tab. 6/2.: Verhältnis Innenraumkonzentration und äußere Konzentration):

Zeitkonstante $\tau$ in Stunden	Zeit t in Stunden			
	0,25	0,5	0,75	1,00
0,1	0,144	0,327	0,475	0,591
0,2	0,098	0,262	0,415	0,542
0,3	0,074	0,214	0,360	0,490
0,4	0,059	0,180	0,315	0,442
0,5	0,049	0,155	0,278	0,400

Tab. 6/2.: Verhältnis Innenraumkonzentration und äußere Konzentration

Ein Beispiel für den Einfluss der Luftwechselrate auf die max. Innenraumkonzentration eines Gefahrstoffes findet sich in *Kapitel 8.1.7 Aufenthalt in geschlossenen Räumen* der Arbeit.

## 7. ZEMA-Daten

Nach der Störfall-Verordnung meldepflichtige Ereignisse sind in der ZEMA-Datenbank aufgelistet. Den Umfang der Meldungen verdeutlicht das nachfolgend wiedergegebene Beispiel einer Meldung „mittlerer Qualität“ (Abb. 7/1: Freisetzung von Chlorgas aus einem Mischbehälter vom 28.02.2003):

**ZEMA - ZENTRALE MELDE- UND AUSWERTUNGSSTELLE FÜR STÖRFÄLLE**

Ereignisdatum

28.02.2003

**Ereignis**

Bezeichnung

0305 (2003-02-28 Freisetzung von Chlorgas an einem Mischbehälter)

Einstufung des Ereignisses

Einstufung Anhang VI Teil1: III

**Anlagedaten**

Anlagenart - 4.BImSchV, Nr.

9.  
Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Zubereitungen  
Anlagen, die der Lagerung von 10 Tonnen bis weniger als 200 Tonnen von sehr giftigen, giftigen, brandfördernden oder explosionsgefährlichen Stoffen oder Zubereitungen dienen; Herstellung von Peressigsäure (9.35-2, 4.1a-1)

betroffener Anlagenteil

Bereich der Mischbehälter für Säure und Laugenmischungen und Peressigsäure

Produkt

Kaiserslautern

Ort des Ereignisses

67663

PLZ

Rheinland-Pfalz

Bundesland/Land

**Ereignisdaten**

Art des Ereignisses

Freisetzung (Luft)

Datum / Zeit

28.02.2003, 09.50 Uhr bis 28.02.2003, 10.30 Uhr

Ursache (Kategorie)

umgebungsbedingte Ursache, Ursache ist umgebungsbedingt

Betriebsvorgang

Prozess

**Beteiligte Stoffe**

	CAS-Nr.	UN-Nr.	R-Satz	Stoffmenge in kg
Chlor Freigesetzter Stoff (Luft)	7782-50-5	1017	R: 23,36/37/38, 50	50 l

**ZEMA - ZENTRALE MELDE- UND AUSWERTUNGSSTELLE FÜR STÖRFÄLLE**

Ereignisdatum

28.02.2003

**Auswirkungen innerhalb der Anlage**

<b>Verletzte</b>		<b>Tote</b>	
Beschäftigte	2	Beschäftigte	0
Einsatzkräfte	0	Einsatzkräfte	0
<b>Art d. Schäden</b>		<b>Kosten</b>	
Sachschäden	Ja	0 €	
Art der Sachschäden	Instandsetzung des Mischbehälters (Deckel und Leitungen). Mit anschließender TÜV-Abnahme.		
Umweltschäden	Nein	0 €	
Art der Umweltschäden			

**Auswirkungen außerhalb der Anlage**

<b>Verletzte</b>		<b>Tote</b>	
Beschäftigte	0	Beschäftigte	0
Einsatzkräfte	0	Einsatzkräfte	0
Bevölkerung	0	Bevölkerung	0
<b>Art d. Schäden</b>		<b>Kosten</b>	
Sachschäden	Nein	0 €	
Art der Sachschäden			
Umweltschäden	Nein	0 €	
Art der Umweltschäden			

**Beschreibung des Ereignisses**

Am 27.02.2003 wurde in der Säure-/Lauge-Misanlage im Mischbehälter 2 ein Desinfektionsmittel angesetzt. Die Abfüllung in die entsprechenden Gebinde sollte im Laufe des nächsten Tages erfolgen.

Am Morgen des 28.02.2003 wurde im Mischbehälter 1 Peressigsäure hergestellt. Die Mischung besteht aus den Komponenten VE-Wasser, Essigsäure, Dequest und Schwefelsäure. Die Zudosierung in den Mischbehälter 1 der einzelnen Komponenten, erfolgt in der genannten Reihenfolge.

Das Ereignis trat ein als in den Mischbehälter 1 zur Herstellung von Peressigsäure das Additiv Dequest zugegeben wurde.

Die Zudosierungsleitung für das Additiv ist an beiden Mischbehältern angeschlossen. Unmittelbar vor den Mischbehältern befindet sich jeweils ein pneumatisches Absperrventil.

Das Produkt Dequest ist bei der Zudosierung in den Mischbehälter 1 durch eine defekte Rohrleitung ausgetreten, auf den Mischbehälter 2 gelangt und über den Mannlochdeckel in den Mischbehälter 2 gelaufen.

Die Natronbleichlauge, die in der im Mischbehälter 2 befindlichen Mischung des Desinfektionsmittel enthalten ist, hat mit dem Additiv Dequest heftig reagiert.

Bei dieser Reaktion ist Chlorgas entstanden; durch den entstandenen Überdruck im Mischbehälter 2 wurde der klappbare Mannlochdeckel weggerissen und das Chlorgas ist ins Freie getreten.

Betriebsbedingungen:

Es wurde in dem Mischbehälter ein Desinfektionsmittel gemischt.

## ZEMA - ZENTRALE MELDE- UND AUSWERTUNGSSTELLE FÜR STÖRFÄLLE

Ereignisdatum

28.02.2003

### Sicherheitsfunktionen:

Die Einleitung der Sicherheitsmaßnahmen und die Alarmierung erfolgte vorschriftsgemäß.

### Ursachenbeschreibung:

Die Ursache des Ereignisses war, dass eine Zuleitung zu dem Mischbehälter nach der Frostperiode aufgetaut ist. Die Leitung ist wahrscheinlich, bei einer Befüllung des Mischbehälters, mit Dequest (frostempfindliches Produkt) gefüllt eingefroren. Da diese Leitung nur zum zudosieren kleiner Mengen verwendet wird und in der Zwischenzeit keine Mischung in diesem Behälter derart hergestellt wurde, ist das Einfrieren der Leitung nicht aufgefallen. Durch das wärmere Wetter ist die Flüssigkeit in der Leitung (Leitung durch Frostschäden gerissen) und in den Mischbehälter abgeflossen.

### Ursachenklassbeschreibung:

Durch das Einfrieren von Flüssigkeit in der Befüllleitung ist nach Wetteränderung (wärmeres Wetter nach Frost) die eingefrorene Flüssigkeit aufgetaut und in eine Mischung gelaufen.

Ähnliche Ereignisse:  
keine

### Notfallmaßnahmen

#### Ergriffene Schutzmaßnahmen:

- Einstellung der Arbeiten und Evakuierung des Betriebsbereiches.
- Vorsorgliche Sperrung einer Strasse für drei Stunden durch die Einsatzkräfte.
- Warnung der Nachbarschaft (Fenster geschlossen halten) durch die Einsatzkräfte.

#### Beseitigte Sachschäden:

Der Mischbehälter wurde mit Wasser gespült. Das Hochregallager wurde mit Wasser abgespritzt.

### Schlussfolgerung

#### Vorkehrungen zur Vermeidung:

Der defekte Tank ist gesperrt und wird erst nach Abnahme durch den TÜV wieder in Betrieb genommen.  
Nach dem zudosieren geringer Mengen in Mischungen ist die Leitung vor der Außerbetriebnahme des Behälters wie der Behälter mit Wasser zu spülen.

Zeitplan für die Umsetzung:  
TÜV-Abnahme 07.03.03

### ausgewertete Unterlagen

Mitteilung nach § 19 Abs. 2 Störfall-Verordnung; Sachverständigenbericht

Abb. 7/1: Freisetzung von Chlorgas (28.02.2003) aus einem Mischbehälter

**Anhang, Verzeichnis Abbildungen und Tabellen**

## **Anhang, Verzeichnis Abbildungen und Tabellen**

### **Kapitel 1 Bauleitplanung**

- Abb. 1.2.2.1/1 Vorhaben bezogener Bebauungsplan
- Tab. 1.5.1/1 Planerische Konfliktbewältigung
- Tab. 1.6.1/1 Gliederung nach §1 IV bis X BauNVO
- Tab. 1.6.2/1 Bauflächen und Baugebiete der BauNVO

### **Kapitel 2 Risikobewertung**

- 2.1.1.3/1 Leitworte für eine PAAG-Studie
- 2.1.2.1/1 Ereignisablaufdiagramm (DIN 25419)
- 2.1.3.4/1 Risikograph aus DIN V 19250 zum Personenschutz (Quelle: VDI/VDE 2180, Entwurf Okt. 2005)
- 2.2.2/1 Menschliche Leistung
- 2.2.3/1 Aufgabenbeschreibung in Abhängigkeit von den situativen Anforderungen und der kognitiven Belastung
- 2.2.4/1 Quantifizierungsmethoden
- 2.2.4/2 Quantifizierungsprinzipien
- 2.3/1 Ausmaßbeurteilungsraster (Baudirektion Kanton Zug 1998)
- 2.3/2 Risikobeurteilungsschema (Baudirektion Kanton Zug 1998)
- 2.3/3 Kartografische Darstellung, Risikokataster Kanton Zug
- 2.3/4 Kartografische Darstellung, Risikokataster Kanton Zug, Legende

### **Kapitel 3 Modelle für die Ausbreitungsrechnungen und Berechnungsbeispiele zu den Szenarien Brand und Explosion**

- 3.7/1 Schema zur Gefahrenstoffausbreitung in der Luft (Quelle: [ UBA-FB 20409428, 1999])
- 3.8.4/1 Rauhigkeitslängen
- 3.9/1 Einfluss der freigesetzten Menge auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches, Quelle: [UFOPLAN 202 09 428]
- 3.9/2 Einfluss der Stabilitätsklasse auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches, Quelle:[ UBA-FB 20409428, 1999]
- 3.9/3 Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Ausdehnung des Gefahrenbereiches, Quelle: [UFOPLAN 202 09 428]
- 3.10.1/1 Randbedingungen, Berechnungen der Universität Duisburg-Essen

## **Anhang, Verzeichnis Abbildungen und Tabellen**

3.10.1.1/1 Sichtbare strahlende Fläche bei einer zylindrischen Flamme

Tab. 3.10.1.2/1 Methanol, Berechnungen

Tab. 3.10.1.2/2 Ethylenoxid, Berechnungen

Tab. 3.10.1.2/3 Benzol, Berechnungen

Tab. 3.10.2/1 Randbedingungen Explosion, Universität Duisburg-Essen

Tab. 3.10.2.2/1 Propan, Berechnungen

Tab. 3.11.1/1 Wirkung/Entzündung ohne Schutzmaßnahmen

Tab. 3.11.1/2 Kritische Bestrahlungsstärken

Tab. 3.11.1/3 Bestrahlungsstärke und Schmerzgrenze

Tab. 3.11.2/1 Spitzenüberdruck und Schadensbild

Tab. 3.11.2/2 Spitzenüberdruck du Schadensbild an Gebäuden

Tab. 3.11.2/3 Spitzenüberdruck und Schäden an „Anlagenteilen“

Tab. 3.11.2/4 Spitzenüberdruck und Personenschäden

### **Kapitel 4 Konzentrationswerte**

Abb. 4.1/1 Charakteristika der AEGL`s

Abb. 4.2/1 Charakteristika der ERPG`s

### **Kapitel 5 Programm DISMA**

Abb.: 5./1-5./8 DISMA, Funktionen (Quelle: [UFOPLAN 202 09 428, Anhang 6, Anlage 3: DISMA])

### **Kapitel 6 Schutzwirkung von Häusern**

Tab. 6/1 Beispiele für Luftwechselraten

Tab. 6/2 Verhältnis Innenraumkonzentration und äußere Konzentration

### **Kapitel 7 Auswertung der ZEMA-Daten**

Abb. 7/1 Freisetzung von Chlorgas aus einem Mischbehälter vom 28.02.2003

## **Abkürzungsverzeichnis**

## **Abkürzungsverzeichnis**

Acutex	<b>Acute Exposure</b>
AEGL	Acute Exposure Guideline Levels
AETL	<b>Acute Exposure Threshold Levels</b>
AK TRV	Arbeitskreis Technische Systeme, Risiko und Verständigungsprozesse (SFK)
ARAMIS	<b>Accidental Risk Assessment Methodology for Industries</b> in the framework of the Seveso II directive
ASSURANCE	<b>Assessment of Uncertainties in Risk Analysis of Chemical Establishments</b> )
BauGB	Baugesetzbuch
BIMSCHG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DISMA	<b>Disaster Management</b>
ERPG	Emergency Response Planning Guidelines
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GSG	Gerätesicherheitsgesetz
IDLH	Immediate Dangerous for Life and Health
KAS	Kommission für Anlagensicherheit
LAI	Länderausschuss Immissionsschutz
LBauO	Landesbauordnung
LOPA	Layer of Protection Analysis
PlanZV	Planzeichenverordnung
SFK	Störfallkommission
SMVP	Sicherheits-Management-Validations-Programm
SQUAFTA	Semi-quantitative fault tree analysis
SprengG	Sprengstoffgesetz
SprengV	Sprengstoffverordnung
TAA	Technischer Ausschuss für Anlagensicherheit
TRB	Technische Regeln zur Druckbehälterverordnung - Druckbehälter
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe

## **Abkürzungsverzeichnis**

VCI	Verband der Chemischen Industrie
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
ZEMA	Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in Verfahrenstechnischen Anlagen

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

[4. BImSchV]

BImSchG (4. BImSchV): Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissions- schutzgesetzes – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504)

[9. BImSchV]

BImSchG (9. BImSchV): Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissions- schutzgesetzes – Verordnung über das Genehmigungsverfahren – 9. BImSchV vom 29.5.1992 (BGBl. I S. 2847)

[12. BImSchV]

Störfall-Verordnung: Zwölftes Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissions- schutzgesetzes, 26.04.2000 (BGBl. III 2129-8-12-1)

[2. SprengV]

Zweite Verordnung zum Sprengstoffgesetz (2. SprengV) vom 10. September 2002 (BGBl. I S. 3543) zuletzt geändert durch Art. 3 des Gesetzes vom 15. Juni 2005 (BGBl. I Nr. 34, S. 1626)

[44. Tutzing-Symposium]

44. Tutzing-Symposium vom 12.03. - 15.03.2006, Evangelische Akademie Schloss Tutzing am Starnberger See: Quantitative Risikoanalyse - Quo vadis?

[Abstandserlass NRW]

RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 2.4.1998 - VB 5 - 8804.25.1 (V Nr. 1/ 98) des Landes NRW: Abstände zwischen Industrie- bzw. Gewerbegebieten und Wohngebieten im Rahmen der Bauleitplanung und sonstige für den Immisionsschutz bedeutsame Abstände (Abstandserlass), (MBI. NW. 1998 S. 744)

[Acikalin 2000]

TÜ Bd 41 (2000) Nr. 9, Acikalin, Steinbach

[Acutex]

EU-Forschungsprojektes ACUTEX (**A**cute **E**xposure) eine Methodologie zur Ableitung von Störfallbeurteilungswerten, AETLs, entwickelt. Beispielhaft wurden AETLs (**A**cute **E**xposure **T**hreshold **L**evels) für 21 Stoffe abgeleitet. Die AETL's sollen sowohl auf die Notfallplanung als auch die Bauleitplanung anwendbar sein.

<http://www.acutex.info>

[AEG]

Allgemeines Eisenbahngesetz - AEG vom 27.12.1993 ((BGBl. I S. 3833/ FNA 930-9)

[AEGL]

AEGL-Werte: Internet, U.S.Environmental Protection Agency, Federal Register Environmental Documents, AEGL Values

Internet: AEGL:

<http://www.epa.gov/oppt/aegl/>

<http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/compiled.pdf>

Internet: AEGL, ERPG, TEEL:

<http://www.orau.gov/emi/scapa/teels.htm>

[http://www.eh.doe.gov/chem\\_safety/teel.htm](http://www.eh.doe.gov/chem_safety/teel.htm)

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

[Albrecht 2006]

Gespräch mit Herrn E. Albrecht im März 2006, Leiter des Planungsamtes der Stadt Dör-magen

[ARAMIS]

ARAMIS-Projekt, ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of the Seveso II directive), zeitlich auf ca. 4 Jahre ausgelegtes Forschungsvor-haben der Europäischen Kommission. Es wurde Anfang 2005 abgeschlossen:

<http://aramis.jrc.it/index.html>

[ARGEBAU]

Hier: Musterbauordnung (MBO 2002) - Paragraph 69 Abs. 1 Satz 1

Die Bauministerkonferenz ist die Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der 16 Länder der Bundesrepublik Deutschland. ([Geschäftsordnung](#)) Das wichtigste Gremium ist die einmal im Jahr tagende Konferenz der Minister und Senatoren ([Bauministerkonferenz](#)), an der auch regelmäßig der für das Bauwesen zuständige Bundesminister teilnimmt. Die Bauministerkonferenz erörtert Fragen und trifft Entscheidungen zum Wohnungswesen, Städtebau und Baurecht und zur Bautechnik, die für die Länder von gemeinsamer Bedeutung sind. Sie formuliert Länderinteressen gegenüber dem Bund und gibt Stellungnahmen auch gegenüber anderen Körperschaften und Organisationen ab.

[Basel, Birkhäuser 1991]

Basel, Birkhäuser, 1991: Risiko und Sicherheit technischer Systeme, auf der Suche nach neuen Ansätzen

[BauGB]

Baugesetzbuch vom 27. August 1997 (BGBl. I S. 2141)

[BauGB, § 36 Abs. 2]

§ 36 Abs. 2 BauGB, Beteiligung der Gemeinde und der höheren Verwaltungsbehörde  
(2) ... Das Einvernehmen der Gemeinde und die Zustimmung der höheren Verwaltungs-behörde gelten als erteilt, wenn sie nicht binnen zwei Monaten nach Eingang des Ersu-chens der Genehmigungsbehörde verweigert werden; dem Ersuchen gegenüber der Ge-meinde steht die Einreichung des Antrags bei der Gemeinde gleich, wenn sie nach Lan-desrecht vorgeschrieben ist. Die nach Landesrecht zuständige Behörde kann ein rechts-widrig versagtes Einvernehmen der Gemeinde ersetzen.

[BauNVO]

Baunutzungsverordnung (BauNVO) vom 23.01.1990 (BGBl. I S. 132)

[BauO NRW]

Bauordnung für das Land NRW - Landesbauordnung - BauO NRW vom 01.03.2000  
01.03.2000 (GV. NRW. S. 255)

[Becher 2006]

Rechtsanwalt Becher, Rechtsabteilung Firma Merck, Vortrag am 29.03.2006, StUA Köln

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

[Betriebssicherheitsverordnung]

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebsicherheitsverordnung – BetrSichV“ vom 27. September 2002 (BGBl. I S.3777)

[BImSchG]

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830/ FNA-Nr. 2129-8)

[BImSchG, §3 Abs. 5a]

Ein Betriebsbereich ist der gesamte unter der Aufsicht eines Betreibers stehende Bereich, in dem gefährliche Stoffe im Sinne des Artikels 3 Nr. 4 der Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (ABl. EG 1997 Nr. L 10 S. 13), geändert durch die Richtlinie 2003/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2003 (ABl. EU Nr. L 345 S. 97) in einer oder mehreren Anlagen einschließlich gemeinsamer oder verbundener Infrastrukturen und Tätigkeiten einschließlich Lagerung im Sinne des Artikels 3 Nr. 8 der Richtlinie in den in Artikel 2 der Richtlinie bezeichneten Mengen tatsächlich vorhanden oder vorgesehen sind oder vorhanden sein werden, soweit davon auszugehen ist, dass die genannten gefährlichen Stoffe bei einem außer Kontrolle geratenen industriellen chemischen Verfahren anfallen; ausgenommen sind die in Artikel 4 der Richtlinie 96/82/EG angeführten Einrichtungen, Gefahren und Tätigkeiten.

[BImSchG, § 20]

Untersagung, Stilllegung und Beseitigung

(1a) Die zuständige Behörde hat die Inbetriebnahme oder Weiterführung einer genehmigungsbedürftigen Anlage, die Betriebsbereich oder Teil eines Betriebsbereichs ist und gewerblichen Zwecken dient oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung findet, ganz der teilweise zu untersagen, solange und soweit die von dem Betreiber getroffenen Maßnahmen zur Verhütung schwerer Unfälle im Sinne des Artikels 3 Nr. 5 der Richtlinie 96/82/EG oder zur Begrenzung der Auswirkungen derartiger Unfälle eindeutig unzureichend sind. Die zuständige Behörde kann die Inbetriebnahme oder Weiterführung einer Anlage im Sinne des Satzes 1 ganz oder teilweise untersagen, wenn der Betreiber die in einer zur Umsetzung der Richtlinie 96/82/EG erlassenen Rechtsverordnung vorgeschriebenen Mitteilungen, Berichte oder sonstigen Informationen nicht fristgerecht übermittelt.

[BImSchG, § 31 a]

§ 31a Technischer Ausschuss für Anlagensicherheit (4): Sicherheitstechnische Regeln können vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit nach Anhörung der für die Anlagensicherheit zuständigen Landesbehörden im Bundesanzeiger veröffentlicht werden. Mit der Veröffentlichung wird die Rechtsnatur der sicherheitstechnischen Regeln als Sachverständigenäußerungen nicht geändert.

[BImSchG, § 50]

§ 50 Planung

Bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen sind 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 Be-

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

triebsbereichen 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. Bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen in Gebieten, in denen die in Rechtsverordnungen nach § 48a Abs. 1 festgelegten Immissionsgrenzwerte nicht überschritten werden, ist bei der Abwägung der betroffenen Belange die Erhaltung der bestmöglichen Luftqualität als Belang zu berücksichtigen.

[Bottelberghs 2000]

Bottelberghs: Risk Analysis and safety policy developments in the netherlands, Journal of hazardous materials 71 (2000), 59-84

[Bottelberghs 2005]

Referatsleiter VROM (Umweltministerium Niederlande), Vortrag am 17.03.2005 in Essen, BEW

[Braun, Herbert 1998]

Braun, Herbert: Allgemeine Schweizerische Militärzeitschrift, Beiheft 1998

[Brisvoe, Shaw 1980]

Briscoe F., Shaw P.: Prog. Energy Comb. Sci. (1980)

[Delling, Bordin 2006]

Fachgespräch mit Herrn Delling (Fachbereichsleiter des Fachbereichs 83 *Auswirkungsbe trachtungen*, LUA NRW) und Herrn Bordin (Dezernent, LUA NRW) im März 2006

[Deutsch 1995]

Deutsch S.: Verdunstung aus Flüssigkeitslachen unter atmosphärischen Bedingungen. Dissertation Uni. Dortmund 1995

[Dinkloh 2003]

C. Dinkloh, Vortrag über die an der Universität Dortmund erstellte Diplomarbeit im gemeinsamen Arbeitskreis „Überwachung der Ansiedlung“ von TAA und SFK, Februar 2003

[Dow 1994]

Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, Dow Chemical Company, Midland MI, January 1994

[Druckbehälter-Verordnung]

Verordnung über Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen: Druckbehälterver ordnung - DruckbehV, Stand 29.10.2001 (BGBl. I S-. 2856/ 7102-39), Vorschrift ist am 01.01.2003 außer Kraft getreten

[Dutch National Environmental Policy Plan 1988-1989]

Premises of Risk Management, Dutch National Environmental Policy Plan, The Hague, Directorate General for Environmental Protection at the Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, 1988-1989

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

[EPA 1995]

EPA: United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC (USEPA), September 1995: A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule

[ERPG]

Emergency Response Planning Guidelines (ERPG), Internet:

<http://www.aiha.org/Committees/documents/erpglevels.pdf>

<http://www.orau.gov/emi/scapa/teels.htm>

[http://www.eh.doe.gov/chem\\_safety/teel.htm](http://www.eh.doe.gov/chem_safety/teel.htm)

[ESCIS 2003]

ESCIS (Expertenkommission für Sicherheit in der chemischen Industrie der Schweiz): Heft 4, 1996, 3. überarbeitete Auflage: Einführung in die Risikoanalyse, Systematik und Methoden.

[Euteneuer 2006]

Gespräch mit Herrn Euteneuer im Februar 2006, stellv. Fachbereichsleiter im LUA NRW, Fachbereich 82, u. a. Mitglied im Arbeitskreis VDI 2180

[FStrG]

Bundesfernstraßengesetz - FStrG - vom 20. Februar 2003 (BGBl. I S. 286/ FNA 911-1)

[Gefahrenermittlung, Gefahrenbewertung 1997]

ISSA Prevention Series No. 2027 (G), Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie, 1997

[GefStoffV]

Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen - Gefahrstoffverordnung - GefStoffV vom 23. Dezember 2004 (BGBl I S. 3758)

[GefStoffV, § 4]

§ 4 Gefährlichkeitsmerkmale

Gefährlich sind Stoffe und Zubereitungen, die eine oder mehrere der in § 3a Abs. 1 des Chemikaliengesetzes genannten und in Anhang VI der Richtlinie 67/548/EWG näher bestimmten Eigenschaften aufweisen

[Geike, Horn 1993]

Geike R., Horn A.: Probleme bei Ausbreitungsrechnungen. TÜ Bd. 34 (1993) Nr. 4

[Giesbrecht 1980]

Giesbrecht M., Hess K., Leuckel W., Maurer B.: Analyse der potentiellen Explosionswirkung von kurzzeitig in die Atmosphäre freigesetzten Brenngasmengen -Teil 1; Chemie-Ing.-Techn. 52 (1980)

[Gregel 2006]

Gespräch mit Herrn Dr. Gregel, stellv. Fachbereichsleiter im LUA NRW, Fachbereich 83 Auswirkungsbetrachtungen, März 2006

[GRS-59 1985]

Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS): Ermittlung der Kriterien für die Anwendung systemanalytischer Methoden zur Durchführung von Sicherheitsanalysen für Chemieanlagen

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

[Grundgesetz]

Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland vom 23. Mai 1949 (BGBl. IS.1)

[GSG]

Gesetz über technische Arbeitsmittel - Gerätesicherheitsgesetz - GSG vom 11. Mai 2001, Stand 25.11.2003 (BGBl. I S. 2326/ FNA 8053-4), am 01.05.2004 außer Kraft getreten (BGBl. I. 2004 S. 20)

[Guidance LUP 1999]

Europäische Kommission, Leitfaden der Technical Working Group 5 (TWG 5), 1999: Guidance on Land Use Planning as required by council directive 96/82/EC (Seveso II) – EUR 18695 EN

[Guidelines CPQRA]

Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis 2000, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers

[Hansmann 23. Auflage]

Hansmann, K.: Bundes-Immissionsschutzgesetz, Textsammlung mit Einführung und Erläuterungen, Nomos Verlagsgesellschaft, 2005

[Hartmann 2005]

Auskunft von Hr. U. Hartmann im Januar 2005, Meteorologe beim LUA NRW

[Hartwig 1991]

Hartwig S.: Staub - Reinhaltung der Luft 51 (1991) Nr. 5, S. 169 - 174, Ausbreitung schwerer Gase in dicht bebautem Industriegelände

[Hartwig 1994]

Hartwig S. 1994, Projekt: Ermittlung, Bewertung und Vorschläge zur Minderung der Risiken bei der Produktion, Lagerung, Transport und Verarbeitung schwerer Gase, insbesondere: Stoffzyklus Chlor (FKZ: 13RG9005), Teil 5: Bestimmung unerwünschter Ereignisse beim Schienentransport von Chlor und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten

[Hartwig 1995]

Hartwig S., Projekt: Ermittlung, Bewertung und Vorschläge zur Minderung der Risiken bei der Produktion, Lagerung, Transport und Verarbeitung schwerer Gase, insbesondere: Stoffzyklus Chlor, 1993-1995, FKZ: 13RG9005

[Hartwig 1999]

Hartwig S., Die Risikoanalyse als Hilfe für Sicherheitsentscheidungen, Schadstoffe und Umwelt, Erich Schmidt Verlag 1999

[Hartwig 2003]

Hartwig S.: Die deutsche Verfasstheit und die Rolle der Sicherheitstechnik, Vortrag im Rahmen eines sicherheitstechnischen Sonderkolloquiums am 11.07.2003, Bergische Universität Wuppertal

[Hartwig 2005]

Hartwig S.: Eine Nation im freien Fall, Deutschland in der Sicherheitskrise, Verlag Dr. Bussert & Stadeler, 2005

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

[Hauptmanns 1987]

Hauptmanns, Herttrich, Werner 1987: Technische Risiken. Ermittlung und Beurteilung, Berlin

[Hauptmanns 2001]:

- Hauptmanns, U.: A Monte-Carlo based procedure for treating the flight of missiles from tank explosions, J. of Probabilistic Engineering Mechanics, Vol. 16, pp. 307-312, 2001
- Hauptmanns, U.: A procedure for analysing the flight of missiles from explosions of cylindrical vessels, J. of Loss Prevention in the Process Industries 14 (2001) 395-402

[Hazard and Operability Studies 1974]

Hazard and Operability Studies, Process Safety Report 2. ICI Ltd., London 1974

[Herrmann 2005]

Vortrag Dr. J. Herrmann, Mitglied der Kommission für Anlagensicherheit, März 2005 im BEW, Essen

[hessenschau 2006]

“Seveso-II” bremst Stadtplanung, hr-online.de, 18.04.2006: <http://www.hr-online.de>

[HRA]

VDI 4006 Blatt 2/ Part 2: HRA (Human Reliability assessment): Qualitative und quantitative Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit, international eingeführter Begriff

[HSE 1992]

Health and Safety Executive (HSE), London (HMSO), 1992 (Revised Edition): The Tolerance of Risk from Nuclear Power Stations

[HSE 2001]

Health and Safety Executive (HSE), Norwich (HMSO): Reducing Risks, Protecting people, 2001, S. 47 ff.

[IDLH]

Immediately Dangerous to Life and Health

Der IDLH-Wert wird durch das SCP (NIOSH OSHA Standard Completion Program) für den Zweck der Auswahl von Atemschutzgeräten definiert. Er gibt diejenige maximale Konzentration an, die für den Fall, dass das Atemschutzgerät ausfällt, die Flucht innerhalb von 30 Minuten ermöglicht, ohne irgendwelche fluchtbehindernden oder irreversiblen gesundheitlichen Effekte zu verursachen (s. a. [SFK-GS-17])

[IVSS 1990]

Risikobegrenzung in der Chemie, PAAG-Verfahren (HAZOP), Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten in der Chemischen Industrie, Heidelberg 1990

[Kalberlah, Winkelmann 1999])

Kalberlah, Winkelmann: Das AEGL-Konzept für Störfall-Konzentrationsleitwerte, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 59 (1999) Nr. 9 - September – S. 324

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

[KAS]

§ 51a Kommission für Anlagensicherheit

(1) Beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wird zur Beratung der Bundesregierung oder des zuständigen Bundesministeriums eine Kommission für Anlagensicherheit gebildet.

(2) Die Kommission für Anlagensicherheit soll gutachtlich in regelmäßigen Zeitabständen sowie aus besonderem Anlass Möglichkeiten zur Verbesserung der Anlagensicherheit aufzeigen. Sie schlägt darüber hinaus dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechende Regeln (sicherheitstechnische Regeln) unter Berücksichtigung der für andere Schutzziele vorhandenen Regeln vor. Nach Anhörung der für die Anlagensicherheit zuständigen obersten Landesbehörden kann das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit diese Regeln im Bundesanzeiger veröffentlichen. Die Kommission für Anlagensicherheit überprüft innerhalb angemessener Zeitabstände, spätestens nach jeweils fünf Jahren, ob die veröffentlichten sicherheitstechnischen Regeln weiterhin dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen.

(3) In die Kommission für Anlagensicherheit sind im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit neben Vertreterinnen oder Vertretern der beteiligten Bundesbehörden sowie der für den Immissions- und Arbeitsschutz zuständigen Landesbehörden insbesondere Vertreterinnen oder Vertreter der Wissenschaft, der Umweltverbände, der Gewerkschaften, der Sachverständigen nach § 29a und der zugelassenen Überwachungsstellen nach § 17 Abs. 5 des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes, der Berufsgenossenschaften, der beteiligten Wirtschaft sowie Vertreterinnen oder Vertreter der nach § 24 der Betriebssicherheitsverordnung und § 21 der Gefahrstoffverordnung eingesetzten Ausschüsse zu berufen.

(4) Die Kommission für Anlagensicherheit wählt aus ihrer Mitte eine Vorsitzende oder einen Vorsitzenden und gibt sich eine Geschäftsordnung. Die Wahl der oder des Vorsitzenden und die Geschäftsordnung bedürfen der im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit zu erteilenden Zustimmung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

[Kleiber 2006]

W. Kleiber (UBA, Bereich ZEMA), Behörden-Erfahrungsaustausch vom 15.05. bis 17.05.2006 in Berlin, Vortrag zum Themenkomplex *Störfallverordnung, Unfall- und Ereignisauswertung*

[Klumpe 1996]

Klumpe G.: Analyse der Chlortechnologie der alten deutschen Bundesländer im Hinblick auf Störfallfreisetzungen mit Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung unter besonderer Berücksichtigung des Schienentransports von Chlor in Eisenbahnkesselwagen, Dissertation im Fachbereich Sicherheitstechnik der Bergischen Universität Wuppertal

[Klumpe, Hartwig 1993]

Klumpe G., Hartwig S. 1993-1995, Projekt: Ermittlung, Bewertung und Vorschläge zur Minderung der Risiken bei der Produktion, Lagerung, Transport und Verarbeitung schwerer Gase, insbesondere: Stoffzyklus Chlor (FKZ: 13RG9005), Teil 3: Grundlagen und Vorgehensweise zur Ermittlung von Unfallschäden im Zusammenhang mit der Freisetzung und Ausbreitung von Chlor

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

[König 1999]

König: Referenzszenarien zur Richtlinie 96/82/EG (GZ. 11 2500/42-I/1/98) Endbericht (Rohfassung) an das BM für Umwelt, Jugend und Familie 1999

[Kramer 2003]

Kramer, Ernst Moritz Arndt Universität, Greifswald: Sicherheitskultur in der Krankenhaushygiene, Vortrag im Rahmen eines Sicherheitstechnischen Sonderkolloquiums am 11.07.2003, Bergische Universität Wuppertal

[Kuboth, Schütz 2006]

Gespräche mit Herrn Kuboth und Herrn Schütz, Dezernenten im Bereich Anlagensicherheit des LUA NRW im März/ April 2006 im Rahmen der Begutachtung von Sicherheitsberichten.

[Kuchling 1994]

Kuchling: Taschenbuch der Physik; Fachbuchverlag Leipzig-Köln, 1994

[LAI, Flüssiggas-Entwurf]

Flüssiggas: Entwurf zu „Vorschläge für einheitliche Anforderungen aus der Sicht des Immissionsschutzes an die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Lagerung von Flüssiggas“. Wurde nicht veröffentlicht.

[LBauO]

Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen, BauO NRW-Landesbauordnung, GV. 2000 S. 256

[Lebuser, Schecker 1987]

Lebuser, Schecker: Verdampfung von Flüssigkeiten aus offenen Lachen. Dechema-Monographien, Band 197, 1987

[Lebuser 1989]

Lebuser U.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Verdunstung aus Flüssigkeitslachen. Dissertation Universität Dortmund 1989

[Lees 1996]

Lees, F. P.: Loss Prevention in the Process Industries, Butterworth Heinemann, Oxford 1996, 2. Ausgabe

[Literatur Brand]

- Becker, Huth, Müller: Lagerung brennbarer Stoffe. TÜ Bd. 32 (1991), Nr. 4
- Brötz W., Schönbucher A.: Wärme- und Stofftransport in Tankflammen. Chem.-Ing.-Tech.50 (1978),Nr.8;
- Balluff Ch., Brötz W., Göck D., Schieß N., Schönbucher A.: Erforschung von Schadenfeuern flüssiger Kohlenwasserstoffe als Beitrag zur Sicherheit von Chemieanlagen. Chem.-Ing.-Tech. 57 (1985) Nr. 10;
- Göck D., Fiala R., Zhang X.: Das experimentell validierte Ballen-Strahlungsmodell OSRAMO. Teil 1, TÜ 33 (1992) sowie Teil 2, TÜ 33 (1992)
- Göck D.: Experimentell fundierte Ballenstrahlungsmodelle zur Bestimmung von Sicherheitsabständen bei großen Poolflammen flüssiger Kohlenwasserstoffe. Diss. Uni. Stuttgart, 1988

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

- Forschungsbericht 230-01, 1985: Untersuchungen zur Optimierung des Brand- schutzes in Großtanklägern, DGMK Berichte
- Thomas P. H.: The size of Flames from natural fires. 9<sup>th</sup> Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh 1963
- Burgess D., Hertzberg M.: Heat Transfer in Flames, S. 413, (Eds. Afgan, N.; Beer, J.) John Wiley, New York 1974

[LOPA 2001]

Bridges, W.G.; Dowell, A.M.; Gollin, M. et al: Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, Center für Chemical Process Safety, AIChE, New York, N.F. 2001

[LRP Duisburg 2004]

Air Quality Plan of the Bezirksregierung Düsseldorf for Duisburg-Nord, 2004, Quelle: [www.brd.nrw.de](http://www.brd.nrw.de)

[LUA NRW, Untersuchungsvorhaben 2003]

University Magdeburg (Contractor): New approaches to assessing dangerous industrial facilities in the framework of building planning, unpublished

[LuftVG]

Air Transport Act - LuftVG from August 1, 1922 (RGBl. I S. 681, in the version from March 27, 1999 (BGBl. I S. 550)

[Meier 2006]

Conversation with Mrs. Dr. Birgit Meier, LUA NRW, in March 2006, Member Acutex

[Marburger 1981, 1981, 1982, 1984]

- Marburger, P.: Technische Risiken aus rechtlicher Sicht, in: S. Lange (Ed.), Ermittlung und Bewertung industrieller Risiken, 1984, S. 262 ff.
- Marburger, P.: Rechtliche Bedeutung sicherheitstechnischer Normen, in: Hosemann (Ed.), Risiko-Schnittstelle zwischen Recht und Technik, 1982, S. 119 ff.
- Marburger, P.: Die Bewertung von Risiken chemischer Anlagen aus der Sicht des Juristen, in: Blümel/Wagner (Ed.), Technische Risiken und Recht, 1981, S. 27 ff.
- Marburger, P.: Das Technische Risiko als Rechtsproblem, in: Gesellschaft für Rechtspolitik (Ed.), Bitburger Gespräche, Jahrbuch 1981, S. 39 ff.

[Murswiek 1985]

Murswiek D.: Die staatliche Verantwortung für die Risiken der Technik, S. 81. Verfassungsrechtliche Grundlagen und immissionsschutzrechtliche Ausformung (Schriften zum Umweltrecht, Bd. 3, Duncker & Humblot, Berlin 1985)

[National Research Council 1983]

National Research Council (NRC), Washington DC, National Academy Press, 1983: Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process

[Niederlande, Störfallrecht]:

- Besluit Risco's Zware Ongevallen 1999, Staatsblad 1999, 234
- Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen, Staatsblad 2004, 250

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

[Olbrich 2006]

Gespräch mit Herrn H. Olbrich, Leiter des Dezernats 31 *Kommunalaufsicht* der Bezirksregierung Düsseldorf im März 2006

[PAAG]

PAAG-Verfahren (HAZOP), Risikobegrenzung in der Chemie, ISSA Prevention Series No. 2002, IVSS Internationale Vereinigung für soziale Sicherheit, Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie

[Pitschinger 2000]

Pitschinger: Bericht-Nr. Pi-46/2000 Ba-99/13-1/630 11.10.2000, Referenzszenario Ausbreitung toxischer Gase für Zwecke der Raumordnung/Flächenwidmung nach Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie, erstellt im Auftrag der Landesregierungen der Bundesländer Kärnten, Salzburg, Steiermark, Tirol, Voralberg und Wien sowie der Stadt Linz

[PlanZV]

Verordnung über die Ausarbeitung der Bauleitpläne und die Darstellung des Planinhalts - Planzeichenverordnung 1990 - PlanzV 90 vom 18. Dezember 1990 (BGBl. I S. 58)

[Pötzsch 2004]

Pötzsch, M.: Risikobewertung des Transports von Chlor mit Binnentankschiffen auf dem Rhein unter besonderer Beachtung des Gefahrgutrechts, Dissertation beim Fachbereich Sicherheitstechnik der Bergischen Universität Wuppertal 2004

[Post 2003]

Post, J. G.: Kurvvortrag von Herrn Dr. Post, rinv, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Niederlande, 2. Meeting des Review-Teams zum ARAMIS-Projekt der EC am 07.07.2003 in Ispra, Italien

[Puls 2003]

Puls E.: Ermittlung des Wirkungsgrades von Hydroschilden im Vergleich mit anderen technischen Vorrichtungen zur Dispersion schwerer Gase, Dissertation im Fachbereich Sicherheitstechnik an der Bergischen Universität Wuppertal 2003

[Rasmussen-Report 1975]

Reactor Safety Study WASH 1400 "Rasmussen Report", U.S. Nuclear Regulatory Commission 1975

[Richter 2005]

Verschiedene Gespräche mit Frau Richter, Dezernentin beim LUA NRW, landesweit federführend mit dem Programm SMVP befasst.

[Rijnmond Studie]

Rijnmond-Studie: Risk Analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area von November 1981, D. Reidel publishing company bzw. "COVO-Studie: Risikostudie zu Industriestandorten im Rheindelta

[Risikokommission 2003]

Risikokommission, ad-hoc Kommission „Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesre-

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

publik Deutschland“, Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit. Veröffentlicht im Internet, 2003

[ROG]

Raumordnungsgesetz - ROG - vom 27.08.1997, 27.08.1997 (BGBl. I S. 2141)

[Roßnagel 1993]

Roßnagel, UPR 1993, 129 m. w. Nachweis: Zum Einfluss von „Sicherheitsphilosophien“ auf die Gefahrenbeurteilung s. für das Atomrecht

[Roßnagel, Neuser 2004]

Roßnagel, Neuser: Probabilistische Risikobewertung, Rechtsgutachten für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Mai 2004

[Salvi 2005]

O. Salvi, Vortrag am 17.03.2005 in Essen, BEW, Projektleiter ARAMIS

[Schönbucher, Scheller 1981]

Schönbucher A., Scheller V.: Ausbreitung von Abgasfahnen, Chem.-Ing.-Tech. 53 (1981) Nr. 5

[Schulz-Forberg 2003]

Schulz-Forberg, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin: Entwicklungen bei den Formen der Sicherheitsbewältigung in Deutschland, Vortrag im Rahmen eines sicherheitstechnischen Sonderkolloquiums am 11.07.2003, Bergische Universität Wuppertal

[Schweiz, Basel]

Richtlinien zur Beurteilung der Tragbarkeit von Risiken, Internet:

[http://www.basel.ch/docs/parl-lk/vorlagen/v93-029/1993-029\\_txt.html](http://www.basel.ch/docs/parl-lk/vorlagen/v93-029/1993-029_txt.html)

[Schweiz, Bund]

Beurteilungskriterien I zur Störfall-Verordnung (StFV), Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen, September 1996, Beurteilungskriterien II zur Störfall-Verordnung (StFV), Richtlinien für Verkehrswege, August 2001

[Schweiz, GSchG]

SR 814.20, Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24.01.1991, Internet: [http://www.admin.ch/ch/d/sr/814\\_20.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_20.html)

[Schweiz, StFV]

SR 814.012, Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27.02.1991, Internet: [http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814\\_012.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_012.html)

[Schweiz, USG]

SR 814.01, Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 07.10.1983, Internet: [http://www.admin.ch/ch/d/sr/814\\_01](http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_01)

[Seeger 1979]

Seeger: gwf-gas/erdgas 120 (1979) 1.: Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion bei Tankbränden als Basis für brandschutztechnische Maßnahmen

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

[Seeger 1987]

Seeger: Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion bei Bränden in Flüssiggaslagern. VFDB 1/87

[Seveso-II-Richtlinie]

Seveso-II-Richtlinie: Richtlinie 96/82/EG des Rates zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen vom 09. Dezember 1996 (Abl. EG vom 14.01.1997 Nr. L 10 S. 13)

[Seveso-II-Richtlinie, Artikel 12]

(1) Die Mitgliedstaaten sorgen dafür, dass in ihren Politiken der Flächenausweisung oder Flächennutzung und/oder anderen einschlägigen Politiken das Ziel, schwere Unfälle zu verhindern und ihre Folgen zu begrenzen, Berücksichtigung findet. Dazu überwachen sie

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

Die Mitgliedstaaten sorgen dafür, dass in ihren Politik der Flächenausweisung oder Flächennutzung und/oder anderen einschlägigen Politiken sowie den Verfahren für die Durchführung dieser Politiken langfristig dem Erfordernis Rechnung getragen wird, dass zwischen den unter diese Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und Wohngebieten, öffentlich genutzten Gebäuden und Gebieten, wichtigen Verkehrswegen (so weit wie möglich), Freizeitgebieten und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvollen bzw. besonders empfindlichen Gebieten andererseits ein angemessener Abstand gewahrt bleibt und dass bei bestehenden Betrieben zusätzliche technische Maßnahmen nach Artikel 5 ergriffen werden, damit es zu keiner Zunahme der Gefährdung der Bevölkerung kommt.“

(1a) Die Kommission wird ersucht, bis zum 31. Dezember 2006 in enger Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten Leitlinien zur Definition einer technischen Datenbank einschließlich Risikodaten und Risikoszenarien aufzustellen, die der Beurteilung der Vereinbarkeit zwischen den unter diese Richtlinie fallenden Betrieben und den in Absatz 1 genannten Gebieten dient. Die Definition dieser Datenbank berücksichtigt soweit wie möglich die Beurteilungen der zuständigen Behörden, die Informationen der Betreiber und alle übrigen einschlägigen Informationen wie etwa den sozioökonomischen Nutzen der Entwicklung von Notfallplänen und ihren Linderungseffekt.

(2) Die Mitgliedsstaaten tragen dafür Sorge, dass alle zuständigen Behörden und alle für Entscheidungen in diesem Bereich zuständigen Dienststellen geeignete Konsultationsverfahren einrichten, um die Umsetzung dieser Politiken nach Absatz 1 zu erleichtern. Die Verfahren haben zu gewährleisten, dass bei diesbezüglichen Entscheidungen unter Berücksichtigung des Einzelfalls oder nach allgemeinen Kriterien auf fachliche Beratung über die von dem Betrieb ausgehenden Risiken zurückgegriffen werden kann.

(Abl. EG L 10 v. 14.01.1997 S. 13); (Abl. EG L 345 v. 31.12.2003 S. 97)

[SFK 1984]

Störfallkommission (SFK): Methoden für Gefahrenanalyse und Risikobewertung in der Mineralölverarbeitenden und –lagernden Industrie – 00K/09/84/0020G -, S. 41 u. Annex III, S. 107-110, September 1984

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

[SFK-GS-04]

Störfallkommission, SFK-GS-04: „Abschlussbericht Sicherheitsabstände als Schadensvorsorge“ vom 02.05.1994

[SFK-GS-17]

Störfallkommission, SFK-GS-17: „Teilbericht Zusammenstellung und Interpretation der bisher bekannten lufthygienischen Grenz-, Richt-, Orientierungs- und Toxizitätswerte“

[SFK-GS-26]

Störfallkommission, SFK-GS-26: „Schadensbegrenzung bei Dennoch-Störfällen, Empfehlungen für Kriterien zur Abgrenzung von Dennoch-Störfällen und für Vorkehrungen zur Abgrenzung ihrer Auswirkungen“

[SFK-GS-28]

Störfallkommission, SFK-GS-28: „Konzept zur Begründung der Konzentrationsleitwerte im Störfall des Arbeitskreises Schadstoffe (Luft) der SFK“, Oktober 1999

[SFK-GS-32]

Störfallkommission, SFK-GS-32: „Human Factor-Aspekte für Betriebsbereiche und Anlagen nach der Störfall-Verordnung (12. BlmSchV)“

[SFK-GS-33]

Störfallkommission, SFK-GS-33: „Leitfaden Schritte zur Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik“

[SFK-GS-35]

Arbeitshilfe, Systematisierung von Fragestellungen und Antworten zum Begriff "Betriebsbereich" des §3 Abs.5a BlmSchG des Arbeitskreises SEVESO RICHTLINIE der SFK

[SFK-GS-38]

Störfallkommission SFK-GS-38: „Leitfaden Maßnahmen gegen Eingriffe Unbefugter“

[SFK-GS-41]

Störfallkommission, SFK-GS-41: „Risikomanagement im Rahmen der Störfall-Verordnung“

[SFK-GS-44]

Störfallkommission, SFK-GS-44: „Arbeitshilfe für die Anwendung der Störfall-Verordnung bei Industrieparks“

[SFK-GS-45]

Störfallkommission, SFK-GS-45, „Leitfaden Schnittstelle Notfallplanung“

[SFK-GS-46]

Störfallkommission, SFK-GS-46: „Statusbericht des Arbeitskreises Human Factor“

[SFK/TAA-GS-1]

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

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

[SprengG]

Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz – SprengG) vom 10. September 2002 (BGBl. I S. 3518), zuletzt geändert durch Art. 35 des Gesetzes vom 21. Juni 2005 (BGBl. I, Nr. 39, S. 1818)

[Staatscourant Nr. 38]

Staatscourant 22 February 2002, No. 38: Explanatory Memorandum, VROM Niederlande

[Stephan, Strobel 2002]

Stephan U., Strobel U.: Konzentrationsleitwerte für den Störfall – eine Orientierungshilfe zur Abschätzung gesundheitlicher Risiken, umwelt-medizin-gesellschaft 15 1/2002, S. 58 ff.

[Störfall-Verordnung 2000]

Störfall-Verordnung: Zwölftes Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Störfall-Verordnung - 12. BImSchV vom 26.04.2000 (BGBl. III S. 2129)

[Störfall-Verordnung 2005]

Störfall-Verordnung: Zwölftes Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissions- schutzgesetzes- Störfall-Verordnung - 12. BImSchV vom 08.06.2005 (BGBl. I S. 1598)

[Störfall-Verordnung, §2 Abs. 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 Betriebs- bereichs 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;

§ 2 Abs. 4 Störfall-Verordnung: 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; ...

[Störfall-Verordnung, § 3]

Allgemeine Betreiberpflichten

(1) Der Betreiber hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern; Verpflichtungen nach anderen als immissionsschutzrechtlichen Vorschriften bleiben unberührt.

(2) Bei der Erfüllung der Pflicht nach Absatz 1 sind

1. betriebliche Gefahrenquellen,
2. umgebungsbedingte Gefahrenquellen, wie Erdbeben oder Hochwasser, und
3. Eingriffe Unbefugter

zu berücksichtigen, es sei denn, dass diese Gefahrenquellen oder Eingriffe als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können.

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

(3) Über Absatz 1 hinaus sind vorbeugend Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten.

(4) Die Beschaffenheit und der Betrieb der Anlagen des Betriebsbereichs müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen.

[Störfall-Verordnung, 3. StörfallVwV])

Angemerkt sei, dass die hier angesprochene 3. Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Störfall-Verordnung zwischenzeitlich aufgehoben wurde. Dies spielt für die Beurteilung des Programms allerdings keine Rolle. Da die Verwaltungsvorschrift wegen unterschiedlicher Auffassungen der Länder nicht durch eine überarbeitete Fassung ersetzt wurde, werden die außer Kraft gesetzten Regelungen in der Praxis im Sinne sog. sonstiger Erkenntnisquellen weiterhin angewendet. Dies gilt sowohl für die Behörden als auch die betroffenen Anlagenbetreiber.

Zusätzlich sei auf weitere Literatur verwiesen; z. B. Pitschinger [Pitschinger 2000] hat verschiedene Ausbreitungsmodelle im Bericht „Referenzszenario Ausbreitung toxischer Gase für Zwecke der Raumordnung/ Flächenwidmung nach Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie (2000)“ beschrieben und anhand einiger Beispielstoffe die Modellergebnisse verglichen.

[Störfall-Verordnung, Anhang VI Meldungen, Teil 1: Kriterien]

I. Eine Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs, die unter Nummer 1 fällt oder mindestens eine der in Nummern 2, 3, 4 und 5 beschriebenen Folgen hat, ist der zuständigen Behörde mitzuteilen:

1. Beteiligte Stoffe

Jede unfallbedingte Entzündung, Explosion oder Freisetzung eines gefährlichen Stoffes mit einer Menge von mindestens 5 % der in Spalte 5 des Anhangs I angegebenen Mengenschwelle.

2. Schädigungen von Personen oder Haus- und Grundeigentum

Ein Unfall, bei dem ein gefährlicher Stoff die unmittelbare Ursache für eine der nachstehenden Unfallfolgen ist:

a) ein Todesfall,

b) sechs Verletzungsfälle innerhalb des Betriebsbereichs mit Krankenhausaufenthalt von mindestens 24 Stunden,

c) ein Verletzungsfall außerhalb des Betriebsbereichs mit Krankenaufenthalt von mindestens 24 Stunden,

d) Beschädigung und Unbenutzbarkeit einer oder mehrerer Wohnungen außerhalb des Betriebsbereichs,

e) Evakuierung oder Einschließung von Personen für eine Dauer von mehr als zwei Stunden mit einem Wert von mindestens 500 Personenstunden,

f) Unterbrechung der Versorgung mit Trinkwasser, Strom oder Gas oder der Telefonverbindung für eine Dauer von mehr als 2 Stunden mit einem Wert von mindestens 1000 Personenstunden.

3. Unmittelbare Umweltschädigungen

a) Dauer- oder langfristige Schädigungen terrestrischer Lebensräume:

– gesetzlich geschützter, für Umwelt oder Naturschutz wichtiger Lebensraum:

ab 0,5 ha,

– großräumiger Lebensraum, einschließlich landwirtschaftlich genutzter Flächen:

ab 10 ha.

b) Erhebliche oder langfristige Schädigungen von Lebensräumen in Oberflächen-

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

gewässern oder von maritimen Lebensräumen<sup>1</sup>

- Fluss, Kanal, Bach: ab 10 km,
- See oder Teich: ab 1 ha,
- Delta: ab 2 ha,
- Meer oder Küstengebiet: ab 2 ha.

c) Erhebliche Schädigung des Grundwassers<sup>1</sup>

- ab 1 ha.

### 4. Sachschäden

a) Sachschäden im Betriebsbereich: ab 2 Millionen EURO,

b) Sachschäden außerhalb des Betriebsbereichs: ab 0,5 Millionen EURO.

### 5. Grenzüberschreitende Schädigungen

Jeder unmittelbar durch einen gefährlichen Stoff verursachte Unfall mit Folgen, die über das Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland hinausgehen.

II. Eine Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs, die aus technischer Sicht im Hinblick auf die Verhütung von Störfällen und die Begrenzung ihrer Folgen besonders bedeutsam ist, aber die den vorstehenden Mengen bezogenen Kriterien nicht entspricht, ist der zuständigen Behörde mitzuteilen.

III. Eine Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs, bei der Stoffe nach Anhang I freigesetzt werden oder zur unerwünschten Reaktion kommen und hierdurch Schäden eintreten oder Gefahren für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft nicht offensichtlich ausgeschlossen werden können, ist der zuständigen Behörde mitzuteilen.

[Swain, Guttmann 1980]

Swain A. D., Guttmann H. E.(1980): Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Report Nureg/CR-1278 Albuquerque

[TA Lärm]

Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm

Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI. Nr. 26 vom 28.08.1998 S. 503)

[TA Luft 2002]

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz  
Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft, Stand 24.07.2002 (GMBI. S. 511)

[TAA-GS-24]

Technischer Ausschuss für Anlagensicherheit, TAA-GS-24: „Abschlussbericht Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB)“

[Ticona]

Quellen: Veröffentlichung zahlreicher Gutachten im Internet,

z. B.: <http://www.flughafen.unser-forum.de/>; <http://www.widema.de/>

---

<sup>1</sup> Zur Bestimmung einer Schädigung kann ggf. auf die Richtlinien 75/440/EWG und 76/464/EWG und die im Hinblick auf ihre Anwendung auf bestimmte Stoffe erlassenen Richtlinien 76/160/EWG, 78/659/EWG oder 79/923/EWG oder den Wert der letalen Konzentration (LC50-Wert) für die repräsentativen Arten der geschädigten Umgebung Bezug genommen werden, wie in der Richtlinie 92/32/EWG für das Kriterium „umweltgefährlich“ definiert worden ist.

## **Literaturverzeichnis - alphabetisch**

[Travis 1987]

Travis, C. C.; Richter, S. A.; Crouch, E. A; Wilson R.; Klema, E. D. : Environment, Science & Technology 21 (5), 415-420, 1987 : Cancer Risk Management. A Review of 132 federal regulatory decisions

[TRB 600]

TRB 600 - Aufstellung der Druckbehälter (BArbBl. 1/1984, S. 45) zuletzt geändert durch Bek. des BMA vom 11. März 1998 (BArbBl. Nr. 6/1998)

[TRB 610]

TRB 610 - Druckbehälter, Aufstellung von Druckbehältern zum Lagern von Gasen von November 1995, zuletzt geändert (BArbBl. Nr. 9/ 2002, S. 129)

[TRB 801]

TRB 801: Besondere Druckbehälter nach Anhang III zu § 12 DruckbehV vom 21. Dezember 1983, zuletzt geändert am 28. September 2002 (BArbBl. 09/ 2002 S. 129)

[TRGS 511]

Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ammoniumnitrat - TRGS 511 (BArbBl. Nr. 6/98 S. 57)

[U.S. Nuclear Regulatory Commission 1975]

U.S. Nuclear Regulatory Commission, WASH-1400, October 1975, Springfield, VA (NTIS): Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U. S. Commercial Nuclear Power Plants

[UBA: Industriepark und Störfallrecht 2001]

Industriepark und Störfallrecht, Gerling Risiko Consulting GmbH: Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes 2001

[UBA-FB 92-026, 1992]

Mustersicherheitsanalyse nach Störfall-Verordnung für eine Sprengstofffabrik

[UBA-FB 20409428, 1999]

Kaiser, W. et al: Ermittlung und Berechnung von Störfallablauszenarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

[UVPG]

Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (BGBl. I Nr. 37 vom 28.06.2005, S. 1757)

[Uth 2001]

Uth: Störfall-Verordnung, Bundesanzeiger Verlag 2001

[Uth 2006]

Uth J., UBA, Vortrag beim StUA Köln im März 2006, Mitautor des Leitfadens

[SFK/TAA-GS-1]

[VDI 3783]:

- VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1; Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen - Sicherheitsanalyse, Beuth Verlag GmbH

## Literaturverzeichnis - alphabetisch

- VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2; Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse, Beuth Verlag GmbH

[VDI-Wärmeatlas 1998]

VDI-Wärmeatlas, 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998

[VwVfG]

Verwaltungsverfahrensgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen - VwVfG. NRW - vom 12. November 1999 (GV.NRW.S. 602/ SGV. NRW. 2010)

[WaStrG]

Bundeswasserstraßengesetz - WaStrG vom 04.11.1998 (BGBl. S. 3294/ FNA 940-9)

[Wietfeld 1992]

Wietfeld P.: Stand der Sicherheitstechnik beim Umschlag von Flüssiggas, TÜ 33 (1992), 224

[Wiekema 1980]

Wiekema : Vapour cloud explosion model. Journal of Hazardous Materials, 3 (1980)

[Wörsdorfer 1994]

Wörsdörfer K.: Beschreibung der thermodynamischen Vorgänge und Wechselwirkungen bei der Freisetzung von Ammoniak. Dissertation Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal 1994

[ZEMA]

Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in Verfahrenstechnischen Anlagen beim UBA, Internet:

<http://www.umweltbundesamt.de/zema/> ;

<http://www.umweltbundesamt.de/anlagen/>

[ZEMA 1998]

Umweltbundesamt, ZEMA: Jahresbericht 1998, S. 17 ff.

[ZEMA 2003]

Umweltbundesamt, ZEMA: Vorträge anlässlich des zehnjährigen Bestehens der ZEMA: Sicherheitskonzepte Bahn und Verkehr, nationale und europäische Ereigniserfassung, Konzepte zur Verbesserung des Informationsaustausches (Vernetzung), Ereignisauswertung in den Niederlanden. Teilweise veröffentlicht im Internet (UBA, Berlin, Oktober 2003)

[Zivilschutzforschung 1997]

Zivilschutzforschung, Projekt Nr. 940001266: Optimierung des Schutzes vor Luft getragenen Schadstoffen in Wohngebäuden, Februar 1997

---

## **Endnoten: Literaturstellen zu Gerichtsurteilen und rechtlichen Kommentaren**

<sup>1</sup> Spindler, Frankfurt/Dresden, UPR 1997/5, S. 170-177

<sup>2</sup> VG Frankfurt 1996, Beschluss vom 17.09.1996, Az.: 6 G 1808/96 (2), n. veröff.; S. 7 f.; VG Darmstadt, Beschluss vom 18.07.1996, Az.: 8 G 275/96 (3), n. veröff., beide aber ohne nähere Auseinandersetzung mit den damit aufgeworfenen Fragen.

Das VG Gießen, GewArch 1996, 344 ff. erörtert dagegen ausführlich Sicherheitsabstände sowohl nach § 3 Abs. 1 der 12. BlmSchV als auch nach § 3 Abs. 3 der 12. BlmSchV. VG Stade, Beschluss vom 12.02.1987, Az.: 1 D 10/87, S. 13: Die in § BlmSchG definierten Betreiberpflichten beziehen sich auf die gesamte Anlage, so dass Sicherheitsabstände, wenn sie schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft verhindern können, als Vorsorgemaßnahmen in Frage kommen“.

<sup>3</sup> Spindler, Frankfurt/Dresden, UPR 1997/5, S. 173

<sup>4</sup> Hansmann in: Landmann/Rohmer, UmwR, Bd 1, Vor § 1 der 12. BlmSchV Rn. 8; Feldhaus, WiVerw 1981, 191; Vogel, TÜ 31 (1990), 127. Demnach ist weder dem GSG noch z. B. der Druckbehälter-Verordnung ein Schadenvorsorge bzw. Gefahrenvorsorgegedanke zu entnehmen wie ihn § 3 Abs. 3 der 12. BlmSchV kennt.

<sup>5</sup> Feldhaus, WiVerw 1981, 191

<sup>6</sup> Feldhaus, WiVerw 1981, 192

<sup>7</sup> BVerwG, Urt. v. 12.12.1969 – 4 C 105.66 – BVerwGE 34, 301; Hoppe, DVBl. 1964, 165

<sup>8</sup> VerfGH Saarland, Urt. V. 11.10.1974 – Lv 7/74 – AS 14, S. 145; Blümel VVDStRL Bd. 36 (1978), 171 (265); Löhr, Die kommunale Flächennutzungsplanung 1977, 111

<sup>9</sup> BVerfG, E. v. 16.6.1954 – 1 PBvV 2/52 – BVerfGE 3, 407; Hoppe/Stürer RzB Rdn. 1 – Gutachten Bodenrecht

<sup>10</sup> BauROG: Der Begriff der geordneten städtebaulichen Entwicklung ist durch das Bau- und Raumordnungsgesetz (BauROG) durch die nachhaltige städtebauliche Entwicklung ersetzt worden. Dadurch soll, ähnlich wie durch die nachhaltige Berücksichtigung von Umweltbelangen im Umweltrecht („sustainable development“) die Bedeutung und Querschnittsfunktion der städtebaulichen Entwicklung hervorgehoben werden.

<sup>11</sup> BVerwG, B. v. 16.1.1996 – 4 NB 1/96 – NVwZ-RR 1997, 83; ZfBR 1996, 223 - Planungserfordernis

<sup>12</sup> BVerwG, B. v. 7.9.1988 – 4 N 1.87 – BVerwGE 80, 184

<sup>13</sup> BVerwG, Urt. v. 11.2.1993 – 4 C 18.91 – BVerwGE 92, 56

<sup>14</sup> BVerwG, Urt. v. 16.9.1993 – 4 C 28.91 – BVerwGE 94, 151

<sup>15</sup> BVerwG, B. v. 31.1.1995 – 4 NB 48.93 ZfBR 1995, 143

<sup>16</sup> BVerwG, Urt. v. 3.12.1992 – 4 C 27.91 – BVerwGE 91, 234

<sup>17</sup> z. B.: Fuder, KGV-Rundbrief 4/2002 Anlagensicherheit, S. 18

---

<sup>18</sup> z. B.: Fuder: Die Umsetzung von Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie im Bauplanungsrecht, KGV-Rundbrief 4/2002, S. 15 ff. Anlagensicherheit

<sup>19</sup> BVerwG, Urt. V. 5.7.1974 – 4 C 50.72 – BverGE 45, 309; Hoppe/ Stür RzB Rdn. 24 – Delog-Detag

<sup>20</sup> Verwaltungsverfahrensgesetz, § 36

<sup>21</sup> BverfGE 49, 89 [137]: "... der Eintritt eines Schadens ist nicht mit letzter Sicherheit auszuschließen"

<sup>22</sup> BVerwGE 45, 51 [57]: Ständige Rechtsprechung der Verwaltungsgerichtsbarkeit, u. a.

<sup>23</sup> Kloepfer Michael, Umweltrecht, § 4 Rn. 12

<sup>24</sup> Kloepfer Michael, Umweltrecht, § 3 Rn. 17

<sup>25</sup> BverwGE 72, 316

<sup>26</sup> BverfGE 7, 198 [205], z. B

<sup>27</sup> BverfGE 49, 89 [142]

<sup>28</sup> BverfGE 39, 1 [41], u. a.

<sup>29</sup> BverfGE 53, 30 [57]

<sup>30</sup> Scholz in Maunz/Dürig, Grundgesetz-Kommentar, Art. 20a, Rn. 18

<sup>31</sup> Beschluss vom 08.08.1978, BVerfGE 49, 89 ff

vgl. neben der Kalkar-Entscheidung u. a. auch BVerfGE 53, 30 [57 f] .Mühlheim-Kärlich.; BVerwGE 55, 250 [254] .Voerde-Urteil.

<sup>32</sup> BverfGE 49, 89 [141] „Kalkar-Beschluss“, vgl. auch Stern, Das Staatsrecht der Bundesrepublik Deutschland, Bd. III 1, § 67 V 2, S. 740

<sup>33</sup> BverfGE 49, 89 [142]

<sup>34</sup> Lit.: BVerfGE 49, 89 (143) und BVerwGE 61, 256 (263; 72, 300 (316)

<sup>35</sup> Lit.: BVerfGE 49, 89 (139)

<sup>36</sup> BR-Drs 511/99, 88

<sup>37</sup> Lit.: Sellner, Scheidmann: Umgebungsschutz für Störfallanlagen (auch in Bezug auf Flugrouten), NVwZ 2004, Heft 3

<sup>38</sup> Lit.: BR-Dr 502/98, S. 98

<sup>39</sup> BVerwG, UPR 1994, 451; OVG NRW, UPR 2004, 387

<sup>40</sup> BVerwGE 71, 163, 165; StoffR 51 2004 und dort genannte Lit.: Störfallrechtliche Risiken für Chemiestandorte, Clemens Weidemann und Christiane Freytag

---

<sup>41</sup> VGH Kassel, Urt. v. 23.1.2001 – 2 UE 2899/96

<sup>42</sup> VGH Kassel, ZUR 2002, 47, 50

<sup>43</sup> Spindler, Frankfurt/Dresden, UPR 1997/5, S. 176

<sup>44</sup> Jarass, BlmSchG, 1995, § 17 Rn. 38, § 21 Rn. 22 m. w. Nachw.

<sup>45</sup> BVerwG DVBl. 1982, 1004; ebenso Feldhaus, in: Feldhaus, § 21 BlmSchG Anm. 6; Jarass, BlmSchG, 1995, § 21 Rn. 12; Hansmann, in: Landmann/Rohmer, UmwR, Bd. I, § 21 BlmSchG, Rn. 33, der pauschal von „neuen Erkenntnissen“ spricht, alle m. w. Nachw.

<sup>46</sup> OVG Lüneburg, Beschluss vom 07.03.1988, Az.: 7 OVG B 25/87, n. veröff.; VG Darmstadt, Beschluss vom 18.07.1996, Az.: 8 G 275/96, n. veröff.. Die Beschlüsse des OVG Münster NVwZ 1989, 172 und OVG Lüneburg, DVBl. 1984, 890 betrafen jeweils Anfechtungsklagen gegen immissionsschutzrechtliche Genehmigungen.

<sup>47</sup> Feldhaus, WiVerw 1981, 191

<sup>48</sup> BVerwG, Urt. v. 12.12.1969 – 4 C 105.66 – BVerwGE 34, 301; Hoppe/ Stürer RzB Rdn. 23 - Abwägung

### **Fußnoten zu Kapitel 1 Bauleitplanung: Gerichtsentscheidungen und rechtliche Kommentierungen**

<sup>49</sup> BVerwG, Urt. v. 5.7.1974 – 4 C 50.72 – BVerwGE 45, 309; DVBl. 1987, 1273

<sup>50</sup> BVerwG, B. v. 18.12.1990 – 4 NB 8.90 – BauR 1991, 165; DVBL. 1991, 445, Hoppe/ Stürer RzB Rdn.3

<sup>51</sup> BVerwG, Urt. v. 6.7.1973 – 4 C 22.72 – BVerwGE 42, 331; Hoppe, Stürer RzB Rdn. 713

<sup>52</sup> BVerwG, B. v. 21.4.1994 – 4 B 193.93 – NVwZ 1995, 271; BauR 1994, 601 - Wohnungseigentum

<sup>53</sup> Hoppe in Hoppe/ Grotfels § 7 Rdn. 25, 102

<sup>54</sup> Hoppe in Hoppe/ Grotfels § 7 Rdn. 160 ff.

<sup>55</sup> BVerwG, Urt. v. 5.7.1974 – 4 C 50.72 – BVerwGE 45, 309, Hoppe/ Stürer RzB Rdn. 24 – Delog-Detag

<sup>56</sup> BVerfG, Urt. v. 10.7.1990 – 2 BvR 470/90 u. a. – BVerfGE 82, 310, DVBl. 1990, 930; B. v. 12.5.1992 – 2 BvR 470/90 – DVBl. 1992, 1141 – Papenburg, Stürer DVBl.1977,1

<sup>57</sup> BVerwG, Urt. v. 5.7.1974 – 4 C 50.72 – BVerwGE 45, 309, Hoppe/ Stürer RzB Rdn. 24 – Delog-Detag; Urt. v. 12.12.1975 – 4 C 71.73 – BVerwGE 50, 49, Hoppe/ Stürer RzB Rdn. 61 - Tunnelofen

<sup>58</sup> BVerwG, Urt. v. 3.12.1992 – 4 C 27.91 – BVerwGE 91, 234

<sup>59</sup> BVerwG, B. v. 7.9.1988 – 4 N 1.87 – BVerwGE 80, 184

---

<sup>60</sup> BVerwG, Urt. v. 11.2.1993 – 4 C 18.91 – BVerwGE 92, 56

<sup>61</sup> BVerwG, Urt. v. 16.9.1993 – 4 C 28.91 – BVerwGE 94, 151

<sup>62</sup> BVerwG, B. v. 31.1.1995 – 4 NB 48.93 ZfBR 1995, 143

<sup>63</sup> BVerwG, B. v. 4.1.1994 – 4 NB 30.93 – DVBl. 1994, 699

<sup>64</sup> BauROG: Bundesregierung, Gesetzentwurf zum BauROG 1998, S. 48

<sup>65</sup> OVG Münster, Urt. v. 18.4.1991 – 11 A 696/87 – BauR 1992, 60; Krüger BauR 1989, 589

<sup>66</sup> BVerwG, B. v. 6.5.1996 – 4 NB 16.96 – Buchholz 406.12 § 1 BauNVO Nr. 22

<sup>67</sup> BVerwG, B. v. 22.5.1987 – 4 N 4.86 – BVerwGE 77, 308, Hoppe/ Stürer RzB Rdn. 883

<sup>68</sup> BVerwG, Urt. v. 17.2.1978 – 1 C 102.76 – BVerwGE 55, 250; Hoppe/ Stürer RzB Rdn. 125 – Voerde Kohlekraftwerk

<sup>69</sup> BVerwG, B. v. 15.2.1988 – 7 B 219.87 – Buchholz 406.25 § 48 BImSchG Nr. 2, DVBl. 1988, 539