

Texte

42
07

ISSN
1862-4804

Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)

**Umwelt
Bundes
Amt**



Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 203 48 362
UBA-FB 001047



**Schutz von neuen und bestehenden
Anlagen und Betriebsbereichen gegen
natürliche, umgebungsbedingte
Gefahrenquellen, insbesondere
Hochwasser (Untersuchung vor- und
nachsorgender Maßnahmen)**

von

Dipl.-Ing. Hanns-Jürgen Warm

Warm engineering, Freilassing

Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke

Ingenieurbüro Dr. Köppke, Bad Oeynhausen

unter Mitarbeit von

Prof. Dr. W.B. Krätzig

Dr.-Ing. H. Beem

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3326.pdf>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.2
Roland Fendler

Dessau-Roßlau, Oktober 2007

1. Berichtsnummer UBA-FB-001047	2.	3.
4. Titel des Berichts Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich		8. Abschlussdatum Mai 2007
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Warm engineering ibw@warm-engineering.com Mittlere Feldstraße 1 83395 Freilassing		10. UFOPLAN – Nr. 203 48 362
		11. Seitenzahl 657
		12. Literaturangaben 244
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau		13. Tabellen u. Diagramme 28
		14. Abbildungen 202
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung An konkreten Beispielen in verschiedenen Modellregionen in NRW, Sachsen und Sachsen-Anhalt wurde untersucht, wie Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 19g WHG, Betriebsbereiche, die der 12. BImSchV unterliegen, sowie Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in der Praxis vor Hochwasser geschützt werden. Für Betriebsbereiche wurden darüber hinaus auch die Gefahrenquellen Erdbeben, Sturm und Bergsenkungen näher untersucht. Auf Basis der Untersuchungen in den Modellregionen, der Analyse der rechtlichen Anforderungen sowie dem gegenwärtigen Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik wurden zahlreiche Vorschläge zur Fortschreibung des relevanten Umweltrechts und der Regelwerke erarbeitet, um die Sicherheit der betrachteten Anlagenarten und Betriebsbereiche zu verbessern.		
17. Schlagwörter Hochwasser, Überschwemmungsgebiet, überschwemmungsgefährdetes Gebiet, Sturm, Erdbeben, Bergsenkung, Störfallverordnung, VAwS-Anlage, Betriebsbereich, Hochwasserschutz, Sicherheitstechnik, Alarm- und Gefahrenabwehrplanung		
18. Preis	19.	20.

1. Report No. UBA-FB-001047	2.	3.
4. Report Title Safety of new and existing facilities and establishments against natural environmental hazards, especially flood		
5. Author(s), Family Name(s), First Name Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich		8. Report Date May 2007
6. Performing Organisation (Name, Address) Warm engineering ibw@warm-engineering.com Mittlere Feldstr. 1 83 395 Freilassing Ingenieurbüro Dr. Köppke dr.koeppke@t-online.de Elisabethstr. 31 32545 Bad Oeynhausen		9. Publication Date
		10. UFOPLAN – Ref. No. 203 48 362
		11. No. of Pages 657
		12. No. of References 244
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Federal Environment Agency Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau		13. No. of Tables, Diagr. 28
		14. No. of Figures 202
15. Supplementary Notes		
16. Abstract In different model areas in North Rhine-Westphalia, Saxony and Saxony-Anhalt the protection against flood was investigated for facilities for handling substances constituting a hazard to water according to § 19g Water Management Act, establishments according to the Major Accidents Ordinance and storage tanks for inflammable gases. Moreover the impacts caused by storm, earthquake and mining settlement were also regarded for establishments. On the basis of the results of the investigations in the model areas, the analysis of the legal requirements and the analysis of the state-of-the-art numerous proposals were elaborated to develop the relevant environmental regulations and standards to improve the safety of the regarded plants and establishments.		
17. Keywords flood, flood planes, flood-prone zones, storm, earthquake, mining settlement, Major Accidents Ordinance, Facilities for Handling Substances Constituting a Hazard to Water, establishment, flood protection, safety technique, emergency management		
18. Price	19.	20.

7 Stand der Technik zum anlagenbezogenen Hochwasserschutz mit Nachrüstungsmöglichkeiten sowie Berechnung von Schadstofffreisetzungen und -ausbreitungen

7.1 Einführung

7.1.1 Generelle Aussagen zum Stand der Technik

Zur Darstellung des Standes der Technik ist es sinnvoll, nochmals die Definition, wie sie in dem einschlägigem Umweltrecht (u.a. § 3 Abs. 6 BImSchG) abgefasst ist, in Erinnerung zu rufen:

Stand der Technik ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere die im Anhang ... aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen.

Hierbei können als relevante Kriterien zum Hochwasserschutz auch die Kriterien nach den Punkten 4, 10 und 11 des Anhangs zum BImSchG herangezogen werden.

- 4. vergleichbare Verfahren, Vorrichtungen und Betriebsmethoden, die mit Erfolg im Betrieb erprobt wurden,
- 10. Notwendigkeit, die Gesamtwirkung der Emissionen und die Gefahren für den Menschen und die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden oder zu verringern
- 11. Notwendigkeit, Unfällen vorzubeugen und deren Folgen für den Menschen und die Umwelt zu verringern.

Für den Begriff „Stand der Technik“ genügt es nicht, dass die Wissenschaft Lösungen für bestimmte Verfahren erforscht hat; es muss sich vielmehr um Techniken handeln, die bereits entwickelt sind [Czychowski, M; Reinhardt, M., 2003]. Die Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen müssen nach dem Wortlaut praktisch ge-

eignet erscheinen, die Ziele des integrierten Umweltschutzes zu sichern. Undurchführbares kann nicht als „fortschrittlich“ bezeichnet werden. Das bedeutet, die Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen müssen „verfügbar“ sein, bzw. „zur Verfügung stehen“. Die Anlagen müssen, wenn sie vom Unternehmer nicht selber entwickelt werden, auf dem Markt angeboten werden. Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen müssen realisiert worden sein. Erforderlich ist die Gewähr der praktischen Eignung. Eine erfolgreiche Betriebserprobung muss noch nicht stattgefunden haben.

In der StörfallV findet sich folgende Definition des Standes der Sicherheitstechnik:

“Der Stand der Sicherheitstechnik umfasst den Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung ihrer Auswirkungen gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind“.

Diese Ausführung macht klar, dass der Stand der Technik bzw. der Sicherheitstechnik rechtlich unbestimmt und juristisch nicht abschließend zu definieren ist. Dies ist gewollt und erscheint vernünftig, da einerseits die rechtlichen Vorschriften von Detailregelungen frei bleiben und eine flexible Anpassung an eine fortschrittliche Technik stets möglich ist. Der Stand der Technik und Sicherheitstechnik kann daher aufgrund des ihm innewohnenden dynamischen Entwicklungsablaufes nicht ausschließlich in Regelwerken oder Richtlinien festgelegt oder wiedergegeben werden.

Zur Ermittlung fortschrittlicher Betriebsweisen und Einrichtungen sind daher i.d.R. individuelle z.T. aufwendige technische Betrachtungen unterschiedlicher Tiefe je nach der Komplexität von Anlagen oder deren Komponenten anzustellen. Ein Leitfaden zum Auffinden vorliegender Informationsquellen und Dokumentationen kann hierbei die SFK GS-33 “Schritte zur Ermittlung des Standes der Sicherheitstechnik“ sein [Störfallkommission, 2002], wenngleich, wie dort auch dargelegt wird, vertrauliche technische Anlagendokumentationen der Planer und Betreiber zum Stand der Technik aufgrund von Geschäfts- und Betriebsgeheimnissen i.d.R. nicht verfügbar sind. Der Leitfaden zeigt allerdings nur den Weg zur Findung des Standes der Sicherheitstechnik auf; er ist selbst untechnisch. Im Bezug auf die rechtlichen Grundlagen zur Ermittlung des Standes der Technik ist auf das Rechtsgutachten für den betreffenden SFK-Arbeitskreis hinzuweisen [Neuser, 2000].

Eine weitere Schwierigkeit bei der Ermittlung des Standes der Technik ergibt sich durch die Tatsache, dass es ca. 40.000 technische Normen, Richtlinien und Regelwerke gibt, von denen allein ca. 4.000 einen Bezug zur Sicherheit aufweisen und in wichtigen Bereichen auch auf den Stand der Technik und Sicherheitstechnik abheben.

Schwierig gestaltet sich die Feststellung des Standes der Sicherheitstechnik für Sachverständige beim Prüfen einer Anlage oder eines Betriebsbereiches dadurch, dass häufig die zur Prüfung vorgelegten Anlagendokumentationen, wie z.B. der Sicherheitsbericht, nur eine komprimierte Darstellung der komplexen Anlagentechnologie sind.

Bei der Anwendung des Standes der Technik zum betrieblichen Hochwasserschutz und von Nachrüstungsmaßnahmen sind sowohl technisches Hintergrundwissen als auch die Einbindung von Vergleichsgrößen hinsichtlich ähnlich gelagerter Anlagentypen und Fälle von Vorteil und die Beurteilung von Anlagen nach der StörfallV bzw. § 19 g des WHG auch individuell mit Einzelkonzepten vorzunehmen. Analoge Ausführungen finden sich im Forschungsbericht „Weiterentwicklung des Dokumentationssystems zum Stand der Sicherheitstechnik“ 204 04 903 des Umweltbundesamtes [UBA, 2001].

Eine differenzierte Betrachtung der Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik, gegliedert nach Maßnahmen in Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten ist für Betriebsbereiche nicht möglich, weil weder das BImSchG noch die Störfall-Verordnung eine solche Unterscheidung kennen. Ebenso wie die StörfallV gehen auch die Technischen Regelwerke, die in **Tabelle 7.1.2.1** aufgeführt sind, nur von der Gefahrenquelle Hochwasser aus. Auch die in der Praxis realisierten Maßnahmen lassen sich nicht entsprechend ihrem Einsatz für ein Überschwemmungsgebiet oder ein überschwemmungsgefährdetes Gebiet einteilen. Die am Markt verfügbaren Systeme wurden entwickelt, um eine Hochwassersituation zu beherrschen und zwar unabhängig vom Ort ihres Einsatzes.

Im Unterschied dazu enthalten die VAwS-Anlagenverordnungen einen gebietsbezogenen Anwendungsbereich. Die Anforderungen zum Hochwasserschutz beziehen sich derzeit ausschließlich auf Überschwemmungsgebiete. Weil der Begriff „überschwemmungsgefährdetes Gebiet“ noch nicht in den VAwS-Anlagenverordnungen, wie unter Kapitel 3.5.5 schon dargelegt wurde, definiert ist, gibt es rechtlich auch noch keine speziellen Anforderungen an Anlagen in diesen Gebieten. Gleichwohl wurden in der Praxis zahlreiche technische und organisatorische Maßnahmen umge-

setzt, die den „realisierten“ Stand der Technik repräsentieren. Grundsätzlich ist schon an dieser Stelle festzuhalten, dass alle Maßnahmen zur Sicherung von VAWS-Anlagen in Überschwemmungsgebieten auch in überschwemmungsgefährdeten Gebieten anwendbar sind.

7.1.2 Technische Regelwerke zum Hochwasserschutz für Komponenten und Teile von Betriebsbereichen gemäß StörfallV

Die in der Tabelle 7.1.2.1 zusammengestellten Regelwerke für bestimmte technische Komponenten und Betriebsbereichsteile beinhalten einen Bezug zur Gefahrenquelle Hochwasser. Die jeweiligen Anforderungen sind dann zu realisieren, wenn eine potenzielle Gefährdung der Anlage durch Hochwasser nicht ausgeschlossen werden kann. Die Berücksichtigung dieser Technischen Regelwerke bildet die Voraussetzung für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen nach dem Stand der Technik.

Darüber hinaus gibt es weitere technische Hinweise, wie z.B. die VDI-Richtlinie 6004, Blatt 1 zum Schutz der technischen Gebäudeausrüstung vor Hochwasser [VDI, 2006], sowie die Empfehlungen der IKSE [IKSE, 2003] für Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen, insbesondere für private Heizöltanks, die in Kapitel 3.4.1 ausführlich dargestellt sind. Alle genannten Verordnungen und Regelwerke sind im Falle einer potenziellen Gefährdung der Anlage durch Hochwasser anzuwenden.

Neben den Anforderungen in den Regelwerken gibt es in der Praxis zahlreiche technische und organisatorische Maßnahmen zum Hochwasserschutz, die nicht in den Regelwerken dokumentiert sind und in den folgenden Kapiteln 7.2 und 7.3 dargestellt werden.

Tabelle 7.1.2.1: Regelwerke mit spezifischen Anforderungen für den Fall einer Gefährdung durch Hochwasser

Regelwerk/Verordnung	Anwendungsbereich	Anforderung
TRB 600	Aufstellung von Druckbehältern	Auftriebssicherheit
TRB 801, Anlage zur Nr. 25	Flüssiggaslagerbehälteranlagen	Anlagenaufstellung bei Hochwasser
TRR 100 TRR 110 TRR 120	Rohrleitungen	keine unzulässige Lageveränderung
TRD 452- Anlage 1 TRD 452-Anlage 2	Anlagen zur drucklosen Lagerung von Ammoniak-Wassergemischen für Dampfkesselanlagen	Auftriebsicherheit (gegenüber Grundwasser)
TRbF 20	Läger	Auftriebssicherheit
TRbF 40	Tankstellen, unterirdische Tanks	Auftriebssicherheit
TRAC 301	Calciumcarbidlager	Schutz vor Überschwemmungswasser
TRGS 514	Lagern sehr giftiger und giftiger Stoffe in Verpackungen und ortsbeweglichen Behältern	Errichtung hochwassersicherer Läger
TRGS 555	Betriebsanweisungen und Unterweisungen nach § 20 GefStoffV	Anweisungen für das Verhalten bei Hochwasser
TRAS 110	Ammoniak-Kälteanlagen	Vorkehrungen gegen Hochwasser
Sicherheitstechnische Anforderungen an Flüssiggasanlagen (Erlässe – Hessen und Niedersachsen)	Läger und Abfüllanlagen	Schutz des Anlage vor Hochwasser

7.2 Technische Maßnahmen zum vorbeugendem Hochwasserschutz

Zur Bewertung der verschiedenen Maßnahmen zum Hochwasserschutz ist die Kenntnis der Rahmenbedingungen eines Hochwasserereignisses von entscheidender Bedeutung. Hierzu zählen im Einzelnen:

Hochwasserstand Für einen wirksamen Hochwasserschutz ist die Kenntnis möglicher Hochwasserstände erforderlich. Hierzu ist eine enge Abstimmung mit den Behörden erforderlich.

Strömungs- geschwindigkeit	Je nach Lage des Betriebes müssen auch die möglichen Strömungsgeschwindigkeiten berücksichtigt werden, weil hierdurch erhebliche Kräfte auf Anlagen ausgeübt werden können. Dies gilt insbesondere für Anlagen an Gebirgsbächen (z.B. Müglitz) sowie für Anlagen unmittelbar hinter Deichen, die durch einen Deichbruch gefährdet werden könnten. Die Strömungsgeschwindigkeit ist auch bei der Auswahl von mobilen Schutzwänden zu berücksichtigen.
Treibgut	Die Gefahren durch Treibgut sind vor allem bei Gewässern mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten besonders zu beachten.
Eisgang	Auch durch Eisgang können Beschädigungen an Anlagen hervorgerufen werden. Daher sollte auch der Eisgang bei betrieblichen Maßnahmen nicht unbeachtet bleiben.

Die Analyse dieser Randbedingungen muss grundsätzlich individuell erfolgen und hängt u.a. von der Flussgebietscharakteristik und von der Lage der Anlage am Gewässer ab. Neben den verschiedenen Gefahren, die mit einem Hochwasser verbunden sein können, sind auch die potenziellen Eintrittspfade des Wassers in einen Betrieb zu beachten. Folgende Wege des Wassers sind zu berücksichtigen:

- Eintritt von Oberflächenwasser (Beispiel: Fluorchemie in Dohna)
- Eintritt durch die Abwasserkanalisation (Beispiel: Dresden)
- Eintritt über das Kanalsystem zur Ableitung von Kühl- oder Abwasser

Darüber hinaus ist zeitlich verzögert auch mit einem Anstieg des Grundwasserspiegels zu rechnen, wodurch ebenfalls eine Gefährdung ausgelöst werden kann. Zu einer effektiven Gefahrenabwehr gehört auch die Analyse möglicher eintretender Schäden im Hochwasserfall. Beispielhaft werden folgende Ereignisse aufgezählt:

- Abreißen von Rohrleitungen durch Auftrieb von Behältern oder Treibgut
- Verformen von Behältern oder Tanks durch Auftrieb oder äußeren Druck
- Leckschlagen von Behältern oder Tanks durch Treibgut
- Abriss von Kabeln zur Energieversorgung oder Steuerung von Einzelkomponenten
- Beschädigung oder Abriss von Armaturen

- Forttreiben von Behältern (z.B. Flüssiggasbehälter)
- Überspülung von Chemikalienlagern
- Ausfall von Trafostationen bzw. der Energieversorgung
- Ausfall von Kläranlagen mit Folgen für den Betrieb
- Einschränkung der Erreichbarkeit von Betriebsbereichen

Insbesondere die letzten drei Punkte verdeutlichen, dass auch Gefahren für einen Betrieb auftreten können, deren Ursachen außerhalb des Betriebes liegen. In Bitterfeld waren z.B. sowohl die Kläranlage als auch eine wichtige Trafostation gefährdet. In Bezug auf eine notwendige Darlegung in Sicherheitsberichten wird auf Kapitel 11 verwiesen.

In den folgenden Abschnitten werden die in der Praxis realisierten technischen und organisatorischen Maßnahmen beschrieben, die den gegenwärtigen Stand der Technik zum Hochwasserschutz von VAWS-Anlagen und Betriebsbereichen repräsentieren. Dafür wird analog der Einteilung der Flussgebietskommissionen zwischen trockener und nasser Vorsorge unterschieden. Die Darstellungen basieren auf den Untersuchungen in den ausgewählten Modellregionen, auf Empfehlungen bzw. Merkblättern verschiedener Fachkommissionen sowie den Fachkenntnissen der Berichterstatter. Die Empfehlungen und Merkblätter werden unter dem Gesichtspunkt der planbaren betrieblichen Gefahrenabwehr für Betriebsbereiche, VAWS-Anlagen und Flüssiggaslagertanks diskutiert. Daher ergibt sich im Vergleich zu den Empfehlungen und Merkblättern der Fachkommissionen zur Gefahrenabwehr bzgl. der genannten Anlagen ein differenzierteres Bild des Standes der Technik bzw. Sicherheitstechnik. Diese Unterschiede werden in den folgenden Detailausführungen herausgearbeitet.

Die verschiedenen Maßnahmen zum Hochwasserschutz mit den Möglichkeiten der Nachrüstung von Anlagen werden ausschließlich unter technischen Gesichtspunkten dargestellt und bewertet. Welche Anforderungen in Abhängigkeit vom festgelegten Schutzniveau (Risikoproportionalität) in Form von Verordnungen, Verwaltungsvorschriften im Einzelnen empfohlen werden, wird in Kapitel 11 erläutert.

7.2.1 Stand der Technik zur trockenen Vorsorge

Die trockene Vorsorge kann entweder am Gebäude selbst oder um das Gebäude bzw. den Betriebsbereich herum erfolgen. Wie die Untersuchungen in den Modellregionen ergaben, wird bei der trockenen Vorsorge primär versucht, den gesamten Betriebsbereich bzw. das ganze Betriebsgelände vor Hochwasser zu schützen. Hierzu ist es erforderlich, alle Schnittstellen zwischen äußerem und innerem Bereich zu ermitteln (**Abbildung 7.2.1.1**).

Die Maßnahmen zur trockenen Vorsorge können, je nach örtlichen Gegebenheiten, prinzipiell für folgende Anlagen eingesetzt werden:

- Betriebsbereiche,
- VAWS-Anlagen sowie sonstige gefährdete Bereiche eines Betriebes,
- VAWS-Anlagen im privaten Bereich (Heizöltanks) sowie die Lagerung von Flüssiggas.

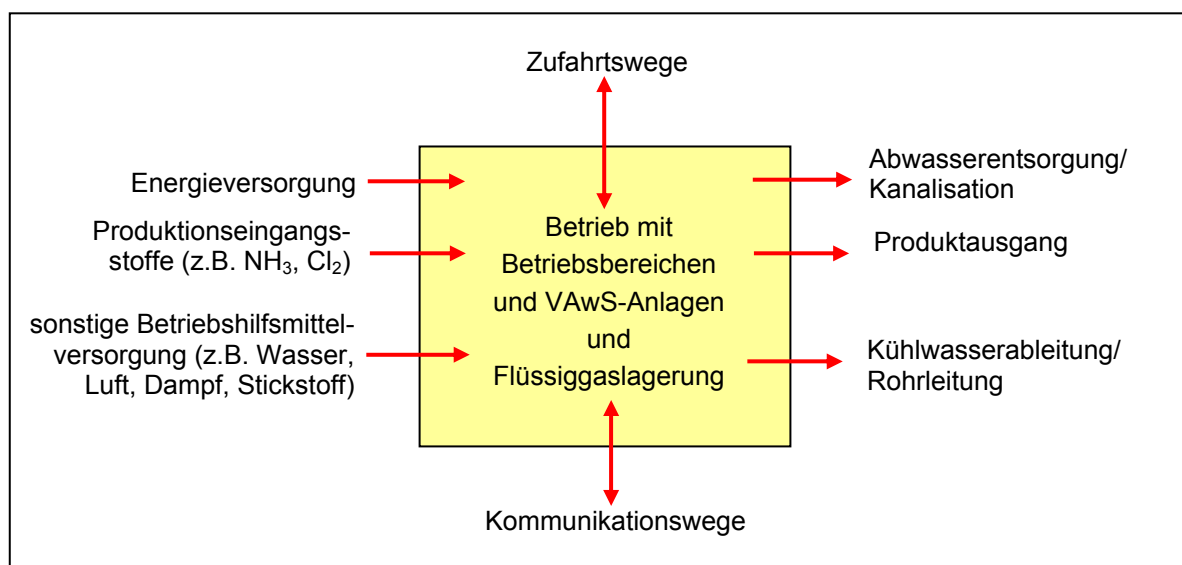


Abbildung 7.2.1.1: Schnittstellen bei der trockenen Vorsorge

Sie kann durch stationäre und instationäre Maßnahmen sicher gestellt werden. Am Beispiel eines fiktiven Betriebes sind in Abbildung 7.2.1.1 alle Schnittstellen bei der trockenen Vorsorge dargestellt, wobei selbstverständlich klar ist, dass nicht in jedem Falle jede Schnittstelle zu berücksichtigen ist. Beispielsweise ist für die Flüssiggaslagerung die Kühlwasserableitung nicht relevant.

7.2.1.1 Stationäre Maßnahmen

Als Ergebnis der Untersuchungen in den Modellregionen sowie weiteren Recherchen durch die Berichtersteller kann der Stand der Technik stationärer Maßnahmen im Einzelnen wie folgt zusammengefasst werden:

Anheben des Geländeniveaus

Die Bayer Bitterfeld GmbH ließ vor dem Bau neuer Produktionsanlagen auf der Grundlage einer möglichen Hochwassergefährdung ihr Betriebsgelände anheben. Somit wurde eine Überschwemmung im August 2002 verhindert. Das Anheben des Geländeniveaus ist ein sicherer Weg, Betriebsbereiche, VAWS-Anlagen sowie Flüssiggasbehälter zu schützen, jedoch in der Regel nur bei Neuanlagen realisierbar. Ob bei älteren Betriebsbereichen eine Anhebung des Geländes möglich ist, muss im Einzelfall betrachtet werden. Denkbar ist auch eine lokale Anhebung einzelner Anlagen. Auf diese Weise wird auch ein höherer Schutzgrad vor Treibgut erreicht.

Die IKSE empfiehlt für oberirdische VAWS-Anlagen im Freien grundsätzlich die Installation oberhalb der höchsten bisher eingetretenen Wasserspiegellage (HHQ) und mindestens die, die einem HQ₁₀₀ entspricht. Dies gilt auch für Rohrleitungen. Bei einer solchen Aufstellung muss die Anlage vor Abschwemmung und Treibgut gesichert werden. Die pauschale Angabe eines HHQ und eines HQ₁₀₀ ist jedoch problematisch und entspricht nicht dem Stand der Technik, weil sie sich nicht an den örtlichen Schutzziele, die auch ein HQ > HQ₁₀₀ als Grundlage haben können, orientiert. In Kapitel 11 wird auf diese Zusammenhänge detailliert eingegangen.

Eindeichung

Größere Betriebsbereiche werden oftmals durch Deiche geschützt, wie z.B. Tanklager in Raffinerien. Eindeichungen mit Sperrbauwerken wurden beispielsweise bei der DOW Deutschland GmbH in Stade an der Unterelbe realisiert. Das mit diesen Maßnahmen erreichbare Schutzniveau ist jedoch nicht dem bei einer ausreichenden Höhenlage gleichzusetzen, weil das Risiko z.B. eines Deichversagens oder der Beschädigung durch Treibgut oder Eis je nach Anlagenstandort bestehen bleibt. Zur Erreichung eines hohen Schutzniveaus hat die Errichtung von

Flussdeichen nach dem Stand der Technik zu erfolgen, der in DIN 19712 dargelegt ist.

Schutzwände

Feste Schutzwände wurden z.B. zur Sicherung des Bayer Chemieparks Leverkusen oder zur Sicherung des Betriebsgeländes der Uniqema in Emmerich errichtet (vgl. Abbildung 6.5.4.2.2 und Abbildung 6.5.3.1.2). Ähnlich wie bei der Eindeichung wird bei der Errichtung von Schutzwänden nicht nach zu schützenden Anlagen (Betriebsbereiche, VAWS-Anlagen oder Flüssig-gastanks) unterschieden. Grundlage zur Bemessung der Höhe der Schutzwände ist das festgesetzte Schutzziel, über dessen Festlegung in Kapitel 11 ausführlich diskutiert wird.

Kanalverschlüsse

Sichere Verschlusssysteme für Abwasserkanäle oder Kühlwasserableitungen sind Rückschlagklappen, die den Wasserdruk des Gewässers nutzen, um den Wassereintritt in das betriebliche Kanalsystem zu verhindern. Ein Beispiel ist in **Abbildung 7.2.1.1.1** dargestellt. Nachteilig bei derartigen Systemen ist, dass mit einem solchen Verschluss auch kein Wasser mehr abgeleitet werden kann. Verschlusssysteme sind auch für private Heizöltanks von großer Bedeutung und sollten standardmäßig für Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten eingebaut werden. Produktionsbetriebe, die weder Abwasser noch Kühlwasser abgeben können, müssen u.U. die Produktion herunterfahren.

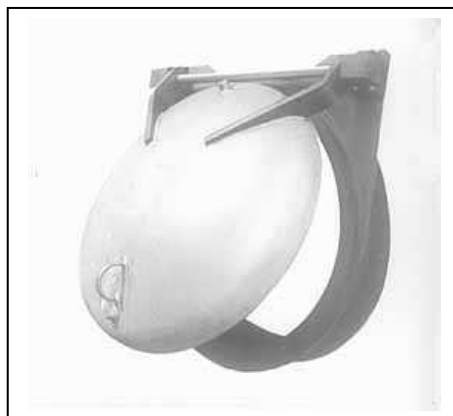


Abbildung 7.2.1.1.1:
Beispiel einer Rückschlag-
klappe

Um den Produktionsbetrieb möglichst lange aufrecht erhalten zu können, erfolgt die Abgabe von Kühlwasser und Oberflächenwasser im Bayer Chemiepark Leverkusen über eine

Druckrohrleitung, die über die Hochwasserschutzwand führt, wobei der normale Kanal abgeschiebert wird. Das in **Abbildung 7.2.1.1.2** dargestellte Ableitungssystem wird in der Regel auch in Kläranlagen eingesetzt, die wie am Niederrhein durch Deiche geschützt sind.

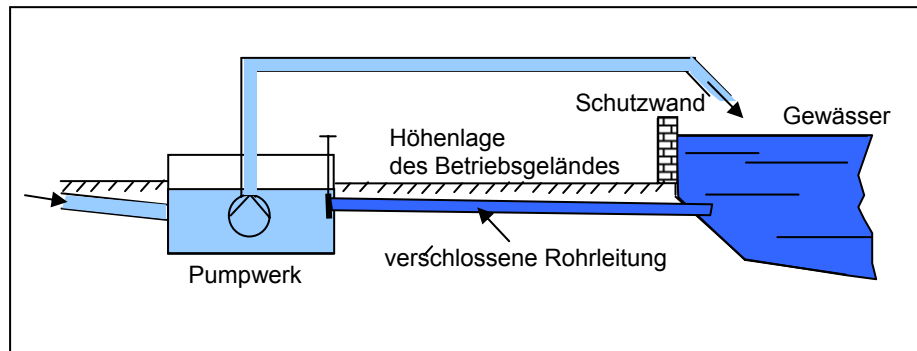


Abbildung 7.2.1.1.2: Oberflächen- und Kühlwasserableitung im Bayer Chemiepark Leverkusen

In wie weit die Entnahme von Kühlwasser durch Hochwasser gefährdet wird, muss im Einzelfall geprüft werden. Zahlreiche Unternehmen beziehen ihr Kühlwasser direkt aus dem Gewässer und/oder aus Brunnen als Uferfiltrat. Mit Einstellung der Kühlwasserversorgung muss durch Verschlussysteme (z.B. Schieber) sichergestellt sein, dass kein Wasser über die Kühlwasserversorgungsleitungen auf das Betriebsgelände gelangen kann.

Speicherbehälter für Abwasser

Die Ableitung von Abwasser ist immer dann eingeschränkt, wenn die nachgeschaltete Kläranlage vom Hochwasser bedroht ist und gegebenenfalls abgeschaltet werden muss. Dies kann nicht nur direkt einleitende, sondern auch indirekt einleitende Betriebe betreffen. In diesen Fällen kann es für die Aufrechterhaltung der Produktion bedeutsam sein, wenn eine Zwischenspeicherung des Abwassers möglich ist. Im Chemiepark Leverkusen werden die Abwässer in einem Speicher gesammelt, der für mehrere Tage die Produktionsabwässer der verschiedenen Betriebe aufnehmen kann.

Wenn private Haushalte im Rahmen der trockenen Vorsorge die Ableitung in den Kanal verschlossen haben, sollte gleich-

zeitig auch die Möglichkeit einer Zwischenspeicherung von Abwasser im Haus möglich sein. Nach Rückgang des Hochwassers kann dann das Abwasser im freien Gefälle oder mit Hilfe einer Pumpe abgeleitet werden.

Energieversorgung Die Energieversorgung muss, solange Produktionsanlagen in Betrieb sind, zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Dies bedeutet, dass eine doppelte unabhängige Einspeisung über 2 Schienen vorhanden sein muss. Dies stellen zahlreiche Betriebsbereiche z.B. über eine Notstromversorgung (meist Notstromgenerator mit Dieselaggregat) sicher, damit ein ordnungsgemäßes Abfahren der Anlage gewährleistet ist. (Betriebsbereiche müssen über eine Notstromversorgung zumindest mit Batteriepufferung verfügen.) Für die relevanten MSR/PLT-Systeme zum sicheren Abfahren oder sogenannten Stillstands-HOLD können auch Batterien eingesetzt werden.

Für den Fall eines sogenannten Stand-By-Betriebes im Hochwasserfall (siehe Fluorchemie Dohna Kap. 6) muss die Kraftstoffreserve für das Notstromdieselaggregat auf die voraussichtliche Hochwasserdauer bemessen sein.

Die wichtigsten Unternehmen auf dem Gelände des Chemie-parks Bitterfeld hatten vorsorglich ihre Anlagen während der Hochwassergefahr heruntergefahren, nachdem der örtliche Energieversorger keine 100 %ige Garantie für die Sicherstellung der Stromversorgung geben konnte.

Betriebshilfsmittelversorgung Die Versorgungsleitungen für die verschiedenen Betriebshilfsmittel befinden sich bei größeren Industrieparks u.U. außerhalb von z.B. eingedeichten Flächen. Es muss für den jeweiligen Standort sichergestellt werden, dass eine Beschädigung der Versorgungsleitungen nicht zu befürchten ist. Da es sich oftmals um Rohrbrücken handelt, ist insbesondere die Gefahr von Treibgut zu beachten. Im Einzelnen sind folgende Maßnahmen zur Sicherung der Betriebsmittelversorgung bei Hochwasser zu nennen:

- Druckluftversorgung durch
 - ausreichende Speicherung
 - Not-Kompressor mit Dieselaggregat
- Stickstoffversorgung durch
 - ausreichende Speicherung
 - Not-Kompressor mit Dieselaggregat
- Reinwasserversorgung
- Kühlwasserversorgung durch
 - ausreichende Kühlwasserspeicherung in Tanks oder Ponds
 - ständige Druckhaltung durch Jockeypumpensysteme mit Umlaufregelung
 - Kühlwasserentnahmeanschluss an Gewässer
 - Notkühlwasserpumpen mit Dieselantrieb
- ausreichende Lagermengen von Dieseldieselkraftstoff

Die Kalkulation der Lagermenge von Dieseldieselkraftstoff oder der Rückhaltekapazität für Abwasser hängt, wie zuvor schon erläutert wurde, von der voraussichtlichen Dauer der Hochwasserwelle ab.

Kommunikationswege

Entscheidend für alle organisatorischen Maßnahmen ist die Kommunikation mit den Katastrophenschutzämtern. Wie die Ereignisse im August 2002 gezeigt haben, waren wegen der schweren Regenfälle die Funkmasten der Handy-Netze in den betroffenen Regionen teilweise zerstört oder deren Energieversorgung beendet. Daher ist es erforderlich, unterbrechungsfreie Standleitungen mit einer Eigenstromversorgung über Festnetz zu den Behörden zu installieren. Darüber hinaus dürfen nicht alle Rufnummern der Öffentlichkeit bekannt sein, weil sonst die Leitungen überlastet werden, wie dies im Landratsamt Bitterfeld geschehen ist.

7.2.1.2 Instationäre Maßnahmen

Ist ein ausreichender stationärer Hochwasserschutz aufgrund komplexer Anlagenstrukturen aus Gründen der Logistikverbindungen, wie z.B. Straßen- oder Wasserstraßenanbindung oder aus Gründen der Geländestruktur nicht möglich, dann müssen entsprechende Maßnahmen und Einrichtungen des mobilen Hochwasserschutzes Anlagen und Betriebsbereiche schützen. Diese sind mobile Sperren mit gleichzeitigen Entwässerungssystemen der gefährdeten Bereiche.

Vom Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) wurde ein Merkblatt zum mobilen Hochwasserschutz mit folgenden Zielen vorgelegt [BWK, 2005]:

- Darstellung der Grundlage für den sicheren und gezielten Einsatz von planbaren, mobilen Hochwasserschutzsystemen
- Entwicklung von Kriterien für Konstruktion, Statik, Gründung und Logistik
- Formulierung von Mindestanforderungen der Standsicherheit, Betriebssicherheit und funktionalen Sicherheit
- Erarbeitung von Auswahlkriterien verschiedener Systeme und Konstruktionen unter Abwägung des Risikos
- Entwicklung von Prüfkriterien für die Eignung planbarer, mobiler Hochwasserschutzsysteme in Form genereller Kriterien ohne Berücksichtigung spezieller Standortgegebenheiten

Das Merkblatt wurde erarbeitet, weil für mobile Hochwasserschutzwände bislang noch keine allgemein anwendbaren Standards existierten, so dass noch große Unsicherheiten bei der Planung, Konzeptionierung und Beurteilung solcher Schutzeinrichtungen bestanden. Das BWK-Merkblatt bietet eine Grundlage für den sicheren und gezielten Einsatz von planbaren, mobilen Hochwasserschutzsystemen.

Mobile Hochwasserschutzsysteme können unterschieden werden in Systeme *mit* und *ohne* permanente Vorkehrungen. Systeme mit permanenten Vorkehrungen kommen grundsätzlich geplant zum Einsatz. Dagegen können Systeme ohne permanente Vorkehrungen sowohl geplant als auch notfallmäßig zum Einsatz kommen. Beim notfallmäßigen Einsatz sind keinerlei Randbedingungen zum Einsatzort und der zu beherrschenden Gefahr bekannt. Daher sind die Unsicherheiten beim geplanten Einsatz wesentlich geringer als bei einem notfallmäßigen Einsatz.

Im BKW-Merkblatt wird zwar das gesamte Spektrum der derzeit verfügbaren Systeme des mobilen Hochwasserschutzes beschrieben, jedoch wird ausdrücklich festgestellt, dass die statischen, geotechnischen und logistischen Bemessungskriterien sich auf solche Systeme beschränken, bei denen ein gesicherter Kraftschluss mit dem Untergrund gewährleistet werden kann. Nur unter diesen Bedingungen lassen sich bestimmte Sicherheitsanforderungen nachweisen. Für den Schutz von Betriebsbereichen, betrieblichen VAwS-Anlagen und Flüssiggastankanlagen ergibt sich somit der Stand der Technik durch den gesicherten Kraftschluss mit dem Untergrund und dem damit verbundenen sicherheitstechnischen Nachweis. Darüber hinaus ist die Festigkeit des Systems gegen Treibgut sowie scharfkantigen Gegenständen ein weiteres Kriterium. Systeme ohne gesicherten Kraftschluss sind nach Auffassung der Berichterstatter nur zum Schutz von Öltankanlagen in privaten Haushalten einsetzbar.

Systeme mit permanenten Vorkehrungen

Beispiele für Systeme mit permanenten Vorkehrungen sind Dammbalkensysteme, Torsysteme, aufklapp- oder aufschwimbare Systeme, Schlauchwehrsysteme und Glaswandsysteme.

Dammbalken-
Systeme

Hochwertige mobile Schutzwände werden als Dammbalkensysteme ausgeführt und sind seit vielen Jahren für den Hochwasserschutz im Einsatz (**Abbildung 7.2.1.2.1**).

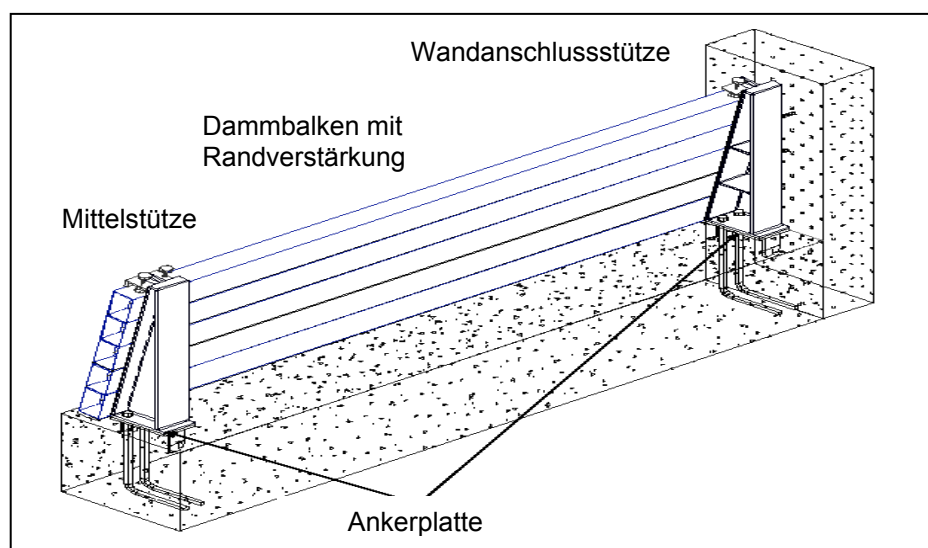


Abbildung 7.2.1.2.1: Beispiel eines Dammbalkensystems mit Verankerung in einer Bodenplatte

Um die jeweiligen Staudrücke aufnehmen zu können, müssen mobile Schutzwände fest im Boden verankert werden. Grundlage einer Berechnung muss der hydrostatische Wasserdruck aus Höhe und Anströmgeschwindigkeit, das Eigengewicht nach DIN 1055 sowie ein zu bemessender Zuschlag zur Aufnahme von Kräften durch Treibgut sein. (Berechnungsgrundlage in Anlehnung an DIN 19704 und nach DIN 19569). Das bislang am häufigsten ausgeführte Dammbalkensystem besteht aus einzeln übereinander gestapelten Balken mit seitlichen Befestigungen in Mauernischen sowie an demontierbaren oder fest eingebauten Stützen. Als Dammbalken werden beispielsweise verzahnte, untereinander abgedichtete Profile aus Aluminium oder Edelstahl eingesetzt, die sich bei steigendem Pegelstand mit Wasser füllen und somit die Stabilität der Wand erhöhen. Für die Stabilität einer Wand ist der Achsabstand der Stützen in Abhängigkeit von der Stauhöhe entscheidend. Im Bayer Chemiepark Leverkusen erfolgt der Hochwasserschutz im Bereich der Hafenanlagen durch ein solches Schutzsystem.

Mit den verschiedenen Dammbalkensystemen lassen sich Schutzhöhen von 4 m und mehr realisieren. Die Schutzwandlänge ist unbegrenzt und kann individuell der lokalen Situation angepasst werden. Sowohl die Stützen als auch die Balken müssen von geschulten Kräften montiert werden. Die Kosten für Dammbalkensysteme bezogen auf eine Höhe von 0,5 m liegen zwischen 800 – 1.600 € pro Meter. Die Kosten können je nach Untergrund und System stark differieren.

Torsysteme

Je nach örtlichen Randbedingungen sind Hochwasserschutz-tore in die stationären Sicherungsmaßnahmen zu integrieren. Ein Beispiel eines Drehtores ist Abbildung **7.2.1.2.2** dargestellt.



Abbildung 7.2.1.2.2: Hochwasserschutztor bei der DOW in Stade

aufklappbare
Systeme

Abbildung 7.2.1.2.3 zeigt ein Beispiel für ein aufklappbares System.

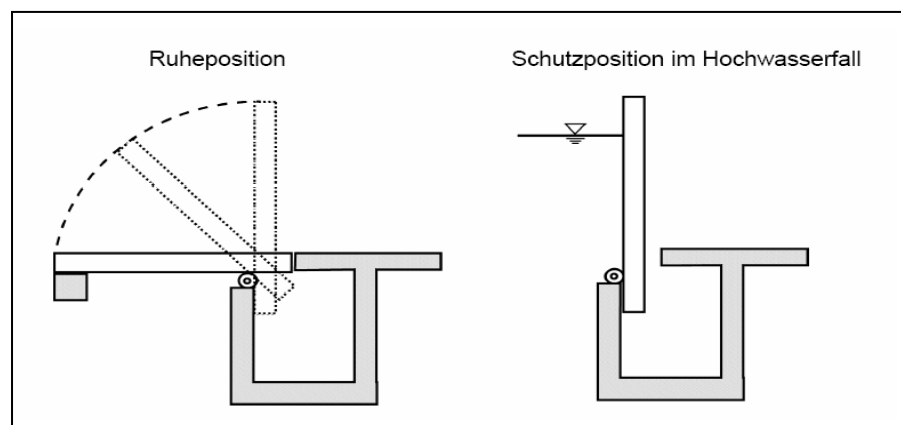


Abbildung 7.2.1.2.3: Prinzip des aufklappbaren Bürgersteigs
[Köngeter, 2002]

Der klappbare Bürgersteig besteht aus Stahlelementen, die innerhalb von 15 Minuten mit Hilfe einer elektrischen Antriebsvorrichtung automatisch aktiviert werden. Bei Stromausfall garantieren ein Notstromaggregat sowie eine Handkurbel den reibungslosen Betrieb. Die hydraulischen Belastungen der Schutzwand sind aufgrund der hydrostatischen Druckverteilung eindeutig berechenbar. Um die Wellenbewegung abzufangen, wird zusätzlich ein dynamischer Zuschlag berücksichtigt. Leckwasser oder infolge der Wind-Wellen-Bewegung über die Schutzwand hinwegschwappendes Wasser kann problemlos abgeführt

oder in den Fluss zurück gepumpt werden. Kosten für ein solches System wurden vom Hersteller nicht vorgelegt. Ein anderes Beispiel für ein aufklappbares System zeigt die **Abbildung 7.2.1.2.4**.



Abbildung 7.2.1.2.4: Aufklappbare Wand

aufschwimmbare
Systeme

Die Bildserie in **Abbildung 7.2.1.2.5** zeigt eine Wand, die nach nach Prinzip der kommunizierenden Röhren nach oben gedrückt wird. Fällt das Wasser wieder, wird es aus dem Schacht mit Hilfe einer Pumpe entfernt. Auch für ein solches System konnten die Kosten vom Hersteller aufgrund der fehlenden Planungsgrundlagen nicht vorgelegt werden.

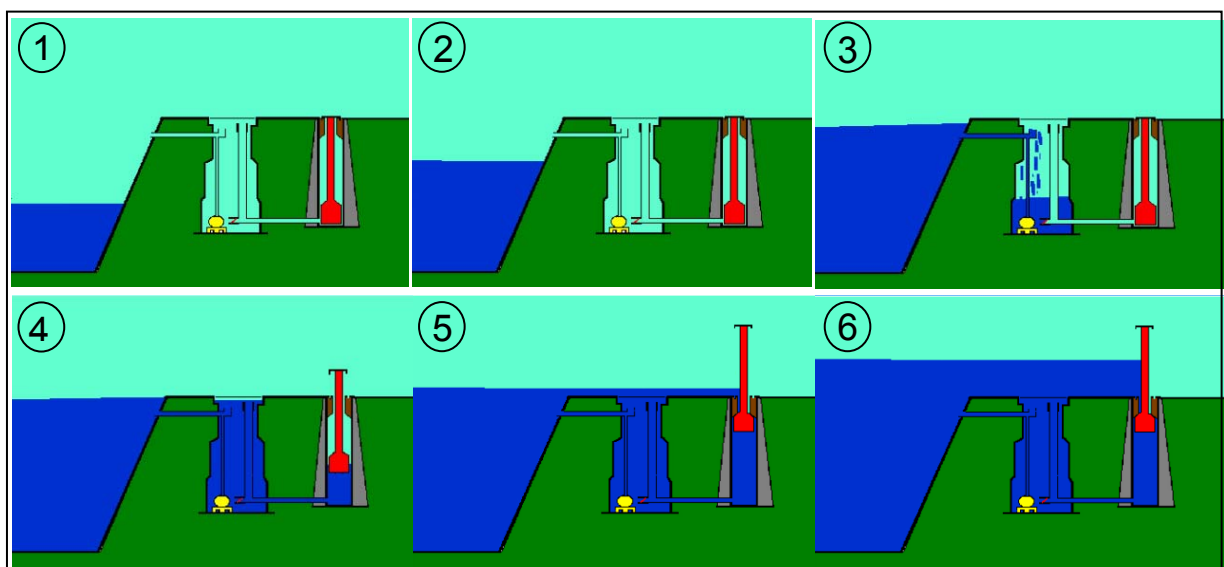


Abbildung 7.2.1.2.5: Prinzip der auffahrbaren Wand

Glaswandsysteme Glaswandsysteme sind ähnlich den Dammbalkensystemen über Flanschverbindungen fest in einer Bodenplatte verankert. Die Glaswand besteht aus Sicherheitsgründen aus vielscheibigem Sicherheitsglas. Sie werden dann eingesetzt, wenn die Eigenschaft „Sichtbarkeit“ von besonderem Interesse ist.



Abbildung 7.2.1.2.6:
Beispiel eines Glaswandsystems

Weitere Systeme sind z.B. Schlauchwehr- oder Kissensysteme, bei denen die Hochwasserschutzwand aus einem oder mehreren teilweise am Boden befestigten Gummischläuchen besteht, die mit Wasser gefüllt werden. Die Gesamthöhe solcher Systeme kann bis zu 2,00 m betragen. Es können damit nicht begrenzte Längen durch Aneinanderreihung einzelner Elemente erreicht werden.

Sicherheitsnachweise für Systeme mit permanenten Vorkehrungen

Für die vorgestellten Systeme mit permanenten Vorkehrungen sind Sicherheitsnachweise auf der Basis bestimmter Lastannahmen zu erbringen, die die technischen Grundlagen für Genehmigungen oder nachträgliche Anordnungen bilden. Im Einzelnen sind folgende Einwirkungen zu betrachten:

- Hydrostatischer Druck
- Strömungsdruck in Abhängigkeit vom Anströmwinkel
- Wasserspiegellage am Flussaußenbogen aufgrund der Überhöhung im Vergleich zum mittleren Wasserspiegel
- Wellendruck
- Anprall von Treibgut und Eisstoß

- Windlast
- Personenlasten
- Fahrzeuganprall
- Polderseitiger Wasserdruck für Standorte mit relativ langsamen Abfluss polderseitigen Wassers

Die Belastung durch das Überströmen eines mobilen Hochwasserschutzsystems bietet im Normalfall keinen planmäßigen Schutz [BWK, 2006]. Dies bedeutet, dass eine sofortige Evakuierung der betroffenen Gebiete einzuleiten ist, falls ein Überströmen der Hochwasserschutzwand droht. Eine Bemessung von Hochwasserschutzsystemen für eine Belastung infolge Überströmens kann allenfalls mit Ergebnissen aus Modellversuchen vorgenommen werden. In diesem Fall ist zu beachten, dass die Versuchsergebnisse lediglich für das untersuchte System verwendet werden – eine Übertragbarkeit auf abweichende Systemkonfigurationen ist im Regelfall nicht gegeben.

Durch die im BWK-Merkblatt vorgenommenen Lastannahmen, die auch Grundlage einer Genehmigung oder nachträglichen Anordnung sein sollte, selektieren die am Markt insgesamt angebotenen Systeme, so dass nur noch eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Systemen bleibt, die die Lastannahmen sicher erfüllen können und somit den Stand der Technik repräsentieren. Diese Systeme sind in diesem Bericht dargestellt worden. Eine Normung z.B. verschiedener Dammbalkensysteme ist hilfreich, wenn hierdurch eine Kompatibilität verschiedener Materialien und somit auch ein Austausch für den jeweiligen Einsatzort erreicht werden könnte. Beschädigungen einzelner Systemelemente könnten auf diese Weise schnell korrigiert werden.

Weil im Merkblatt 6 des BWK für die genannten Einwirkungen Lastannahmen und Berechnungsformeln im Einzelnen angegeben sind, wird an dieser Stelle auf eine weitergehende Darstellung verzichtet und auf die Literatur verwiesen [Kraus, O, 2005]. Neben den genannten Sicherheitsnachweisen sind auch geotechnische Nachweise zu erbringen. **Abbildung 7.2.1.2.7** zeigt schematisch die Probleme der geotechnischen Standsicherheit.

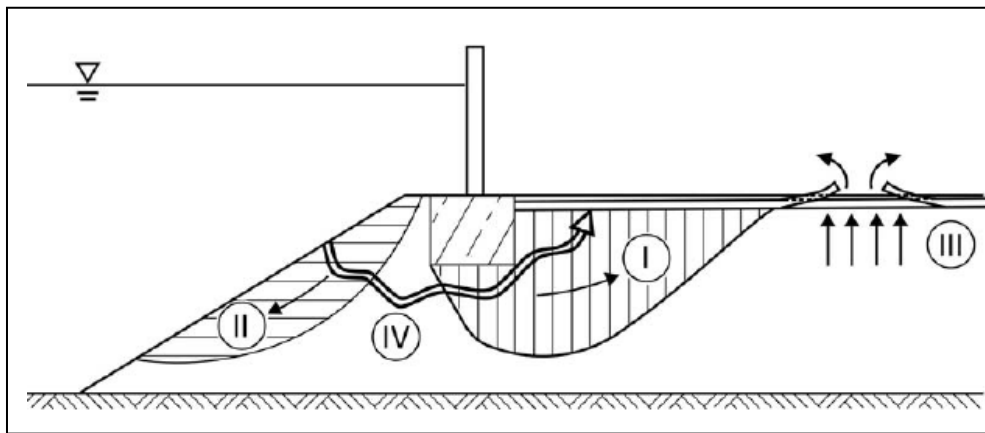


Abbildung 7.2.1.2.7: Probleme der geotechnischen Standsicherheit

- ① Die Belastungen an der Schutzwand sind sicher in den Untergrund zu leiten. Die betreffenden erdstatischen Nachweise bestehen damit aus
 - Grundbruchnachweis
 - Nachweis bzgl. Kippen und
 - Nachweis der Standsicherheit gegen Abschieben (Gleiten)Grundlage ist die DIN 1054.
- ② Für die Standsicherheit von eventuell vorhandenen Böschungen in der Nähe der mobilen Schutzelemente sind Nachweise zur Böschungssicherheit zu führen. Grundlage ist die DIN 1054, Abschnitt 12 in Verbindung mit DIN 1084-100.
- ③ Für den Gründungsbereich der mobilen Schutzelemente ist die Auftriebsicherheit bzw. hydraulische Grundbruchsicherheit zu betrachten. Grundlage ist die DIN 1054, Abschnitt 11 bzw. DIN 19712, Abschnitt 9.5.
- ④ Es ist darüber hinaus der Nachweis der Erosionssicherheit des Untergrundes zu führen. Hinweise hierzu gibt z.B. das Merkblatt „Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen“ der Bundesanstalt für Wasserbau [BAW, 1989]

Schließlich dürfen auch sonstige Bauwerke im Untergrund die geotechnische Standsicherheit der mobilen Schutzwände nicht gefährden. Hierzu zählen z.B. Rohrleitungen, Kanäle und Gebäude.

Das Merkblatt 6 des BWK gibt zahlreiche Hinweise zur Sicherstellung der geotechnischen Standsicherheit, die wegen des Umfangs im Rahmen dieses Forschungsvorhabens im Einzelnen nicht dargestellt werden können.

Systeme ohne permanente Vorkehrungen als zusätzliche Maßnahme

Systeme ohne permanente Vorkehrungen sind z.B. Sandsacksysteme, Behältersysteme, Stellwandsysteme sowie Behelfssysteme, die zum Schutz von Betriebsbereichen und betriebslichen VAWS-Anlagen im Rahmen der planbaren Gefahrenabwehr sowie als Notfallmaßnahme eingesetzt werden können. Beim notfallmäßigen Einsatz sind keinerlei Randbedingungen zum Einsatzort und der zu beherrschenden Gefahren bekannt. Beim geplanten Einsatz ist der Einsatzort im Voraus bekannt und es werden im Sinne einer Notfallplanung verschiedene Abklärungen zur Systemwahl und dessen Einsatz durchgeführt. Die verbleibenden Unsicherheiten sind beim geplanten Einsatz daher wesentlich geringer als beim notfallmäßigen Einsatz. Die empfohlene max. Schutzhöhe soll beim geplanten Einsatz auf 1,2 m und beim notfallmäßigen Einsatz auf 0,6 m begrenzt bleiben [BWK, 2005; VKF/BWG, 2004].

Sandsäcke

Die einfachste und seit langem praktizierte Art eines mobilen Hochwasserschutzsystems ist der Einsatz von Sandsäcken. Allein beim Jahrhunderthochwasser 2002 wurden nach Angaben des Technischen Hilfswerks (THW) entlang der Elbe rund 33 Millionen Sandsäcke verbaut, um bestehende Deiche oder Gebäude vor eindringendem Wasser zu sichern.

Kennzeichnend für den Einsatz von Sandsäcken ist ein erforderlicher hoher personeller Aufwand mit entsprechender Zeitverzögerung sowie eine Stauhöhe von max. 1,5 m. Ebenso ist der Sand zu bevorraten und gegebenenfalls nach dem Einsatz zu entsorgen. **Abbildung 7.2.1.2.8** verdeutlicht den Sandsackbedarf in Abhängigkeit von der Schutzhöhe. Es wird deutlich, dass der Einsatz von Sandsäcken neben dem Personaleinsatz vor allem auch ein logistisches Problem darstellt. Daher wurden in den letzten Jahren Alternativsysteme entwickelt.

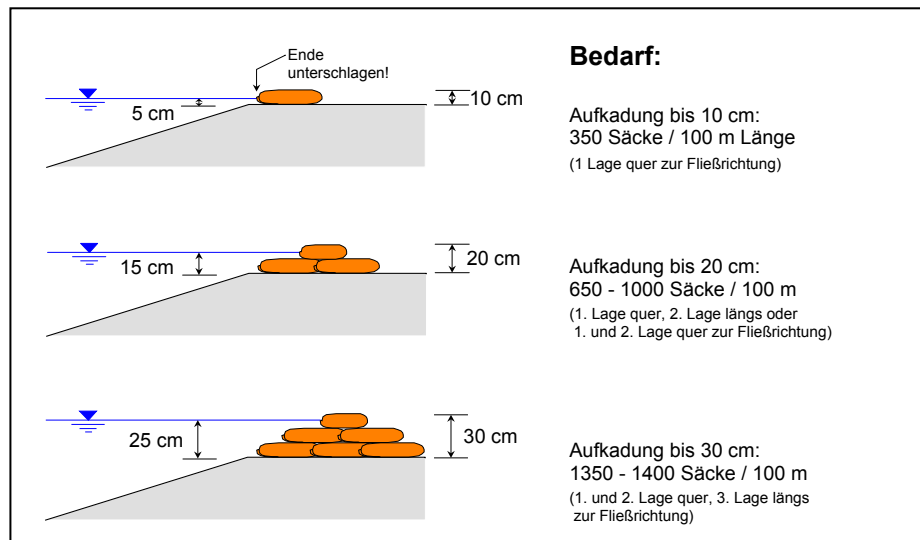


Abbildung 7.2.1.2.8: Sandsackbedarf in Abhängigkeit von der Schutzhöhe

offene
Behältersysteme

Behältersysteme bestehen aus einer Stahlrahmenkonstruktion mit einem reißfesten Geotextil. Die offenen Behältersysteme werden derzeit in einer Höhe von 1 bis 3 m angeboten. Sie werden mit Kies, Sand oder Erde gefüllt. Mit Wasser gefüllte offene Behälter haben sich nicht bewährt und werden daher nicht mehr angeboten. Ein Beispiel zeigt **Abbildung 7.2.1.2.9**.



Abbildung 7.2.1.2.9: Beispiel für ein offenes Behältersystem

geschlossene
Behältersysteme

Geschlossene Behältersysteme werden in Schlauch- (**Abbildung 7.2.1.2.10**), in Kissenform (**Abbildung 7.2.1.2.11**) oder in Trapezform (**Abbildung 7.2.1.2.12**) angeboten. Die Füllung der Systeme erfolgt ausschließlich mit Wasser. Als Material wird beschichtetes Polyester eingesetzt. Die geschlossenen Behältersysteme werden zusammengefaltet, als Taschen bzw. -gerollt angeliefert und am Einsatzort ausgelegt bzw. ausgerollt.

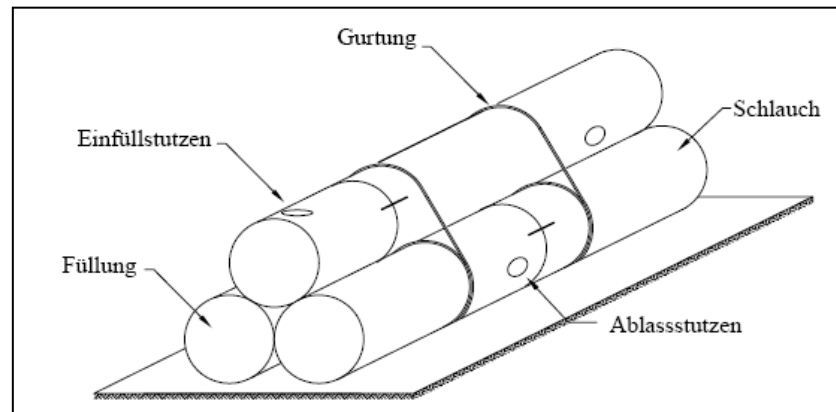


Abbildung 7.2.1.2.10: Schlauchsystem

Bei Schlauchsystemen müssen bei Schutzhöhen über 0,50 m zwei Schläuche parallel nebeneinander verlegt werden, da nur bei einem Schlauch in Folge des Wasserdruckes der Fluten der Schlauch wegrollen würde. Je nach Durchmesser der Schläuche sind die beiden Schläuche fest miteinander über eine Lasche verbunden oder müssen mit Gurten zu einem Doppelement verbunden werden. Mit Schläuchen lassen sich Systemhöhen zwischen 0,22 m (hier reicht ein Schlauch, der mit Bodennägeln im Untergrund befestigt wird) und 1,20 m erzielen. Zusätzliche Systemhöhe wird gewonnen, indem ein dritter Schlauch auf den beiden bereits mit Wasser gefüllten Schläuchen aufgesetzt und mit zusätzlichen Gurten fixiert wird.

Beim Kissensystem, dem sogenannten Bagsystem (**Abbildung 7.2.1.2.11**) handelt es sich um Einzelelemente aus PVC beschichtetem Gewebe in Abmessungen von jeweils 2m x 1m x 0,5m, welche problemlos zu Hochwasserschutzwänden zusammengefügt werden können. Die Elemente sind gegenüber einem auch nicht vorbereiteten Untergrund, selbst bei Neigungen von 15° rutschfest und dicht. Verankerungen sind nicht erforderlich, werden allerdings bei Höhen ab 1 m vorgenommen. Die Elemente werden leer ausgelegt, mit Karabinerhaken, die an im Bag festeingearbeiteten massiven Bändern angebracht sind, verbunden und anschließend mit Wasser über mobile Pumpen befüllt. Eine Schutzhöhe von mindestens 1,5 m wird erreicht. Das System ist variabel verbaubar, d.h. auch im Winkel von 90°, und gewährleistet auch eine Dichtigkeit z.B. an angrenzenden Gebäudewänden. Bei

einer evtl. Überströmung besteht keinerlei Gefahr eines Ver-
rutschens. Da ein Bag im Leerzustand nur ca. 12 kg wiegt, ist
die Logistik und der Aufbau relativ problemlos.



Abbildung 7.2.1.2.11: Beispiel eines modularen Hochwasserschutzsystems

In **Abbildung 7.2.1.2.12** System in Trapezform abgebildet.



Abbildung 7.2.1.2.12: Trapezsystem

Stellwandsysteme Stellwandsysteme werden von verschiedenen Herstellern angeboten und unterscheiden sich nicht grundsätzlich voneinander. Die Stützelemente aus Metall oder Kunststoff werden in einem Abstand von etwa 1,2 bis 1,5 m aufgestellt und mit Erdnägeln oder Ankerbolzen gegen Schub gesichert. Eine Aufstel-

lung auf festem Untergrund (Asphalt, Pflaster) ist wegen der Standsicherheit zu empfehlen. Über Querstreben oder Querstützen werden die Stützenkonstruktionen zu einem Tragwerk verbunden. Der prinzipielle Aufbau der Stellwandsysteme ist in **Abbildung 7.2.1.2.13** dargestellt. Bei Wandelementen aus Metall sind je nach Anbieter Stauhöhen von 1,5 bis zu 3,0 m möglich.



Abbildung 7.2.1.2.13: Beispiel eines Stellwandsystems

Die **Tabelle 7.2.1.2.3** zeigt die maximal mögliche Schutzhöhe laut Herstellerangabe der angebotenen Systeme, den Personalbedarf für den Aufbau einer Schutzwand von 100 m Länge und 0,50 m Höhe sowie einen Anhalt für die zu erwartenden Kosten für den Systemkauf [BWK, 2005].

Tabelle 7.2.1.2.3: Stauhöhen, Personalbedarf und Anschaffungskosten von mobilen Systemen ohne permanente Vorkehrungen

Systemtyp	max. Stauhöhe	Personenbedarf je 100 Länge m/h*	Anschaffungskosten €/lfd. m*
Sandsacksysteme	1,50 m	35	15,-- + Sandkosten
Bagsystem	1,50 m	4	100
offene Behältersysteme	1,50 m	8	300,-- – 400,-- + Kosten für Füllmaterial
geschlossene Behältersysteme	1,60 m	6	200,-- - 450,--
Stellwandsysteme (Metallstützkonstruktion)	1,50 m	8	450,-- - 550,--

* bezogen auf eine Systemhöhe von 0,5 m

Bezogen auf eine Systemhöhe von 1,0 m verdoppelt sich in der Regel die Anzahl des Personenbedarfs bzw. die aufzuwendende Zeit für die Einrichtung eines 100 m langen Systems.

Dies gilt nicht für Sandsacksysteme, bei denen aufgrund des pyramidenförmigen Querschnitt-Aufbaus der Personenbedarf und die aufzuwendende Zeit sich vervielfältigen. Bei einer Systemhöhe von 1 m und 100 m Länge sind gem. der „Anleitung für den operativen Hochwasserschutz“ des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen Anhalt vom 22.11.2005 je nach Entfernung zum zur Entladung anstehenden LKW von 10 m bzw. 20 m dann 50 bzw. 150 Personen über 8 Stunden für den Aufbau eines Sandsackdeiches erforderlich. Hinzu kommen für das Füllen, Beladen und den Transport nochmals 60 Einsatzkräfte über einen Zeitraum von ca. 8 Stunden sowie eine aufwändige Entsorgung.

Bei der Anschaffung von Systemen ist daher nicht nur der Anschaffungspreis zu berücksichtigen, sondern auch die Kosten für Lagerung, Unterhaltung, Reinigung und Instandsetzung sowie für den Transport und das Personal. Diese fallen individuell nach den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten an.

Auch für derartige Systeme sind Standsicherheitsnachweise erforderlich, wobei an dieser Stelle wiederum auf das Merkblatt 6 der BWK verwiesen wird.

7.2.1.3 Beispiele von auf dem Markt verfügbaren Produkten zum technischen mobilen Hochwasserschutz und zu Nachrüstungsmöglichkeiten

Im Folgenden sind Produkte von Herstellern auf dem deutschen und näheren inner-europäischen Markt aufgeführt (**Tabelle 7.2.1.3.1**). Die hier dargestellte Produktpalette enthält Konstruktionen zum mobilen Hochwasserschutz, Entwässerungen und Absperrsystemen mit Kurzspezifikationen sowie Messeinrichtungen und soweit möglich Richtpreisangaben.

Tabelle 7.2.1.3.1: Hersteller / Lieferfirmen wasserbautechnischer Einrichtungen

lfd. Nr.	Firma	Adresse	Produkt	Spezifikation	Preise EUR	Anmerkung
1	ALTRAD plettac asso GmbH & Co. KG	Plettac Platz 58840 Plettenberg	mobile Hochwasserschutzwand: Stellwand bestehend aus Stahlböcken mit eingeschobenen Hartschaumstoffplatten, die mit Dichtplane abgedeckt werden (Sicherung der Dichtplane mit Sandsäcken)	Plettac acqua defence	253,- / lfd. m	Sandsäcke zur Sicherung der Dichtplane erforderlich.
2	ARBED Spundwand GmbH Niederlassung Süd	Industriestraße 20 76470 Ötigheim	Spundbohlen aus Stahl, Stahlspundwände: Kaltgeformte Profile für Deichsicherungen, warmgeformte Profile für Hochwasserschutzwände (6-18 m Profillänge).	AU-/PU-Bohlen HZ/AZ-Spundwandsystem (mit Schloßabdichtung)	80,-/m² Deichsicherg. 95,-/m² Hochwasserschutzwd./jew.6 m Profil	Herstellung von Schutzwänden mit großen Stauhöhen.
	ARCELOR LONG COMMERCIAL Arcelor Group	66, rue de Luxembourg L-4009 Esch/ Alzette Luxembourg	> Nr. 2	> Nr. 2	> Nr. 2	> Nr. 2
3	Aqua Stop Hochwasserschutz GmbH	Hofgründchen 55 56564 Neuwied	Mobile Wandsysteme mit Dammbalken, Glassysteme			
4	Bauer Spezialtiefbau GmbH	Wittelsbacherstr. 5, 86529 Schrobenhausen	Dammbau, Spundwände, Dammsanierung durch Betondichtwandinbringung			
5	BERGER Friedrich Ges.m.b.H. & Co. KG	Stadtplatz 50 A-4690 Schwanenstadt	Sandsackfüllmaschine: Autom. Sandsackbefüllung über hydraul. angetriebene Rührwelle, Steuerung über Fußpedal. Auffüllen der Füllmaschine ist zeitgleich mit der Sandsackbefüllung möglich.	Gigant Sandfüller	---	Automat. Sandsackbefüllung (1600 Sack/h).
6	Eijkelpkamp Agrisearch Equipment	Nijverheidsstraat 30 P.O. Box 4 NL-6987 ZG Giesbeek Niederlande	autom.Grundwasser- und Oberflächenwasserstandmessung (Druck- u. Temperatursensor)	CTD-Diver e+Water L -Sensor	---	Hochwasser-Vorhersage und Pegelüberwachung
			autom. Regenmesser (Niederschlagsmengen-Messung)	e+Rain Logger und Regenmesser	---	
			Bodenfeuchtesensor zur Deichüberwachung	e+Soil MCT Datenlogger	---	

lfd. Nr.	Firma	Adresse	Produkt	Spezifikation	Preise EUR	Anmerkung
			chung			chung.
7	Eko System Kosbiel GmbH	Am Schloß 2-4 66987 Thaleischweiler-Fröschen	mobile Dammbalken: Dammbalken und Dammplatten aus Al-Strangpressprofilen(bis 6m Länge), die in einbetonierten oder nachträgl. angeschraubten Wandanschlüssen und Bodenschienen eingesetzt werden.	EKO-System Hochwasserschutz	ca. 800,-/ lfd.m	Herstellung von Schutzwänden.
8	Floecksmühle Energietechnik GmbH	Bachstraße 62-64 52066 Aachen	Schlauchwehranlage: Eine Gummige-webe-Platte wird mit dem Betonwehrkörper so verschraubt, dass ein dichter Innenraum entsteht (Schlauch), der mit Wasser(oder Luft) befüllt wird.	Schlauchwehre zum Hochwasserschutz	---	Entsprechendes Betonfundament oder Betonwehr u. Reguliersystem zur Wasser-(oder Luft)-Zuführung in den Schlauch erforderlich, Stauhöhe bis 8 m und Staubreite bis 200m.
9	Floodbag Europa GmbH mobiler Hochwasserschutz	Mittlere Feldstraße / Münchener Straße 83395 Freilassing	Mobiles, modulares Hochwasserschutzwandsystem, einzelne Elemente fest verbunden mit einlaminieren Bändern und Karabinerhaken, rutschfest auf Untergrund, Höhe 1,5 m	Floodbag, Elemente 2m x 1m x 0,5m aus PVC-beschichtetem Polyesterger-webe	250,-- pro Element bzw. lfd. m bei 1m Höhe	Mobile Pumpen zur Befüllung, pro Bag 3 min.
10	Flowserve Pump Division Pleuger Worthington GmbH	Friedrich-Ebert-Damm 105 22047 Hamburg	Unterwassermotor-Pumpen, HW-Pumpstationen: Kreiselumpen mit Unterwassermotoren für Schöpfwerke(Abpumpen eingedeichter Gebiete gegen den Seewasser-Spiegel).	PLEUGER Polderpumpen Flowserve Polderpumpen	---	Entwässerung überfluteter Gebiete/Polder bis 100.000 m³/h.
11	HST HYDRO-	Brunnenweg 7	HW-Schutzwehre:	ASK-, ESK, GSK und	---	Hochwasser-

lfd. Nr.	Firma	Adresse	Produkt	Spezifikation	Preise EUR	Anmerkung
	SYSTEMTECHNIK GMBH	73577 Utzstetten-Ost-albkreis	Automat. Klappenwehre, Rückstauklappen und Stauschilde für Speicher-Bauwerke. Software/PLT-Systeme	RSK-Wehre und -Klappen MeNIS-Software, HydroDat/PLS	---	Rückhaltung durch zusätzliches Rückstau- bzw. Speichervolumen. Hochwasser-Pegelüberwachung
12	HUESKER Synthetik GmbH	Fabrikstraße 13-15 48712 Gescher	Dichtungsbahnen: Betonmatten(hochfeste mit undurchlässigem Beton gefüllte Kunststoffgewebe), die zur Abdichtung in Dämme eingebaut werden.	Incomat/Geosynthetics zur Deichabdichtung	---	Abdichtung von Dämmen und Deichen.
13	Husemann & Hücking Profile GmbH	Am Hofe 9 58640 Iserloh	mobile Dammbalken für Gebäudeöffnungen(Tore u. Fenster etc.): Stahl-Lamellen mit Dichtungen, die in Zahn-schienen(in d. Gebäudeöffnungen) eingebaut werden.	WP WASTO Hochwasserschutzsystem	200,-/ m ²	Stauhöhe u. Staubreite i.d.R. mit 2 m begrenzt.
14	IBS GmbH	Gemeindewald 4 86672 Thierhaupten	mobile Dammbalken: Al-Dammbalkenprofile mit Dichtungen(für Stauhöhen bis 5m u. Spannweiten bis 7 m), die in Al-Strangpreßprofile eingebaut werden sowie Al-Dammtafeln für große Stauhöhen. Flutschutztore u. Deichtore: Hub-/Klapptore u. Drehtore(mit hydraul. Antrieben)	Dammbalken K-System, Dammtafeln Flutschutztore, Deichtore	ca. 1000,-/ lfd. m Entspr. Ausführung u. Abmessung	Stauhöhe und Staubreite entsprechend den Abmessungen der Balken und Tafeln. Hochwasserschutz (Einbau in Schutzwänden).
15	Keller Grundbau GmbH	Kaiserleistraße 44 63067 Offenbach	Damm- und Deichabdichtung: Herstellung von Schmalwänden mit dem „Keller“-Tiefenrüttler, beim Ziehen des Rüttlers wird Dichtungsmaterial in den Baugrund eingebracht(ein abdichtendes wandförmiges Element hergestellt).	Herstellung von Dichtwänden/Rüttelwänden zur Deichsanierung	---	Abdichtung von Dämmen.
16	König Innovationstechnik	Abtsdorf 19 83416 Saaldorf-Surheim	Sandsackfüllmaschine: Sandsackbefüllanlage mit Elektro-Antrieb.	König Power-Sandking	6500,- bis 10000,-/ Stk.	Befüllung von 4200 bis 4600 Sack/h.

lfd. Nr.	Firma	Adresse	Produkt	Spezifikation	Preise EUR	Anmerkung
			Hand-Sandsackzunähmaschinen		1900,-/ Stk.	
17	Köster Friedrich GmbH & Co. KG	Friedrichswerk 1-7 25746 Heide	<p>Hochwasserpumpen: Pumpen für Schöpfwerke(Abpumpen eingedeichter Gebiete)</p> <p>Rückstauklappen: Schutz tiefliegender Gebiete bei Hochwasser.</p> <p>Notverschlüsse: Dammbalken aus Al, Dammtafeln aus Stahl.</p> <p>Schützenanlagen: Die in Deichen/Dämmen eingebauten Schütze werden bei Hochwasser zur Entlastung geöffnet.</p> <p>Flutschutztore: Dreh- u. Schiebetore (Torfahrt mit Winde oder speziellen elektr. u. hydraulischen Antrieben).</p>	<p>VKP Halbaxialpumpen</p> <p>Rückstauklappe (Kreisform, Quadrat- u. Rechteckform)</p> <p>Dammbalken-/tafel -Verschlüsse</p> <p>Schützenanlagen</p> <p>HWS-Tore(Dreh- und Schiebetore)</p>	<p>---</p> <p>---</p> <p>800,- bis 900,-/ lfd. m</p> <p>---</p> <p>32.000,- (Drehtor- 5 m, ohne Antrieb)</p>	<p>Entwässerung überfluteter Gebiete/Polder bis 16200 m³/h.</p> <p>Hochwasserschutz für Kanäle bis DN2000 und 2,5 m Breite.</p> <p>Stauhöhe und Staubreite bis 7 m.</p> <p>Deichschutz</p> <p>Hochwasserschutz Torbreite von 3 bis 14 m.</p>
18	Krupp Stahlbau Hannover GmbH	Hackethalstraße 4 30179 Hannover	mobiler und stationärer Hochwasserschutz: Tore, Segmentschütze u. Notverschlüsse	Stahlwasserbau		
19	Max Aicher Bischofswerda GmbH & Co. KG	Drebnitzer Weg 4 01877 Bischofswerda	mobiles, modulares Hochwasserschutzsystem, Stauwände aus gewölbten Metallplatten mit Stützen	Stauwand		mit Fundament-Plattenanker
20	MCB Anlagensysteme GmbH	Am Schornacker 11c 46485 Wesel	mobile Dammbalken: Rolltor/Rollschott für Türen u. Fenster (bestehend aus Edelstahl-Rollleisten), wird bei Hochwasser manuell oder automat. ausgefahren.	Multischott, acquarollschott	---	i.d.R. für Fenster und Tore.
21	Mobildeich GmbH	Alte Landstraße 224 22391 Hamburg	mobile Schlauch-Barrieren: Mit Wasser befüllte Doppel- und Dreifach-Schläuche (Module mit 10 m und 50 m Länge).	Mobildeich (70-260 cm Stauhöhe)	2500,- bis 32900,-/ Modul (ca. 250,- bis 660,-/ lfd. m)	Pumpaggregat zur Befüllung erforderlich Gewichtsbarriere. Auslegung

lfd. Nr.	Firma	Adresse	Produkt	Spezifikation	Preise EUR	Anmerkung
						von Basisfolien
22	NAUE GmbH & Co. KG	Gewerbestr. 2 32339 Eskelkamp-Fiestel	Dichtungsbahnen: Kunststoffdichtungsbahn aus PEHD und faserarmierte Tondichtungsbahn(mit Bentonit gefülltes PP-Gewebe) Geotextile Container: Sandcontainer aus PP-Vliesstoff.	Carbofol(Kunststoffdichtungsbahn), Bentofix(geosynthet. Tondichtungsbahn) Terrafix-Softrock Sandcontainer	--- ---	Abdichtung von Dämmen und Deichen. Deichsicherung (Flussseite) durch vor-gelegte Sandcontainer.
23	NOAH GmbH Water Secure Systems	Weisenstr. 1 09355 Stollberg	mobile Hochwasser-Schutzwannen: Mit Wasser befüllte Wannen aus PEHD/LD-Material, die untereinander kraftschlüssig verbunden aufgestellt werden. mobile Hochwasser-Schutzwände: Platten aus PEHD mit Klappstützen werden in Elemente aus PEHD, die im Boden fest verlegt sind, eingebaut.	HSW(Hochwasser-schutzwanne) HSP(Hochwasser-schutzplatte), DEP(Deicherhöhungsplatte)	ca. 600,-/ lfd. m (H = 1m) ca. 500,-/ lfd. m (H = 1m)	Pumpaggregat zur Befüllung erforderlich, Gewichtsbarriere, Stauhöhe ist begrenzt (ca. 2 m). Stauhöhe ist begrenzt.
24	SEBA Hydrometrie GmbH	Gewerbestr. 61a 87600 Kaufbeuren	Oberflächenwassermesssysteme: Pegelmessungen, Abflussmessungen.	Oberflächenwassermess-technik	---	Hochwasser-pegel-Überwachung, Hochwasser-Vorhersage
25	Stahlwasserbau Beeskow GmbH	Charlottenhof 13 15848 Beeskow	Mobiler und stationärer Hochwasserschutz: Stau-Tafeln, Schützen/Damm-tafeln, Schleusen	Stahlwasserbau		
26	Stahl- und Apparatebau Hans Leffer GmbH	Pfählerstraße 1 66125 Saarbrücken	Mobiler und stationärer Hochwasserschutz: Drehsegmenttore, Stemmtore u. Schotte	Stahlwasserbau		
27	Tauber Rohrbau GmbH & Co. KG	Virnkamp 26 48157 Münster	Hydraulisches Spundbohlen-Einpressgerät: Erschütterungsfreies Einpressen von	Silent Piler und Z-Piler, hydraul. Systeme zum Ein-	---	Herstellung von Schutzwänden

lfd. Nr.	Firma	Adresse	Produkt	Spezifikation	Preise EUR	Anmerkung
			Spundbohlen(-wänden).	pressen von Spundbohlen und Z-Profilen		aus Spundbohlen mit entspr. Profilen.
28	THOMAS System Technik	Dorfstraße 35 37318 Asbach	Barriere(Löschwasser-Rückhaltung/Hochwasserschutz): Automatisch und manuell verfahrbare Barrieren sowie mobile (steckbare) Barrieren aus Al-Profilen für Tore und Türen (Länge: 1 bis 6 m, Höhe: 0,1 bis 1 m).	automatische Barrieren manuelle Barrieren mobile Barrieren	6000,- bis 10000,-/ Stk. 1800,- bis 7800,- / Stk. 900,- bis 4400,-/ Stk.	Hochwasserschutz für Lagerräume.
29	ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH	Altendorfer Str. 120 45143 Essen	<p>Stahlspundwände</p> <p>Mobile Al-Dammbalken: Al-Balken(mit EPDM-Dichtungen) und Stützen aus Al.</p> <p>mobile Hochwasser-Schutzwand: Elemente aus Al werden mit einer Kopfplattenbefestigung auf Basis-Spundwände aufgesetzt.</p> <p>Hochwasserschutzwand aus Glas: bruch-sichere Glaswände werden von Stützen aus Al gehalten.</p>	<p>Stahlspundwandprofile</p> <p>TKR Aluminium-Dammbalken-System</p> <p>Al-Konstruktion</p> <p>Glas-System</p>	<p>---</p> <p>---</p> <p>---</p> <p>---</p>	<p>Herstellung von Schutzwänden mit großen Stauhöhen.</p> <p>Herstellung von Schutzwänden.</p> <p>Herstellung von Schutzwänden.</p> <p>Herstellung von Schutzwänden (ohne optische Störungen).</p>
30	TRANSMIT GmbH	Kerkraeder Straße 3 35394 Gießen	Mobiler Hochwasserschutz: Stellwand aus verzinktem Stahlblech wird mit Dichtplane abgedeckt	Biber-Barriere		

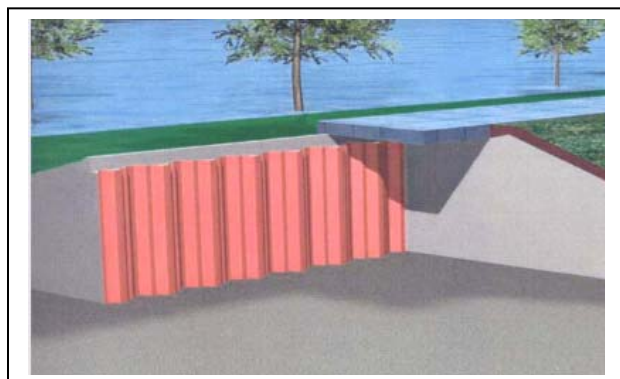


Abbildung zur lfd. Nr. 1



Abbildung zur lfd. Nr. 5



Abbildung zur lfd. Nr. 9



Abbildung zur lfd. Nr. 14

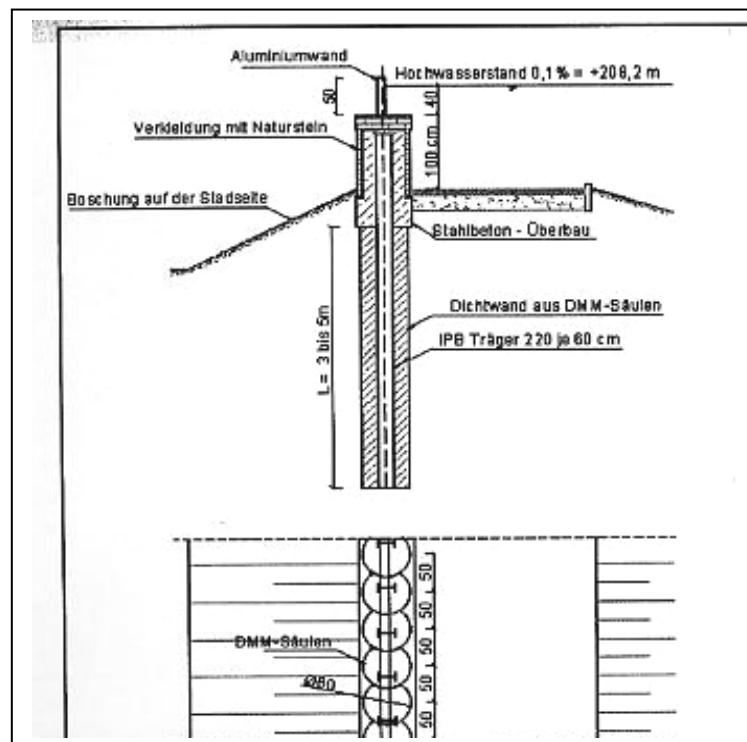


Abbildung zur Ifd. Nr. 15

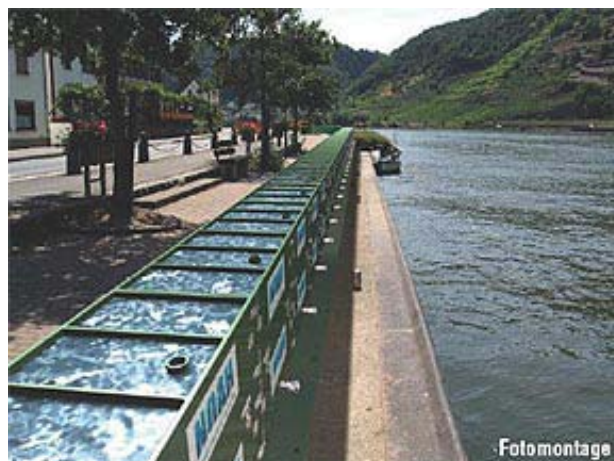


Abbildung zur Ifd. Nr. 23

7.2.2 Stand der Technik zur nassen Vorsorge

Die nasse Vorsorge unterscheidet sich von der trockenen dadurch, dass in diesem Fall davon ausgegangen wird, dass eine Überschwemmung des Geländes eintreten kann, wie dies z.B. bei der Fluorchemie in Dohna geschah. In diesem Fall müssen die Anlagen im Inneren des Betriebsgeländes gesichert sein. Dabei können die Maßnahmen zur Sicherung von VAWS-Anlagen und Flüssiggasbehältern anders aussehen, als diejenigen für Betriebsbereiche.

VAWS-Anlagen

Maßgebend für den Vollzug sind die Mindestanforderungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik und die Anlagenverordnungen der Länder. Weil es sich um Mindestanforderungen handelt, können die Genehmigungsbehörden im Einzelfall weitere Anforderungen stellen. Die Behörden sind frei, die Empfehlungen der IKSE und IKSR, die in den Kapiteln 3.4.1 und 3.4.2 zusammenfassend dargestellt wurden, für die Begründung weitergehender Anforderungen heranzuziehen. Hinweise auf die Sicherung von VAWS-Anlagen gegen Hochwasser einschließlich der Rohrleitungen finden sich in einzelnen Regelwerken, wie z.B. der TRB 600 Abs. 3.6, der TRbF 20, TRbF 40 und der TRD 452- Anlagen 1 und 2 (vgl. Kapitel 3.8.2 und 3.8.3). Weil die VAWS-Anlagenverordnungen, die Empfehlungen der Flussgebietskommissionen sowie die Regelwerke in Kapitel 3 detailliert dargestellt wurden, werden an dieser Stelle die technischen Möglichkeiten zur Sicherung von VAWS-Anlagen gegen Hochwasser kurz stichwortartig zusammengefasst:

Oberirdische Anlagen in Gebäuden:

- Auftriebssicherheit durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte oder Seitenwänden durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte (**Abbildung 7.2.2.1**) oder durch Abstützung mit Stahlstreben an der Decke
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Anordnung der Entlüftungsrohre oberhalb der Wasserlinie
- Abdichtung von überflutungsgefährdeten Befüllanschlüssen; Entfernung der Dichtung nur beim Befüllvorgang
- Befestigung der Rohrleitungen auf der gesamten Länge

- Wasserdichte Ausführung von Öffnungen, die unterhalb der Wasserlinie liegen
- Verzicht auf Untergeschossnutzung (vermindert den durchschnittlichen Gesamtschaden um 3.000 bis 6.000 € [IKSR, 2002])
- Anordnung von Hauptschaltern und Verteilungseinrichtungen oberhalb der Wasserspiegellinie
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung



Abbildung 7.2.2.1: Sicherung eines Tanks vor Auftrieb durch Stahlgurte

Unterirdische Anlagen im Freien:

- Aufbringen einer Erdüberdeckung von ≥ 1 m für Druckbehälter (TRB 600)
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Anordnung der Entlüftungsrohre oberhalb der Wasserlinie
- Abdichtung von überflutungsgefährdeten Befüllanschlüssen; Entfernung der Dichtung nur beim Befüllvorgang

Oberirdische Anlagen im Freien:

- Auftriebssicherheit durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte (1,3-fache Auftriebssicherheit mit leerem Behälter bezogen auf den höchsten zu erwartenden Wasserstand (TRbF 20, TRbF 40, TRD 452 – Anlagen 1 und 2)
- Einsatz von für Hochwasser zugelassene Tanks zur Vermeidung von Verformungen und Beschädigungen durch den äußeren Wasserdruck
- Befestigung der Rohrleitungen auf der gesamten Länge
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung
- Sicherung vor Treibgut und Eisgang durch z.B. Leitbleche
- Sicherung der Rohrleitungen gegen Treibgut

Flüssiggasbehälter

Der Stand der Technik zum Schutz von Flüssiggaslageranlagen wurde in Kapitel 4.4.3 teilweise schon dargelegt. Der Stand der Technik für die Aufstellung von Druckbehältern wird in der TRB 600 Abs. 3.6 beschrieben. Darüber hinaus sind weitere Maßnahmen erforderlich, wenn eine Gefahr durch Strömung oder Treibgut droht. Weil in Kapitel 4 schon auf die Flüssiggasbehälter eingegangen wurde, wird an dieser Stelle der Stand der Technik zum Hochwasserschutz nur kurz stichwortartig zusammengefasst:

- Aufstellung von Großtanks auf Stützen (vgl. Abbildung 4.4.3.1), nach Aufschüttung des Geländes oberhalb der Wasserlinie oder in Wannen zur Abhaltung des Hochwassers
- Auftriebssicherheit (1,3-fache Sicherheit) durch Verankerung der Tanks in einer festen Bodenplatte durch Schraubverbindungen oder Stahlgurte; das Fundament muss in der Lage sein, die Zugkraft des Auftriebs aufzunehmen.
- bei unterirdisch verlegten Anlagen Erdüberdeckung von mindestens 1 m einschließlich einer 20 cm dicken steinfreien Sandschicht (Lieferkörnung 0/2 nach DIN 4226, Teil 1, Flusssand mit maximal 3 mm Korngröße), Lagerung des Druckbehälters auf einer mindestens 20 cm dicken, verdichteten Sandschicht (TRB 600)

- Sicherung von Tanks vor Treibgut z.B. durch Leitbleche
- Installation von Verschlussventilen direkt am Tank zur Verhinderung eines Nachströmens aus dem Tank bei Beschädigung einer Rohrleitung

Betriebsbereiche

Bei Betriebsbereichen wird in der Regel davon ausgegangen, dass Wasser nicht auf das Betriebsgelände eindringen darf. Entsprechend wird an den einzelnen Standorten eine trockene Vorsorge betrieben. Dennoch gibt es Betriebe, die aufgrund ihrer Lage an Gewässern und aufgrund der Gewässercharakteristik keine trockene, sondern eine nasse Vorsorge betreiben müssen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde mit der Fluorchemie, welche aus historischen Gründen in einem Überschwemmungsgebiet liegt, ein solcher Fall näher untersucht. Dennoch stellt die nasse Vorsorge eher den Ausnahmefall dar. Die nasse Vorsorge wird vermutlich an Bedeutung gewinnen, wenn überschwemmungsgefährdete Gebiete ausgewiesen werden und hieraus neue Anforderungen an die Produktionsbetriebe abgeleitet werden. Vor diesem Hintergrund sind die folgenden Aspekte der nassen Vorsorge für Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, näher zu betrachten:

Auftriebssicherheit Die Auftriebssicherheit von Behältern kann durch eine Verankerung/Verschraubung der Sättel oder Fuß- bzw. Zargenringe eines Behälters oder Tanks im/am Fundament bzw. der Fundamentbewehrung oder einer Bodenplatte erreicht werden. Die Sättel müssen hierbei mit dem Behälter eine ausreichende Verbindung haben. Eine weitere Möglichkeit ist das Aufbringen von Gewichten sowie die Sicherung durch Stahlbänder, die im Fundament oder einer Bodenplatte verankert werden. Das Fundament muss in der Lage sein, die Zugkraft des Auftriebs aufzunehmen. Ziel dieser Maßnahmen ist es, entsprechend den Vorgaben der IKSE die 1,3-fache Auftriebssicherheit zu erreichen. Eine Vorhaltung von mobilen Einrichtungen, z.B. zur Anbringung von Gewichten oder einer Seilverankerung, ist insbesondere bei kurzen Vorwarnzeiten nicht sinnvoll.

Schutz vor Treibgut Es lassen sich folgende Konzepte je nach Anlagenaufstellung und -konfiguration in Erwägung ziehen:

- Abwehrschutz in Form von Leitplanken aus Stahl
- Abwehrschutz als Betonmauern mit Durchlässen (z.B. Schlitzten) zur Wasserableitung
- pfeilmäßige Brecherkonstruktionen mit Steigung zum Objekt hin, um Treibgut abzuwehren.

sichere Umschließung der Stoffe

Wesentlich ist der sichere Einschluss von gefährlichen Medien. Dies gilt zum einen für die Konstruktion eines Behälters oder Tanks selbst und zum anderen für das System, mit denen diese Behältnisse in einer Anlage eingebunden sind. Hierzu zählen vornehmlich Verbindungseinrichtungen, wie Rohrleitungen, Hook Ups (Installation von MSR-Einrichtungen mit Messstellen, Transmittern, Leitungen etc. vor Ort) der MSR oder Anschlüsse von Sicherheitsarmaturen (PSVs).

Sofern es sich hierbei um geschlossene Behälter und Tanks handelt, wie z.B. Druckbehälter und -systeme, ist von einem sicheren Einschluss der Stoffe auch im Falle von Hochwasser auszugehen (siehe auch Kap. 3.8), wenn diese dem möglichen äußeren Wasserdruck standhalten. Bei offenen Behältern muss in jedem Einzelfall geprüft werden, ob Verschlussysteme (z.B. anschraubbare Deckel) angebracht werden können. Hierbei ist auch die Entlüftungsleitung zu beachten, die entsprechend hoch geführt werden muss.

keine Untergeschossnutzung

Im Rahmen der nassen Vorsorge sollten Untergeschosse in Gebäuden zur Lagerung von Chemikaliengebunden oder zum Aufstellen von Anlagen mit gefährlichen oder wassergefährdenden Stoffen nicht genutzt werden. Darüber hinaus sollten im Untergeschoss auch keine wichtigen Energieversorgungs-, Steuer- und Messeinrichtungen untergebracht werden. Gerade diese Einrichtungen waren während des Augusthochwassers 2002 z.B. auf der Kläranlage Bitterfeld/Wolfen hochgradig gefährdet. Die Bayer Bitterfeld GmbH hat beim Bau ihrer Produktionsanlagen vorsorglich ganz auf Keller verzichtet.

Hochlagerung auf Gerüsten Die Behälter zur Chemikalienbevorratung bei der Fluorchemie Dohna waren alle auf Stahlgerüsten installiert, so dass eine direkte Gefährdung durch Hochwasser nicht bestand (vgl. Abbildung 6.7.2.3.3). Bei derartigen Gerüsten ist jedoch darauf zu achten, dass diese nicht durch Treibgut oder Eisgang gefährdet werden. Auch sind die Fundamente so zu konzipieren, dass eine Kolkbildung die Stützen nicht gefährdet.

Analog den beschriebenen stationären Maßnahmen zur trockenen Vorsorge sind Chemikalienlager und relevante Prozessanlagen grundsätzlich in einem ausreichenden Niveau oberhalb eines maximal zu erwartenden Hochwasserstandes vorzusehen.

Anlagenkonzeption Einblocksystem Für den Fall, dass bei einer Anlage eine durch Leitungsabriss aufgrund eines Aufschwimmens oder durch Treibgut verursachte Leckage eintritt, sollen die Anlagen oder Komponenten mit ferngesteuerten Schnellschlussarmaturen ausgestattet sein, die ein Einblocken kleinerer Anlageneinheiten ermöglichen, um eine Leckage der größten zusammenhängenden Menge (GZM) verhindern zu können. Ein Beispiel hierfür bietet das Einblocksystem einer Ammoniakanlageneinheit in **Abbildung 7.2.2.2**.

Bei solchen Einblocksystemen kann dann jeweils nur die Menge des eingeblockten Systems (im Beispiel farblich unterschiedlich markiert), in welchem sich das Leck befindet, austreten.

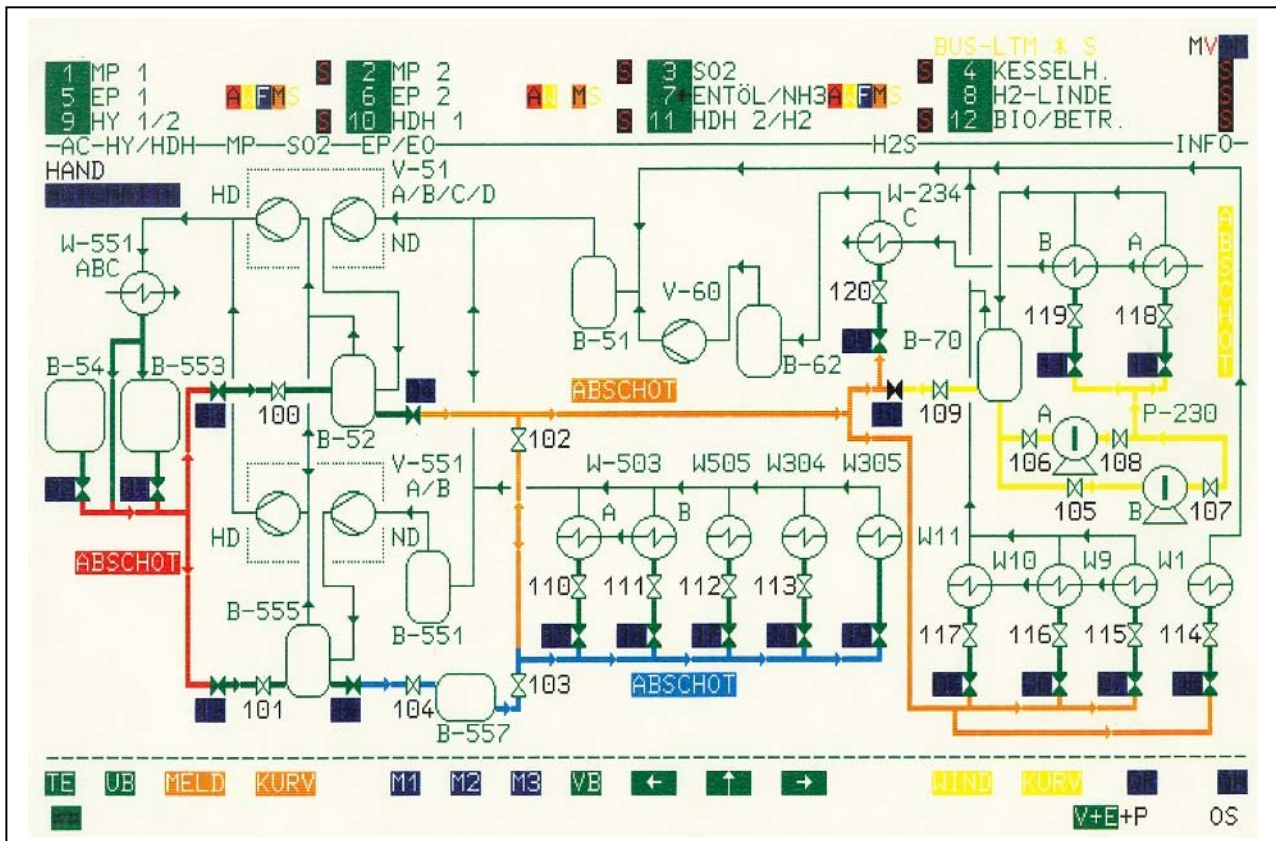


Abbildung 7.2.2.2: Einblocksystem einer Ammoniakanlageneinheit

Anlagenabfahren,
Anlagenstillstand,
Anlagenentleerung,
Mess- und
Regelungs-(MSR),
Prozessleit-
technik (PLT)

Anlagen mit gefährlichen Stoffen müssen auch im Falle einer Überflutung sicher und zielgerichtet stillgesetzt, d.h. abgefahren werden können. Dies erfolgt sowohl mit einem sogenannten schnellen Abfahren (NOT-AUS / SHUT DOWN) als auch mit einem langsamen Abfahren über ein MSR-/PLT-System und ein sogenanntes Faile Safe System. Da ein Herunterfahren aus verfahrenstechnischen Gründen häufig nur über einen längeren Zeitraum, z.T. von mehreren Stunden möglich ist, sind

- besondere Anforderungen an die Qualität von Sicherheitsgerichteten MSR-/PLT-Einrichtungen als auch
- an deren sichere Stromversorgung zu stellen.

Zur Verhinderung von aus Hochwassersituationen resultierenden Gefahren sind daher entsprechende MSR-/PLT-Schutzeinrichtungen in Betriebsbereichen vorzusehen.

Sicherheitsmaßnahmen mit Mitteln der MSR/PLT gelten hierbei nicht nur dem Abfahren, sondern auch der Anlagensicherheit im Betriebsstillstand mit eingeschlossenen Stoffen als auch dem Entleeren von Behältern und Tanks von gefährdeten in ungefährdete Bereiche, sowie dem Einblocken leckgeschlagener Einheiten oder Komponenten, wie vor gezeigt.

7.2.3 Möglichkeiten der Nachrüstung

Nachrüstungen sind dann erforderlich, wenn bestehende Anlagen vor den Gefahren durch Hochwasser zu schützen sind. Hierbei sind grundsätzlich zwei Fragestellungen zu beachten:

1. Welche technischen Möglichkeiten zur Nachrüstung bestehen?
2. Welche rechtlichen Grundlagen bestehen oder sollten in Zukunft eingeführt werden, damit die Vollzugsbehörden eine Nachrüstung verlangen können?

Wie schon zu Beginn des Kapitels 7 grundsätzlich angemerkt, werden in diesem Kapitel ausschließlich die technischen Möglichkeiten zur Nachrüstung von Anlagen erläutert. Die rechtlichen Grundlagen zur Durchsetzung von Maßnahmen zur Sicherung von bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen Hochwasser werden im Gesamtzusammenhang mit anderen Fragestellungen in Kapitel 11 diskutiert.

7.2.3.1 Umstellung der privaten Wärmeversorgung

Um einen Ölaustritt aus privaten Heizöltanks durch Hochwasser vollständig auszuschließen, ist die Umstellung der Wärmeversorgung auf Gasbrenner bzw. Gasthermen, die aufgrund ihres geringen Platzbedarfs auch in Dachräumen untergebracht werden können, die beste Lösung. In den betroffenen Stadtgebieten, in denen in der Regel die erforderlichen Gasversorgungsleitungen bestehen, wird die Umstellung von Öl auf Gas von den meisten Anwohnern durchgeführt. Schwieriger ist dies im ländlichen Raum, wo anstelle von Heizöltanks, Flüssiggaslagertanks zu installieren sind, die dann jedoch ebenso vor Hochwasser zu schützen sind.

7.2.3.2 Nachrüstung durch Maßnahmen zur trockenen Vorsorge

Für bestehende Anlagen (Betriebsbereiche, VAWS-Anlagen, Flüssiggasbehälter) sind die Möglichkeiten der Nachrüstung zur Sicherung vor Hochwasser grundsätzlich individuell zu prüfen. Hierbei sind zunächst die Maßnahmen zur trockenen Vorsorge zu prüfen. Der Stand der Technik wurde in den Kapiteln 7.2.1.1 und 7.2.1.2 dargestellt. Unabhängig von der Art der zu schützenden Anlage kann je nach örtlichen Gegebenheiten eine trockene Vorsorge durch stationäre oder mobile Schutzwände erreicht werden. In Kapitel 7.2.1.3 wurden zudem die Anbieter der verschiedenen Systeme aufgelistet. Die insbesondere bei mobilen Systemen zu berücksichtigenden Kriterien der Standsicherheit sowie der geotechnischen Bedingungen wurden ebenfalls in den genannten Kapiteln erläutert. Im Einzelnen ist bei der trockenen Vorsorge zu beachten, dass alle Öffnungen zu der jeweils betrachteten Anlage unterhalb der Wasserspiegellage zu schließen sind. Dies gilt insbesondere auch für das Eindringen von Wasser durch die Kanalisation.

Die Anhebung von Tankanlagen im gewerblichen oder industriellen Bereich durch Aufschüttung oder Lagerung auf Stahlgerüsten (vgl. Fluorchemie in Dohna, Abbildung 6.7.2.4.2) ist als Nachrüstungsmaßnahme für den jeweiligen Einzelfall zu prüfen. Diese Maßnahmen sind vor allem dann interessant, wenn hierdurch zugleich auch ein Schutz vor Treibgut erreicht wird. Beispielsweise wäre auch bei den in den Abbildungen 6.6.3.4.3 und 6.6.3.4.4 dargestellten Behältern eine nachträgliche Erhöhung des Aufstellungsniveaus, z.B. durch eine Verstärkung der Betonsockel (Abbildung 6.6.3.4.3), durchführbar. Derartige Maßnahmen sind jedoch meist nur für Anlagen in Betracht zu ziehen, die im Freien aufgestellt sind. Darüber hinaus ist eine Erhöhung der Aufstellung von vorhandenen Behältern nur dann als Möglichkeit in Betracht zu ziehen, wenn sie mit einem Kran in einem Stück gehoben werden können. Für Tankanlagen, die in Segmentbauweise erstellt wurden, ist das Anheben des Aufstellungsniveaus unverhältnismäßig.

Eine der wichtigsten Nachrüstungsmaßnahmen für die trockene Vorsorge ist die Bereithaltung von Pumpen, wenn Wasser diffus, z.B. durch nicht zugängliche Drainageleitungen in den zu schützenden Bereich eintritt, wie dies z.B. in privaten Häusern oftmals eintreten kann. Wie eigene Erfahrungen gezeigt haben, sind je nach örtlicher Lage Pumpen erforderlich, die mindestens 200 l/min gegen eine Höhe von 4 m fördern können. Für den industriellen und gewerblichen Bereich sind dagegen wesentlich leistungsfähigere Pumpen in Sammelerschächten zu installieren.

7.2.3.3 Nachrüstung von Anlagen zur nassen Vorsorge

Sollte eine trockene Vorsorge nicht möglich sein, sind alle Maßnahmen zur nassen Vorsorge zu prüfen. Die meisten der in Kapitel 7.1.2 aufgezählten Maßnahmen der nassen Vorsorge sind auch als Nachrüstungsmaßnahme für Betriebsbereiche, VAWS-Anlagen, Flüssiggaslagerbehälter anwendbar. Hierzu zählen

- die Sicherung von Behältern in Gebäuden oder oberirdischen Anlagen im Freien gegen Auftrieb durch Gurtsysteme, Verschraubungen usw.,
- die Verbesserung der Auftriebssicherheit von unterirdischen Behältern durch Erhöhung der Erdüberdeckung oder durch Aufbringen einer Betonplatte,
- die Sicherung der Anlagen vor Wassereintritt oder Austritt von Stoffen (Installation von Ventilen, Verlängerung von Einfüllstutzen und Entlüftungsleitungen oberhalb der Wasserlinie usw.) und
- der Schutz vor Treibgut und Eisgang (z.B. durch Leitbleche).

Darüber hinaus wird auf die Empfehlungen der Flussgebietskommissionen verwiesen, deren Vorschläge im Kapitel 3.5 dargestellt sind [IKSE 2002, IKSR 2002]. Bisweilen helfen verhältnismäßig einfache und kostengünstige Maßnahmen zur Sicherung von Tankanlagen in privaten Haushalten. Ein Beispiel hierfür zeigt die **Abbildung 7.2.3.1**, wo ein Aufschwimmen des Tanks mit Hilfe eines Stempels gegen die Kellerdecke verhindert wird. Schwierigkeiten können bei dieser Maßnahme dann auftreten, wenn der Behälter in eine Drehbewegung gerät.



Abbildung 7.2.3.1:
Stempel zur Sicherung eines Tanks
gegen Auftrieb

Problematisch werden die nassen Vorsorgemaßnahmen immer dann, wenn die Anlage bzw. ein Tank z.B. im halbleeren Zustand nicht geeignet ist, dem äußeren Wasserdruck zu widerstehen. In diesen Fällen muss der Tank komplett ausgetauscht werden.

7.3 Organisatorische Maßnahmen zur Hochwasservorsorge

Die organisatorischen Maßnahmen zum Hochwasserschutz nach dem Stand der Technik (richtiger bezeichnet als neuester Stand organisatorischer Maßnahmen) umfassen zahlreiche Aspekte, die im Folgenden näher erläutert werden. Im Wesentlichen umfassen die organisatorischen Maßnahmen 7 aufeinander aufbauende Arbeitsschritte aus Sicht der Betriebe oder der zuständigen Industrieparkgesellschaft:

1. Informationsbeschaffung und Auswertung von möglichen Hochwasserständen und Flusscharakteristiken sowie der behördlichen Vorsorgemaßnahmen bzgl. des Gefährdungspotenzials der betrachteten Anlage
2. Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes entsprechend den zuvor erläuterten Möglichkeiten der trockenen und nassen Vorsorge
3. Erarbeitung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen unter besonderer Berücksichtigung der Gefahren durch Hochwasser inkl. der Notfallplanung für Betriebsbereiche mit erweiterten Pflichten entsprechend der Störfall-Verordnung mit Abstimmung der Planungen mit den Katastrophenschutzbehörden
4. Erarbeitung eines Katastrophenplanes durch die Katastrophenschutzbehörden
5. Erprobung der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung mit den Behörden, der Feuerwehr bzw. Wasserwehr sowie weiteren beteiligten Institutionen
6. Kommunikation mit den behördlichen Katastrophenschutzämtern, Bewertung eintreffender Informationen und Veranlassung von Maßnahmen zum Hochwasserschutz im Ereignisfall
7. Organisation von Maßnahmen zur Verminderung der Umweltauswirkungen bei Schadstofffreisetzungen

7.3.1 Informationsbeschaffung

Vor Ausarbeitung eines betrieblichen Hochwasserschutzkonzeptes müssen die betroffenen Betriebe oder Industrieparkgesellschaften sich die amtlichen Gefahrenkarten über Überschwemmungsgebiete und in Zukunft auch über überschwemmungsgefährdete Gebiete von den Behörden geben lassen, wie dies die Bayer Bitterfeld GmbH getan hat. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei der örtliche Wasser-

stand, der sich aus dem festgelegten Bemessungshochwasser ergibt und in den Gefahrenkarten ablesbar ist. Diese Wasserstände sind mit den Höhenangaben des Betriebsgeländes bzw. der betroffenen Anlagen in Beziehung zu setzen, um die gefährdeten Bereiche zu ermitteln. Darüber hinaus muss auch Klarheit über die möglicherweise auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten herrschen. Die zur Verfügung stehenden Hilfsmittel wurden in Kapitel 5.2 ausführlich dargestellt. Eine erste Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit lässt sich im Einzelfall auch aus der Flussgebietscharakteristik ableiten. In diesem Zusammenhang ist auch eine erste Einschätzung zu möglichem Treibgut oder Eisgang erforderlich.

Darüber hinaus sind die realisierten und die perspektivischen Hochwasserschutzmaßnahmen der Behörden aus dem Blickfeld des Betriebes zu beurteilen. Dies wird besonders augenscheinlich am Beispiel des Chemieparks Bitterfeld, wo die Deichbaumaßnahmen an einer Stelle enden und damit eine Überschwemmungsgefahr für das Gelände nach wie vor besteht. Die Maßnahmen zum betrieblichen Hochwasserschutz müssen sich ausschließlich an den aktuellen Gegebenheiten orientieren.

7.3.2 Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes

Die Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Sicherung von Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen sowie von VAWS-Anlagen, hängt von zahlreichen Faktoren ab, die im Rahmen der nachfolgenden Fallunterscheidung diskutiert werden.

➤ Vorwarnzeit

Wie die Untersuchungen in den Modellregionen gezeigt haben, ist je nach Randbedingungen von sehr unterschiedlichen Vorwarnzeiten auszugehen. Die Vorwarnzeit t_{Vorwarn} ist die Zeitspanne, die bei Erkennung der Hochwassergefahr potenziell zur Verfügung steht, um Maßnahmen, wie z.B. der Aufbau von mobilen Schutzeinrichtungen oder das Abfahren von Anlagen, einzuleiten. Sie ist abhängig von:

- der Größe und hydrologischen Charakteristik des Einzugsgebietes,
- der individuellen Ausprägung des hochwasserverursachenden Niederschlagsereignisses sowie
- der Effektivität des Warn- und Meldewesens.

An kleineren Gewässern, die Gebirgsregionen entwässern, wie z.B. der Müglitz oder der Weißeritz im Osterzgebirge, liegen die Vorwarnzeiten immer deutlich niedriger als am Niederrhein oder an der Elbe. Bei größeren Einzugsgebieten kann die Hochwassergefahr prinzipiell über beobachtete oder vorhergesagte Wasserstände bzw. Abflüsse an Messpegeln entlang der Fließgewässer rechtzeitig erkannt und zur Auslösung einer ersten Alarmierungsphase genutzt werden. Bei kleinen Einzugsgebieten bzw. steilem Abflussregime kann diese Information oftmals nicht oder nicht rechtzeitig zur Verfügung gestellt werden. Die Warnung vor Hochwassergefahr orientiert sich dann hauptsächlich an Ergebnissen von Niederschlagsvorhersagen und Abflussmodellen. Diese sind jedoch mit z.T. starken Unsicherheiten behaftet.

Für die Einsetzbarkeit von mobilen Hochwasserschutzsystemen ist die Bereitstellungszeit für mobile Systeme entscheidend. Es muss sichergestellt sein, dass der Aufbau bzw. die Bereitstellung der mobilen Anlage innerhalb der Vorwarnzeit umgesetzt wird. Es gilt:

$$t_{\text{Vorwarn}} > t_{\text{Bereitst.}} > (t_{\text{Alarmierung}} + t_{\text{Installation}} + t_{\text{Sicherung}}) * C_{\text{Sicherheit}}$$

$$\text{mit } t_{\text{Alarmierung}} = t_{\text{Benachrichtigung}} + t_{\text{Anreise}}$$

$$t_{\text{Installation}} = t_{\text{Beladung}} + t_{\text{Transport}} + t_{\text{Aufbau}}$$

Die Bereitstellungszeit ist im Wesentlichen abhängig von:

- der Art des Schutzsystems (beeinflusst Verladezeit, Transportzeit und Aufbauzeit),
- der Länge und Höhe der Anlage (beeinflusst Verladezeit, Transportzeit und Aufbauzeit),
- der Distanz zwischen Lagerstätte der mobilen Elemente und deren Einsatzort (beeinflusst die Transportzeit),
- den Zugänglichkeiten (beeinflusst Transportzeit, Entladezeit, Aufbauzeit und Sicherungszeit, z.B. durch Freihaltung bzw. Räumung von Zufahrtswegen etc.),
- dem Potenzial an Einsatzkräften und Maschinen (beeinflusst alle zeitlichen Komponenten, Anzahl und Ausbildungs- bzw. Trainingsstand sowie Wartung und Einsatzbereitschaft).

Die einzelnen zeitlichen Komponenten können sich stark überschneiden, da die Abläufe nicht zwangsläufig nacheinander erfolgen müssen. Unabhängige Arbeiten und Abläufe können bei entsprechender Planung auch parallel

erfolgen. Die Koordination ist Sache der Einsatzplanung und die Möglichkeiten hängen zum Teil vom System, in erster Linie aber von den personellen Kapazitäten ab. Während am Lagerplatz noch verladen wird, kann ein Einsatztrupp schon die sichernden Arbeiten durchführen, ein anderer die vorlaufenden Reinigungen am Systemstandort etc.

Die Risiken eines Versagens von mobilen Schutzeinrichtungen durch verspätete Hochwasserwarnung oder Schwierigkeiten beim Aufbau der Anlage müssen im Rahmen der Ausarbeitung von Hochwasserschutzkonzepten berücksichtigt werden.

In Fällen mit nicht ausreichenden Vorwarnzeiten kommen im Wesentlichen nur stationäre Maßnahmen der trockenen oder auch nassen Vorsorge zum Objektschutz in Frage. Hierzu zählen z.B. der Bau einer Hochwasserschutzwand, die Anhebung des Geländeniveaus in bestimmten Bereichen, wie z.B. für die Lagerung von Gefahrstoffen.

➤ Strömungsgeschwindigkeit und Treibgut

Die Strömungsgeschwindigkeit und das Mitführen von Treibgut werden ebenfalls durch die Flussgebietscharakteristik bestimmt. Sie beeinflussen maßgeblich die Wahl des geeigneten Hochwasserschutzsystems.

➤ Überflutung vorhandener Schutzsysteme

Die Vorhersage der zu erwartenden Flutwelle bietet die Möglichkeit, sich rechtzeitig auf die Überflutung von vorhandenen Schutzmaßnahmen einzurichten. Dieses Ereignis ist abzugrenzen von einem möglichen Deichbruch. In Köln wird auf die Flutwellenvorhersage durch den Aufbau der mobilen Schutzwand reagiert. Dies gilt z.B. auch für Teile des Bayer Chemieparks Leverkusen. In beiden Fällen sind die Uferbefestigungen bzw. Schutzmaßnahmen so ausgelegt, dass eine Beschädigung der Uferbefestigungen praktisch ausgeschlossen werden kann.

➤ Versagen von mobilen Schutzsystemen

Weil ein Versagen von mobilen Schutzsystemen grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann, sollte entsprechend den Empfehlungen der BWK eine Sperrzone hinter den mobilen Systemen eingerichtet werden.

➤ Überflutungen durch Deichbruch

Im Falle eines Deichbruchs können große Flächen in kurzer Zeit überflutet werden, so dass bei einem solchen Ereignis unter Umständen auch keine längeren Vorwarnzeiten gegeben sind. Zwar wird das Aufweichen von

Deichen durch fortlaufende Kontrolle meist frühzeitig erkannt, dennoch können Deichbrüche an Stellen eintreten, deren Gefährdung nicht rechtzeitig bemerkt wurde. Durch Deichbrüche können nicht nur große Landstriche überflutet werden. In der Nähe der Bruchstelle treten zudem hohe Strömungsgeschwindigkeiten u.U. verbunden mit Treibgut auf, die ein zusätzliches Gefahrenpotenzial darstellen.

7.3.3 Erarbeitung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen¹²

Im Rahmen der Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen müssen die Gefahren, die durch Hochwasser ausgelöst werden können, beschrieben und diskutiert werden. Wie die Untersuchungen ergaben, wurden beispielsweise bei der Hermania in Schönebeck oder auch im Chemiepark Bayer in Leverkusen die Gefahrenabwehr bei Hochwasser in den betrieblichen, d.h. internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen beschrieben. Für den Standort Leverkusen wurde ein zweistufiges Konzept erarbeitet. Dies umfasst zum einen den Gesamtstandort und zum anderen die einzelnen Betriebsbereiche. Für das mittelständige Unternehmen Hermania wurde ein betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan für ihre Anlage nach der StörfallV entwickelt. Im Folgendem werden einige wichtige Elemente der Alarm- und Gefahrenabwehrpläne dargestellt.

Krisenstab	Für den Ereignisfall ist ein Krisenstab einzurichten, bei dem alle Informationen eintreffen und bewertet werden. Ihm obliegt die Kommunikation nach Außen sowie die Kompetenz, Anweisungen über Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu geben. Dies betrifft z.B. den Aufbau einer mobilen Schutzwand oder der Auslagerungen von Gefahrstoffen.
Gefahrstoff-lagerung	Im internen Alarm- und Gefahrenabwehrplan muss auch dargestellt werden, wo im Falle einer Auslagerung von Gefahrstoffen geeignete Flächen vorhanden sind, die den gesetzlichen Anforderungen, wie z.B. der VAWS-Anlagenverordnung, entsprechen.

¹² Hinweis: Die Darlegungen zu Alarm- und Gefahrenabwehrplänen als auch zur Notabfallplanung werden gemäß Auftragsvorgaben (Leistungsbeschreibung) im weiteren Verlauf des Berichtes abgehandelt. Des weiteren ist zu diesem Thema auf die Ausführungen unter Kap. 10 und die entsprechenden Anhänge zu verweisen.

Bereitstellung von Transportmitteln	Für die Auslagerung von Chemikalien müssen ausreichende Transportkapazitäten zur Verfügung stehen. Dies betrifft z.B. Gabelstapler als auch die Zahl der LKWs.
Ersatzteil- und Abfalllagerung	Wie sich bei den Untersuchungen in den einzelnen Modellregionen herausgestellt hat, ist die betriebsinterne sichere Lagerung von Gegenständen bei Hochwasser zum Schutz der Anlagen vor Treibgut von großer Bedeutung. Bei falscher Lagerung von Ersatzteilen oder ausgedienten Anlagenteilen können diese bei Gewässern mit hoher Strömungsgeschwindigkeit zu gefährlichem Treibgut werden. D.h. bei einer Gefahr der Flutung von Betriebsgeländen und möglicher hoher Strömungsgeschwindigkeit sind nicht nur die Gefahrstoffe vor Treibgut zu sichern, sondern auch alle Gegenstände, die zu gefährlichem Treibgut werden könnten (bis hin zum KFZ vgl. Abb. 6.7.2.3.2).
Bevorratung von mobilen Schutzmaßnahmen	Im Rahmen des internen Alarm- und Gefahrenabwehrplans muss dargestellt werden, wo und in welcher Menge die mobilen Einsatzmittel bevorratet werden. Die Durchführung der Sicherungsmaßnahmen der Trafostation auf der Kläranlage Bitterfeld/Wolfen wurde dadurch verzögert, dass erst mühsam Sandsäcke beschafft werden mussten.
Maßnahmen zur Minimierung von Leckagen Organisation zur Havariebekämpfung	Es sollen mobile Pumpen sowie Schläuche in ausreichender Länge bevorratet werden, um im Falle einer Leckage Flüssigkeiten aus einem beschädigten Behälter abpumpen zu können. Im Bereich der Nord- und Ostseeanrainerländer ist bereits mit Unterstützung des Bundesinnenministeriums ein sogenanntes zentrales Havariekommando (Lage in Cuxhaven) 2004 eingerichtet worden. Die bereit liegenden Ölskimmerschiffe sind Eigentum der Länder und werden über angeschlossene Reedereien betrieben. Dieses System hat sich bewährt und sollte nach Ansicht der Berichterstatter auch auf potentiell gefährdete Binnengewässer unter Einbeziehung der betroffenen Länderanrainer übertragen werden.

Ein grundsätzliches Hilfsmittel zur Erstellung von internen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen stellt die Vollzugshilfe des BMU zur Umsetzung der Störfall-Verordnung

vom März 2004 dar, in der unter Anhang 7 entsprechende Vorgaben enthalten sind [BMU. 2004].

7.3.4 Abstimmung des internen Alarm- und Gefahrenabwehrplans mit dem Katastrophenschutzplan der Behörden

Wie die Untersuchungen in Schönebeck gezeigt haben, war der betriebliche Alarm- und Gefahrenplan zwar bei den Behörden eingereicht worden, eine Abstimmung mit den Planungen des Kreises hatte es jedoch nicht in der gebotenen Weise gegeben. So war z.B. die Feuerwehr in Schönebeck nicht über den Alarm- und Gefahrenabwehrplan der Hermania informiert. Der Industriepark Leverkusen hat dagegen seine Maßnahmen aufs engste mit der Stadt Köln abgestimmt.

7.3.5 Erprobung der internen Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

Die ausgearbeiteten betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne müssen mit den Behörden, der Feuerwehr bzw. Wasserwehren erprobt werden. Nur auf diese Weise können ggf. vorhandene Abstimmungsschwierigkeiten und technische Mängel erkannt und beseitigt werden. Dies gilt für die Kommunikationswege, die Einsatzplanung der Hilfskräfte sowie für die Erprobung der technischen Ausrüstung.

7.3.6 Kommunikation mit den Katastrophenschutzämtern

Entscheidend für den Erfolg von Maßnahmen ist die enge Kommunikation zwischen den zuständigen Behörden und den relevanten Betrieben im Ereignisfall. Hierzu sind schnelle Kommunikationswege erforderlich, die ausschließlich den Betrieben zur Verfügung stehen müssen. Die von den Fachbehörden eintreffenden Informationen über zu erwartende Unwetter, Wasserstände und Zeitspannen für die eintreffende Hochwasserwelle müssen möglichst ohne Zeitverzug an die Anlagenbetreiber weitergeleitet werden, damit diese die geeigneten Maßnahmen mit den Behörden, Feuerwehren usw. abstimmen und einleiten können.

7.4 Zusammenfassung des Standes der Technik zum vorbeugendem Hochwasserschutz

Der Stand der Technik zum vorbeugendem Hochwasserschutz wird beschrieben durch

- die praktisch geeigneten Maßnahmen der trockenen Vorsorge (Kapitel 7.2.1) sowie der nassen Vorsorge (Kapitel 7.2.2),
- die verfügbaren Maßnahmen, die eine Gewähr der praktischen Eignung darstellen (Kapitel 7.2.1.3),
- die technischen Möglichkeiten zur Nachrüstung (Kapitel 7.2.3) sowie durch
- die organisatorischen Maßnahmen (Kapitel 7.3).

Anlagen, die eine technische und organisatorische Gesamtkonzeption auf der Basis der dargestellten Vorsorgevarianten realisiert haben, sind bzgl. des Hochwasserschutzes Anlagen nach dem Stand der Technik. Die Berücksichtigung der Technischen Regelwerke ist dabei eine Grundvoraussetzung.

7.5 Technische Maßnahmen zur Begrenzung von Freisetzung

In den folgenden Kapiteln werden Maßnahmen zur Begrenzung von Freisetzung dargestellt. Dabei muss in Maßnahmen unterschieden werden, die vor Ort durch die Anlagenbetreiber durchgeführt werden können und solchen, die auf dem Gewässer durch verschiedene Institutionen, wie z.B. der Feuerwehr oder dem Technischen Hilfswerk, eingesetzt werden.

7.5.1 Maßnahmen an der Austrittsstelle

Wesentlichster Punkt zur technischen Begrenzung ist eine Abschottung von leckgeschlagenen Einheiten bzw. Komponenten zur Reduzierung des Austritts eines gefährlichen Stoffes. Im Falle der Detektierung einer Stofffreisetzung aus Betriebsbereichen oder VAWS-Anlagen, die Teil eines Betriebsbereiches sind, soll zur Reduzierung der Austrittsmengen automatisch der betroffene Betriebs- bzw. Anlagenbereich bzw. die Komponente, an der ein Leck aufgetreten ist, über Schnellschlussarmaturen in kürzester Zeit eingeblockt werden können.

Bei gasförmigen Freisetzungen besteht i.d.R. keine direkte Begrenzungsmöglichkeit, sobald der Stoff ins Freie ausgetreten ist. In Fällen, wo dies durch Wasserberieselung oder Wasserschleier möglich wäre, sollte auf jeden Fall beurteilt werden, ob dies sinnvoll ist (Beispiel Chlor).

Ein probates Mittel zur Begrenzung ist das Abpumpen von gefährlichen Stoffen aus leckgeschlagenen Komponenten in freie Volumina anderer Behälter bzw. Transportbehälter (TKW/KW). Stand der Technik ist die Vorhaltung von entsprechenden Leertanks oder -behältern sowie von Notpumpen bzw. mobilen Pumpen mit Verbrennungsmotorantrieben. Diese sollen auch das Absaugen von Stoffen aus Tassen oder Wannen in geschlossene Behälter ermöglichen. Mobile Barrieren sollten zum Einsatz gelangen, um ausgetretene Medien vor einem Eintrag in Gewässer zurückzuhalten. Flüssige gefährliche Stoffe, welche in Gewässer gelangen, lassen sich durch Barrieren, sofern sie auf der Oberfläche schwimmen, eindämmen und ggf. durch Skimmer zurückgewinnen.

Ein wesentlicher Punkt zur Begrenzung von Freisetzungen sind Maßnahmen zum Abdichten von Lecks mit verschiedenen Methoden. Diese Maßnahmen müssen in den betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen dargelegt sein.

Maßnahmen zur Leckabdichtung von privaten Heizöltanks sind vor allem deshalb problematisch, weil derartige Tanks in den meisten Fällen im Untergeschoss aufgestellt sind und welche im Falle einer Überschwemmung weitgehend geflutet sind (vgl. Abbildung 4.1.3). Der Versuch zur Abdichtung einer Leckage ist daher mit dem erhöhten Risiko eines Personenschadens verbunden.

7.5.2 Maßnahmen auf dem Gewässer

Seit vielen Jahren beschäftigen sich Spezialisten mit der Frage der Bekämpfung von Flüssigchemikalien auf und in Gewässern [Oebius, 2004]. Dabei beschränken sich die Möglichkeiten zur Rückhaltung und Rückgewinnung auf Stoffe, die sich auf der Oberfläche des Wassers befinden. D.h. es handelt sich um Öle und Ölderivate, die leichter als Wasser sind und sich zudem mit Wasser nicht oder nur geringfügig mischen.

Der Erfolg einer Maßnahme hängt von ihrer schnellen Umsetzung ab. Oebius stellt fest, dass der auf der Oberfläche driftende Schadstoff sich aufgrund der natürlichen

Dispersion innerhalb kurzer Zeit auch im aquatischen Raum verteilt und sich damit in den meisten Fällen einem Zugriff entzieht.

Die derzeit vorhandenen technischen Konzeptionen können wie folgt eingeteilt werden:

- Lenkung und Konzentrierung durch Sperren und Barrieren (passive Maßnahme)
- Skimmverfahren (aktive Maßnahme)
- sonstige Verfahren (z.B. biologische Abbauverfahren)

Der Einsatz von Sperren als passive Maßnahme ist ein weit verbreitetes Verfahren zur Verhinderung der Ausbreitung von schwimmenden Chemikalien. Grundlegende Bedingung für die Konstruktion und den Einsatz von Sperren ist, dass sie den auf ihnen lastenden Zugkräften widerstehen und ihren Zweck der optimalen Rückhaltung erfüllen. Der Einteilung der verschiedenen Sperrsysteme zeigt **Abbildung 7.5.2.1**. **Abbildung 7.5.2.2** zeigt eine Lenksperre im Einsatz.

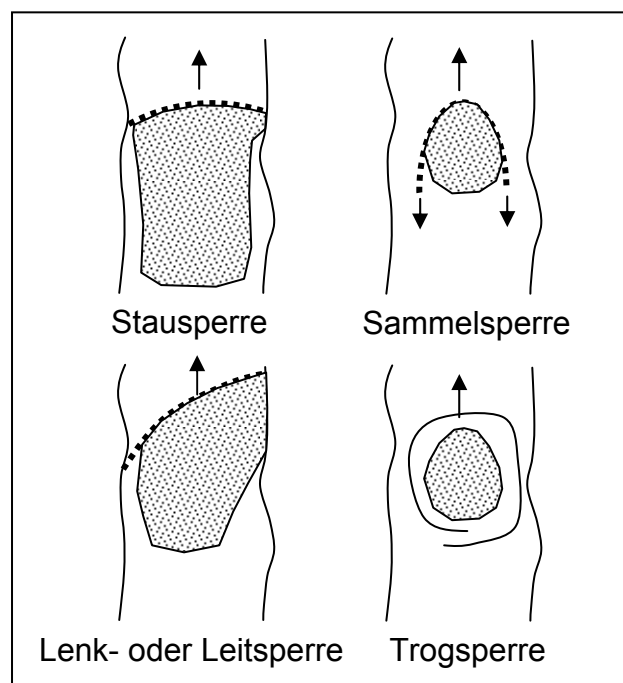


Abbildung 7.5.2.1: Einteilung von Sperren und Barrieren



Abbildung 7.5.2.2: Lenksperre (Ölsperre Heywinkel)

In Feld- und Modellversuchen wurde ermittelt, dass ab einer Anströmgeschwindigkeit von mehr als 0,37 m/s drastische und stetig wachsende Verluste der rückgestauten Chemikalien für Trog-, Stau- und Sammelsperren eintreten [Fannelop, 1983]. Wenn diese Anströmgeschwindigkeit überschritten wird, müssen spezielle Maßnahmen ergriffen werden, wie z.B. der Einsatz als Leitsperre. Mit $u = 0,37$ m/s errechnet sich der erforderliche Anstellwinkel α in erster Näherung wie folgt:

$$\alpha_{\max} = 20 u^{-1,125}$$

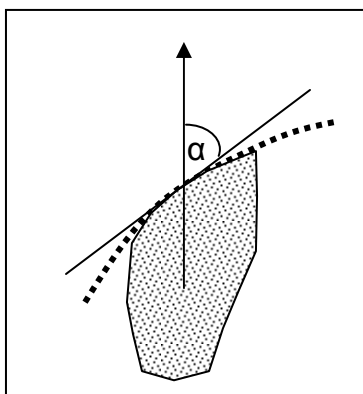


Abbildung 7.5.2.3:
Maximaler Anstellwinkel für eine Leitsperre

Unabhängig von konstruktiven Details, wie Schwimmstabilität und Festigkeit der Sperren wird die Einsetzbarkeit der Barriersysteme im Hochwasserfall durch folgende Faktoren begrenzt:

- Die Strömungsgeschwindigkeit muss i.d.R. $< 0,4 \text{ m/s}$ sein. Dies bedeutet, dass der Einsatz der vorgestellten Sperren für Gewässer mit hoher Strömungsgeschwindigkeit grundsätzlich nicht möglich ist.
- Obwohl die meisten Systeme für große dynamische Wasserdrücke ausgelegt sind, besteht die Gefahr, dass die Grenze der Zugfestigkeit bei Treibgut überschritten wird.
- Bei großen überfluteten Gebieten gibt es meist keine Fixpunkte zur Befestigung der Sperren.

Mit diesen wenigen Einschränkungen wird deutlich, dass nach Auffassung der Berichterstatter der Einsatz dieser Barriersysteme im Hochwasserfall stark von den örtlichen Randbedingungen abhängt. Sperren können daher nicht als generell einsetzbar eingestuft werden.

Alle anderen passiven Verfahren, wie z.B. Rückstau durch Auftriebstrahlen mit Tiefenwirkung, Rückstau bei horizontalen Oberflächenstrahlen usw., haben für den Hochwasserfall ihre Eignung nicht nachgewiesen und repräsentieren nach Auffassung der Berichterstatter nicht den Stand der Technik.

Der Einsatz von schwimmenden Ölskimmern hängt bei Hochwasser ganz wesentlich von der Erreichbarkeit der Schadensquelle ab. Weil der Schiffsverkehr bei Hochwasser wegen Brücken nur schwer möglich ist, ist der Einsatz derartiger Schiffe stark eingeschränkt. Solche Schiffe müssten daher lokal innerhalb bestimmter Flussabschnitte vorgehalten werden. Grundsätzlich sind derartige Schiffe geeignet, die Ausbreitung von Öl zu vermindern, wobei sie jedoch meist für den Off-shore-Bereich konzipiert werden. Eine neue Version sogenannter Skimming-Schiffe mit sehr geringen Tiefgängen kann allerdings auch problemlos bei ausreichender Motorisierung in Flüssen eingesetzt werden, wie die **Abbildungen 7.5.2.4** und **7.5.2.5** zeigen. Diese Schiffsform wurde an der Nordsee speziell für den Einsatz auf anschließenden Binnengewässern entwickelt.



Technische Daten: Länge ü.a. 34 m, Breite ü.a. 12 m, Tiefgang leer 0,8 m, Tiefgang mit gefüllten Tanks 1,8 m, Tankkapazität ca. 300 m³

Abbildung 7.5.2.4: "M POSS" Multi Purpose Oil Skimmer System



Technische Daten: Länge ü.a. 49 m, Breite ü.a. 27 m, Tiefgang leer 0,9 m, Tiefgang mit gefüllten Tanks 4 m, Tankkapazität max. 2.000 m³

Abbildung 7.5.2.5: Oil Skimming Recovery Catamaran

Es sind darüber hinaus, speziell in den USA, sogenannte trailerbare kleinere Schiffseinheiten speziell für den Einsatz auf Binnengewässern auf dem Markt verfügbar, welche allerdings in Deutschland – soweit bekannt – keine Verwendung finden.

Aufgrund der hohen Strömungsgeschwindigkeiten der großen Flüsse bei Hochwasser ist die Möglichkeit des Einsatzes dieser Schiffe allerdings als begrenzt einzuschätzen. Es bedarf einer hohen Qualität der Einsatzteams mit schnellen Booten, um

erfolgreich Öl zu skimmen, wie dies bereits im Off-shore-Bereich an der Nord- und Ostsee möglich ist. Geringere Strömungsgeschwindigkeiten sind nur in den überfluteten Stillwasserzonen vorhanden.

7.6 Hinweise und Ansätze zur Ermittlung von Störfallauswirkungen bei Stofffreisetzungen und mögliche Maßnahmen im Falle von Freisetzungen

Entsprechend § 3 der Störfall-Verordnung sind Betreiber von Betriebsbereichen verpflichtet, Vorkehrungen zu treffen, um durch Maßnahmen und Einrichtungen Störfälle und damit deren Auswirkungen zu verhindern und bei Freisetzungen von gefährlichen Stoffen vorbeugende Maßnahmen zu treffen, um die Auswirkungen auf die Umwelt so gering wie möglich zu halten, wobei nach § 3 Abs. 2 Nr. 2 die Gefahrenquelle Hochwasser expressis verbis genannt wird. Für Anlagen, auf die die erweiterten Pflichten anzuwenden sind, muss der Betreiber einen Sicherheitsbericht erarbeiten, der u.a. auch mögliche Auswirkungen von Störfällen auf Mensch und Umwelt berücksichtigt.

Wie die Untersuchungen in den Modellregionen gezeigt haben, werden für Anlagen, die unter die erweiterten Pflichten fallen, derzeit unter dem Gesichtspunkt Hochwasser keine Auswirkungsbetrachtungen durchgeführt, weil u.a. keine allgemein gültigen Grundsätze und Berechnungsmöglichkeiten über die damit verbundenen Auswirkungsbetrachtungen vorliegen. Insofern können in diesem Abschnitt nur Hinweise und Ansätze zur Ermittlung von Störfallauswirkungen bezogen auf die Einbringung von Schadstoffen in Gewässer bei Stofffreisetzungen und mögliche Maßnahmen im Falle von Freisetzungen gegeben werden.

Die nachfolgenden Ausführungen

- zum Erkennen von störfall- bzw. schadensbedingten Freisetzungen von gefährlichen Stoffen,
- Methoden zur Abschätzung der Freisetzungsmengen,
- Methoden zur Abschätzung der Folgen einer Freisetzung und
- Bewertung der Wirkung von Freisetzungen

sind daher aus anderen Aufgabenstellungen für die Gefahrenquelle Hochwasser abgeleitet.

7.6.1 Erkennen von störfall- bzw. schadensbedingten Freisetzen von gefährlichen Stoffen

Um z.B. vorprojektierte, geplante Maßnahmen im Falle von Stofffreisetzungen umzusetzen, ist zunächst der Freisetzungsort, der freigesetzte Stoff sowie die Freisetzungsrare zu ermitteln. Der Freisetzungsort bei einem Schaden durch Hochwasser und damit auch die Art des Stoffes kann durch die maximal zu erwartende Wasserlinie eingegrenzt werden, die aus den behördlichen Überschwemmungskarten (vgl. Köln) zu entnehmen ist. Durch den Vergleich der Wassertiefe mit den jeweiligen Höhenlagen der verschiedenen Anlagenteile lassen sich die kritischen Bereiche der Anlagen eingrenzen. Damit ergeben sich auch gleichzeitig die Stoffe, die in diesen Bereichen gehandhabt werden.

Folgende Schadenereignisse sind beispielsweise zu berücksichtigen:

- Abreißen von Rohrleitungen durch Auftrieb von Behältern oder Treibgut
- Verformen von Behältern oder Tanks durch Auftrieb oder äußeren Druck
- Leckschlagen von Behältern oder Tanks durch Treibgut
- Zerstörung von Behältern durch Treibgut
- Beschädigung oder Abriss von Armaturen
- Kurzschluss durch Abriss von Kabeln zur Energieversorgung, der MSR oder Steuerung von Einzelkomponenten

Schadenereignisse mit einer Stofffreisetzung werden i.d.R. bei Anlagen durch die MSR bzw. das PLT erfaßt, wie z.B. Druck- und Temperaturüberwachung, Stand- und Strömungsmessung als auch Analysenmessungen und automatisch in einer Messwarte aber auch vor Ort mit entsprechenden optischen und/oder akustischen Alarmen gemeldet. Mögliche Schadenfälle sind jedoch auch bei Ausfall der MSR-/PLT-Technik u.U. durch folgende Indikatoren erkennbar, sofern die Zugänglichkeit zur Anlage gegeben ist:

- Druckabfall (u.a. erkennbar durch örtliche Druckmessgeräte)
- örtliche Füllstandsanzeigen
- Geruchs- und Geräuscentwicklungen
- Verfärbung des Wassers
- Aufschwimmen von Stoffen
- mobile Detektoren, wie Gaswarngeräte
- sichtbare Beschädigung von Behältern oder Rohrleitungen
- Eindringen von Treibgut

Nach Erkennen einer Leckage muss dies sofort der zentralen Messwarte sowie dem Alarm- und Gefahrenabwehrzentrum eines Betreibers mitgeteilt werden.

7.6.2 Methoden zur Abschätzung der Freisetzungsmengen

Die Freisetzungsmenge pro Zeiteinheit, als Freisetzungsrate bezeichnet, hängt von der Leckgröße, der Art und Form des Lecks, der Viskosität des Mediums, dem Druck vor dem Leck (also in der Komponente plus geodätischem Druck), dem Zustand des Mediums (gasförmig, flüssig oder unter Druck verflüssigt) ab. Die Gesamtleckmenge ergibt sich aus der Zeit bis zum Abdichten eines Lecks. Die Freisetzungsrate ist am einfachsten über die Änderung der Füllstandsanzeige für flüssige Medien oder über den Druckabfall bei verdichteten Gasen ermittelbar. Kann ein Leck nicht abgedichtet werden und tritt die gesamte in einem Behälter befindliche Menge aus, so muss für die weitere Betrachtung die größte zusammenhängende Menge (GZM) berücksichtigt werden.

Leckraten können im Allgemeinen unter Berücksichtigung der vorgenannten Parameter entsprechend der Leckgröße und der Leckform – hier spielt die unterschiedliche Ausflussziffer eine wesentliche Rolle – berechnet werden. Bei der Ermittlung von Leckgrößen ist auch die Werkstoffeigenschaft zu berücksichtigen. Aufgrund der überwiegenden Verwendung von zähen Werkstoffen bei der Konstruktion von sicherheitsrelevanten Behältern, z.B. bei Anlagen nach der Störfall-V, wird es in solchen Fällen nicht zu größeren Lecks aufgrund eines Leck- vor Bruchverhaltens kommen. Der Einsatz von geeigneten, d.h. zähen Werkstoffen ist nach Ansicht der Berichtersteller für die Minimierung von Leckgrößen, z.B. verursacht durch Treibgut, auch bei Behältern, z.B. Öltanks, in technischen Bereichen, in denen keine Regelwerke die Verwendung von zähen Werkstoffen verlangen, erforderlich. In Chemieanlagen ist dies allerdings aufgrund der erforderlichen Materialauswahl in

Bezug auf eine Beständigkeit der gehandhabten Medien nicht immer möglich. (Nähere Informationen siehe Literatur der einschlägigen Werk-Stoffkunde, wie Stahlschlüssel etc.)

7.6.2.1 Leckagen oberhalb der Wasserlinie

➤ Austritt von Flüssigkeiten

Der austretende Flüssigkeitsmassenstrom oberhalb der Wasserlinie lässt sich allgemein unter stationären Bedingungen nach Bernoulli mit folgender Gleichung ermitteln (stationäre Bedingungen: Austritt bei konstanten Flüssigkeitspegel und Behälterdruck):

$$\dot{m} = \alpha \cdot A \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_B - p_u) + 2 \cdot g \cdot h}$$

mit:

\dot{m}	=	Flüssigkeitsmassenstrom	[kg/s]
α	=	Ausflussziffer 0,17 bis 0,62	[-]
A	=	Querschnittsfläche des Lecks	[m ²]
ρ	=	Dichte der Flüssigkeit	[kg/m ³]
p_B	=	abs. Behälterdruck (Druck im Gasraum über dem Flüssigkeitspegel)	[Pa]
p_u	=	Umgebungsdruck (Atmosphärendruck)	[Pa]
g	=	Erdbeschleunigung	[m/s ²]
h	=	Höhendifferenz zwischen Flüssigkeitspegel und Leck	[m]

➤ Freisetzung von Gasen und Dämpfen

Bei einer Freisetzung von Gasen und Dämpfen werden verschiedene Methoden zur Austrittsermittlung, welche in der Fachliteratur [DECHEMA 1986 u.1987] angegeben sind, angewandt. Im Allgemeinen können für Behälterausströmung (isentrop und reale Zustandsänderung bei geringen Überdrücken) folgende Gleichungen verwendet werden:

Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit v :

$$v = \varphi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \chi}{\chi - 1} \cdot R_i \cdot T_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi - 1}{\chi}} \right]}$$

mit:

v	=	Strömungsgeschwindigkeit	[m/s]
φ	=	Geschwindigkeits- oder Reibungsbeiwert, $\varphi < 1 \Rightarrow$ reale Strömung	[-]
χ	=	Isentropenexponent	[-]
R_i	=	spez. Gaskonstante	[J/(kg·K)]
T_1	=	Temperatur des Gases in Behälter	[K]
p_1	=	abs. Druck im Behälter	[Pa]
p_2	=	atm. Druck	[Pa]

Berechnung des austretenden Massenstroms \dot{m}

$$\dot{m} = \mu \cdot \psi \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}$$

mit:

\dot{m}	=	austretender Gasmassenstrom	[kg/s]
μ	=	Einschnürungsfaktor, $\mu < 1 \Rightarrow$ reale Strömung	[-]
Ψ	=	Ausflussfunktion	[-]
A	=	Leckquerschnitt	[m ²]
ρ_1	=	Dichte des Gases im Behälter	[kg/m ³]
p_1	=	abs. Druck im Behälter	[Pa]

Berechnung der Ausflussfunktion:

$$\Psi = \sqrt{\frac{\chi}{\chi - 1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\chi}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\chi + 1}{\chi}} \right]}$$

mit:

Ψ	=	Ausflussfunktion	[-]
χ	=	Isentropenexponent	[-]
p_1	=	abs. Druck im Behälter	[Pa]
p_2	=	atm. Druck	[Pa]

- Die max. Leckrate wird erreicht, wenn im engsten Strömungsquerschnitt die Schallgeschwindigkeit auftritt, d.h. es liegt das kritische Druckverhältnis vor. Hierbei ist die Ausflussfunktion $\Psi = \Psi_{\max}$.

kritisches Druckverhältnis
$$\frac{p_s}{p_1} = \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{2}{\chi + 1} \right)^{\frac{\chi}{\chi - 1}}$$

Bei einer isentropen Zustandsänderung erfolgt kein Wärmeaustausch des Gases mit der Umgebung. Dies wird in der Realität nicht erreicht, deshalb wird die polytrope Zustandsänderung eingeführt. $p \cdot V^n = \text{const.}$, n liegt zwischen 1 und χ . (Die Isentrope ist ein Sonderfall der Polytrope mit $\chi = n$.) Da der Polytropenexponent n i.d.R. nicht bekannt ist, wird mit χ gerechnet und die Leckrate daher konservativ ermittelt, d.h. etwas zu hoch gerechnet.

Beziehungen für isentrope kritische (max.) Ausströmraten:

$$\dot{m}_{\max} = \Psi_{\max} \cdot \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}$$

mit :

Ψ_{\max} = Ausflussfunktion für kritische Strömung [-]

$$\Psi_{\max} = \sqrt{\frac{\chi}{\chi + 1}} \cdot \left(\frac{2}{\chi + 1} \right)^{\frac{1}{\chi - 1}}$$

μ = Einschnürungsfaktor, $\mu < 1 \Rightarrow$ reale Strömung [-]
(wird ersetzt durch die Ausflussziffer α der Lecköffnung; $\alpha = 0,17 - 0,38$ bei Spaltströmung, $\alpha = 0,62$ bei kreisförmiger scharfkantiger Lecköffnung)

A = Leckquerschnitt [m²]

ρ_1 = Dichte des Gases im Behälter [kg/m³]

p_1 = abs. Druck im Behälter [Pa]

7.6.2.2 Leckagen unterhalb der Wasserlinie

Im Falle einer Freisetzung von Flüssigkeit oder Flüssiggas aus einem Leck unterhalb der Wasseroberfläche bei einem überfluteten Behälter sind folgende Vorgänge zu berücksichtigen:

- Treibende Druckdifferenz ($p_i - p_u$) an der Leckstelle zur Ermittlung der Leckrate

p_i Innendruck = Summe aus Druck im Gasraum des Behälters (=Dampfdruck des Flüssiggases bzw. Druck eines Überlagerungsgases (z.B. Inertgas) oder Atmosphärendruck bei freibelüftetem Behälter für Flüssigkeiten unterhalb der Siedetemperatur) und dem hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule über der Leckstelle

p_u Umgebungsdruck (Außendruck) = Summe aus Atmosphärendruck und dem hydrostatischen Druck der Wassersäule über der Leckstelle (Überflutungshöhe)

- Leckageabläufe

- a) Freisetzung von Flüssigkeit mit einer Dichte $< 1 \text{ kg/l}$:

Bei einem seitlichen Leck oder einem solchen im oberen Bereich eines Behälters wird Wasser in den Behälter eindringen und die verdrängte leichtere Flüssigkeit austreten. Die austretende Flüssigkeitsmenge erhält einen Auftrieb entsprechend dem Gewicht des jeweils verdrängten Wasservolumens (Gewichtskraft). Die Leckmenge – abzüglich der im Wasser gelösten Menge – bildet auf der Wasseroberfläche eine Lache. Die Auftriebskraft wirkt senkrecht nach oben [Archimedes]. Ansätze für eine Ermittlung ergeben sich u.a. aus den Berechnungsmethoden zur Flüssig-Flüssig-Extraktion [Ullmann].

- b) Freisetzung von Flüssigkeit mit einer Dichte $= 1 \text{ kg/l}$:

Die Flüssigkeit wird im Wesentlichen im leckgeschlagenen Behälter verbleiben. Es erfolgt ein sehr geringer Austausch über die Leckfläche mit Wasser durch Vermischung. Die austretende Flüssigkeitsmenge bildet eine entsprechende Schichtung in Höhe der Leckstelle aus, verteilt sich im Wasser und gelangt je nach Strömung durch Verwirbelung z.T. auch auf die Wasseroberfläche.

c) Flüssigkeit mit einer Dichte $> 1 \text{ kg/l}$:

Lediglich im Bereich von seitlichen Leckagen oder solchen im Bodenbereich wird es zu Flüssigkeitsfreisetzungen kommen. Austretendes Medium wird durch nachdrückendes Wasser bis zur Höhe des Lecks ersetzt. Bei einem Leck im Bodenbereich wird die gesamte Behältermenge austreten. Strömungstechnisch ist dies entsprechend den unterschiedlichen Dichten und den geodätischen Drücken entsprechend dem Medium im Behälter und dem Wasserdruck außerhalb des Behälters zu erfassen. Dies wäre physikalisch individuell, bezogen auf den jeweiligen Fall, zu ermitteln. Eine allgemein gültige Formel ist nicht verfügbar. Ansätze für eine Ermittlung ergeben sich aus den Berechnungsmethoden zur Flüssig-Flüssig-Extraktion.

d) Freisetzung von unter Druck verflüssigten Gasen (C_3/C_4 -Kohlenwasserstoffe, z.B. Propan oder Butan) mit einer Flüssigkeitsdichte $< 1 \text{ kg/l}$:

Beim Leckaustritt des Flüssiggases bildet sich eine Gasphase aus (Zweiphasenströmung infolge Druckabfalls im Leck; z.B. max. ca. 25% Strömungsmassendampfgehalt bei Propan). Darüber hinaus kommt es zu einer Verdampfung eines Anteils der Leckmenge infolge des Wärmeinhaltes des Flüssiggases selbst und einer Wärmezuführung aus dem Wasser (Wassertemp. $>$ Siedetemp. des Mediums). Dies ist individuell nach den Gesetzen der Thermodynamik zu berechnen.

Die austretende bzw. entstehende Gasmenge als auch die verbleibende Flüssigphase erhalten einen Auftrieb entsprechend dem Volumen des verdrängten Wassers und bilden einen Gefährdungsbereich durch den Gasaustritt und das weitere Verdampfen der brennbaren und/oder toxischen Stoffe an der Wasseroberfläche im Bereich der überfluteten Anlage. Die Temperatur des an der Wasseroberfläche schwimmenden Flüssiggases sinkt dabei auf Siedetemperatur $\ll 0^\circ\text{C}$ ab. Es bildet sich auf der darunter liegenden Wasserfläche eine Eisschicht aus, welche in ihren Ausmaßen von der Strömung bzw. Turbulenz des Wassers abhängt.

e) Freisetzung von unter Druck verflüssigten Gasen (z.B. Cl_2) mit einer Flüssigkeitsdichte $> 1 \text{ kg/l}$:

Die Verhältnisse einer Verdampfung liegen ähnlich wie im Fall d). Allerdings wird durch den Überdruck die verbleibende Flüssigphase im Wasser absinken und das Medium die Siedetemperatur $< 0^\circ\text{C}$ erreichen. Das

Austrittsverhalten hängt von der Leckposition ab. Die Gase werden an die Wasseroberfläche gelangen.

- f) Freisetzung von tiefkalten Flüssigkeiten (z.B. Propylen bei -50°C) mit einer Dichte $< 1 \text{ kg/l}$:

Bei einem Leck unterhalb der Wasseroberfläche im seitlichen oder oberen Bereich würde die Flüssigkeit austreten, wobei es im näheren Bereich zu einer Vereisung käme und andererseits die Flüssigkeit aufgrund der Wärmezufuhr aus dem Wasser zu verdampfen beginnen würde. Die austretende verbleibende Flüssigkeit würde auf der Wasseroberfläche verbleiben, das Gas als Schwergas an der Wasseroberfläche vorliegen. Eine weitere Verdampfung erfolgte dann auf der Oberfläche mit einer Vereisung des darunter liegenden Wassers.

- g) Freisetzung von tiefkalten Flüssigkeiten (z.B. Cl_2 bei -37°C) mit einer Dichte $> 1 \text{ kg/l}$

Bei einem Leck unterhalb der Wasseroberfläche im seitlichen oder unteren Bereich würde die Flüssigkeit austreten, wobei im näheren Bereich eine Vereisung aufträte und es zu einer beginnenden Verdampfung der Flüssigkeit durch die Wärmezufuhr des Wassers käme. Die austretende verbleibende Flüssigkeit würde auf den Grund absinken und dort langsam verdampfen. Die Gasphase würde an der Wasseroberfläche als Schwergas vorliegen.

Für alle Leckvorgänge, wie sie zuvor beschrieben wurden, sind, wie umfangreiche Recherchen der Berichtersteller ergeben haben, keine umfassenden direkt auf die einzelnen Freisetzungsvorgänge anzuwendenden Berechnungsmethoden vorhanden. (Nähere Ausführungen hierzu unter Kap. 11.)

7.6.3 Methoden zur Abschätzung der Folgen einer Freisetzung

Eine Freisetzung kann je nach Anlage sowohl gasförmig, dampfförmig, flüssig oder in fester Stoffform erfolgen. Folglich sind auch verschiedene Ausbreitungsmodelle in Bezug auf die freigesetzten Stoffe anzuwenden. Zur Systematisierung der nach-

folgenden Ausführungen sind in **Abbildung 7.6.3.1** die verschiedenen Ausbreitungspfade am Beispiel einer Leckage an einem Behälter schematisch dargestellt.

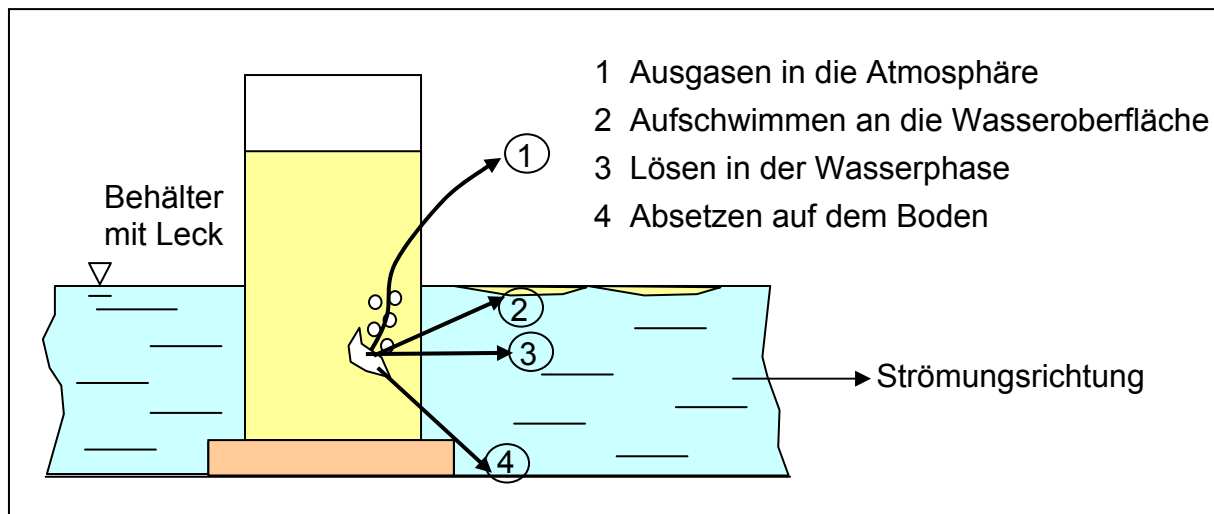


Abbildung 7.6.3.1: Ausbreitungspfade einer Stofffreisetzung bei einem Leck unterhalb des Wasserspiegels

7.6.3.1 Ausbreitungsrechnung für Schadstoffe auf dem Luftpfad

Die Ausbreitungsrechnungen für den Luftpfad werden im Rahmen der Ausarbeitungen von Sicherheitsberichten sowie der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung für Betriebsbereiche, die den erweiterten Pflichten der Störfall-Verordnung unterliegen, grundsätzlich für die vorliegenden potenziell gefährlichsten Stoffe durchgeführt. Für Anlagen, welche den Grundpflichten unterliegen, besteht eine solche Forderung nicht.

➤ Ausbreitungsrechnung für gasförmige Stoffe

Für gasförmige Stoffe wird neben einer Anzahl verschiedenster Modelle am häufigsten und standardmäßig die Ausbreitungsrechnung nach der VDI Richtlinie 3783, Blatt 1 und 2 nach Manier verwendet [VDI 3783]. Hierbei werden 3 verschiedene Wetterklassen (stabil, indifferent, labil), mit einer Inversionsschichtung (austauscharme Luftschichtung) bei stabiler Lage als ungünstigstem Fall, sowie verschiedene wählbare Windgeschwindigkeiten ≥ 1 m/s bis n m/s (stets Mitwindrichtung) und Parameter für die Umgebungsstruktur (Topographie, Bebauung etc.) in den Berechnungen berücksichtigt. Die Berechnung nach VDI 3783 erfolgt i.d.R. über ein EDV-Programm des

VDI. Mit der Eingabe verschiedener Parameter, wie z.B. Stoffdaten, Quellhöhe, Emissionsdauer usw., werden folgende Daten ermittelt:

- untere Zünddistanz (Entfernungsradien eines explosiblen Gas-/Luftgemisches in Bezug auf die untere Explosionsgrenze (UEG / in m)
- Ausbreitungsentfernung eines Schwergases (sogenannter Koppelpunkt in m)
- Konzentrationsverlauf des Schadstoffes über die Zeit am gewählten Aufpunkt (mg/m^3 über n sec)
- höchste Konzentration am Aufpunkt (mg/m^3)
- Dosis am Aufpunkt ($\text{mg} \cdot \text{s}/\text{m}^3$)

Eine Auswirkungsbetrachtung nach dem Modell der VDI Richtlinie 3783 ist in Deutschland allgemein anerkannt und entspricht dem Stand der Technik. Neben der VDI Richtlinie sind noch eine Reihe weiterer Modelle (z.B. DEGADES) in Gebrauch, welche im Rahmen dieses Berichtes jedoch nicht näher untersucht werden.

Mit dem Rechenmodell der VDI-Richtlinie 3783 (Blatt 1 und 2) wird die Ausbreitung von sogenannten leichten, dichteneutralen sowie schweren Gasen berechnet. Schwergase über Wasseroberflächen werden dabei gleichermaßen erfasst. Die Ermittlung der Freisetzung von im Wasser gelösten Gasen ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Bei der Ausbreitungsrechnung für Stäube bis $100 \mu\text{m}$ wird die VDI-Richtlinie 3783 analog herangezogen.

Für den erforderlichen Fall einer schnellen Abschätzung der Folgen einer Freisetzung von gefährlichen Stoffen ist jedoch entsprechend dem Stand der Technik die Verwendung von Nomogrammen vorzusehen (**Abbildungen 7.6.3.1.1 und 7.6.3.1.2**). Solche Nomogramme [Ballast, 2004] erlauben – unabhängig von den Schadensursachen – eine schnelle Abschätzung darüber, bis in welche Entfernungen von der Austrittsstelle mit Gefahren oder Schäden zu rechnen ist. Die Nomogramme helfen nicht nur, formale Pflichten zu erfüllen, sondern können darüber hinaus

- ein Hilfsmittel für die Festlegung von adäquaten Sicherheitseinrichtungen sein
- der Katastrophenschutzplanung als Grundlage dienen
- bei Störungen den Einsatzkräften im Einsatzfall schnell und ohne technischen Aufwand hilfreiche Informationen zu geben.

Solche Nomogramme dienen auch der Bewertung bei störungsbedingten Freisetzungen toxisch wirkender Stoffe. Mit den Nomogrammen kann stoffspezifisch für beliebige Freisetzungsmengen und verschiedene atmosphärische Ausbreitungsbedingungen ermittelt werden, bis in welche Entfernungen noch Immissionsbelastungen oberhalb eines spezifischen Immissions-Beurteilungswertes (z.B. AEGL, ERPG) auftreten können.

Die atmosphärische Ausbreitung wurde für die Nomogramme mit dem Modell der VDI-Richtlinie 3783 berechnet. Bei flüssig austretenden Stoffen kann mit der linken Nomogrammhälfte in einem vorgelagerten Schritt zuerst die gasförmig emittierte Menge in Abhängigkeit von der flüssig ausgetretenen Menge ermittelt werden. Die Kurven der linken Nomogrammhälfte basieren auf Verdunstungsrechnungen mit einem Ansatz von Mackay und Matsugu [Mackay u. Matsugu, 1973] und wurden unter Berücksichtigung der Wärme- und Massenbilanz für die Flüssigkeitslache berechnet.

Chlor, Dosis-Beurteilungswert: 1200 ppm*min (ERPG-3: 20 ppm*60 Min.)

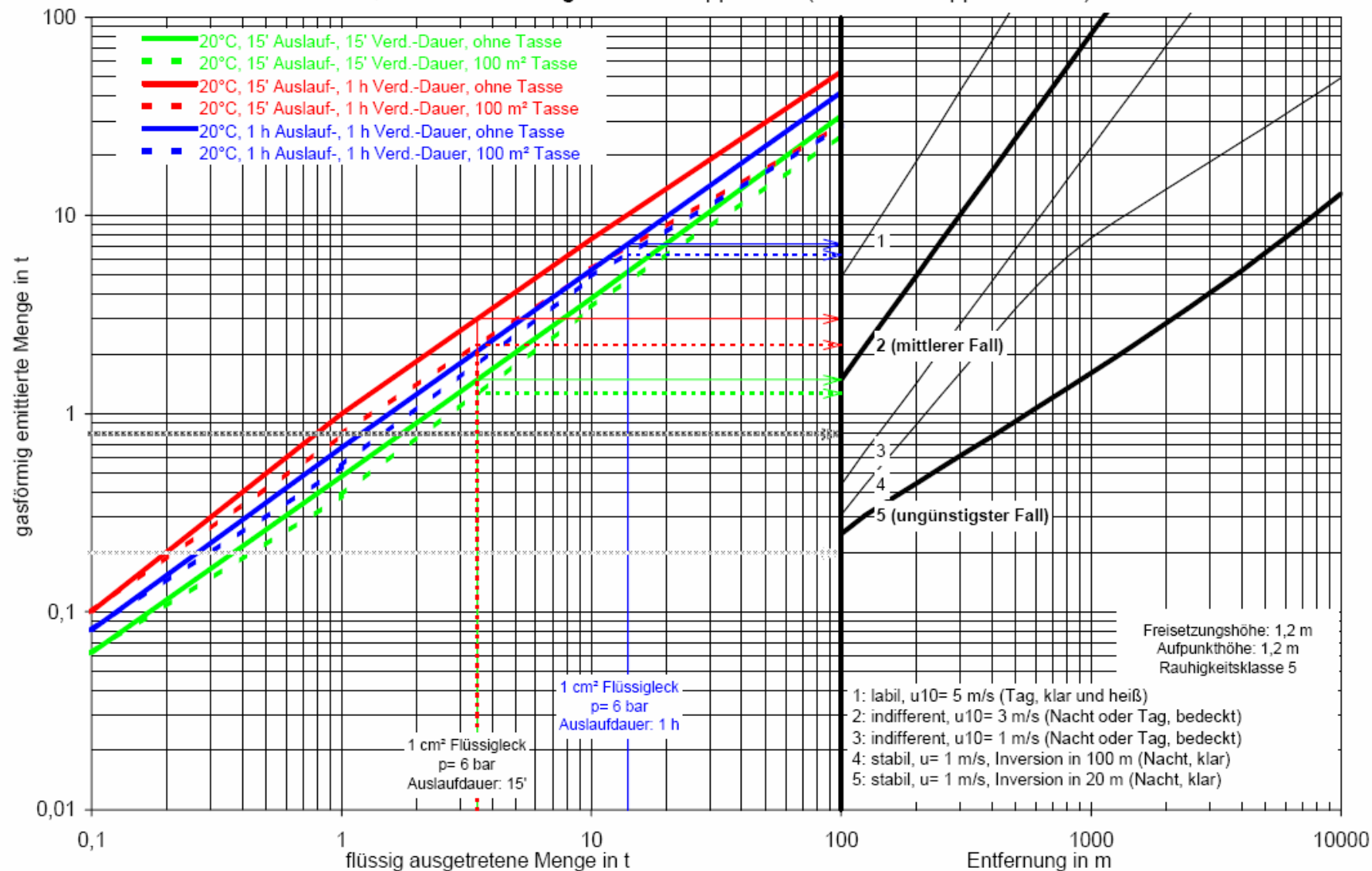


Abbildung 7.6.3.1.1: Nomogramm zur Ausbreitungsermittlung

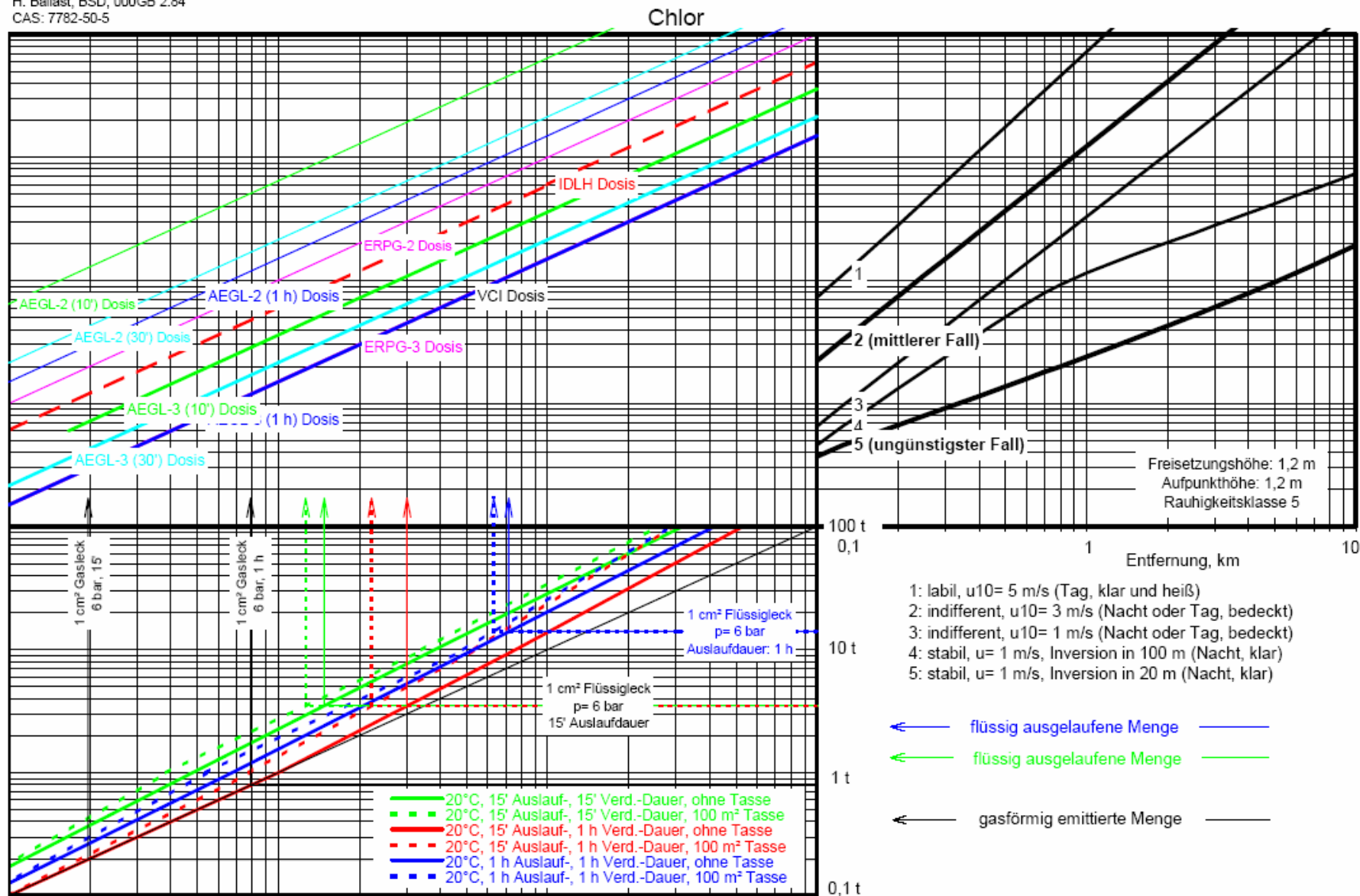


Abbildung 7.6.3.1.2: Nomogramm zur Ausbreitungsermittlung

- Ausbreitung von Stoffen unter Berücksichtigung einer Reaktion mit der Feuchtigkeit der Luft

In Bezug auf eine Umsetzung von bestimmten Stoffen mit der Feuchtigkeit in Luft sind weitere Betrachtungen erforderlich. Das nach der VDI-Richtlinie 3783 anzuwendende Rechenprogramm berücksichtigt keine chemische Umsetzung, z. B. infolge zu unterstellender Luftfeuchtigkeit. Die Rechnungen werden daher mit einem Reinstoff vorgenommen. Bei verschiedenen Stoffen, wie z.B. Säureanhydriden (Beispiel SO_3) oder Phosphortrichlorid (PCl_3) ist jedoch eine chemische Umsetzung durch die Luftfeuchtigkeit zu Säure, z.B. Schwefelsäure oder Salzsäure von Bedeutung, da hierdurch auch ein schnelles Absinken dieser Medien auf Gewässerflächen zu deren Verunreinigungen beitragen kann.

Den sich bildenden Säurenebeln sind nun andere Eigenschaften hinsichtlich ihres Ausbreitungsverhaltens, wie im Modell nach VDI 3783 dargelegt, zuzusprechen. Da bei einer Auswirkungsbetrachtung aufgrund von starken hygroskopischen Eigenschaften die Säuren der bestimmende Stoff in Bezug auf eine Aerosolbildung sind, sollten Ausbreitungsbetrachtungen auch mit chemischer Umwandlung vorgenommen werden.

Entsprechend einer mittleren Teilchengröße von zunächst 5×10^{-7} m nach der Freisetzung und später dann von 12×10^{-7} m werden sich die entstehenden Aerosole mit zunehmender Geschwindigkeit entsprechend den Stokes'schen Cunningshams'schen Gesetzen niederschlagen. Für eine realistische Ausbreitungsbetrachtung ist daher die Kenntnis von Umsetzungsmechanismus und -rate von ausschlaggebender Bedeutung.

Reaktionskinetische Untersuchungen [Goodeve et.al. 1934] bei Raumtemperatur nach einer herkömmlichen Strömungsmethode ergaben, dass die Reaktion in der Regel sehr rasch und fast stöchiometrisch erfolgt. In Anbetracht der Tatsache, dass die Reaktion als nahezu stoßkontrolliert beschrieben werden kann und temperaturabhängige Messungen zur Bestimmung der Aktivierungsparameter nicht vorliegen, ist es nicht unvernünftig die Reaktionsgeschwindigkeit (und ihre Temperaturabhängigkeit) über einen Stoßzahlenansatz zugänglich zu machen.

Führt man nun entsprechende Berechnungen bezüglich der Umsetzungsraten durch, dann stellt man fest, dass die die Umsetzungsrate limitierende Rand-

bedingung sich in der zur Verfügung stehenden H_2O -Konzentration manifestiert.

Die Reaktionsbedingungen gestatten also keine Betrachtung pseudo erster Ordnung (z.B. nach VDI-Richtlinie 3782 Nr. 8.2); geschwindigkeitsbestimmend ist die Heranführung des Wasserdampfes der Luft. Die Umsetzung wird also dann vollständig abgeschlossen sein, wenn sich das freigesetzte Gas auf ein Volumen ausdehnt, in dem die entsprechende stöchiometrische Menge Wasser enthalten ist. Hierbei sind die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und der Luftdruck zu berücksichtigen, wobei auf Standardwerte zurückgegriffen werden kann.

Im Rahmen von Ausbreitungsrechnungen ist zu ermitteln, welche Immissionskonzentrationen an festgelegten Aufpunkten auftreten können. Daher ist es wichtig, die Umsetzungsrate hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Immissionskonzentrationen möglichst genau abzuschätzen.

Die Umsetzung zu Säure-Aerosolen führt zu erhöhten Immissionskonzentrationen speziell an näher gelegenen Aufpunkten. Im Hinblick auf die bekannten und gut untersuchten Eigenschaften von Säurenebeln kann eine derartige Berechnung bei geringen Freisetzungsraten für Teilchendurchmesser $< 5 \times 10^{-6} \text{ m}$ und Windgeschwindigkeiten größer $0,5 \text{ m/s}$ vernachlässigbar sein. Diese Betrachtungsweise ist konservativ im Hinblick auf die zu erwartenden Immissionen an zu betrachtenden Aufpunkten und entspricht den Festlegungen der TA-Luft bzw. der VDI-Richtlinie 3782.

Nach einer Verdünnung auf 1 % geht die VDI-Richtlinie 3783 von einem den dichteneutralen Gasen entsprechendem Ausbreitungsverhalten aus. Dies ist bei Aerosolen nicht der Fall. Die vertikale Verdünnung durch windbedingte Ausdehnung ist hier eingeschränkt.

Die weitere Ausbreitung wird sich stärker auf den bodennahen Bereich oder auch Gewässerbereich beschränken als nach Blatt 1 zu erwarten ist. Dieser Effekt kann allerdings näherungsweise auch durch Einführen einer Inversionsschichtung (Sperrschicht in Höhe von 20 - 40 m) angemessen berücksichtigt werden (VDI 3783).

Die Ausbreitungsrechnung nach Blatt 1 geht von vollständigen Reflexionen an den horizontalen Grenzen (Boden- bzw. Inversionsschicht) aus und berück-

sichtigt dies durch die Einführung virtueller Quellterme an den Schichtgrenzen. Eine vollständige Reflexion darf aber nicht angenommen werden.

Trifft ein Säuretröpfchen auf eine Wasseroberfläche, so wird es im Wasser verbleiben.

7.6.3.2 Verdampfungs- und Verdunstungsvorgänge von freigesetzten flüssigen Medien in Luft

➤ Flashverdampfung

Bei der Freisetzung von unter Druck verflüssigten Medien ist es von Bedeutung, die sogenannte Flashverdampfungsrate und damit die verbleibende flüssige Freisetzungsrate, welche auf den Boden oder in ein Gewässer gelangt, festzustellen. Die verdampfende Masse m_v (Flashverdampfung) lässt sich wie folgt berechnen:

$$m_v = \frac{Q \cdot f}{\Delta h_v} = \frac{m \cdot c_{pf} \cdot (T_0 - T_s) \cdot f}{\Delta h_v}$$

mit:

m_v	=	Flashverdampfungsmasse	[kg]
Q	=	Wärmeinhalt der Flüssigkeit	[J]
c_{pf}	=	spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeit	[J/kg K]
T_0	=	Anfangstemperatur	[K]
T_s	=	Siedetemperatur bei Normaldruck	[K]
Δh_v	=	spezifische Verdampfungsenthalpie	[J/kg]
f	=	Faktor 1,5 durch Wärmezufuhr bei der Lufteinmischung aus empirischen Ermittlungen	[BASF, 1977]

Die bei einer Leckage von unter Druck verflüssigtem Gas nicht sofort verdampfte Menge kühlt sich beim Flashvorgang auf den Siedepunkt $\ll 0^\circ\text{C}$ ab und verbleibt als Flüssigkeitslache durch Wärmeentzug beim Flash auf dem Boden bzw. der Wasseroberfläche.

➤ Poolverdampfung aus einer Lache am Boden

Das Temperaturgefälle von Bodentemperatur zur Lachentemperatur und der auf die Benetzungsfläche bezogene Wärmeübergang als auch die Wärmezufuhr aus der Luft und durch Sonneneinstrahlung sind für den Verdampfungsvorgang maßgebend. Grundlage einer Berechnungsmethode ist die Erstellung einer Wärmebilanz. Die Verdampfungsraten können unter Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit der Lachengröße iterativ bestimmt werden, wofür verschiedene Rechenmodelle zur Verfügung stehen [Lebuser u. Schecker, 1986].

Die Verdampfung auf einer benetzten Bodenoberfläche wird zu Beginn aufgrund eines noch wärmeren Untergrundes stärker von statten gehen, jedoch ist die Gesamtrate aufgrund einer zu Beginn dieses Vorganges kleineren Benetzungsoberfläche geringer. Mit größer werdender Benetzungsfläche nimmt die Pool-Verdampfungsrate zu, während die Flash-Verdampfungsrate entsprechend der abnehmenden Leckrate über den Austrittszeitraum abnimmt.

Auf der Basis empirischer Ermittlungen ergeben sich nach Burgess et al. mittlere Verdampfungsgeschwindigkeiten z.B. für tiefkalt verflüssigtes Erdgas (LNG) von 0,5 mm/min. Versuche von Lehrer (u.a. mit FCKWs und LNG) ergaben Verdampfungsraten von 2,3 g/m²·s bis 3,8 g/m²·s [DGMK, 1981]. Dies entspricht Verdampfungsgeschwindigkeiten von 0,34 mm/min bzw. 0,55 mm/min. Von Burgess wird daher folgender Rechnungsansatz für die Verdampfungsgeschwindigkeit vorgeschlagen [DGMK, 1981]:

$$V = \frac{K}{\rho \cdot L} \cdot \frac{T_1 - T_0}{(\pi \cdot \kappa \cdot t)^{1/2}}$$

mit:

V	=	Verdampfungsgeschwindigkeit	[cm/s]
K	=	Wärmeleitfähigkeit des Bodens	[J / cm/s K]
κ	=	thermische Diffusivität des Bodens (Temperaturleitzahl)	[cm ² /s]
L	=	spezifische Verdampfungswärme Flüssiggas	[J / kg]
$T_1 - T_0$	=	Temperaturdifferenz Boden - Flüssig- gas-Siedetemperatur	[K]
ρ	=	Flüssiggas-Flüssigkeitsdichte	[g/cm ³]
t	=	Zeit nach Bildung der Lache	[s]

➤ Verdampfung auf Wasseroberflächen

Bei einer plötzlichen Lachenbildung wird sich bei kontinuierlicher Verdampfung das kalte flüssige Gas auf der Wasseroberfläche ausbreiten. Die Ausbreitung erfolgt solange, bis sich eine minimale Schichtdicke bei einem maximalen Pooldurchmesser ergibt. Infolge der Verdampfung wird die Poolfläche kontinuierlich kleiner. Ab einem bestimmten Zeitpunkt ist die Oberflächenspannung des Flüssiggases nicht mehr in der Lage eine kontinuierliche Schicht aufrecht zu erhalten, so dass die Flüssiggasschicht auseinander driftet.

- Nach Shaw und Briscoe ist für eine tiefkalte Flüssigkeit (z.B. ein Flüssiggas) der Wärmestrom in die Lache proportional der Differenz zwischen der umgebenden Wassertemperatur und dem Siedepunkt der Flüssigkeit [Shaw u. Briscoe, 1980; UBA, 2000].

Gleichung für die Wärmestromdichte:

$$q'' \cong 600 \cdot (T_a - T_b)$$

mit:

q''	=	Wärmestromdichte in die Lache	[W/m ²]
T_a	=	Umgebungstemperatur	[K]
T_b	=	Siedetemperatur bei 1,013 bar	[K]

Für die Verdampfungsrate gilt folgende Berechnungsgleichung:

$$\dot{m}'' = q'' / \Delta h_v = 600 / \Delta h_v \cdot (T_a - T_b)$$

mit:

\dot{m}''	=	Verdampfungsrate	[kg/ m ² ·s]
Δh_v	=	spezifische Verdampfungsenthalpie	[J/kg]

- Im offenen Wasser würde nach Opschoor praktisch keine Eisbildung stattfinden [DGMK, 1981]. Im Grenzschichtenbereich trete ein Sieden ein. Während der Lachenbildung würde die Temperaturdifferenz zwischen einem Flüssiggas und Wasser praktisch konstant bleiben. Im Wasser findet ein konvektiver Wärmetransport statt. Die von Opschoor berechnete Verdampfungsrate von

$$\dot{m} = 0,045 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

auf offenem Wasser stimmt recht gut mit der nach Colenbrander ermittelten LNG-Verdampfungsrate von $0,05 \text{ kg/m}^2\text{s}$ überein, d.h. die Verdampfung ist zeitunabhängig [Colenbrander 1980].

Von Opschoor wird für die sich einstellende minimale Schichtdicke auf Wasser eine Dicke von $0,17 \text{ cm}$ genannt. Nach Opschoor betragen (zum Vergleich ist LNG aufgeführt):

a) Die maximale Verdampfungszeit t_e [s] für eine LNG-Schicht:

$$t_e = 0,67 \cdot \left[\frac{\rho_e^2 \cdot \rho_w \cdot V_i}{\Delta \rho \cdot g \cdot \dot{m}^2} \right]^{1/4} \quad \text{für LNG: } t_e = 40 \cdot V_i^{1/4}$$

b) Der maximale Pool-Radius R_e [m]:

$$R_e = 1,02 \cdot \left[\frac{\Delta \rho \cdot \rho_e^2 \cdot g \cdot V_i^3}{\rho_w \cdot \dot{m}^2} \right]^{1/8} \quad \text{für LNG: } R_e = 12,2 \cdot V_i^{3/8}$$

c) Die Verdampfungsrate:

$$\dot{m} = \left[\frac{(2 \cdot \rho_w \cdot h_E + \rho_E \cdot c_{pE} \cdot \Delta T_E) \cdot K_E \cdot \Delta T_E}{4 \cdot h_v^2 \cdot t} \right]^{1/2} \quad \text{für LNG: } \dot{m} = 0,52 \cdot t^{-1/2}$$

mit:

\dot{m}	=	zeitunabhängige Verdampfungsrate von Flüssiggas auf offenem Wasser	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right]$
ρ_e	=	Dichte Flüssiggas	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
ρ_w	=	Dichte Wasser	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
ρ_E	=	Dichte Eis	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

$\Delta\rho$	=	Dichtedifferenz von Wasser / Flüssiggas	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
V_i	=	Flüssiggasanfangsvolumen	$[m^3]$
g	=	Erdbeschleunigung	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
c_{PE}	=	spezifische Wärmekapazität Methan	$\left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$
h_v	=	spezifische Verdampfungsenthalpie Methan	$\left[\frac{J}{kg} \right]$
t	=	Verampfungszeit	$[s]$
K_E	=	Wärmeleitfähigkeit Eis	$\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
ΔT_E	=	Temperaturdifferenz zwischen Eis und LNG-Interface	$[K]$

Einschränkend ist zu vermerken, dass es hinsichtlich einer Eisbildung in der Grenzschicht zwischen Flüssiggas und Wasser z.Zt. keine eindeutigen Erkenntnisse gibt. Die vorherrschende Meinung bzgl. der Grenzschicht ist, dass sich zu Beginn eines Verdampfungsvorganges eine Eisschicht bildet, die jedoch im Laufe einer stattfindenden erhöhten Verdampfung in eine Siedeschicht übergeht.

➤ Verdunstung von Flüssigkeiten mit kleineren bis mittleren Dampfdrücken

Bei freigesetzten Flüssigkeiten mit kleineren bis mittleren Dampfdrücken ist es bedeutsam, die Verdunstungsmenge zur Atmosphäre zu ermitteln. Für die Abschätzung des Verdunstungsmassenstromes einer Flüssigkeit auf einer Bodenfläche in \dot{m}_{ver} [kg/s] kann folgende Modellgleichung [Mackay u. Matsugu, 1973] verwendet werden:

$$\dot{m}_{ver} = -0,024 \cdot \frac{u_a^{0,78} \cdot M_{Mol} \cdot A_{La}}{R_{La}^{0,11} \cdot (273,15 + \vartheta_{La})} \cdot \ln \left(1 - \frac{p_v}{1,01325} \right)$$

mit:

ϑ_{La}	[°C]	Temperatur der Flüssigkeit an der Lachenoberfläche
A_{La}	[m²]	Lachenfläche
M_{Mol}	[g/mol]	Molmasse der Flüssigkeit
u_a	[m/s]	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über der Lache

p_v	[bar]	Dampfdruck bei ϑ_{La}
R_{La}	[m]	Lachenradius

Bei Flüssigkeiten, die auf eine Wasseroberfläche gelangen, eine geringere Dichte als Wasser besitzen und nur schwer wasserlöslich sind, werden analoge Verdunstungsraten zu erwarten sein. Auf der Basis der empirischen Ermittlungen von O.G. Sutton [DECHEMA, 1986] lassen sich mit Hilfe des 2. Fick'schen Gesetzes in etwa entsprechende Verdunstungsraten abschätzen.

Entsprechend den Verdunstungsraten verbleiben die Fremdstoffe in wesentlichen Anteilen zeitlich solange auf der Wasseroberfläche, bis alle Stoffe zur Atmosphäre gelangt sind. Dieser Zeitrahmen läßt sich mit Hilfe der v.g. Modellrechnung in etwa ermitteln. Bei fließenden Gewässern werden die eingeleiteten Stoffe entsprechend der Fließgeschwindigkeit abdriften und sich hierbei flächenmäßig ausdehnen. Hierdurch würde die Verdunstungszeit reduziert. Dieser Vorgang ist jedoch von der Gewässerkonfiguration abhängig und rechnerisch nicht zu erfassen.

➤ Weitere Auswirkungsbetrachtungen

Neben den vorgenannten Betrachtungen sind auch die Ermittlungen zu sonstigen nachteiligen Auswirkungen bei einem unterstellten Störfallereignis durch den Einfluss einer Hochwassergefährdung von Bedeutung wie:

- Brandberechnung mit Wärmestrahlung
- Explosionsberechnung mit Druckwellenausbreitung

Zur Berechnung liegen eine Reihe von anerkannten Modellen vor; beispielhaft können hierzu folgende Programme herangezogen werden:

- TNT nach Warren zur Explosionsberechnung und Druckwellenausbreitung [Warren, 1996]
- Explosionsberechnung und Druckwellenausbreitung [Wiekema, 1980]
- TNO – Modell zur Explosionsberechnung und Druckwellenausbreitung [TNO, 1997]
- Tankexplosion nach dem Modell Baker [Baker, 1975/1978]
- Wärmestrahlungsberechnung [Seeger, 1974] (Zylinderstrahlenmodell)

7.6.3.3 Ausbreitungsrechnung für gelöste Schadstoffe auf dem Wasserpfad

Nach dem Brandunfall 1986 im Chemiewerk Sandoz, Basel, bei dem große Mengen mit Chemikalien verunreinigten Löschwassers in den Rhein flossen, haben im Auftrag der 8. Rheinministerkonferenz die IKS und die internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) 1990 gemeinsam das Alarmmodell für den Rhein entwickelt. Das Alarmmodell wird von Alarmstellen am Rhein bei der Vorhersage der Stoffausbreitung einer störfallbedingten Wasserverunreinigung eingesetzt. Wasserwerke und Wasserbehörden verwenden das Rhein-Alarmmodell bei der Anordnung der von ihnen zu treffenden Maßnahmen wie die Einstellung der Rohwasserentnahme.

Im Rhein-Alarmmodell ist der Rhein vom Bodensee bis zu der Nordsee modelliert, ebenso die Nebenflüsse Aare, Neckar, Main und Mosel. Das Alarmmodell für den Rhein berechnet für eingegebene Stellen die Konzentration als Funktion der Zeit sowie den Zeitpunkt und den Umfang der maximalen Konzentration im Fluss. Bei Bedarf wird ein Bild des Verlaufs der Verunreinigungswelle von der Quelle bis zur Nordsee präsentiert. Bei dem Modell handelt es sich um ein eindimensionales stationäres Stofftransportmodell für lösliche Stoffe, das den Einfluss von sogenannten Stillwasserzonen sowie Buhnenfelder berücksichtigt.

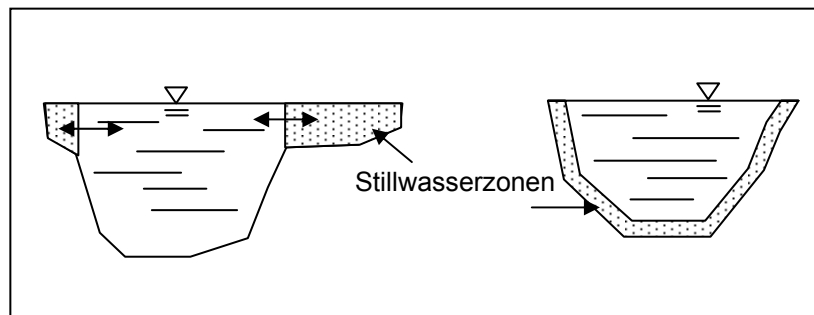


Abbildung 7.6.3.3.1: Stillwasserzonen im Gewässerquerschnitt

Entsprechend den unterschiedlichen Morphologien des Rheins und seiner Nebenflüsse werden die Gewässer in Abschnitte aufgeteilt, wobei in den einzelnen Abschnitten jeweils von stationären Abflussverhältnissen ausgegangen wird. Ein Abschnitt ist dann als Teil des Flusses in Längsrichtung definiert, wenn der Abfluss Q_i (i = Index für den jeweiligen Abschnitt) als konstant vorausgesetzt werden kann. Darüber hinaus wurden die Abschnitte so gewählt, dass die pro Abschnitt vorhandenen Wasserstandsmessstellen mit ihrer zugehörigen Wasserstands-Abfluss-Beziehung repräsentative Abflüsse für diesen Abschnitt liefern. An den Abschnitts-

grenzen kann sich der Abfluss infolge einer Wasserzuführung durch einen Nebenfluss sprunghaft ändern.

In einem Teilabschnitt ist die Fließgeschwindigkeit u_i als konstant definiert. Die mittlere Fließgeschwindigkeit wird als die Beziehung zwischen dem Abfluss Q_i und dem für diesen Teilabschnitt als maßgebend zu betrachtenden Querschnitt A_i bestimmt:

$$(1) \quad u_i = Q_i / A_i$$

Sind die Länge L_i eines Teilabschnittes und die Fließgeschwindigkeit gegeben, so lässt sich für jeden Abfluss eine Fließzeit $T_i = L_i / u_i$ berechnen. Da pro Abschnitt bzw. Teilabschnitt der Abfluss über die Wasserstands-Abfluss-Beziehung der jeweiligen Wasserstandsmessstelle ermittelt wird, verwendet das Alarmmodell Version 2.1 Wasserstands-Fließzeit-Tabellen, um die Transportzeiten zu berechnen. In der neueren Windows-Version kann die Fließgeschwindigkeit u_i und somit die Fließzeit aus Wasserstands-Querschnitts-Tabellen ermittelt werden. Mit diesem Verfahren können in gestauten Strecken, wie z.B. bei der Mosel, wo es keine eindeutigen Beziehungen zwischen Wasserstand und Abfluss gibt, die Fließzeiten eindeutig bestimmt werden.

Das Stofftransportmodell für den Rhein mit seinen Nebenflüssen basiert auf einer analytischen Taylor-Lösung, die im Laufe der Jahre überarbeitet bzw. präzisiert wurde. Die Konzentration φ_E eines löslichen Stoffes berechnet sich in Abhängigkeit der Weglänge L und der Zeit t nach folgender Gleichung [v. Mazijk, A., 1999]:

$$(2) \quad \varphi_E(L, t) = \frac{M/Q}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot t / c^2}} \cdot \exp \left[-\frac{(t - L/c)^2}{4 \cdot D_0 \cdot t / c} \right] \cdot \left[1 + \frac{G_t}{6} \cdot H_3(z) \right]$$

Hierin sind:	M	= Masse des ausgetretenen Stoffes	(kg)
	Q	= Durchflussmenge	(m ³ /s)
	t	= Zeit	(s)
	L	= Distanz zwischen Einleitungsstelle und Beobachtungs- oder Berechnungspunkt	(m)
	D_0	= longitudinaler Dispersionskoeffizient	(m ² /s)
	c	= mittlere Stofftransportgeschwindigkeit	(m/s)
	G_t	= Schiefekoeffizient	(-)
	$H_3(z)$	= $z^3 - 3z$, wobei für den Parameter z gilt:	

$$z = \frac{t - L/c}{\sqrt{2 \cdot D_0 \cdot t / c^2}}$$

Die Parameter c und D_0 berechnen sich wie folgt:

$$(3) \quad c = \frac{u_s}{1 + \beta}$$

$$(4) \quad D_0 = \alpha \cdot \frac{u_s^2 \cdot B_s^2}{a \cdot u_*}$$

mit	u_s	= mittlere Fließgeschwindigkeit im stromführenden Teil des Flussquerschnittes	(m/s)
	B_s	= Breite des Stromstiches	(m)
	a	= mittlere Wassertiefe	(m)
	u_*	= Schubspannungsgeschwindigkeit	(m/s)

Der Schiefekoeffizient passt den nach dem Taylor-Modell errechneten Konzentrationsverlauf den tatsächlich beobachteten Konzentrationsverlauf an. Die beobachteten Konzentrationsverläufe zeigen meist einen schiefen Verlauf mit einer steilen Front und einem verhältnismäßig langen Auslauf (**Abbildung 7.6.3.3.2**).

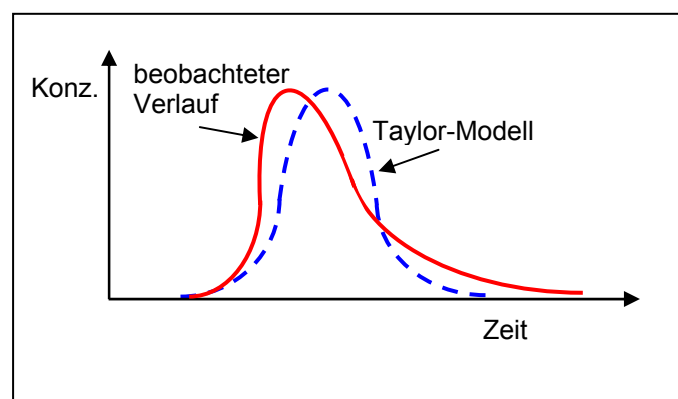


Abbildung 7.6.3.3.2: Unterschied zwischen beobachteten Konzentrationsverlauf und einem Verlauf nach dem Taylor-Modell

Diese Schiefe wird besonders dem Stoffaustausch zwischen der stromführenden und der mehr oder weniger stillstehenden Zone des Flussquerschnittes zugeschrieben.

Das Taylor-Modell geht dagegen von einem symmetrischen Verlauf aus. Mit Ausnahme von α und β sind alle Parameter für die einzelnen Flussabschnitte bekannt. Beide Parameter wurden aus Tracer-Versuchen für die einzelnen Flussabschnitte experimentell ermittelt.



Abbildung 7.6.3.3: Einleitung eines Tracers



Abbildung 7.6.3.4: Ausbreitung des Tracers

Auf Basis der Gleichung 2, der bekannten Daten der einzelnen Flussabschnitte sowie den Tracermessungen können die Stofflaufzeiten mit einer Genauigkeit von ca. 98 %, Konzentrationsberechnungen mit einer Genauigkeit von ca. 95 % vorhergesagt werden. Gute Vorhersagen bei starker Wasserverunreinigung sind, wie oben schon dargestellt, von großer Bedeutung für die Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat.

Das Rhein-Alarmmodell wurde für gelöste Stoffe bei Normalwasserstand entwickelt. Die Stofflaufzeiten und Konzentrationsverläufe basieren auf einer eindimensionalen Betrachtung in Flussrichtung. Dispersionseffekte quer zur Fließrichtung werden nicht

berücksichtigt. Im Hochwasserfall werden große Vorlandflächen überflutet, die einen großen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse haben. Die Komplexität dieser hydrologischen Verhältnisse können, wie unter Kapitel 5.2 beschrieben wurde, bislang nur lokal mit Hilfe zweidimensionaler Modelle näherungsweise erfasst werden.

Die Entwicklung eines Modells zur Berechnung von Stofflaufzeiten und Konzentrationsverläufen in Verbindung mit einem zweidimensionalen Modell zur Simulation der Strömungsverhältnisse im Hochwasserfall liegt nicht vor und ist bislang auch nicht vorgesehen. Darüber hinaus setzt das Rhein-Alarmmodell stationäre Verhältnisse voraus ($dQ/dt = 0$), was gerade bei einem Hochwasserereignis nicht angenommen werden kann.

Für die Elbe wurde zwischenzeitlich das Alarmmodell Elbe (ALAMO) entwickelt, das sich bezüglich der mathematischen Modellierung von dem Rhein-Alarmmodell unterscheidet [BfG, 2004]. Grundlage dieser Simulation ist ein erweitertes Taylormodell, das ebenso auf dem sogenannten Stillwasserzonenmodell basiert. Das eindimensionale Gleichungssystem gewährleistet eine ausreichend genaue Beschreibung der Transportvorgänge in der staugeregelten Oberelbe und in der frei fließenden, weitgehend durch Buhnen verbauten Mittel- und Unterelbe. Das eindimensionale Stillwasserzonenmodell wird durch die folgenden Differentialgleichungen beschrieben:

$$(1) \quad \frac{dc}{dt} = -v \frac{dc}{dx} + D_L \frac{d^2 c}{dx^2} - \varepsilon D_s (c - s) - k_1 c$$

$$(2) \quad \frac{ds}{dt} = D_s (c - s) - k_1 s$$

mit	c	=	Konzentration im Hauptstrom	($\mu\text{g/l}$)
	v	=	mittlere Fließgeschwindigkeit	(m/s)
	D_L	=	Längsdispersionskoeffizient	(m^2/s)
	D_s	=	Stillwasserzonenkoeffizient	($1/\text{s}$)
	s	=	Konzentration in der Stillwasserzone	($\mu\text{g/l}$)
	ε	=	Stillwasserzonenanteil	(-)
	k_1	=	stoffspezifische, lineare Abbaukonstante	($1/\text{s}$)

Als Stillwasserzonen im Sinne des Modellansatzes gelten alle nicht abflusswirksamen Querschnittsbereiche. Im Fall der Elbe sind dies z.B. die Buhnenfelder bei nicht

überströmten Buhnen. Die Terme des Stillwasserzonenmodells beschreiben die folgenden Teilaspekte:

$-v \frac{dc}{dx}$ die Translation des Stoffes mit der mittleren Fließgeschwindigkeit v

$+D_L \frac{d^2c}{dx^2}$ den dispersiven Stofftransport in Flusslängsrichtung. Er wird im Wesentlichen hervorgerufen durch die ungleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung im Fließquerschnitt bzw. durch die Turbulenz der Wandreibung.

$-\varepsilon D_s(c-s)$ den Konzentrationsaustausch zwischen dem abflusswirksamen Hauptstrom und den nicht abflusswirksamen Stillwasserzonen. Solange die Konzentration im Hauptstrom größer ist als die Konzentration der Stillwasserzonen, wird der Stoff in die Stillwasserzonen eingetragen; sinkt die Konzentration im Hauptstrom unter die Konzentration der Stillwasserzonen, wird der Stoff wieder in den Hauptstrom zurücktransportiert.

$-k_1 c$ den linearen Abbau des Stoffes. Sowohl die absolute Größe von k_1 als auch die Annahme eines linearen Abbaus ist stoffspezifisch. Für die Beschreibung des Transports eines Stoffes ist der Abbau nicht von Bedeutung.

Eingabedaten des Alarmmodells sind die hydrologischen und hydraulischen Größen der Elbe bei verschiedenen Durchflussereignissen. Daher wurde zunächst ein hydraulisch-numerisches Modell für den Bereich von Némčice/CZ bis zur Wehranlage Geesthacht/D entwickelt. Dies entspricht einer Fließlänge von rd. 835 km. Aus der Anforderung an geringe Rechenzeiten sowie an eine einfache Handhabung des Modells wurde der Rauheitsansatz nach Manning-Strickler als Berechnungsgrundlage gewählt. Die Spiegellinienberechnung erfolgte für den eingeschränkten Fall der eindimensionalen, stationär-ungleichförmigen und verzweigungsfreien Gerinneströmung. Die abschnittsweise Berechnung erlaubt auch für den instationären Fall eine hinreichend genaue Bestimmung der Fließzeiten. Mit den Ergebnissen des hydraulischen Modells kann erstmals eine durchgängige Berechnung der Fließgeschwindigkeiten und Fließzeiten für einen Abflussbereich zwischen MNQ und MHQ für die 835 km lange Fließstrecke der Elbe erfolgen. Die auf Grundlage der berechneten Geschwindigkeiten ermittelten Fließzeiten betragen für den Fließweg zwischen

Němčice/CZ und Geesthacht/D für MNQ, MQ und MHQ rd. 790 h, 331 h bzw. 146 h [Ettner et.al., 2002].

Das vorgestellte Elbe-Alarmmodell ist im Vergleich zum Rhein-Alarmmodell schon weiter entwickelt und schließt sogar den instationären Fall ein. Es ist jedoch nur für den Bereich von einem mittleren Niedrigwasserdurchfluss bis zu einem mittleren Hochwasserdurchfluss gültig und umfasst somit nicht den im Rahmen dieses Forschungsvorhabens betrachteten Fall eines Extremhochwasserereignisses.

Für die Nebenflüsse der Elbe, wie z.B. die Mulde wurde bislang kein Alarmmodell entwickelt. Dies gilt auch für die Osterzgebirgsflüsse.

Insgesamt ist somit festzustellen, dass eine Ausbreitungsrechnung für freigesetzte Schadstoffe im Extremhochwasserfall bislang nicht möglich ist. Es gibt derzeit kein ausreichend genaues Rechenmodell, dass analog der Ausbreitung über den Luftpfad anwendbar wäre. Darüber hinaus ist zwischen den lokalen Verhältnissen an der Einleitungsstelle und den Verhältnissen nach vollständiger Durchmischung quer zur Strömungsrichtung zu unterscheiden. Die **Abbildung 7.6.3.3.5** verdeutlicht die Fahnenbildung einer Einleitung in Strömungsrichtung.



Abbildung 7.6.3.3.5:
Industrielle Abwassereinleitung nahe Flussmitte
(Luftbild ca. 1960)

Der Fließweg L bis zum Ort, wo die Stofffahne den Flussquerschnitt vertikal voll durchmischt hat, ist proportional zur Wassertiefe a und beträgt bei starker Rauheit [Fischer, H.B. et al., 1979, Rutherford, J.C., 1994]:

$$L_{mv} = 50 a$$

Der Fließweg L_{mh} bis zum Ort, wo die Stofffahne den Flussquerschnitt in horizontaler Richtung voll durchmischt hat, ist abhängig von der Breite B_s und beträgt für Flüsse

mit moderater Variabilität, also ohne starke Krümmungen und ohne seitliche Totwasserzonen:

$$L_{mh} = 7 (B_s/h)B_s$$

Die Vermischung ist also nur von der Breite und der Tiefe eines Gewässers abhängig und nicht von der Fließgeschwindigkeit und der Flussmorphologie [Bleninger, T. et al., 2004]. Selbst wenn die Annahme einer nur geringen Variabilität in der Realität nur lokal gegeben ist, vermittelt die Gleichung dennoch einen Eindruck über die Länge der Mischzone. Eine Einleitung in den Rhein in der Höhe von Karlsruhe erreicht erst nach 145 km eine Durchmischung über die gesamte Flussbreite. Dies bedeutet, dass es im Bereich der Mischzone zu deutlich unterschiedlichen Konzentrationen eines Stoffes quer zur Strömungsrichtung kommen kann. Entsprechend unterschiedlich ist auch ein mögliches Gefährdungspotenzial, z.B. für die Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat.

Ein weiteres Modell zum Stofftransport und Ausbreitung in Fließgewässern wurde vom UBA im Forschungsbericht 297 48 428 „Ermittlung und Berechnung von Störfallablaufszenarien nach Maßgabe der 3. Störfallverwaltungsvorschrift“ [Kaiser, Rogazewski u. Schindler, 2000] veröffentlicht. Hierbei wird angenommen, dass sich ein bestimmter Massenstrom m_{Ein} über eine Zeitdauer t_e in ein Fließgewässer ergießt. Die Abschätzung der Konzentration in einer Entfernung x flussabwärts erfolgt dabei durch einen Berechnungsansatz, der die Kenntnis folgender Parameter voraussetzt:

Massenstrom an Gefahrstoff:	m_{Ein} (kg/s)
Zeitdauer der Freisetzung:	t_e (s)
Wasserführung am Einleitungsort:	V_{Was} (m ³ /s)
Hydrolytische Halbwertszeit:	t_H (h)
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	u_F (m/s)
Entfernung flussabwärts:	x_{Was} (km)
Vervielfachung der Wasserführung bis	$x_{\text{Was}}^:$ (η)

Es wird unterstellt, dass vom Ort der Einleitung an flussabwärts die Gefahrstoffkonzentration abnehmen wird, weil immer mehr Wasser eingemischt wird. Die Konzentration an der Einleitstelle bei vollständiger Vermischung wird dabei wie folgt abgeschätzt:

$$C_{Was0} = 1000 \cdot \frac{\dot{m}_{Ein}}{\dot{V}_{Was}} \quad (\text{mg/l})$$

Im weiteren Verlauf des Fließgewässers wird sich die Konzentration allmählich verringern. Mit dem zurückgelegten Weg x_{Was} bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit u_F ergibt sich die Zeit t_x wie folgt:

$$t_x = \frac{x_{Was}}{3,6 \cdot u_F} \quad (\text{h})$$

Für die Abnahme der Konzentration wird folgende e-Funktion angesetzt:

$$C(t) = C_{Was0} \cdot e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{t_H}} \quad (\text{h})$$

Bei Berücksichtigung einer Änderung um den Faktor n am gewählten Aufpunkt ermittelt sich eine Konzentration am Ort x_{Was} von:

$$C_{xWas} = 1000 \cdot \frac{\dot{m}_{Ein}}{\eta \cdot \dot{V}_{Was}} \cdot e^{-\ln 2 \cdot \frac{t_x}{t_H}} \quad (\text{mg/m}^3)$$

In der Folge wird nach diesem Modell ein sich verschleifender Zeitverlauf als Normalverteilung t_{xWas} betrachtet

$$C(t) \cong C_{xWas} \cdot e^{-\frac{(t-t_{xWas})^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

und nach folgender Formel ermittelt:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma^2}} dx = \sqrt{2\pi} \cdot \sigma = 1$$

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$$

Der verschliffene Impuls wird näherungsweise gleich $5 \cdot \sigma$ angesetzt und die Dauer erhöhter Konzentration abgeschätzt zu:

$$t_C \cong \frac{5}{\sqrt{2\pi}} \cdot t_e \cong 2 \cdot t_e$$

Die hier vorgestellte Ansatz berücksichtigt nicht die spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Gewässers. Dies gilt z.B. für den Einfluss von Buhnen und Vorlandflächen sowie Staustufen, Seitenkanälen und sonstige spezifischen Gewässereigenschaften. Die zuvor vorgestellten Berechnungen für den Rhein und die Elbe berücksichtigen diese Flusscharakteristiken, wie zuvor dargestellt wurde, auf der Grundlage von Tracermessungen.

Alle vorliegenden Modelle können somit den hier betrachteten Fall der Stofffreisetzung auf dem Wasserpfad bei einem Hochwasserereignis nur sehr ungenau beschreiben. Für einen Betreiber ergibt sich daher zur Zeit keine Möglichkeit einer genauen Ermittlung von Schadstoffausbreitungen in Gewässern. Eine effektive Ermittlung einer Ausbreitung auf und in fließenden Oberflächengewässern bei direktem Stoffeintrag (z.B. nach Anhang 6 Abs. 1.3 der BMU-Vollzugshilfe zur Umsetzung der StöfIV) kann daher nicht erfolgen. Hier ist nach Auffassung der Berichtersteller ein Forschungsbedarf erkennbar.

In stehende Oberflächengewässer eingebrachte Gefahrstoffe können dagegen zum Teil chemisch gebunden (Öl) oder biologisch abgebaut bzw. direkt durch z.B. Absetzung deponiert werden. Gut wasserlösliche Gefahrstoffe würden nach Verdünnung zu entsprechenden Konzentrationen im Wasser führen. Hierbei würde allerdings eine relativ langsame Stoffausbreitung bezogen auf die jeweilige Wassermenge erfolgen. Bei nicht wasserlöslichen Gefahrstoffen wird im ersten Zeitablauf nur die Wasseroberfläche kontaminiert. Entsprechend der vorhersehenden Windgeschwindigkeiten würden sie sich dann mehr oder weniger schnell auf der Wasseroberfläche ausbreiten. Hierbei können entsprechende Gegenmaßnahmen, wie Schlauchsperrn etc. und Absaugungen wirksam sein.

7.6.3.4 Ausbreitungsbetrachtung für feste Stoffe im Wasser

Beim Austreten von festen Stoffen, i.d.R. in Form kleinerer Partikel, wird es zu einer Sedimentation entsprechend der einzelnen Partikelgrößen kommen. Verfahrenstechnische Grundlagen hierüber können der Literatur, wie z.B. dem Ullmann, entnommen werden. Für fließende Gewässer liegen jedoch keine Berechnungsmethoden vor.

7.7 Bewertung der Wirkung von Freisetzungen

Grundsätzlich muss zwischen humantoxikologischen und ökotoxikologischen Risiken unterschieden werden. Bei der humantoxikologischen Bewertung ist darüber hinaus zwischen akuter toxischer und chronisch toxischer Wirkung bei Langzeitexposition zu unterscheiden. Bei der ökotoxikologischen Risikoabschätzung sind die verschiedenen Organismen zu berücksichtigen, die einer bestimmten Schadstoffkonzentration ausgesetzt werden.

7.7.1 Methodik zur Risikobewertung bei Schadstofffreisetzungen in die Atmosphäre

Es sind nach letzten und neuesten sich ständig erweiternden Erkenntnissen eine große Anzahl von Bewertungskriterien heran zu ziehen, wie z.B. die sogenannten AEGL- und ERPG-Werte. National und international hat sich eine verwirrende Vielfalt von ähnlichen Werten ergeben, die scheinbar in Konkurrenz zu den AEGL-Werten stehen. Tatsächlich handelt es sich jedoch meist entweder um

- Vorläuferwerte, die heute durch die aktuelleren und differenzierter abgeleiteten AEGL-Werte abgelöst sind; oder um
- parallele Werte, auf die so lange zurückgegriffen werden kann, bis AEGL-Werte etabliert sind (z.B. hat sich bei neueren ERPG-Werten eine gewisse Arbeitsteilung ergeben, dass nur solche neuen ERPG-Werte entwickelt werden, für die keine AEGL-Werte in Planung sind. Ähnlich versteht sich das TEEL-Konzept ausdrücklich als Ansatz zur schnellen und nur vorläufigen Festlegung von Werten, die an anderer Stelle genauer abzuleiten und zu begründen sind).

Einige ähnliche Werte sind zur besseren Orientierung zu charakterisieren:

- IDLH (Immediately Dangerous to Life und Health)
- ERPG (Emergency Response Planning Guidelines)
- TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits)
- ARE (Acute Reference Exposure)
- Störfallbeurteilungswerte
- Einsatztoleranzwerte

Es ist grundsätzlich davon abzuraten, für eine Störfallbeurteilung etwa Arbeitsplatzgrenzwerte oder Bruchteile hiervon bzw. Bruchteile von Letalkonzentrationen aus Tierversuchen ohne differenziertere Diskussion zu wählen. Eine Ausführlichkeit und Transparenz der Begründung ist bei der Einordnung der jeweiligen Werte einzubeziehen. AEGL-Wert-Dokumente enthalten i.d.R. kurze Vergleiche zu bereits vorliegenden ähnlichen Werten.

➤ AEGL-Werte (Acute Exposure Guideline Levels)

Die AEGL-Werte sind sogenannte Störfall-Konzentrationsleitwerte, die in den USA ab 1993 mit ständiger Erweiterung festgelegt und von der Kommission für Anlagensicherheit (vorm. Störfall-Kommission) in Deutschland zur Anwendung empfohlen wurden. AEGL-Werte sind toxikologisch begründete Spitzenkonzentrationswerte

- für verschiedene relevante Expositionszeiträume (10 Min. bis 8 Std.)
- für 3 verschiedene Effekt-Schweregrade
- AEGL-1: Schwelle zum spürbaren Unwohlsein
- AEGL-2: Schwelle zu schwerwiegenden, lang andauernden oder fluchtbehindernden Wirkungen
- AEGL-3: Schwelle zur tödlichen Wirkung

Die AEGL-Werte repräsentieren Expositionshöchstgrenzen für die allgemeine Bevölkerung und sind für verschiedene Expositionszeiten (5 oder 10 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 4 Stunden und 8 Stunden) festgelegt.

➤ Weitere Werte zur Toxikologischen Beurteilung

Neben den v.g. Beurteilungswerten gibt es noch eine große Anzahl von toxikologischen Beurteilungswerten, welche der einschlägigen Literatur zu entnehmen sind. Hier wird insbesondere auf die Veröffentlichung im Handbuch für den Störfallbeauftragten verwiesen [Warm, 2002]

7.7.2 Methodik zur Risikobewertung von Schadstofffreisetzungen in Gewässer

Kernstück der meisten ökotoxikologischen Bewertungen ist die Bestimmung der erwarteten Schadstoffkonzentrationen im Gewässer (Predicted Environmental

Concentration: PEC) und der Konzentration, bei der keine Wirkungen in der Umwelt (Predicted No Effect Concentration: PNEC) auftreten soll [Leeuwen und Hermens, 1996, Knacker u. Mückter, 2005]. Die Ermittlung der PEC erfolgt ausschließlich über Expositionsmodelle, wobei die Feststellung der Substanzmenge, die in die Umwelt freigesetzt werden kann, und die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Substanzen die wichtigsten Eingangsgrößen in das jeweilige Modell sind. Die Ermittlung der PNEC erfolgt in der Regel über Messungen der Wirkung der Substanz auf die Mortalität, das Wachstum oder die Reproduktion einzelner Spezies im Labor-experiment. Mit Hilfe sogenannter „Sicherheitsfaktoren“ werden die gemessenen Wirksubstanzen auf die Konzentration extrapoliert, bei der keine Wirkungen im Öko-system auftreten sollen. Die quantitative Risikobewertung erfolgt durch die Bildung des Quotienten PEC/PNEC. Werte von < 1 weisen darauf hin, dass durch die vorge-sehene Anwendung der Substanz „keine Bedenken“ für die Umwelt entstehen. Damit ist die Risikobewertung (Environmental Risk Assessment, ERA) abgeschlossen. Werte von ≥ 1 zeigen ein Risiko für die Umwelt an, das durch die Anwendung realitätsnäherer Untersuchungsmethoden und erneutem PEC/PNEC-Vergleich über-prüft werden kann (verfeinerte Umweltrisikobewertung). Vorausgesetzt, dass für die Organismen der Kompartimente Wasser, Sediment, Boden und Luft eine Exposition zu erwarten ist, erfolgt für jedes dieser Kompartimente unabhängig voneinander eine Risikobewertung.