

Risikobewertung
des Transports von Chlor mit Binnentankschiffen auf dem Rhein
unter besonderer Beachtung des Gefahrgutrechts

Beim Fachbereich Sicherheitstechnik der
Bergischen Universität Wuppertal
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor- Ingenieurs
genehmigte Dissertation

von

Diplom-Ingenieur Michael Pöttsch

Risikobewertung
des Transports von Chlor mit Binnentankschiffen auf dem Rhein
unter besonderer Beachtung des Gefahrgutrechts

Beim Fachbereich Sicherheitstechnik der
Bergischen Universität Wuppertal
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor- Ingenieurs
genehmigte Dissertation

von

Diplom-Ingenieur Michael Pöttsch

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. S. Hartwig
2. Gutachter: Prof. Dr. D. Filges

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Juni 2004

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit bei der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin, in der ich auf dem Gebiet des Transports gefährlicher Güter von 1991 an tätig bin.

Für die mir erwiesene Unterstützung bei der Bearbeitung des Themas möchte ich mich sehr herzlich bedanken bei:

- meinem Doktorvater Herrn Universitätsprofessor Dr. rer. nat. S. Hartwig von der Bergischen Universität Wuppertal, der die Arbeit wissenschaftlich betreute und mich behutsam um manche gedankliche Klippe lenkte
- Herrn Prof. Dr. Schulz-Forberg, BAM, der mich in der Motivation, das Thema aufzugreifen, stärkte
- Herrn Prof. Dr. Ludwig, BAM, der mir Gesprächspartner war und den Rat gab, komplexe Zusammenhänge mit einem höheren Abstraktionsgrad zu beschreiben
- Herrn Prof. Dr. Kunde, Bundesinstitut für Risikoforschung, der mich bei der Behandlung des Abschnitts Stofftoxikologie beriet
- den Herren Prof. Dr. Karl, BAM, Dr. Lohmeyer, Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, Dr. Bosch, BASF-Hafenbetrieb, Dr. Friemann, Bayer AG, Chlorproduktion, die wertvolle Gesprächspartner für den Komplex Ausbreitung von Chlor in Wasser waren
- Herrn Dr. Schalau, BAM, mit dem in gemeinsamer Arbeit der Baustein Ausbreitungsrechnung entstand
- den Herren Dipl.-Ing. Braun, BG Binnenschifffahrt und Dipl.-Ing. Dösdahl, Germanischer Lloyd, die Gesprächspartner für die schiffsbautechnischen Fragen waren
- Herrn Dipl.-Ing. Beck, Bundesverkehrsministerium, für die Bereitstellung seiner Unfalldatensammlung und Herrn Dipl.-Volksw. Spitzer, Bundesverband Binnenschifffahrt, für die Übergabe allgemeiner Binnenschifffahrtsinformationen
- Herrn Weber von der ZKR Strasbourg für die Bereitstellung von Unfalldaten
- Herrn Ropertz, HANIEL-Reederei und Herrn Kapitän Falinski, SPETRANS, die mir den direkten Einblick in die Tankschifffahrt ermöglichten
- meinen Kollegen Dr. Konersmann, Dipl.-Ing. Würsig, Frau Dipl.-Chem. Weltschew, Dipl.-Ing. Ulrich, Dipl.-Ing. Mischke und Frau Dipl.-Ing. Scholz, die jederzeit für Gespräche zum Arbeitsthema bereit waren sowie meiner Kollegin Frau U. Becker und Kollegen Herrn R. Rehfeldt, die mir große Hilfe bei der schreibtechnischen Fertigstellung der Arbeit gaben.

Ich danke auch meiner Familie für den Verzicht auf entgangene, manchmal sicherlich freudvollere, gemeinsame Stunden.

Ihnen, meiner Frau Birgit und meinem Sohn Norman, widme ich diese Arbeit.

Berlin, im April 2003

Michael Pötzsch

*„Wenn wir wollen,
dass alles so bleibt wie es ist,
dann wird es notwendig sein,
alles, was ist, zu verändern“*

Thomasi di Lampedusa

in „Der Leopard“

(Verlag Piper und Co., München 1973, Aufl. 12)

Zusammenfassung

Der Transport von Gefahrgütern unterliegt in der Bundesrepublik Deutschland und innerhalb der Staaten der Europäischen Union auf allen Verkehrsträgern besonderen Gefahrguttransportvorschriften. Dazu zählen auch die Binnenwasserstraßen und insbesondere der verkehrsreichste Binnenwasserweg der Erde, der Rhein. Auf dem Rhein ist der Transport von UN 1017, Chlor, nur in kleinen Mengen, nicht aber in Tankschiffen erlaubt. Mit dem Ziel, diesen Stoff im Binnenschiff zu transportieren, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Ermittlung des Transportrisikos für Chlor im Tankschiff im Vergleich zum Transport von Chlor in Eisenbahnkesselwagen, der hinsichtlich der Risikobewertung bereits untersucht wurde.

Nach einer Darstellung der Bedeutung von Chlor für die chemische Industrie und einer detaillierten Beschreibung der Stoffeigenschaften von Chlor werden der internationale Zusammenhang, der Aufbau und insbesondere der sicherheitstechnische Anspruch der Gefahrguttransportvorschriften erläutert.

Zur Bewertung des möglichen Chlortransports mit dem Binnentankschiff wird dann der Risikobegriff für den Gefahrguttransportbereich abgeleitet und bezüglich seiner erkenntnistheoretischen Grenzen diskutiert.

Auf der Grundlage statistischer Bewertungen von Schiffsunfällen auf dem Rhein wird die Unfallwahrscheinlichkeit von Tankschiffen sowie die Wahrscheinlichkeit von dadurch bedingten Gefahrgutfreisetzung ermittelt. Für das zur Debatte stehende Chlor-Gastankschiff wird dabei eine moderne Doppelhülle vorausgesetzt.

Der zweite Parameter zur Beschreibung des Transportrisikos, die Auswirkung oder Konsequenz einer nicht auszuschließenden Chlorfreisetzung aus dem Druckgastank eines Tankschiffes, wird über Modellannahmen für das Phänomen des Ein- und Austritts von Flüssigchlor in das strömende Rheinwasser und eine Ausbreitungsrechnung der entstehenden Schwergaswolke ermittelt.

Im Risikovergleich zwischen einem Chlortransport mit dem Binnentankschiff und dem Eisenbahnkesselwagen konnte festgestellt werden, dass unfallbedingte Freisetzung von Chlor aus dem erheblich größeren Schiffstank keine größere Schadensauswirkung als eine Freisetzung aus einem Kesselwagen haben wird, bezüglich der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines solch ungewollten Ereignisses der Binnenschifftransport deutlich vorteilhafter ist. Das Risiko des Chlortransports mit Binnentankschiffen auf dem Rhein ist nicht größer als beim Chlortransport mit der Eisenbahn.

Résumé

Le transport des matières dangereuses succombe à une directive spéciale dans la République fédérale d'Allemagne comme dans tous les pays de l'union européenne. Tous les moyens de transport sont concernés, y compris les eaux intérieures et surtout le Rhin qui est le fleuve le plus fréquenté. Sur le Rhin, le transport du chlore est interdit quelque soit la quantité.

Le but étant de transporter le chlore par voie fluviale, ce travail s'intéresse aux risques de transport de cette substance par bateau comparé au transport par chemin de fer, étudié auparavant.

Après une représentation de l'importance du chlore pour l'industrie chimique et une description détaillée de ses propriétés, le rapport international, la structure et surtout les exigences de sécurité des directives du transport des matières dangereuses sont expliqués.

Pour évaluer le transport de chlore par bateau citerne, les risques du transport des matières dangereuses est défini et discuté dans le cadre des connaissances théoriques.

Sur la base des évaluations statistiques des accidents de bateaux sur le Rhin, la probabilité des accidents ainsi que la probabilité de libération des matières dangereuses qui en découle sont déterminées. Pour le transport de chlore par bateau citerne, une construction moderne avec une double paroi est proposée.

Le deuxième paramètre concernant la description des risques de transport ou des conséquences d'une libération inévitable de chlore est déduit d'après un modèle de pénétration et d'écoulement de chlore liquide dans l'eau du Rhin et en se basant sur le calcul de la propagation du nuage de gaz lourd ainsi produit.

En comparant les risques entre le transport de chlore par voie fluviale et ferroviaire, il a été constaté qu'une libération de chlore en cas d'accident de bateau n'est pas beaucoup plus importante en raison de la grandeur de réservoir plus grand que celui d'un wagon citerne. Compte tenu de la probabilité d'un tel accident, le transport fluvial est plus avantageux.

Le risque de transport de chlore par bateau sur le Rhin n'est donc pas plus grand que le risque de transport de chlore sur chemin de fer.

Abstract

The transport of dangerous goods needs to fulfil strict requirements in Germany and in the European Union. There are special rules for the inland waterways too - especially for the most important one, the river Rhine. The transport of the substance UN 1017, chlorine, in tank vessels is not permitted on this river.

For this kind of transport a risk study is essential.

This paper deals with a comparison of the hypothetical risk for the transport of chlorine in tank vessels on the Rhine with the existing risk analysis for the transport of chlorine in rail tank wagons.

First, the significance of chlorine for the chemical industry is described, followed by a presentation of the properties of chlorine.

Afterwards, the structure and content of the requirements for the safe transport of dangerous goods in general and especially for the inland waterways are explained.

The term "risk" in the sense of danger and safety is discussed.

On the basis of statistical data about accidents of inland water vessels on the river Rhine in the past, the probability of accidents with a discharge of the dangerous goods is calculated.

For the tank vessel transporting chlorine, a modern double hull is provided.

To assess the consequences a release of chlorine from the tank of the vessel, a model for the passage of chlorine into and out of the river water is created and used for the calculation of the distribution of the heavy gas cloud.

As a result of the risk comparison, the consequences of the release of chlorine from a tank vessel are considerably not bigger than those of the release from a rail tank wagon. Unlike the consequences, the probability of a severe accident with a release of chlorine in the case of an inland water tank vessel is lower than the probability of such an accident of a rail tank wagon.

The risk of the transport of chlorine in inland water tank vessels is not bigger than the transport of chlorine on railways.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Zielstellung	1
2.	Chlor als Massenprodukt in der Chemie und im Gefahrguttransport	4
3.	Die stofflichen Eigenschaften von Chlor	8
3.1	Eigenschaften (toxisch)	12
3.1.1	Akute Effekte	13
3.1.2	Chronische Effekte	18
4.	Gesetzliche Grundlagen des Gefahrguttransportes	19
4.1	Allgemeines	19
4.2	Liberalisierung des Verkehrsmarktes (weltweit)	19
4.3	Liberalisierung des Verkehrsmarktes (europäisch)	27
4.4	Die Gefahrgutregelung auf Binnengewässern in Deutschland	32
4.4.1	Die gefahrgutrechtlichen Vorschriften für die Tankschiffahrt	33
4.4.1.1	Beförderungsart und Anforderungen an Tankschiffe	33
4.4.1.2	Allgemeine Betriebsvorschriften	34
4.4.2	Bauvorschriften für Gas-Tankschiffe	37
4.4.3	Die ADNR-Stoffliste	39
5.	Der Chlortransport mit Binnentankschiffen in den USA	42
5.1	Gesetzliche Grundlagen und Anforderungen	42
5.2	Spezialanforderungen an Chlor-Bargen	44
5.3	US-Erfahrungen mit Chlor-Bargen	45

6.	Die Funktion der Binnenschifffahrt im Verkehrskonzept der deutschen Bundesregierung	47
7.	Die Binnenschifffahrt auf dem Rhein	48
7.1	Der Rhein als die Wasserstraße Deutschlands	48
7.2	Der Zustand der Fahrrinne und ihre Verfügbarkeit	49
7.3	Das Transportaufkommen auf dem Rhein	51
7.4	Die Binnenflotte	54
8.	Das Transportrisiko von Gefahrgut	56
8.1	Der sicherheitstechnische Risikobegriff	56
8.2	Risikobeurteilung beim Transport gefährlicher Güter	63
9.	Die Unfallwahrscheinlichkeit von Tankschiffen auf dem Rhein	67
9.1	Unfallanalyse	69
9.2	Berechnung der Ereigniswahrscheinlichkeit Unfall und Freisetzung	77
9.3	Ergänzende Ereignisbetrachtung	79
10.	Chlorfreisetzung aus dem Gastank	80
10.1	Allgemeine Bemerkungen	80
10.2	Freisetzungsarten	81
10.3	Unfallbedingtes Tankversagen	83
11.	Kollisionsbetrachtung von Binnen-Gastankschiffen	84
12.	Freisetzung infolge Sabotage	88
13.	Die Ladetanks für den Chlortransport	89
13.1	Ladetankanforderungen für Chlor, tiefkalt	91
13.2	Ausrüstungsanforderungen an Gas-Ladetanks	92

14.	Die Freisetzung von Chlor aus Transporttanks	93
14.1	Die Freisetzung aus Druckgastanks	93
14.2	Die Freisetzung aus dem tiefkalten Tank	94
15.	Ausbreitung von Schwergaswolken	94
16.	Ausbreitungsmodelle	97
17.	Auswirkungsberechnung	100
17.1	Bevölkerungsdaten	102
18.	Ausbreitungsberechnung Chlorfreisetzung	105
18.1	Ausbreitung von Chlor aus dem Eisenbahnkesselwagen (EKW)	106
18.1.1	Konvektiver Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeit	108
18.1.2	Wärmestrom aus dem Boden	109
18.1.3	Wärmestrahlung	110
18.1.4	Ausbreitungsberechnung Eisenbahnkesselwagen	110
18.2	Ausbreitung von Chlor aus dem Binnentankschiff	114
18.2.1	Modellierung der Ausbreitungsbedingungen	114
18.2.2	Ausbreitungsrechnung Binnentankschiff	116
18.2.2.1	Ungehinderte Ausbreitung der Chlorgaswolke	116
18.2.2.2	Diskussion der Ausbreitungsrechnung der Chlorgaswolke unter Berücksichtigung der Hochwasserschutzsysteme	122
18.2.3	Der Chloreintritt in das Wasser und seine Auswirkung	125
19.	Die Risikobewertung des Chlortransports mit Binnentankschiffen im Ergebnis eines Risikovergleichs mit dem Kesselwagentransport	128
19.1	Ergebnisdarstellung	128

19.2	Diskussion der Ergebnisse	130
20.	Empfehlung für weiterführende Arbeiten	131

Literaturverzeichnis

Anhänge:

Anhang 1: Darstellung ausgewählter Gefahrgutunfälle

Anhang 2: Gefahrgut-Vorschriftenverzeichnis allgemein und für den Binnenschiffsverkehr

Anhang 3: Eindrücke einer Tankschiffahrt

Anhang 4: Statistische Daten zur Binnenschiffahrt

Anhang 5: Unfalldatensammlung von Gefahrgutschiffen auf bundesdeutschen Schifffahrtsstrassen

1. Einleitung und Zielstellung

Das angestrebte wirtschaftliche Wachstum der europäischen Staaten ist mit einer als rasant prognostizierten Verkehrsentwicklung und Steigerung der Transportmenge verbunden. Von den Transportgütern fallen darüber hinaus immer mehr unter die Regularien des Gefahrguttransportes weil das Sicherheitsbedürfnis steigt und der Umweltschutz gestärkt wird. Dies findet seinen Niederschlag in eben diesen Regularien. Die Anzahl der als gefährlich eingestuften bzw. klassifizierten Stoffe ist im Verhältnis zur Gesamtzahl von Substanzen steigend. Dies ist allein anhand der Veränderung der Gefahrgutklassifikationsregeln der europäischen Gefahrguttransport-Richtlinien und ihrer Anhänge abzulesen, wobei anzumerken ist, dass eine Harmonisierung der Klassifizierungsregeln zwischen den Vereinten Nationen (UN) und Europa ab 2005 angestrebt wird:

- Es gibt, bis auf eine Ausnahme, keine sogenannten "nur" - Klassen mehr (nur die namentlich genannten Stoffe durften in der Vergangenheit transportiert werden), sondern nur noch „freie“ Klassen (beschreiben die Gefahrgüter nach ihren Haupteigenschaften).
- Es gibt demzufolge zunehmend n.a.g. – Positionen, sogenannte Sammelpositionen - n.a.g. = nicht anderweitig genannte Stoffe).
- Es werden viele Stoffe per Definition zu Gefahrgut, die vorher kein Gefahrgut waren (z.B. für die Klasse 9 - umweltgefährdende Stoffe - hier eine steigende Vielzahl von wasserverunreinigenden Stoffen).

Die Gründe für diese Entwicklung auf dem Gefahrguttransportsektor mögen vielschichtig sein; der permanente überproportionale Erkenntniszuwachs - das Wissen - der Menschen über Stoffeigenschaften und ihre Auswirkung auf Lebewesen und die Umwelt sowie die sich diesen Erkenntnissen stellende politische Vorsorge des Staates für den Erhalt gesellschaftlich bedeutender Werte gehören zwangsläufig dazu.

1993 teilte das statistische Bundesamt in Wiesbaden mit, dass der Anteil des Gefahrguttransportes etwa 15 % des allgemeinen Transportaufkommens betrage /1/. Dieser Anteil ist bis heute annähernd konstant. Etwa 75 % der Gefahrguttransportmenge werden in der Bundesrepublik Deutschland auf der Straße transportiert, die restlichen 25 % teilen sich die Eisenbahn und die Binnenschifffahrt (modal split).

Grundsätzlich weist der Gefahrguttransport gegenüber dem Nicht-Gefahrguttransport zusätzliche Risiken auf. Diese resultieren aus den gefährlichen Eigenschaften der transportierten Stoffe. Im Rahmen dieser Bewertung wird dabei nicht nur die Freisetzung durch den Verlust der Funktion der Gefahrgutumschließung (Verpackung, Tank, Gefäß) und das damit verbundene Austreten von Gefahrgut aufgrund unterschiedlichster Ursachen berücksichtigt; es müssen auch die den transportierten Gefahrgütern inhärenten Eigenschaften (z.B. die Gefahren von stabilisiert zu transportierenden Stoffen) eingeschlossen werden.

Die Gefahrguttransportvorschriften stellen u.a. detaillierte Anforderungen an die Umschließungen für die gefährlichen Güter. Neben Bau- und Ausrüstungsanforderungen werden hohe Maßstäbe an die Prozeduren des "In Verkehr Bringens" ("Zulassung") gestellt. Weiterhin werden Anforderungen an den Betrieb und insbesondere das Beförderungs- oder Transportmittel - das Schiff, den Eisenbahnwagen oder das Kraftfahrzeug gestellt.

Die mit dem Gefahrguttransport beschäftigten Personen müssen eine aufgabenspezifische Sonderausbildung erfolgreich durchlaufen haben.

Gefahrgutunfälle sind jedoch trotz dieser Aufwendungen nicht gänzlich zu vermeiden. Immer wieder kommt es bei einzelnen Unfällen, in die Gefahrgutfahrzeuge (Fahrzeug hier als Synonym für Kraftfahrzeug, Eisenbahnwagen, See- oder Binnenschiff, Flugzeug) verwickelt sind, zu Gefahrgutfreisetzungen. Schließlich sind die Umschließungen, Ladetanks auf Binnenschiffen, Tanks von Eisenbahnkesselwagen oder Großpackmittel auf der LKW-Ladefläche entsprechend den Verordnungsanforderungen nur so auszulegen, dass sie sicher, den normalen betrieblichen Belastungen standhalten und demzufolge nur bestimmten höheren Beanspruchungen noch ohne Freisetzung widerstehen.

Unabhängig von diesen grundlegenden Forderungen an die eigentliche Gefahrgutumschließung lassen die Gefahrguttransportvorschriften eine gewisse Toleranzbreite im Rahmen der Konstruktion, der Auslegung einzelner Typen von Gefahrgutumschließungen zu, d.h., es werden überwiegend Mindestanforderungen gestellt, die einzuhalten sind. Aus dem tatsächlich ausgeführten Bau der Umschließungen können unterschiedliche Eigenschaften resultieren. In Bezug auf die Fähigkeit, unfallartigen Belastungen bis zu einer gewissen Schwere zu widerstehen, ist der Begriff des Sicherheitsniveaus der Umschließung ableitbar.

Wird dieses umschließungsbezogene Sicherheitsniveau mit anderen Bedingungsparametern (z.B. betriebliche Verkehrsbedingungen) des Gefahrguttransportes korreliert, so kann zum Begriff des Transportrisikos gelangt werden /2/.

Weitere technisch bedingte Parameter sind beispielsweise die dynamischen Fahreigenschaften der Gefahrguttransportmittel und der Zustand der Verkehrswege. Wesentlich beeinflusst auch das menschliche Verhalten in den verschiedensten Aktivitätsebenen das Transportrisiko von Gefahrgut. Während es als nationale Erkenntnis gilt, dass siebzig Prozent der Gefahrgutunfälle ursächlich dem (fehlerbehafteten) Menschen zuzuordnen sind, sprechen internationale Fachkreise beim „state of art“ von einem noch höheren Anteil (bis 95%, Varenholt /87/). Der "Human factor" rückt immer mehr in das Augenmerk der Sicherheitswissenschaftler, sind doch die Wirkungen des Menschen in einem sozio-technischen System von größter Bedeutung. Insbesondere aus dem Bereich der Chemie ist aber auch bekannt, dass Menschen nicht nur Fehler machen, mit ihren kognitiven Fähigkeiten tragen sie andererseits auch zur Beherrschung von Gefahrensituationen bei (Mensch als Sicherheitsfaktor). Im Falle der Gefahrgutfreisetzung sind Ausbreitungsbedingungen sowie stoffliche (Aus-) Wirkungen von Gefahrgut zu Gefahrgut zu unterscheiden. Letztlich stellen auch die Notfallmaßnahmen eine variable Größe in bezug auf die Konsequenz und damit auf das Risiko des Gefahrguttransportes dar.

Aufgrund der Erfahrung von Gefahrgutunfällen (ausgewählte Beispiele von Gefahrguttransportunfällen zeigt der Anhang 1) auf allen Verkehrsträgern, ist ein hohes Maß an öffentlicher Sensibilität gegenüber dem Gefahrguttransport generell entstanden.

Diese öffentliche Empfindsamkeit zwingt die Politik - die Verkehrspolitik - zur kurzfristigen Reaktion, auch wenn diese nicht immer international abgestimmt werden kann. Eine Tendenz in dieser Beziehung in Deutschland wurde sichtbar, als von staatlicher Seite aus den Verkehrsträgern unterschiedliche Sicherheit für den Gefahrguttransport zugesprochen wurde (siehe Gefahrgutverordnung Straße/ Eisenbahn § 7, Verlagerung des Transports auf die Bahn bzw. Wasserstraße für besonders gefährliche Güter /3/).

Dazu kommen historisch gewachsene Unterschiede in den Transportbedingungen bis hin zu generellen Transportverboten für bestimmte Stoffe auf den Verkehrsträ-

gern. So ist beispielsweise der Transport von Chlor in Tanks auf der Straße und der Schiene erlaubt, in Binnentankschiffen auf der Wasserstraße jedoch verboten.

Wie dem nachfolgenden Kapitel - Gesetzliche Grundlagen - zu entnehmen ist, liegen die Geburtstage der Gefahrgutverordnungen, insbesondere deren materielle Basisvorgaben, teilweise 35 und mehr Jahre zurück. Es erscheint legitim, bestimmte Regeln und Anforderungen im Lichte erheblicher Veränderungen der Transportbedingungen hinsichtlich ihrer Beibehaltung erneut zu bewerten.

Eine solche Untersuchung soll im Folgenden für den Transport von Chlor mit Binnentankschiffen erfolgen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, im Rahmen einer Analyse des Risikos eine Antwort auf folgende Frage zu geben:

Kann der Chlortransport mit Binnentankschiffen unter Beibehaltung der gegenwärtigen Gefahrguttransportanforderungen mindestens so sicher wie der Chlortransport mit Kesselwagen auf der Schiene gestaltet werden?

2. Chlor als Massenprodukt in der Chemie und im Gefahrguttransport

Dieses Kapitel soll die große Bedeutung von Chlor im Bereich der chemischen Industrie und seines notwendigen Transports verdeutlichen.

In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich etwa 3,5 Mio. Tonnen Chlor produziert. Die Produktionsmengen und -kapazitäten lassen erkennen, dass es sich bei Chlor um ein ausgesprochenes Massenprodukt handelt. Wegen seiner Verwendungsvielfalt wird die produzierte Chlormenge auch als Maß für den Entwicklungsstand nicht nur der Chemischen Industrie, sondern auch der Wirtschaft eines Landes angesehen. Die mit Hilfe von Chlor produzierten Produkte (sowohl chlorfreie als auch Chlor enthaltende) stellen derzeit innerhalb der Bundesrepublik einen immensen geldwerten Umsatz dar. Der entspricht nahezu 60 % des Umsatzes der Chemischen Industrie. Der Gleichlauf der Chlorproduktion und der Nettoproduktion der Chemischen Industrie ist in Bild 1 ersichtlich. Dargestellt ist auch der Verlauf des Bruttosozialproduktes der Bundesrepublik, dessen Tendenz ein Indiz für die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Chemischen Industrie und des Chlors im Speziellen ist

/aus 71/:

Die Bundesrepublik Deutschland ist mit ihrer Jahresproduktion weltweit der zweitgrößte Chlorproduzent.

Die Organisation Euro Chlor mit Sitz in Brüssel gibt an, dass in Europa jährlich insgesamt 20 Millionen Tonnen Chlor und Natronlauge als Koppelprodukte hergestellt werden, die in nahezu jedem Bereich der chemischen Industrie und auch in den meisten anderen Industriezweigen verwendet werden. Nach Euro Chlor ist Chlor eine Schlüsselchemikalie.

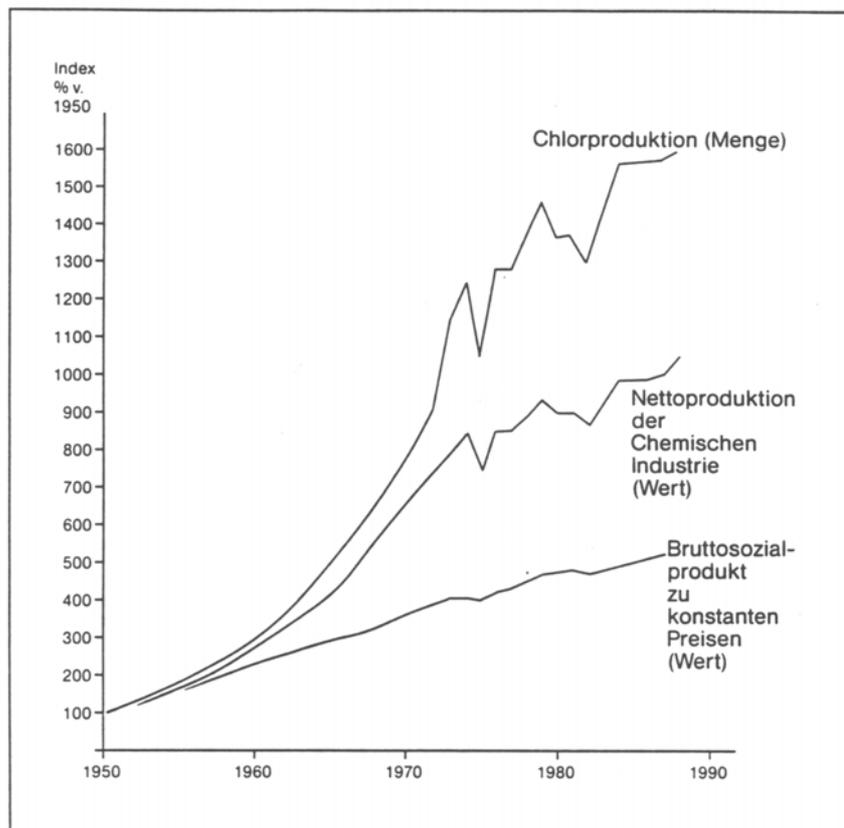


Bild 1: Entwicklung der Chlorproduktion, des Nettoproduktionswerts der chemischen Industrie und des Bruttosozialproduktes der Bundesrepublik Deutschland in Bezug auf das Jahr 1950 (aus /71/)

Chlor hat sich zu einem Leichtindikator der Chemischen Industrie entwickelt. Nach Angaben des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) werden rund 60 % aller Produkte unter Verwendung von Chlor hergestellt. Nader /72/ gibt die Anzahl der chlorchemisch erzeugten Zwischenprodukte und Zwischenchemikalien mit 300 an, die der „Veredlungsprodukte“ sogar mit 30000.

Zur Verdeutlichung der Situation des Einsatzes von Chlor ist der VCI-Publikation "Im Dialog" folgender Chlorstammbaum entnommen worden:

Der Chlor-Stammbaum

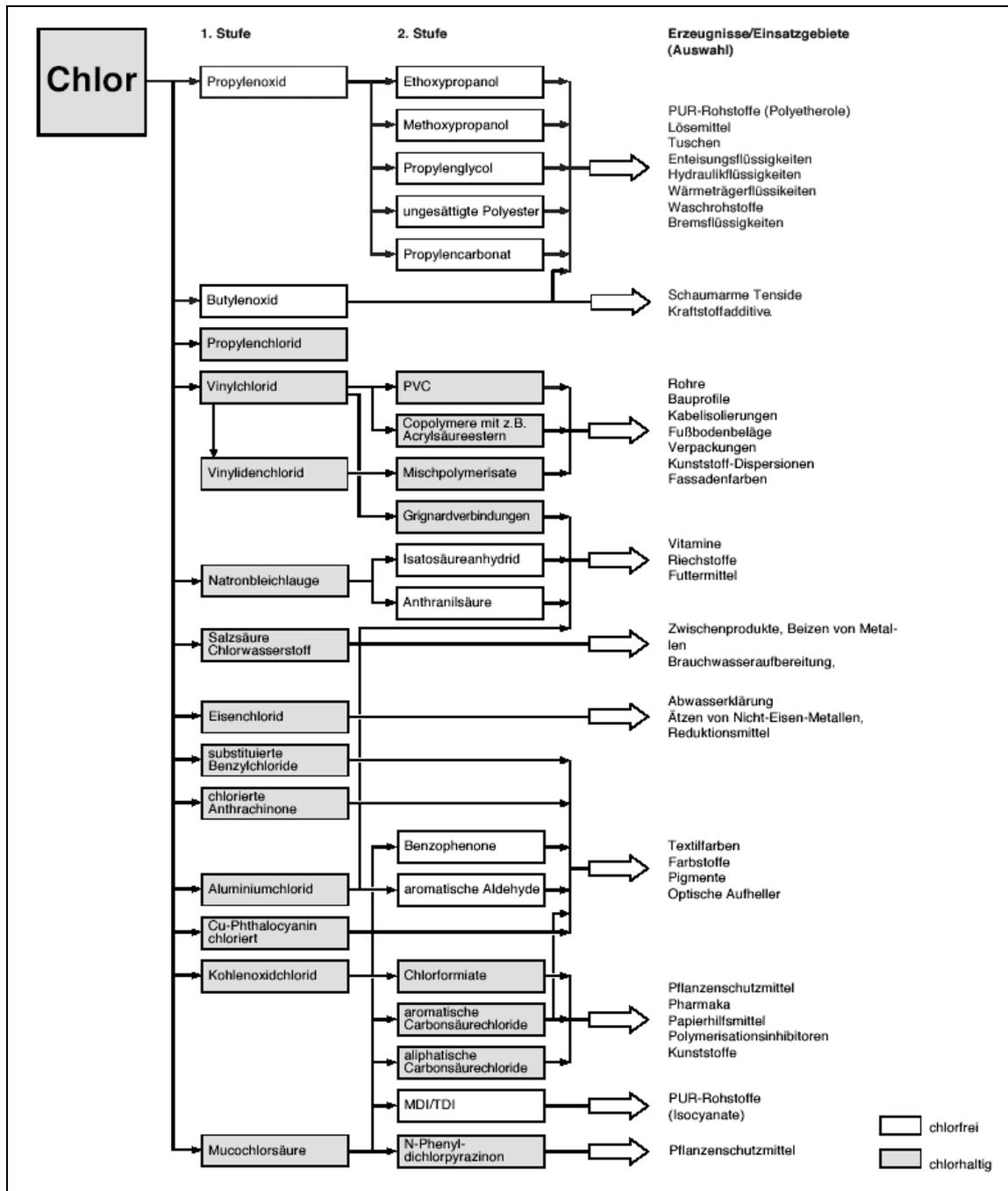


Bild 2: Chlor-Stammbaum, Quelle VCI-Publikation "Im Dialog" 9/97

Das Transportvolumen von Chlor ist eine Teilmenge des erzeugten Chlors. Der übergroße Anteil erzeugten Chlors wird in der Bundesrepublik auch gleich am Erzeugungsstandort verarbeitet. Nach /71/ konnte für das Jahr 1990 folgender Mengenfluss von Chlor abgeschätzt und dargestellt werden:

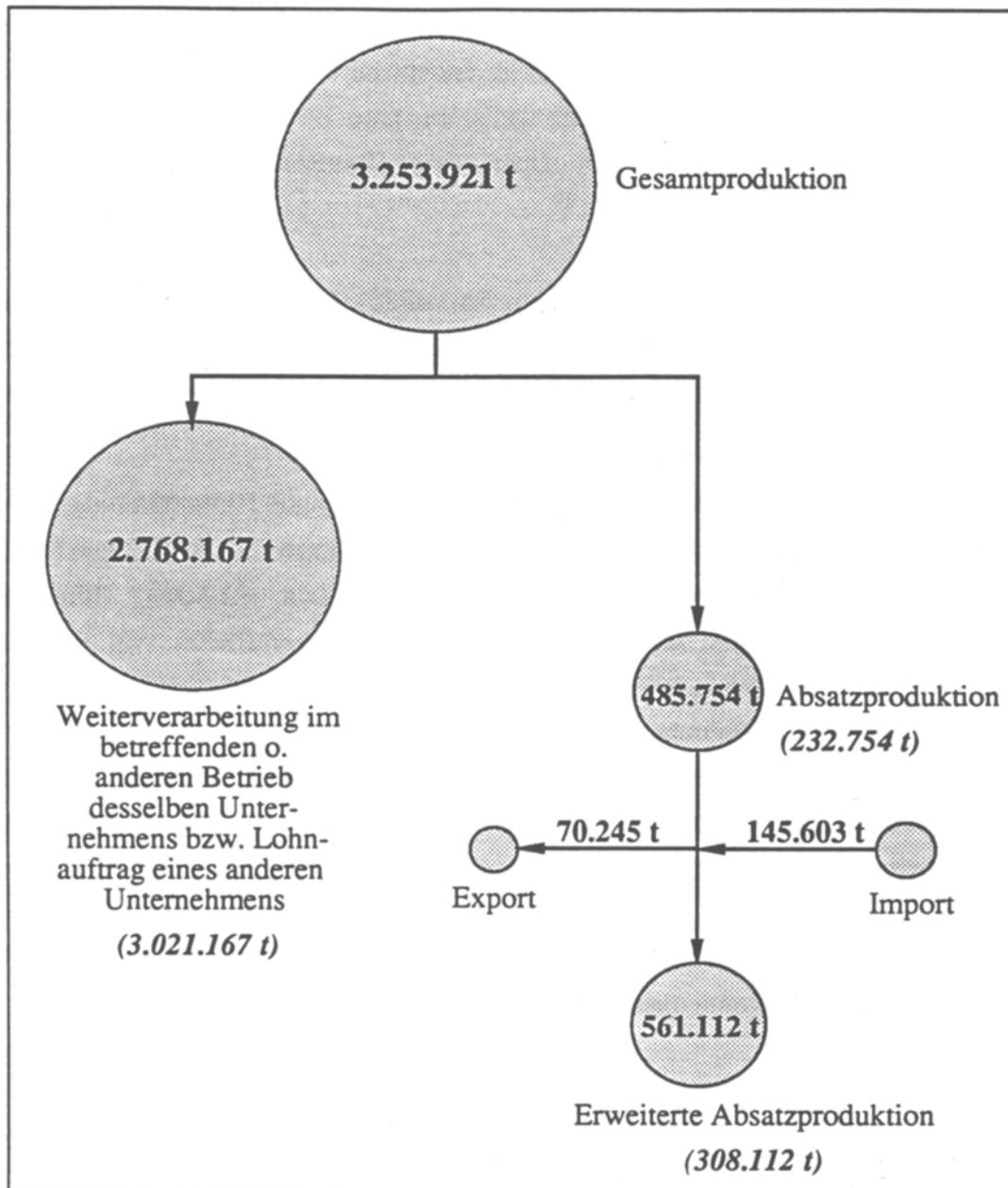


Bild 3: Mengenfluss von Chlor innerhalb der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 1990; in Klammern: Berücksichtigung der damaligen EC-Dormagen, heute BP-Oil-Chemie (aus /71/)

In der Bundesrepublik wird der größte Teil des Chlors durch eine geringe Anzahl von Herstellern produziert. Etwa 85 % des Chlorumfangs werden durch die Unternehmen BASF, DOW, Bayer, Hoechst- Nachfolger und Degussa-AG (mit der Verteilung der Kapazitäten auf Zweigwerke) hergestellt.

Die nationalen und grenzüberschreitenden Transporte von Chlor werden im ganz überwiegenden Teil von der Bahn realisiert (Kesselwagentransporte). Wird angenommen, dass nach Aufnahme von Chlor in die Stoffliste der Binnenschifffahrt, bedingt durch die unmittelbare Rheinnähe der Großchemie und in Abhängigkeit logistischer

Erfordernisse, ein Viertel der zu transportierenden Chlormenge auf das Binnenschiff verlagert werden könnte, so stände eine jährliche Chlormenge von 100000 Tonnen zum Transport auf der Wasserstrasse Rhein bereit. Diese Zahlen beschreiben die mögliche Bedeutung der Untersuchung, die mit dieser Arbeit geleistet werden soll. Im Sinne der nachfolgenden Untersuchung wird von einer anfänglichen Transportmenge von 50000 t Chlor pro Jahr auf dem Tankschiff ausgegangen.

Für eine mögliche Genehmigung des Chlortransports mittels Binnentankschiffen muss sich diesem Problem unter Risikogesichtspunkten vertiefend zugewendet werden. Diesen Anspruch möchte die vorliegende Arbeit zumindest in einem ersten Ansatz erfüllen. Dabei wird methodisch auf einen Risikovergleich zwischen gegenwärtig erlaubtem (Chlor) Transport mittels Eisenbahnkesselwagen und dem gedachten Chlortransport mit Binnentankschiffen abgehoben, weil für den Bahntransport eine Risikobewertung vorliegt.

Die über viele Jahre geleistete wissenschaftliche Arbeit des Fachbereiches Sicherheitstechnik der Bergischen Universität, Gesamthochschule Wuppertal, auf dem Gebiet der Risikobewertung des Chlorstoffzyklus /4/, insbesondere die Untersuchung des Eisenbahntransports von Chlor, soll mit den gewonnenen Ergebnissen den Vergleichsmaßstab, d.h. die Akzeptanzschwelle von risikobehafteten Zuständen beim Chlortransport in der Bundesrepublik Deutschland darstellen.

3. Die stofflichen Eigenschaften von Chlor

Chlor ist nach den internationalen Gefahrgutvorschriften als Gas der Klasse 2 klassifiziert. Seine gefährlichen Eigenschaften sind im Sinne der Risikobewertung des Transports von außerordentlicher Bedeutung. Deshalb wird Chlor im Folgenden detailliert in Bezug auf seine stofflichen Eigenschaften dargestellt:

Vorkommen

Chlor steht mit 0,19 % Anteil in der Erdhülle an 11. Stelle hinsichtlich der Elementhäufigkeit. Außer in Vulkangasen kommt Chlor aufgrund seiner großen Reaktionsfähigkeit im elementaren Zustand praktisch nicht vor. Gerade aber wegen dieser Eigenschaft ist Chlor, wie vorher erwähnt, eines der weitverbreitetsten Elemente in der chemischen Industrie.

Eigenschaften (chemisch, physikalisch)

Chlor liegt bei Normalbedingungen (0 °C und Luftdruck) als grünlichgelbes Gas vor, das eigenartig stechend riecht. Sein spezifisches Gewicht von 2,47 (Luft = 1) weist es als Schwergas aus. Bei Raumtemperatur liegt das Gas in Form zweiatomiger Moleküle vor (Cl_2). Bei -34,06 °C lässt sich Chlor zu einer gelblichen Flüssigkeit verflüssigen, bei -100,98 °C erstarrt es zu gelblichen Kristallen.

Verflüssigtes Chlor besitzt einen hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten; bei einer Erwärmung von -34,06 °C (Siedepunkt) auf + 50 °C (Annahme maximaler Transporttemperatur) vergrößert sich sein Volumen um fast 20 %.

Bei 9 – 10 °C löst sich Chlor am leichtesten in Wasser. Bei 20 °C können ca. 2,3 Liter Chlorgas in 1 Liter Wasser gelöst werden. 1 Liter verflüssigtes Chlor wiegt bei 0 °C ca. 1,47 kg und entspricht 463 l Chlorgas, 1 kg Flüssigchlor entspricht 310 l Chlorgas bei 0° C.

Chlor ist nach dem Element Fluor das reaktionsfähigste nichtmetallische Element und reagiert bei Raumtemperatur mit den meisten anderen Elementen unter Wärmeentwicklung. Die Reaktionsfreudigkeit steigt mit der Temperatur und ist auf die Elektronegativität der Chloratome zurückzuführen. Die Fähigkeit des freien Chloratoms, sein eigenes Elektron festzuhalten (hohe Ionisierungsenergie) und ein zusätzliches Elektron aufzunehmen (Elektronenaffinität) ist sehr groß, worauf die hohe Reaktionsfreudigkeit beruht. Besonders mit Alkalimetallen und Erdalkalimetallen erfolgt eine heftige Reaktion. Mit Natrium bildet sich unter heller, gelblicher Lichterscheinung Natriumchlorid, mit Eisen entsteht Eisenchlorid (etwa ab 140 °C setzt der sogenannte Chlor-Eisenbrand ein). Phosphor, Bor und Silizium entzünden sich in Chlorgas von selbst. Selbst Edelmetalle, Platin, Gold und Silber bilden nach Erwärmung mit Chlor die entsprechenden Chloride. Bisher ist nur Tantal als chlorbeständig ausgewiesen. Titan gilt als feuchte -Chlor beständig (nicht beständig bei Trockenchlor). In Verbindung mit Wasser hat Chlor eine stark korrodierende Wirkung auf alle Metalle. Einen guten Überblick über die Beständigkeit verschiedener Werkstoffe zeigt die

Tabelle 1: (Hannesen, 1990, /6/):

Werkstoff	Einsatzbereich		
	Feuchtchlor Gasförmig	Trockenchlor gasförmig	flüssig
Metallisch:			
Kohlenstoffstahl	(-)	+ bis 120 °C	+
Rostfreier Stahl	(-)	+ bis 150-250 °C	+
Nickel	(-)	+ 500 °C	+
Inconel	(-)	+ bis 400-500 °C	+
Monel	(-)	+ bis 350 °C	+
Hastelloy	-	+ bis 400-500 °C	+
Kupfer	(-)	+ bis 120 °C	+
Silber	-	+ bis 200 °C	+
Tantal	+	+ bis 150 °C	+
Titan	+	(-)	(-)
Gusseisen	(-)	o bis 120 °C	o
Blei	o	o bis 100 °C	o
Aluminium	(-)	(-)	(-)
Nichtmetallisch:			
Steinzeug	o	o	(-)
Glas	o	o	(-)
Ebonit	+ bis 85 °C	o	(-)
Polyvinylchlorid (PVC)	+ bis 60 °C	+ bis 60 °C	(-)
Chloriertes Polyvinylchlorid (CPVC)	+ bis 80 °C	+ bis 80 °C	(-)
Polyethylen (PE)	o bis 30 °C	o bis 30 °C	(-)
Polypropylen (PP)	o bis 30 °C	o bis 30 °C	(-)
Polyvinylidenfluorid (PVDF)	+ bis 140 °C	+ bis 140 °C	(-)
Glasfaserverstärkter Polyesterharz (GF-UP)	+ bis 85 °C	+ bis 85 °C	(-)
Polytetrafluorethylen (PTFE)	+ bis 200 °C	+ bis 200 °C	o
Graphit	+ bis 200 °C	o	(-)

+: gut; o: akzeptabel unter bestimmten Bedingungen; -: schlecht; (-) darf nicht eingesetzt werden

Obwohl es unterschiedliche Schädigungsarten (Oxidationen, Vernetzung, Kettenbrüche, Quellung) bei den polymeren Werkstoffen gibt, wird die chemische Beständigkeit der Dichtungswerkstoffe (z.B. für Tankverschlüsse) in der Literatur im allgemeinen nicht nach diesen Kriterien aufgeschlüsselt dargestellt. Vielmehr wird in den Beständigkeitstabellen ein Resümee all dieser Eigenschaftsänderungen durch Vergabe von Wertungen "beständig", "bedingt beständig" und "unbeständig" gezogen. Im Unterschied zu der Werkstoffbeständigkeitsbeurteilung der metallischen Werkstoffe umfasst die Beständigkeitsbewertung nur die Auswirkungen des Füllgutes auf den polymeren Werkstoff. Ähnlich wie bei den metallischen Werkstoffen sollte die Bewertung der polymeren, organischen Werkstoffe in sehr konservativer Weise erfolgen, da bei den betrachteten Grundwerkstoffen große Schwankungsbreiten in den Materialeigenschaften durch unterschiedlichen Vernetzungsgrad, verschiedene Füllstoffe und Weichmacher auftreten können. Für die nachfolgenden ergänzenden Beständigkeitsangaben aus der DATENBANK GEFAHRGUT /7/ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) wurde nur Literatur bei der Bewertung berücksichtigt, die ein Nachvollziehen ihrer Beständigkeitsaussagen aus den einzelnen Komponenten Quellung und Änderung der Härte zuließ. Ein polymerer Werkstoff wurde als beständig bewertet, wenn die Beständigkeit bis zu einer Temperatur von 60 °C nachgewiesen wurde.

Tabelle 2: Beständigkeitsdaten von Polymeren / Daten aus der Datenbank Gefahrgut der BAM /7/:

Polymerer Werkstoff	Beständigkeit gegenüber trockenem Chlorgas	Beständigkeit gegenüber feuchtem Chlorgas
PTFE - Polytetrafluorethylen	+ (bis 240 °C)	+ (bis 200 °C)
FFKM - Perfluor-Kautschuk	+ (bis 240 °C)	+ (bis 200 °C)
FKM - Fluorkautschuk	+ (Viton bis 80 °C, Chemraz bis 200 °C)	+ (Viton bis 80 °C, Chemraz bis 200 °C)
NBR - Butadien-Acrylnitril-Kautschuk	-	-
HNBR - Hydrierter Nitril-Kautschuk	-	-
NR - Naturkautschuk	-	-
IR - Isopren-Kautschuk	-	-
IIR - Butyl-Kautschuk	-	-
EPDM - Ethylen-Propylen-Kautschuk	-	-

Polymerer Werkstoff	Beständigkeit gegenüber trockenem Chlorgas	Beständigkeit gegenüber feuchtem Chlorgas
CR - Chloropren-Kautschuk	-	-
CSM - Chlorsulfoniertes Polyethylen	-	-
SBR - Styrol-Butadien-Kautschuk	-	-
ACM - Polyacrylat-Kautschuk	-	-
MVQ - Silicon-Kautschuk	-	-
MFQ - Fluorsilicon-Kautschuk	-	-
AU, EU - Polyurethane	-	-
PE - Polyethylen	-	-
PP - Polypropylen	-	-
PVC - Polyvinylchlorid	-	-
PVDF - Polyvinylidenfluorid	+ (bis 110 °C)	+ (bis 110 °C)
PA - Polyamide	-	-
PCTFE - Polychlorotrifluorethylen	+	+

Nicht unerwähnt bleiben darf bei einer Mischung von Chlor und Wasserstoff die Gefahr der sogenannten Chlorknallgasbildung.

Die untere Explosionsgrenze dieses Gasgemisches wird mit 3,5 Volumenprozent Wasserstoff und bezüglich der oberen Explosionsgrenze 89 Volumenprozent Wasserstoff in einer Chloratmosphäre beschrieben. Die Datenbank „Chemsafe“ /8/ enthält als untere Explosionsgrenze 4,41 %. Damit besteht in jedem Fall ein sehr breiter Explosionsbereich und es folgert, dass die Bildungsmöglichkeiten solcher Gemische beim Transport von Chlor primär zu vermeiden sind.

3.1 Eigenschaften (toxisch)

Chlor wird aufgrund seines allgemeinen Charakters als starkes Reizgas bezeichnet, es wirkt sowohl auf die oberen wie auf die tieferen Luftwege. In der Theorie der Giftwirkung gibt es verschiedene Ansichten. Vielfach wird die Salzsäure, die sich bei dem Einfluss von Chlor auf die Feuchtigkeit der Gewebestrukturen entwickelt, als die letztlich schädliche Wirkung angesehen. Diese Ansicht wird dadurch unterstützt, dass es eine gewisse Ähnlichkeit der Wirkungen von Chlor und Chlorwasserstoff gibt, wobei Chlor etwa 20 mal so giftig ist wie Chlorwasserstoff (Tierversuch).

In anderer Sicht wird eine Dehydrierung (Entzug des Wasserstoffs aus dem Wasser der feuchten Gewebe) angenommen. Dabei werden freie Sauerstoff-Radikale und Salzsäure gebildet. Das bedeutet, dass die Gewebereizung insbesondere durch Oxidation bedingt ist (neben Säure- und Chlorierungsprozessen). Die zellulären Proteine werden bevorzugt an den Sulfhydrylgruppen und den Disulfidbrücken angegriffen. Bei extremer Einwirkung kommt es zur Zellnekrose infolge Denaturierung der Proteine (Ellenhorn, M.J. 1988, S. 878, /9/).

Unabhängig von der Giftheorie liegen gesicherte Erkenntnisse/ Informationen über die Vergiftungserscheinungen bei Menschen und Säugetieren vor. Grundsätzlich wird in akute und chronische Vergiftungserscheinungen unterschieden.

3.1.1 Akute Effekte

Inhalierendes Chlor wird wegen seiner hohen Wasserlöslichkeit dem Konzentrationsgradienten folgend zuerst über die Schleimhäute von Augen, Nase, Schlund (Hals) und dann über den mittleren Atemwegsbereich aufgenommen. Es kann auch in die tiefen Atemwege gelangen, wenn die Konzentration zu gering ist, um eine deutliche Warnwirkung auszuüben. Die Empfindlichkeit des Menschen ist durchaus unterschiedlich, insbesondere bei einem Gewöhnungseffekt. Tränenfluss, Husten, Schnupfen und Speichelfluss stellt sich schon bei kleinen Mengen ($0,003 - 0,006 \text{ ‰}$ bzw. 3 – 6 Teile zu 1 Million entsprechend 0,01 bis 0,02 mg/l) ein. Über Bluthusten und Atemnot tritt bei $0,1 - 1 \text{ ‰}$ bzw. 100 bis 1000 Teile zu 1 Million (Vol.ppm) entsprechend 0,28 - 2,8 mg/l momentan starke Atemnot ein, unter Cyanose, kaltem Schweiß und geringem Puls erfolgt der Tod.

Bereits kurzes Einatmen von hochkonzentriertem Chlorgas kann zum Tod führen (Flury/Zernik 1969, S. 118, /10/). Nach US-Quellen wird ein Mensch in einer Chlorgasatmosphäre (Stichwort Gase im Krieg) schon bei Konzentrationen von 50 Teilen zu 1 Million entsprechend etwa 0,15 mg/l in wenigen Sekunden kampfunfähig.

Für die Giftigkeit von Chlor erarbeiteten Lehmann - Hess (gefunden in Flury, Zernik /10/S. 120) folgende Übersicht:

Tabelle 3: Giftigkeit von Chlor für den Menschen (nach Lehmann - Hess)

	mg/l	Teile in [1 Million cm ³ /m ³] etwa
Sofort tödlich	2,5	900
In ½ - 1 Stunde sofort oder später tödlich (Hess)	0,1 - 0,15	35 - 50
In ½ - 1 Stunde lebensgefährlich (Hess)	0,04 - 0,06	14 - 21
½ - 1 Stunde erträglich ohne sofortige oder spätere Folgen	0,01	3,5
Bei mehrstündiger Einwirkung bereits wirksam	0,001	0,35
6 Stunden ohne wesentliche Symptome ertragen	0,003 - 0,006	1 - 2

Henderson - Haggard (gefunden dito) stellten die Wirkung von Chlor auf den Menschen so dar:

Wirkung von Chlor auf den Menschen nach HENDERSON – HAGGARD
(gefunden in /10/)

Tabelle 4: Chlor-Wirkung auf den Menschen

	mg/l etwa	Teile in [1 Million cm ³ /m ³]
Geruch wahrnehmbar schon bei (20)	0,01	3,5
Unmittelbarer Rachenreiz schon bei (20)	0,04	14,0
Hustenreiz schon bei (20)	0,08	28,0
Bei längerer Einwirkung erträglich höchstens (20)	0,003	1,0
Bei kurz dauernden Einwirkung (1/2 – 1 Stunde) erträglich höchstens (7)	0,012	4,0
Auch bei kurz dauernder Einwirkung gefährlich (7)	0,12 - 0,18	40 - 60
Bei kurz dauernder Einwirkung rasch tödlich (7)	2,8	1000

Die wesentliche Erkenntnis der Toxikologie ist es, dass neben den Konzentrationsangaben auch die Expositionszeiten zur Fallbewertung heranzuziehen sind. Damit wird der Begriff der Dosis als Produkt von Konzentration und Expositionsdauer eingeführt. Es ist gesichertes Erkenntnis, dass sich die menschliche Reaktion auf die gif-

tige Wirkung von Chlor über eine weite Dosis-Verteilung beschreiben lässt. Die US-American Industrial Hygiene Association (AIHA) arbeitet deswegen beispielsweise mit sogenannten ERPG's (Emergency Response Planning Guidelines), deren Dosis-Angaben zu wahrscheinlich eintretenden Erwartungswerten hinsichtlich toxischer Ursache - Wirkungsbeziehung z.B. für Chlor führen (aber auch für andere toxische Substanzen).

Die für jeweils eine Expositionszeit von 1 Stunde angegebenen ERPG-1, -2 und -3 Werte sind für Chlor entsprechend der im April 2000 revidierten Arbeitsliste:

ERPG-1	1 Vol.ppm;	bedeutet bis zu 1 Stunde Einwirkung sind beinahe alle Individuen höchstens gering bzw. nur vorübergehend beeinträchtigt
ERPG-2	3 Vol.ppm;	bedeutet bis zu 1 Stunde Einwirkung sind bei den meisten Individuen keine Entwicklungen irreversibler Schäden zu erkennen
ERPG-3	20 Vol.ppm;	bedeutet, dass beinahe alle Individuen bis zu dieser Konzentration und bis zu 1 Stunde Einwirkzeit keine lebensbedrohenden Gesundheitsbeeinträchtigungen erleiden.

Diese ERPG's zeigen also nivellierte Wirkungen bestimmter Dosen von Chloratmosphäre auf den Menschen. Die deutschen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben in der Nummer 900 den arbeitsplatzbezogenen Grenzwert (MAK) von Chlor in der Luft am Arbeitsplatz - den Luftgrenzwert - von 0,5 Vol.ppm, also entsprechend 0,5 mal ERPG-1-Grenzwert, an. Dieser ist als sicher für die Dauer einer Arbeitsschicht über die Zeit des Erwerbslebens anzusehen.

Zur Berechnung von toxischen Wirkungen von Chlor auf das Individuum können Probit-Funktionen herangezogen werden. Diese Funktionen basieren auf Probitanalysen. Darunter sind statistische Verfahren zu verstehen, welche zur Beschreibung von alternativen und quantitativen Dosis-Wirkungs-Beziehungen, vor allem in der Toxikologie und Pharmakologie, Anwendung finden. Auf der Basis einer Ergebnisstatistik von z.B. Tierversuchen wird dann künftig davon ausgegangen, dass diejenige Dosis eines Stoffes, bei der eine Wirkung bei einem damit belasteten (oder behandelten) Individuum auftritt (auch als Toleranz bezeichnet), eine Zufallsgröße ist, deren dekadischer Logarithmus normal verteilt ist.

Werden nunmehr die gefundenen Verteilungen (z.B. des Tierexperiments) als Stützstellen einer Funktion angesehen und werden diese Primärdaten funktionalisiert, so wird zur Probit-Funktion „probability unit“ gelangt.

1975 veröffentlichten Eisenberg, Lynch und Breeding /11/ eine neue Methode zur Abschätzung der Konsequenzen/Folgen von schweren Unfällen auf die Bevölkerung mittels Probit-Funktion. Dabei stellt die Probit-Variable Y ein Maß für den Prozentsatz an Bevölkerung dar, welcher bei einer gegebenen Intensität V (Konzentration) Schädigungen erleben wird. Diese Variable folgt einer Normalverteilung mit einem durchschnittlichen Wert von 5 und eine Normalverteilung von 1. Nach (Finney, 1971) /81/ wird die Beziehung zwischen der Probit-Variablen Y und der Wahrscheinlichkeit P wie folgt beschrieben:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y-5} \exp\left[-\frac{V^2}{2}\right] dV$$

Es erscheint wegen des Verständnisses und daraus abgeleitet der Akzeptanz in der Praxis vorteilhaft, anstelle der Wahrscheinlichkeit P (von 0 - 1) den Prozentsatz (von 0 - 100) für Risikobewertungen einzusetzen.

Nach Pietersen, 1990 /82/ wird folgender Ausdruck für die Berechnung des Wertes von Y genutzt:

$$Y = a + b \ln V.$$

wobei a und b Konstante sind, die experimentell determiniert sind (Unfallinformationen) oder aus z.B. Tierversuchen stammen. V ist der Wert der Intensität des Schädenseffektes (siehe oben). Eine entsprechende Übertragung auf die Kombination von Konzentration und Zeit bei einer giftigen Gasausbreitung fand 1980 Lees /83/ allgemein in folgendem Ausdruck:

$$V = \int c^n dt.$$

Hartwig gab in seinem Buch „Risikoanalyse als Hilfe für Sicherheitsentscheidungen“ /34, S. 56/, 14 verschiedene Chlor-Probit-Funktionen als bekannt an. Die von van Heemst Probit-Funktion erschien ihm für die Zwecke der Risikobewertung von möglichen Chlorfreisetzungen als geeignetste, sie lautet:

$$y = 10,1 + 1,11 \int_0^t C^{1,65}(\tau) dt \text{ (van Heemst, 1990).}$$

Nur mittels Probit-Funktionen wird eine korrekte und direkte Beurteilung der Wirkung einer Dosis möglich, da hohe Konzentrationen über kurze Zeiten nicht die gleichen Auswirkungen haben wie kleine Konzentrationen über längere Wirkungszeiten. Dieser Sachverhalt erscheint für die Situationsbeurteilung möglicher Chlorfreisetzungen beachtenswert.

Grundsätzlich bilden die Gaskonzentration (c) und die Einwirkzeit (t) entsprechend der Haber-Regel ($c \cdot t$ -Werte) den Vergleichswert für die Giftwirkung. Nach der Formel $c \cdot t = W$ lässt sich danach die Wirkungsfähigkeit W eines Gases innerhalb eines passenden Konzentrationsbereiches mit hinreichender Genauigkeit bestimmen. So entspricht beispielsweise für Katzen ein Produkt $c \cdot t = 450$ für Phosgen gewissermaßen der kleinsten Dosis, die tödlich wirken kann. Das heißt, Katzen können (brauchen aber nicht unbedingt) an Lungenödem zugrunde gehen, wenn sie 10 min. lang in einer Atmosphäre atmen, die im Kubikmeter 45 mg Phosgen enthält; aber auch wenn sie 45 min in einer Atmosphäre von 10 mg Phosgen auf den Kubikmeter Luft atmen (Flury/Zernik S. 98, /10/).

Zu jeder solcher Art von Erkenntnis sind immer vergleichende Versuchsreihen erforderlich um insbesondere andere Todesursachen (unbemerktete Erkrankungen, individuelle Dispositionen) ausschalten zu können. Obwohl speziell zu den giftigen Reizgasen, die nicht in das Blut übertreten und deren Wirkung sich hauptsächlich an den Geweben der oberen Atemwege erschöpft, die Auffassung existiert, dass das zur Wirkung hinreichende Produkt $c \cdot t$ ein konstanter Wert ist, darf nicht verkannt werden, dass bei lokal reaktiven Stoffen in hohen Konzentrationsbereichen die Wirkung weniger dosis- als konzentrationsabhängig ist. Daraus folgt, dass Produktangaben von $c \cdot t$ -Werten ohne Konzentrationswerte ganz generell kaum hilfreich sind.

Weiterhin und damit die Bemerkungen zur akuten Vergiftungswirkung von Chlor abschließend, darf nicht unerwähnt bleiben, dass dringend davor gewarnt wird, die Vergiftungswirkungen - toxikologischen Werte (Wirkungsfähigkeit) - als absolute Grenzwerte anzusehen. Sie gelten nur für die jeweiligen Versuchsbedingungen unter denen sie ermittelt wurden und - in aller Regel - für die entsprechenden Versuchstiere. Eine Übertragung auf andere Bedingungen, andere Tierarten oder gar den Menschen darf nicht einfach erfolgen. Verschärfend kommt hinzu, dass sich für Gase

ganz grundsätzlich viel schwerer entsprechende Zahlenwerte finden lassen als für leichter dosierbare Gifte (z.B. Flüssigkeiten).

Für Chlor ist in /71, S.12/ von Hartwig eine Kurvenschar für die Dosis-Wirkungsbeziehung aufgezeigt.

Allerdings kann im Zusammenhang mit der akuten Vergiftungsbeurteilung durch Chlor der Hinweis erfolgen, dass es sich bei Chlor um ein sogenanntes „ehrliches Gift“ handelt. Damit ist gemeint, dass sich der Exponierte in einer Unfallsituation sofort dem stechenden Chlorgeruch ausgesetzt fühlt, daraus völlig unbewusst eine Gefahr erkennt und eine bedingte Flucht aus der vergifteten Atmosphäre vornimmt (diese Flucht, das Weglaufen soll nach Angaben von Praktikern nicht zu kontrollieren sein). Darin wird ein großer Vorteil des Chlors gegenüber zum Beispiel Phosgen (nicht wahrnehmbar bis wohlriechend) gesehen.

3.1.2 Chronische Effekte

Über chronische Effekte bei Menschen, die langfristig Chlordosen ausgesetzt waren, gibt es unterschiedliche Auffassungen.

Ellenhorn und Baraceloux /9, Seite 879/ berichten über typische Krankheitsmuster bei solchen Menschen, die „moderaten“ Konzentrationen ausgesetzt waren. Dies sind steigende Widerstände in den Luftwegen bei unveränderter Austauschkapazität, die sich jedoch nach mehreren Monaten gewöhnlicherweise zurückbilden. Eine Studie zeigte fallendes Lungenvolumen und reduzierte Austauschkapazität bei 11 von 17 Arbeitern nach 2 bis 3 Jahren und schwerer Chlorexposition.

In Patty's Industrial Hygiene and Toxicology /12/S. 2958/ wird über tiefgehende Chlor-Studien berichtet. In den 60er Jahren wurden danach in 25 Chlor-Alkali-Fabriken der USA 332 männliche Arbeiter an Diaphragma-Zellen untersucht. Ihnen gegenüber gestellt wurden 382 Arbeiter, die nicht Chlor exponiert waren. Ungefähr 60 % der Arbeiter waren Raucher, ihr Durchschnittsalter betrug 31,2 Jahre.

Die Exposition mit Chlor reichte von 0,006 zu 1.42 Vol.ppm mit einem Mittelwert von 0,15 Vol.ppm und bezog sich auf eine tägliche 8 Stunden-Arbeitszeit.

Von diesen Dosen waren keine Dosis-Wirkungsbeziehungen zu korrelieren bezüglich der Verbreitung von Erkältungen, Herzproblemen oder Brustschmerzen. Es wurden keine Lungenanomalien als signifikant erkannt. Bei EKG-Untersuchungen wurden Unregelmäßigkeiten bei 9,4 % der Exponierten gegenüber 8,5 % bei der Kontrollgruppe gefunden.

Diese Ergebnisse sind grundsätzlich deckungsgleich mit einer Studie über 52 italienische Chlorarbeiter Anfang der 70er Jahre.

Flury und Zernik /10/, auf Seite 119 berichten dagegen über Erfahrungen, dass Menschen, die jahrelang Chloratmosphäre ausgesetzt waren (in Bleichräumen von Papierfabrikaten oder Textilbetrieben) eine bleiche grünliche Hautfarbe hätten, frühzeitig alterten und vielfach von Bronchialleiden und Lungenbluten sowie Tbc betroffen wären.

4. Gesetzliche Grundlagen des Gefahrguttransportes

Mit der Darstellung des Status Quo der Gefahrguttransportvorschriften werden die rechtlichen Grundlagen für einen Chlortransport mittels Binnentankschiffen umrissen und die sicherheitstechnischen Anforderungen an solche Transporte abgeleitet.

4.1 Allgemeines

In der Bundesrepublik Deutschland bildet das Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter (GGBefG) in seiner Neufassung vom 29. September 1998 (siehe Anhang 2) die zentrale Rechtsnorm für den Gefahrgutbereich. Es enthält als Rahmengesetz die Ermächtigung zum Erlass eines einheitlichen verkehrsträgerübergreifenden Vorschriftenwerks und regelt Fragen von grundsätzlicher Bedeutung. Mittels entsprechender verkehrsträgerspezifischer Rechtsverordnungen wird das Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter auf den Verkehrsträgern Straße, Schiene, See- und Binnenwasserstraße umgesetzt.

Dabei wird auf allen Verkehrsträgern in bezug auf den Gefahrguttransport folgendes Prinzip einheitlich angewandt: Grundsätzlich ist zum Schutz von Mensch, Tier, Sachgut und Umwelt der Transport von Gefahrgut verboten, es sei denn, er erfolgt nach den in den entsprechenden (also verkehrsträgerabhängigen) Rechtsverordnungen vorgegebenen Bedingungen (Beförderungsvorbehalt).

4.2 Liberalisierung des Verkehrsmarktes (weltweit)

Besonders in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts vollzogen sich unter dem Einfluss globalisierender Märkte große Veränderungen im Transportsektor.

Die weltweite Öffnung der Kapitalmärkte, die Markterweiterung auf Osteuropa und große Teile Asiens sowie die rasante Entwicklung der Kommunikationstechnologien ließ Staaten und ihre Völker näher aneinanderrücken und damit zwangsläufig den Warenaustausch erheblich steigern. Konsequenterweise musste sich der Verkehr,

mussten sich die Verkehrsbedingungen den Warenströmen anpassen. Der Transport von Gefahrgut ist dabei immer Bestandteil des allgemeinen Warenverkehrs geblieben.

Die historisch gewachsenen Sicherheitssysteme und Regelwerke, geschaffen für den nationalen Markt, waren nicht mehr in der Lage, z.B. den Bedürfnissen des vereinten EU-Binnenmarktes zu entsprechen. Es wurden supranationale Regelwerke für den internationalen Güterausgleich entwickelt und innerhalb Europas ganze Regelwerke harmonisiert und an den Empfehlungen der Vereinten Nationen für den Transport gefährlicher Güter /13/, dem sogenannten „Orange Book“ ausgerichtet (vergleiche BaSt-Heft M 105, Mensch und Sicherheit S. 29 /14/).

Eine entsprechende Vision hat Schulz-Forberg 1997 in einem „Modell für eine weltweite Regelung des Gefahrgutverkehrs für alle Verkehrsträger“ /73/ entwickelt.

Die in diesem Zusammenhang der möglichen weltweiten Vereinheitlichung der Gefahrgutregeln wichtigste These Nummer 2 aus dem Modell lautet:

„Die UN-Empfehlungen stellen seit Jahrzehnten die weltweit anerkannte materielle Basis für sämtliche Regeln dar. Seit Dezember 1996 verfügen sie zudem über die Struktur einer bindenden Regel, die von allen Verkehrsträgern unverändert übernommen werden kann.“

Dieses abschließende „kann“ weist auf die Vision hin und ist letztlich darin begründet, dass es gegenwärtig noch nur eine gute Absicht des Komitees für den Transport gefährlicher Güter bei den Vereinten Nationen (Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods- COE) und vieler anderer Staaten, diesem o.g. Ansatz weltweit zu folgen. Zu unterschiedlich entwickelt sind noch die Interessen in den verschiedenen Wirtschaftsregionen der Welt, zu differenziert sind gesellschaftlich bedingte und vor allen Dingen akzeptierte Sicherheitsniveaus von Gefahrguttransporten, die historisch gewachsen, eine schwer veränderbar scheinende Struktur darstellen. Als Beispiel seien hierfür die europäischen (EU) und die amerikanischen (USA) Vorschriften für den Landtransport gefährlicher Güter genannt (als Landtransportwege gelten im Sinne bundesdeutscher Auffassung die Verkehrswege Straße, Schiene und Binnenwasserstraße). Beide kontinentalen Vorschriftenkomplexe haben sich unabhängig voneinander entwickelt ohne die UN-Empfehlungen vollständig zu berücksichtigen (in Europa ist allerdings mit der gerade erfolgten Restrukturierung der Vorschriften für die Straße und die Schiene ein weitgehender Anpassungsprozeß an die UN-Modellvorschriften erfolgt, die Vorschrift für die Binnenwasserstraße wird folgen). Daraus resultieren zwangsläufig Hindernisse im Waren-

austausch. Eine vollkommene Annäherung beider Regelwerke ist gegenwärtig nicht vollzogen, scheinen doch die Vereinigten Staaten von Amerika wegen ihrer anhaltenden Konjunktur und der daraus resultierenden enormen Wirtschaftskraft einerseits und die Europäer (gemeint ist primär die Europäische Union) im Lichte ihres sich immer stärker entwickelnden Selbstwertgefühls andererseits, nicht geneigt, entsprechende Marktpositionen (und die Rechtssetzung wird, wenn auch indirekt, als solche angesehen) aufzugeben. Unter dem allgemeinen Wettbewerbsdruck haben auch die USA angefangen, Teile ihres Regelwerkes kompatibel zu gestalten. Sie haben die sogenannten UN-Tankcontainervorschriften vollinhaltlich übernommen.

Die UN-Empfehlungen wurden erstmals 1956 herausgegeben. Seitdem sind 12 Revisionen erfolgt und erst in letzter Zeit konnte die Gelegenheit ergriffen werden, die „nationalen“ Gefahrgutregeln weltweit zumindest teilweise anzupassen, da die Empfehlungen seit 1997 den Charakter von Modellvorschriften haben. Es beziehen sich diese Aussagen, wie oben schon angemerkt, auf den Landtransport gefährlicher Güter. Für den internationalen Lufttransport ist eine engste Anpassung an UN praktisch erreicht, für den Seetransport wird über die IMO (International Maritime Organisation) auch eine starke Ausrichtung nach UN umgesetzt. Sehr positiv verlaufen sind die internationalen Harmonisierungsbemühungen bei der Umschließungsart Transporttank. Für diese Art von Gefahrgutumschließung gibt es praktisch keine nationalen Besonderheiten mehr, die eine Akzeptanz des Betriebes dieser Tanks in anderen Wirtschafts- und damit Rechtsräumen erschweren (es gibt im restrukturierten RID/ADR neben dem sogenannten UN-Tank noch den europäischen Landtank - beschrieben im Kapitel 6.8 -; will der Beförderer jedoch zum Beispiel mit dem Tank nach Übersee und dort wiederum im Land verkehren, so kann er dafür den geeigneten Tanktyp (UN) – nach Kapitel 6.7 - auswählen). Dies ist ein großer Erfolg der globalen Harmonisierungsbestrebungen. Die Vereinigten Staaten von Amerika betreiben gegenwärtig Anstrengungen, um auch für ihren Landverkehr quasi die UN-Regeln zeitnah zum nationalen Recht zu erklären. Weitergehende Darstellungen prinzipieller Art hierzu sind zu finden in Ludwig /15/ ab Seite 42 ff.

Eine schematische Übersicht der weltweiten Gefahrgutvorschriften, insbesondere ihre Vernetzung und ihre nationale deutsche Untersetzung wurde in Ludwig /15/ zusammengestellt:

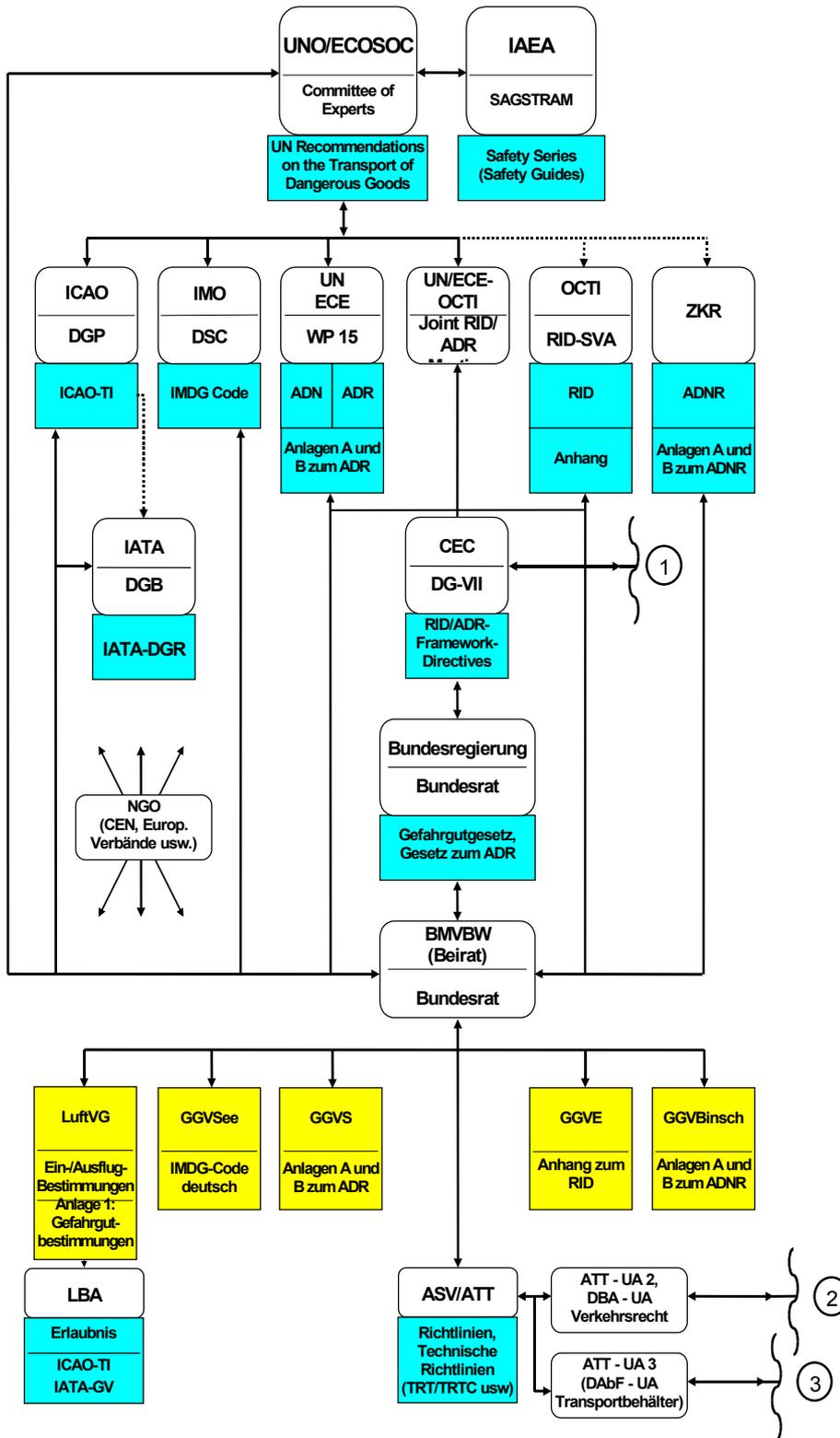


Bild 4: Beförderung gefährlicher Güter - Schematische Darstellung von Empfehlungen, Rechtsvorschriften und Richtlinien sowie der zuständigen Organisationen, Behörden und Gremien

Erläuterung der Abkürzungen in Bild 4:

UNO	United Nations Organization
ECOSOC	Economic and Social Council
Committee of Experts	Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods
IAEA	International Atomic Energy Agency
SAGSTRAM	Standing Advisory Group on the Safe Transport of Radioactive Material
ICAO	International Civil Aviation Organization
DGP	Dangerous Goods Panel
DGB	Dangerous Goods Board
IMO	International Maritime Organization
DSC	Sub-Committee on Dangerous Goods, Solid Cargoes and Containers
ECE	Economic Council for Europe
WP.15	Working Party 15 (Working Party on the Transport of Dangerous Goods)
OCTI	Office Central des Transports Internationaux par Chemins de Fer
RID-SVA	RID-Sachverständigenausschuss
Joint RID/ADR-Meeting	Gemeinsame RID/ADR-Tagung
ZKR	Zentralkommission für die Rheinschifffahrt
IATA	International Air Transport Association
CEC	Commission of the European Communities (EG/EU-Kommission)
DG VII	Direction General VII "Transport"
NGO	Non-Governmental Organizations (Verbände, CEN usw.)
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
Beirat	Beirat "Beförderung gefährlicher Güter" beim BMVBW
LBA	Luftfahrtbundesamt
ASV	Ausschuss Stoffe/Verpackungen des Beirates "Beförderung gefährlicher Güter" beim BMVBW
ATT	Ausschuss Tank/Technik des Beirates "Beförderung gefährlicher Güter" beim BMVBW
ATT-UA 2	ATT-Unterausschuss 2 "Gase"
DBA	Deutscher Druckbehälterausschuss
UA-VR	Unterausschuss "Verkehrsrecht"
ATT-UA 3	ATT-Unterausschuss 3 "Brennbare Flüssigkeiten"
DabF	Deutscher Ausschuss für brennbare Flüssigkeiten

Zuständige Organisationen, Behörden und Gremien

ICAO-TI	Technical Instructions for the Transport of Dangerous Goods by Air
IMDG-Code	International Maritime Dangerous Goods Code
ADN	Accord Européen Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Voie de Navigation
ADR	Accord Européen Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Route
RID	Règlement International Concernant le Transport des Marchandises Dangereuses par Chemins de Fer
ADNR	Accord Européen Relatif au Transport International des Marchandises Dangereuses par Voie de Navigation sur le Rhin
IATA-DGR	Dangerous Goods Regulations
RID/ADR-Framework Directives	Richtlinie 96/49/EG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter; Richtlinie 94/55/EG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für den Gefahrguttransport auf der Straße
Gefahrgutgesetz	Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter
Gesetz zum ADR	Gesetz zu dem Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
Ein-/Ausflugbestimmungen	Zusammenfassung der Bestimmungen über Einfluss und Ausflug von Luftfahrzeugen im Bereich der Bundesrepublik Deutschland
Anlage 1: Gefahrgutbestimmungen	Bestimmungen über die Beförderung gefährlicher Güter und Waffen im Luftverkehr
GGVSee	Verordnung über die Beförderung gefährliche Güter mit Seeschiffen
GGVS	Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
GGVE	Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter mit Eisenbahnen
GGVBinSch	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Binnenschifffahrt)
Erlaubnis	Allgemeine Erlaubnis zur Beförderung gefährlicher Güter
IATA-GV	IATA-Gefahrgutvorschriften (Dangerous Goods Regulations)
TRT	Technische Richtlinien Tanks
TRTC	Technische Richtlinien Tankcontainer

Empfehlungen, Rechtsvorschriften und Richtlinien

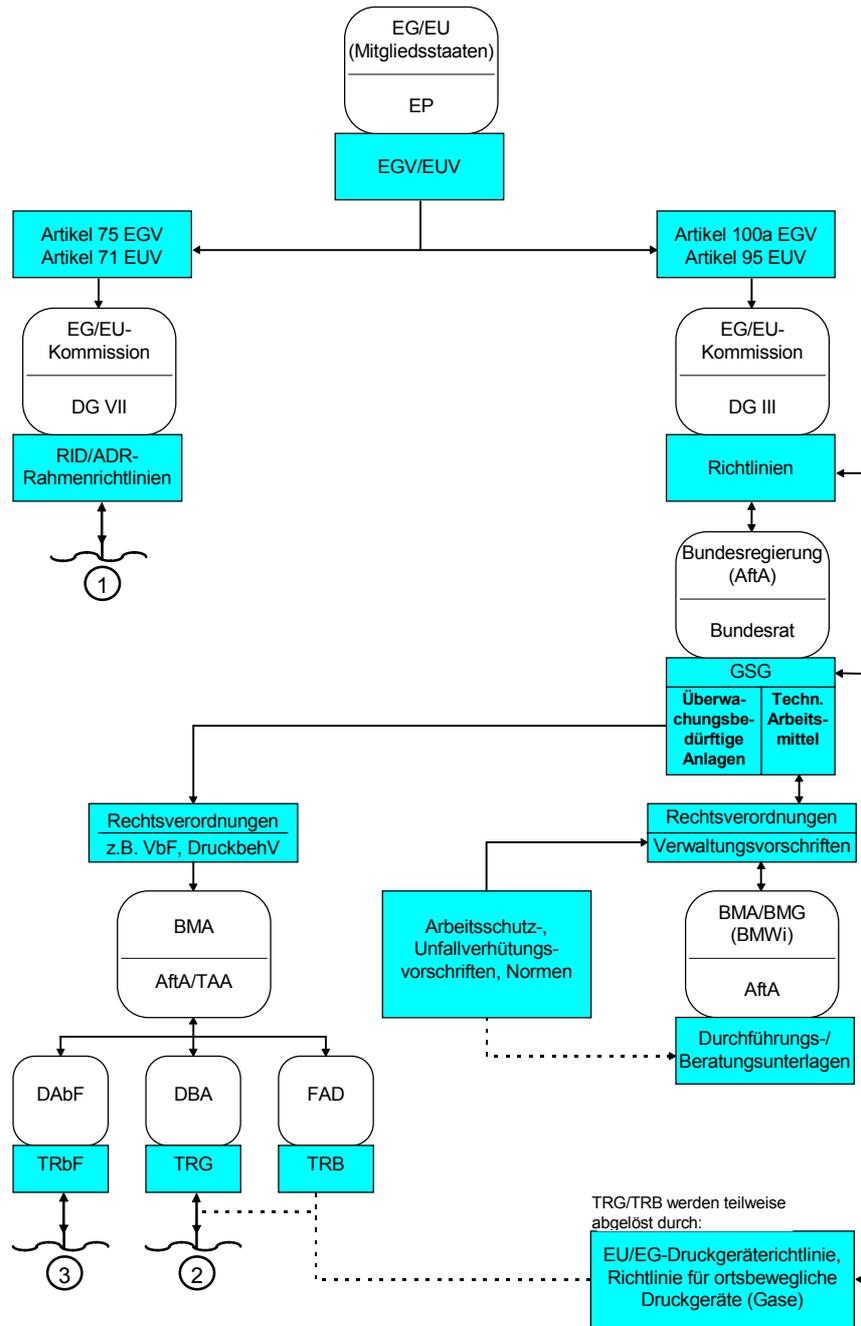


Bild 5: Beförderung gefährlicher Güter - EG/EU-Richtlinien und nationale Vorschriften (z.B. GSG) mit Einfluss auf Regelungen für die Beförderung gefährlicher Güter sowie zuständige Organisationen, Behörden und Gremien

Erläuterungen zu Abkürzungen:

EG	Europäische Gemeinschaften
EU	Europäische Union
EP	Europäisches Parlament
DG III	Generaldirektion III "Industrie"
DG VII	Generaldirektion VII "Verkehr"
AftA	Ausschuss für technische Arbeitsmittel beim BMA
BMA	Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
TAA	Technischer Ausschuss Anlagensicherheit beim BMU
DabF	Deutscher Ausschuss für brennbare Flüssigkeiten beim BMA
DBA	Deutscher Druckbehälterausschuss beim BMA
FAD	Fachausschuss Druckbehälter beim BMA

Zuständige Organisationen, Behörden und Gremien

EGV	EG-Vertrag
EUV	EU-Vertrag
RID-Rahmenrichtlinie	Richtlinie 96/49/EG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
ADR-Rahmenrichtlinie	Richtlinie 94/55/EG des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für den Gefahrguttransport auf der Straße
GSG	Gerätesicherheitsgesetz
VbF	Verordnung über brennbare Flüssigkeiten *)
DruckbehV	Druckbehälterverordnung *)
TRbF	Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten
TRG	Technische Regeln Druckgase
TRB	Technische Regeln für Druckbehälter

*) ersetzt durch Betriebssicherheitsverordnung

EG/EU-Richtlinien und nationalen Vorschriften mit Einfluss auf Regelungen für die Beförderung gefährlicher Güter

Bild 6: Struktur und Erläuterung der Gefahrgutregelung (aus /15/)

4.3 Liberalisierung des Verkehrsmarktes (europäisch)

Im Rahmen der Arbeit soll sich im Folgenden nur an den Vorschriften für den Landverkehr orientiert werden.

Europa besitzt in der Anwendung von Regeln für die Gewährleistung sicherer Gefahrguttransporte eine lange Tradition. Analog zum technischen Fortschritt in Mitteleuropa entwickelte sich das technische Recht, damit auch das Gefahrgutrecht, zu einem immer weiter vervollkommenen eigenständigen Rechtsbereich innerhalb der Nationalstaaten. Davon abweichend wurde bereits 1868 von den Rhein-Anliegerstaaten die Schifffahrt, auch schon die Gefahrgutschifffahrt, auf der Grundlage der „Mannheimer Akte“ geregelt. Einige der dort getroffenen Festlegungen halten bis heute an, so z.B. die Vereinbarung, dass Rechtsänderungen nur und ausschließlich bei Befürwortung aller Beteiligten (einstimmiges Votum) möglich sind und dass die Rhein-Wasserstraße von jedermann unter völliger Abgabefreiheit genutzt werden kann.

Circa 30 Jahre später, gegen Ende des 19. Jahrhunderts schufen die europäischen Bahnen in Bern in der Schweiz ein Zentralamt für den internationalen Eisenbahnverkehr, die ersten Regelungen betrafen auch den Transport gefährlicher Güter, am 14. Oktober 1890 wurde das „Internationale Übereinkommen über den Eisenbahnfrachtverkehr“ unterzeichnet.

Auf der Straße kamen in Deutschland bis 1970 keine besonderen spezifischen verkehrsrechtlichen Vorschriften für den Transport von Gefahrgut zur Anwendung. Erst die „Schadenschutzverordnung“ berücksichtigte schon Verkehrsbelange und den Schutz „Dritter“, d.h. der Öffentlichkeit vor den Gefahren des Transports gefährlicher Güter auf der Straße. Erstmals 1973 erschien die „Gefahrgutverordnung Straße“ (GGVS).

Parallel zu den nationalen Bemühungen um Regeln für den sicheren Gefahrguttransport entwickelten einige europäische Staaten Ende der 50er Jahre das ADR /74/ als sicherheitstechnische Vorschrift für den grenzüberschreitenden Verkehr von Gefahrgut auf der Straße. Dem lag die politische Absicht zugrunde, den Warenverkehr von Gefahrgut trotz teilweise widersprechender nationaler Vorschriften mittels eines übergeordneten Regelwerkes und mit zumindest politisch akzeptablen (Risiko) Bedingungen zu ermöglichen und einheitlich zu gestalten. Dies war offensichtlich eine glückliche politische Entscheidung, dann es traten weit mehr Staaten im Verlauf der Jahre dem RID /75/ (welches vom internationalen Eisenbahnamt etwa zeitgleich ent-

wickelt wurde) und ADR bei, als ursprünglich Mitglieder der EWG waren. So sind z.B. die Nahoststaaten bis zum Iran Unterzeichnerstaaten des RID, ebenso einige Länder Nordafrikas. Nach dem Zusammenbruch des ehemaligen Ostblocks unterzeichneten fast ausnahmslos alle Nachfolgestaaten ebenfalls das RID/ADR.

Mit der Entwicklung der Europäischen Union und den daraus resultierenden politischen Konsequenzen (Schengener Abkommen) traten die Unterschiede zwischen nationalen und internationalen Transportvorschriften deutlich hervor und behinderten den „freien Warenverkehr“. Die Europäische Kommission in Form der damaligen Generaldirektion 7 „Transport gefährlicher Güter“ in Brüssel (heute Generaldirektion „Energie und Verkehr“) nahm sich der allgemeinen politischen Ausrichtung der Führung der Europäischen Union zur Schaffung einheitlichen Rechts mittels Europäischer Richtlinien an. Diese Richtlinien, herausgegeben von der Europäischen Kommission, richten sich in ihrem Wortlaut prinzipiell an alle Mitgliedsstaaten der Union und setzen Fristen, bis zu denen der Inhalt der Richtlinie durch die jeweilige Regierung in nationales Recht umgesetzt sein muss. Damit wird erreicht, dass innerhalb der Union ab einem bestimmten Zeitpunkt in dem von der Richtlinie berührten entsprechenden Bereich gleiches Recht Gültigkeit besitzt.

Im Zusammenhang mit dem Transport gefährlicher Güter wurde dies erstmals mit der ADR-Rahmenrichtlinie (94/55/EG) von 1994 für den Straßentransport praktiziert.

Mit dieser Rahmenrichtlinie wurde festgelegt, dass das bis zum 1. Januar 1997 als grenzüberschreitende Transportverordnung geltende ADR ab diesem Zeitpunkt von allen EU-Mitgliedsstaaten auch in nationales Transportrecht zu überführen sei.

Das gleiche Verfahren folgte mit der RID-Rahmenrichtlinie (96/49/EG) 1996 für den Bereich des Eisenbahntransports gefährlicher Güter.

In der Zwischenzeit erfolgten die Umsetzung von entsprechenden Änderungsrichtlinien:

- Richtlinie 96/86/EG für die Straße
- Richtlinie 99/84/EG für die Schiene.

Diese Änderungsverfahren müssen zwangsläufig, schon aus rechtsformalen Erfordernissen, fortgesetzt werden.

Mit der durch die Richtlinien erzwungenen Harmonisierung des technischen Rechts

(in Bezug auf den Gefahrguttransport) geht einher eine deutliche Verminderung der Anzahl nationaler Ausnahmebestimmungen, die in ihrer Existenz dem angestrebten Ziel - gleiches Recht für jedermann in der Europäischen Union - widersprechen.

Selbst an die Genehmigung multi- oder bilateraler Ausnahmen, sogenannte RID- oder ADR-Vereinbarungen - stellt die EU-Kommission hohe Anforderungen im Sinne der Begründung.

Eine Zusammenstellung der Vorschriften für den Gefahrguttransport auf dem Landverkehrsträger Binnenwasserstraße wird im Anhang 2 gegeben (Auszug aus BMVBW Auflistung Gefahrgut- Vorschriftenverzeichnis).

Die Binnenschifffahrt besitzt aufgrund verschiedener Andersartigkeiten von Straße und Schiene auch in der Rechtsentwicklung eine Sonderfunktion.

Wie schon erwähnt, gab es durch den für die Binnenschifffahrt bedeutsamsten Flussverlauf (Rhein) entlang mehrerer Länder schon frühzeitig das Bedürfnis länderübergreifendes Recht zu gestalten.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts setzte der Wiener Kongress eine diplomatische Konferenz der damaligen Rhein-Anliegerstaaten als Kommission ein, die 1868 ihre Arbeit mit der Vorlage und Unterzeichnung der Mannheimer Akte krönte.

Ausgehend von dem Grundgedanken der Freiheit der Rheinschifffahrt wurden folgende Ziele erklärt, die schon wichtige Elemente eines freien Verkehrsmarktes auf dem Rhein enthielten:

- Gleiche Behandlung aller Schifffahrtstreibenden
- Freistellung von Schifffahrtsabgaben
- Vereinfachung der Zollabfertigung
- Verpflichtung der Staaten zur Instandhaltung des Stromes
- einheitliche Vorschriften über Schiffssicherheit und Schiffsverkehr
- einheitliche Gerichtsbarkeit für Schifffahrtssachen
- Rheinschifffahrtsgerichte
- Zentrale Kommission zur Überwachung der Grundsätze (ZKR).

Gegenwärtig hat die ZKR, Sitz in Strasbourg, 5 Vertragsstaaten: Deutschland, Belgien, Frankreich, Niederlande, Schweiz. Der Beitritt Österreichs steht bevor, zur Zeit hat Österreich Beobachterstatus.

Probleme aus dem Bereich der Rheinschifffahrt werden entweder von den nationalen Delegationen oder dem Dachverband des Schifffahrtsgewerbes in die Zentralkommission eingebracht.

Die Vollsitzung entscheidet oder verweist das Problem an einen Fachausschuss, der mit Hilfe von Sachverständigen einen Lösungsvorschlag ausarbeitet.

Aus /16/ stammt folgende schematische Übersicht der Arbeitsweise der ZKR.

Einer von den 10 Ausschüssen der ZKR ist der Ausschuss Beförderung gefährlicher Güter mit der ständigen Arbeitsgruppe Beförderung gefährlicher Güter.

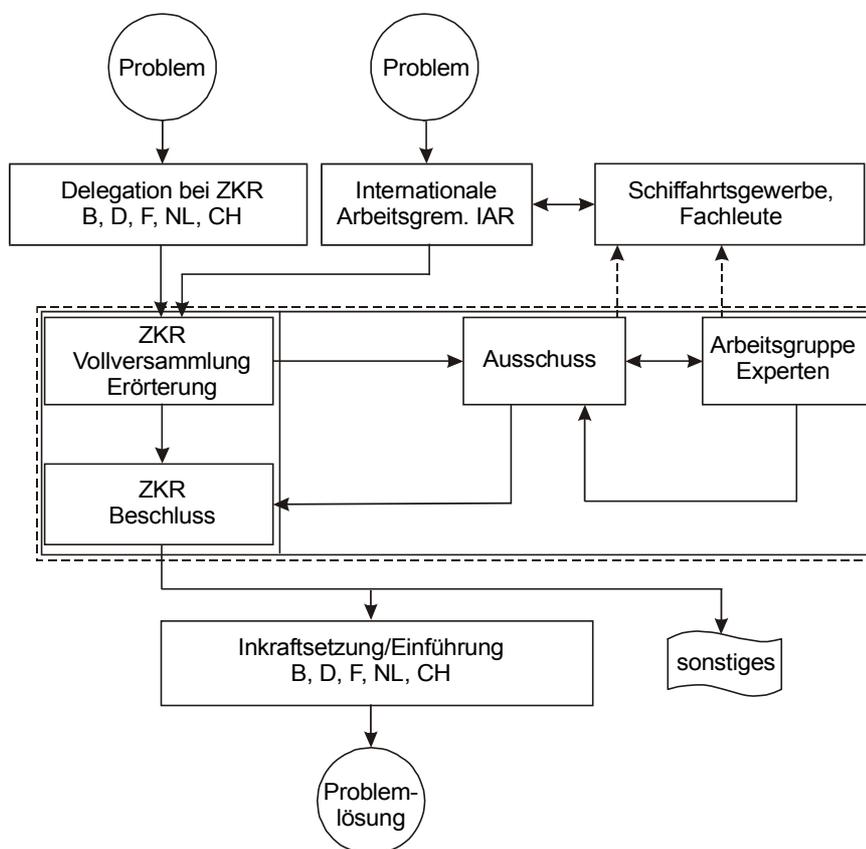


Bild 7: Arbeitsstruktur der ZKR

Die Wirtschaftskommission der Europäischen Gemeinschaft (Economic Commission for Europe, ECE) erarbeitete Anfang der 70er Jahre die Vorschriften für den Gefahrguttransport mit Binnenschiffen auf dem Rhein. Der französische Originaltitel lautete: **P**rojet d'**A**ccord européen relatif an transport international des marchandises **D**ange-reuses par voie de **N**avigation intérieure. Zusätzlich wurde ein **R** für Rhein angehan-

gen, so dass damit das ADNR geschaffen war. Seit 1972, dem Datum seiner Inkraftsetzung, wurde das ADNR mit insgesamt 8 Veränderungsverordnungen immer wieder an die veränderten Bedingungen angepasst.

Aufgrund eines Beschlusses der ZKR gilt das ADNR auf dem gesamten Rhein von Basel bis ans Meer. Die internationale Moselkommission in Trier übernahm 1994 das ADNR auch für die gesamte Mosel, d.h. auch für den französischen und luxemburgischen Teil. Ebenfalls 1994 wurde das ADNR einer deutlichen Revision unterzogen. Im Ergebnis dieser Revision entschied die Bundesrepublik am 12. Dezember 1994 mit der „Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Binnenschifffahrt - GGVBinSch), BGBl. I 93971, dass „das ADNR auf den übrigen schiffbaren Binnengewässern entsprechend.“ gilt.

Über vier nachfolgende Änderungsverordnungen:

- die 1. Binnenschifffahrts-Gefahrgutänderungsverordnung vom 18. Januar 1996 (BGBl. I S. 45)
- die 2. Binnenschifffahrts-Gefahrgutänderungsverordnung vom 20. Dezember 1996 (BGBl. I S. 2178)
- die 3. Binnenschifffahrts-Gefahrgutänderungsverordnung vom 04. Dezember 1997 (BGBl. I S. 2853)

und

- die 4. Binnenschifffahrts-Gefahrgutänderungsverordnung vom 22. Dezember 1998 (BGBl. I S. 4049)

stellt das ADNR gegenwärtig die Verordnung über den Gefahrguttransport auf Binnengewässern in der Bundesrepublik Deutschland dar.

Für den Bereich der Binnenschifffahrt in Europa arbeitet die ECE derzeit an einem ADN (ohne R), welches in gleicher Weise wie das ADR (Straße) oder RID (Schiene) die europaweite Vorschrift für den Verkehrsraum Binnenwasserstraße werden soll. Wesentlich dabei ist, dass der politische Wille der Unterzeichnerstaaten notwendig ist, um sich dem Ziel des ADN, das jetzige ADNR als die materielle Basis des ADN einzusetzen, anschließen zu können. Im Lichte der über Jahrzehnte sich anders entwickelnden Sicherheitsphilosophie, z.B. des Donau-Raumes, ist der hohe Anspruch der Zielsetzung des ADN zu verstehen.

4.4 Die Gefahrgutregelung auf Binnengewässern in Deutschland

Wie schon dargestellt, ist in der Bundesrepublik Deutschland das ADNR mittels der Rahmenverordnung „Gefahrgutverordnung Binnenschifffahrt“ zum gültigen Recht erklärt worden. Die Rahmenverordnung trifft spezielle, nationale Festlegungen, welche die vollständige Anwendung des ADNR in Deutschland vorschreibt.

Inhalt der Gefahrgutverordnung Binnenschifffahrt sind:

§ 1 Anwendungsbereich

Hier wird bestimmt, dass das ADNR für alle Binnenwasserstraßen gilt.

§ 2 Zuständige Behörden im Sinne des ADNR

Hier werden Festlegungen hinsichtlich diverser Zuständigkeiten, z.B. für operative Entscheidungen die Schifffahrtsuntersuchungskommission (SUK) oder für Ausnahmegenehmigungen die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) getroffen.

§ 3 Erleichterungen

Hier werden erleichternde Abweichungen von den Bestimmungen des ADNR unter bestimmten Voraussetzungen geregelt.

§ 4 Besondere Pflichten der Beteiligten

Dieser Paragraph enthält Vorgaben bezüglich der Aufgaben an z.B. den Schiffseigentümer, den Schiffsführer und den Beförderer.

§ 5 Ordnungswidrigkeiten

Hier werden Ordnungswidrigkeiten genannt, die zur Verletzung der Grundsätze des Gefahrgutbeförderungsgesetzes führen und damit polizeilich geahndet werden können.

§ 6 Inkraftsetzungsdatum.

Bezogen auf den beschriebenen § 1 der GGVBinSch wird das ADNR als der „materielle Teil“ der nationalen Binnenschifffahrtsregeln bezeichnet. Das ADNR selbst besteht aus drei Anlagen, der Anlage A und den Anlagen B 1 und B 2.

Die Anlage A enthält die allgemeinen Vorschriften über die gefährlichen Stoffe und Gegenstände. Seit der ADNR-Revision von 1994 ist die Anlage A sehr dünn, wird doch in der Randnummer (Rn) 6002, Absatz (1) a der Stoffteil des ADR (II. Teil der Anlage A des ADR) als Bestandteil des ADNR bestimmt. D.h., die Klassifikation der Gefahrgüter in die neun Gefahrgutklassen des ADNR wird vollständig vom ADR übernommen (Verweis).

Die Anlage B 1 des ADNR enthält die Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter in Versandstücken oder in loser Schüttung.

In der Anlage B 2 sind die Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter in Tankschiffen enthalten.

4.4.1 Die gefahrgutrechtlichen Vorschriften für die Tankschifffahrt

4.4.1.1 Beförderungsart und Anforderungen an Tankschiffe

Der Anhang B 2 des ADNR gilt nach Rn 210 003 für alle Tankschiffe, solange die Ladetanks oder die an Bord zugelassenen Behälter nicht frei von gefährlichen Gütern oder Gasen sind. Ein Tankschiff ist dabei ein Schiff, das für die Güterbeförderung in Tanks gebaut wurde. Das ADNR unterscheidet drei Arten von Tankschiffen:

Typ N - Ein Tankschiff, das für die Beförderung von Flüssigkeiten bestimmt ist.

Typ C - Ein Tankschiff, das für die Beförderung von Flüssigkeiten bestimmt ist. Dieses Schiff muss als Glatdeck-Doppelhüllenschiff mit Wallgängen, Doppelboden ohne Trunk ausgeführt sein, wobei die Ladetanks vom Schiffskörper gebildet werden oder als unabhängige Ladetanks in den Aufstellungsräumen angeordnet sein können.

Typ G - Ein Tankschiff, das zur Beförderung von Gasen unter Druck oder in gekühltem Zustand bestimmt ist.

Die Umschließungssicherheit der 3 Tankschiffstypen steigt von N zu G an, wobei die Verordnung in Rn 210 121 hinsichtlich der Aufwärtskompatibilität der Ladetanknutzung Vorgaben macht. So ist es z.B. erlaubt, Stoffe, die nach Vorschrift ein Schiffstyp N geschlossen erfordern, auch in einem Schiff der Typen C oder G zu befördern, wenn anderen Beförderungsbedingungen eingehalten werden können (Sonderauflagen). Eine Abwärtskompatibilität ist nicht vorgesehen.

Die Rn 210 208 verlangt, dass Tankschiffe für den Transport gefährlicher Güter unter Aufsicht einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft für deren höchste Klasse gebaut und in ihre höchste Klasse eingestuft werden. Die Klassifikationsgesellschaft erstellt eine Bescheinigung, welche gefährlichen Güter mit dem Schiff transportiert werden dürfen.

Außerdem muss das Schiff ein Zulassungszeugnis entsprechend der Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO) von der zuständigen Behörde eines Rhein-

uferstaates oder Belgiens besitzen, dieses Zeugnis ist höchstens 5 Jahre gültig. Ein Ladungsbuch ist auf jedem Tankschiff vorzuhalten.

4.4.1.2 Allgemeine Betriebsvorschriften

Grundsätzlich nehmen die Betriebsvorschriften im ADNR einen größeren Raum ein als vergleichsweise im ADR bzw. RID. Dies ist vor allem in dem Umstand begründet, dass das Gefahrgutschiff die „Beförderungseinheit für die gefährlichen Güter“ selbst sowie auch den Lebensraum für die Besatzung darstellt. Demgegenüber stellt z.B. die Beförderungseinheit Lastkraftwagen nur den temporären Aufenthaltsort (während der Fahrt) für den Fahrer dar, bei einem Güterzug ist der Lokführer noch weiter dem Gefahrgut entrückt. Insofern sind im ADNR definitiv mehr sicherheitliche, d.h. gefahrenabwehrende Betriebsvorschriften, allein im Sinne des Arbeitsschutzes der Besatzung, enthalten als in den anderen erwähnten beiden Landverkehrsverordnungen. Ab der Rn 210 300 ff. des ADNR werden auszugsweise Forderungen gestellt an:

- die tägliche Kontrolle der Leckagen und Wasserfreiheit abgeschlossener Räume, die nicht Ladetanks sind, (z.B. Zugangsräume, Restetanks, Pumpenräume unter Deck, Kofferdämme, Wallgänge, Doppelböden)
- das Entgasen von Ladetanks durch ausschließlich sachkundige Personen
- die Lüftung sonstiger Räume (z.B. Maschinenraum)
- die Ausbildung mindestens eines an Bord befindlichen Sachkundigen für die Beförderung von Gasen an Bord von Typ-G-Schiffen. Dieser Sachkundige muss über spezielle Kenntnisse der Beförderung von Gasen in Tankschiffen verfügen. Es muss eine Fachprüfung absolviert haben die Kenntnisse abverlangt in:
 - a) der Eigenschaftsbeurteilung von Gasen
Kompressibilität, Gemische, Partialdrücke, Gesetze von Boyle-Mariotte und Gay-Lussac, Dichte, Volumen, kritischer Druck
 - b) Spülverfahren und Probeentnahme von Gasen
 - c) Explosionsgefahren bei Flüssiggas
 - d) Gaskonzentrationsmessungen, Gasfreiheitsbescheinigung
 - e) Produktkenntnisse
chemisch-physikalische Änderungen, Gemische, Verbindungen, chem. Formeln -Kohlenwasserstoffe - Ammoniak -
 - f) Flüssigkeiten und Dämpfe
Verdampfen und Kondensieren

g) Verhalten im Notfall

h) Verfahren im Schiffsbetrieb

Laden und Löschen, Schnellschlusssysteme, Temperatureinflüsse, Füllungsgrade, Überfüllung, Kompressoren, Pumpen, Funktion eines Rohrbruchventils, Leckage

i) Teilnahme an geeigneten Feuerlöschübungen und Atemschutzübungen

- Verbindungsherstellung zwischen Rohrleitungen
- Personen an Bord
- Beiboote
- Maschinen

Es dürfen keine Motoren verwendet werden, deren Kraftstoff einen Flammpunkt unterhalb 65 °C hat

- Kraftstofftanks
- Feuerlöscheinrichtungen
- Feuer und offenes Licht
- Ladeheizungsanlagen
- Reinigungsarbeiten
- Elektrische Einrichtungen
- Tragbare Lampen
- Besondere Ausrüstung

Stichworte Vertrautheit im Umgang und Tragepflichten

- Zutritt an Bord
- Rauchverbot
- Schriftliche Weisungen

für das Verhalten bei Unfällen und Zwischenfälle:

- a) die in prägnanter Form die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen in Bezug auf das Gefahrgut
- b) die zu ergreifenden Maßnahmen und Hilfeleistungen
- c) die im Brandfall zu ergreifenden Maßnahmen
- d) die bei Bruch oder sonstiger Tankbeschädigung oder beim Freiwerden des beförderten gefährlichen Gutes zu ergreifenden Maßnahmen, insbesondere wenn sich diese Güter ausgebreitet haben

beschreiben.

Zusätzlich zu den allgemeinen betrieblichen Anforderungen sind im ADNR ab der Rn 210 400 besondere Anforderungen für das Laden, Befördern, Löschen und sonstige Handhabungen der Ladung gestellt. Sicherheitsrelevant im Sinne der vorliegenden Problematik sind dabei:

- Rn 210 410: Mit dem Laden und Löschen darf erst nach der Abarbeitung einer Prüfliste für das entsprechende Gefahrgut begonnen werden.
- Rn 210 416: Festlegung der max. Laderate und des max. Pumpendrucks mit der Landseite.
- Rn 210 417. Verschluss aller Fenster und Türen sowie aller Zugänge beim Laden/Löschen.
- Rn 210 421: Füllgradbegrenzte Beladung mit automatischer Überwachung und Signalisation
- Rn 210 425 Vollständige Gasrückführung (Pendeln) in die Landseite beim Laden/Löschen:
- Ab der
- Rn 210 500 sind spezielle Vorschriften für den Verkehr von Gefahrguttankschiffen festgelegt.

So müssen Tankschiffe in Abhängigkeit der Ladung entsprechend den Vorgaben des Kapitels 3 der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung /76/ blaue Kegel (am Tag) oder blaue Lichter (in der Nacht) führen. Damit einhergehen resultierende Maßnahmen, so z.B. Rn 210 504, die fordert, dass Schiffe die 2 blaue Kegel (2 blaue Lichter) führen (dies gilt für toxische Gase, z.B. Ammoniak, UN 1005) während des Stillliegens mindestens 300 m Entfernung von geschlossenen Wohngebieten einhalten müssen.

Sondervorschriften für die Beförderung von Stoffen der Klasse 2 - Gase -

Das ADNR enthält im II. Teil der Anlage B 2 die Sondervorschriften für den Transport von Gasen in Tankschiffen. In der Rn 221 221 werden wirksame Sicherheitseinrichtungen (2 unabhängig voneinander wirkende Unterbrechungsmöglichkeiten) für die elektrisch bedienbaren Schnellschlusslade-/Löschventile gefordert.

Weiterhin müssen Schutzausrüstungen einschließlich Fluchtgeräte an Bord zum sofortigen Einsatz bereitgehalten werden. Bei toxisch wirkenden Gasen muss ein Toximeter einschließlich seiner Gebrauchsanweisung an Bord sein.

Dieses Toximeter muss vor dem Betreten geschlossener Räume genutzt werden, damit keine messbaren Schadstoffe in gefährlichen Konzentrationen vorhanden sind (Rn 221 302 (2)). Beim Ansprechen der Gasspüranlage muss der Lade-/Löschvorgang sofort eingestellt werden.

4.4.2 Bauvorschriften für Gas-Tankschiffe

Im III. Teil des Anhangs B.2 enthält das ADNR ab der Rn 311 000 Bauvorschriften für Tankschiffe des Typs G (Kapitel 1). Im Gegensatz zu den Betriebsvorschriften des ADNR, die im Vergleich zu RID/ADR überproportionalen Raum einnehmen, besitzen die ADNR-Anforderungen an die bauliche Gestaltung im Vergleich mit dem RID/ADR eher allgemeinen Charakter.

Dies wird am Beispiel der RN 311 200 – Baustoffe - deutlich. Unter Punkt (1) a) wird die Anforderung an den zu verwendenden Werkstoff - hier Baustoff genannt - wie folgt beschrieben:

„Der Schiffskörper und die Ladetanks müssen aus Schiffbaustahl oder aus einem anderen mindestens gleichwertigen Metall gebaut sein....“.

Diese doch eher allgemeine Forderung muss dann, wie in allen anderen Detailfragen der baulichen Tankschiffgestaltung, von der bauausführenden Werft über eine anerkannte Klassifikationsgesellschaft durch eine Prüfung mit den Vorschriften der entsprechenden Klasse umgesetzt werden.

In allgemeiner Form gibt damit das ADNR Schutzziele vor, die durch Bauvorschriften der Klassifikationsgesellschaften erreicht werden müssen. In bestimmten baulichen Details, so z.B. bei der Bemessung der Ladetanks für Gastankschiffe, wirkt das ADNR wiederum einschränkend gegenüber den Vorschriften der Klasse. So darf ein Gefahrgutgastank nach ADNR, Rn 311 211, maximal 380 m³ Inhalt besitzen, die diesbezügliche Klassenvorschrift kennt keine entsprechende Eingrenzung.

Als weitere sicherheitstechnisch relevante ADNR Bauvorschriften seien genannt:

- Der Schiffskörper ist als Doppelhüllenschiff mit Wallgang und Doppelboden zu bauen. Der Abstand der Seitenwand des Schiffes und dem Längsschott muss mindestens 80 cm betragen, die Höhe des Doppelbodens mindestens 60 cm.
- Wenn das Schiff als Einhüllenschiff gebaut wird, sind Bodenwrangen mit Seitenstringern vorzusehen; der Abstand der Schiffswand von den Ladetanks muss mindestens 80 cm und der Abstand Schiffsboden vom Ladetank muss mindestens 60 cm betragen.
- Eine andere Bauausführung des Schiffskörpers setzt den rechnerischen Nachweis voraus, dass bei einer Queranfahrung durch ein anderes Schiff mit gerader Bugform eine Energie von 22 Mio. Nm aufgenommen werden kann, ohne dass die Ladetanks leckschlagen oder Rohrleitungen abreißen (Rn 311 211 (2)^{*}). Dies stellt ein Novum in dem Prinzip der Anforderungen für Gefahrguttransporte (Um-

schließungen, Fahrzeug) dar, die sonst bis auf die schon erwähnten Typ B – Behälter der Klasse 7 keine Unfallanforderungen konkret zu berücksichtigen brauchen. Die aus dieser Forderung resultierende Leistungsfähigkeit von Tankschiffen gegenüber Verkehrsunfällen stellt damit unzweifelhaft ein Sicherheitsgewinn im Verhältnis zu anderen Tanktransporten, bezogen auf diese Anforderung, dar.

- Ladetanks als Druckbehälter dürfen das Verhältnis von Länge zu Durchmesser von mehr als 7 nicht überschreiten.
- Die Druckbehälter sind für eine Temperatur der Ladung von 40 °C auszulegen.
- Zwischen- oder Distanzstücke zwischen nebeneinanderliegenden Ladetanks sind aus energieabsorbierenden Materialien herzustellen.
- Die Ladetanks sind gegen Aufschwimmen zu sichern.
- Alle Bereiche der Ladung müssen gelüftet werden können. Es muss geprüft werden können, ob sie gasfrei sind.
- Jeder Ladetank muss versehen sein mit:
 - einem Niveau-Anzeigegerät
 - einem Niveau-Warngerät, das spätestens bei einer Füllung von 86 % anspricht
 - einem Grenzwertgeber für die Auslösung der Überfüllsicherung, der spätestens bei einer Füllung von 97,5 % auslöst
 - einer Druckmesseinrichtung
 - einer Temperaturmesseinrichtung
 - einer geschlossenen Probenentnahmeeinrichtung.
- Lade- und Löschleitungen müssen von jeder anderen Rohrleitung des Schiffes unabhängig sein, unter Deck dürfen sich keine produktführenden Leitungen befinden.
- Die Ladetanks sowie die Lade-/Löschleitungen müssen den Vorschriften über Druckbehälter entsprechen, die von der zuständigen Behörde oder einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft für die zu befördernden Stoffe erlassen worden sind.

Die Rn 311 213 ff. enthält als Bauvorschrift weiterhin definierte Anforderungen an die Schwimmfähigkeit – Stabilität - des G-Tankschiffes einschließlich seiner Leckstabilität. Diese muss so ausgelegt sein, dass das Tankschiff seine Schwimmfähigkeit im Leckfall noch bei ungünstigstem Beladungszustand erhält. Sinngemäße Anforderun-

gen gibt es an die Eigenschaften von gefluteten Schotten in Bezug auf die Gleichgewichtslage des Schiffes.

Die nachfolgenden Randnummern der Anlage B 2 beziehen sich auf Bauanforderungen an Betriebsräume (z.B. Pumpenräume unter Deck und Maschinenräume) und Wohnräume auf Tankschiffen des Typs G.

Weiterhin sind die Sicherheits- und Kontrolleinrichtungen, die Pumpen und Leitungen, evtl. Kühlanlagen, Berieselungsanlagen, die elektrischen Einrichtungen und Kabel, die Feuerlöscheinrichtungen sowie besondere Ausrüstung, z.B. die pflichtgemäß zu installierende Augen- und Gesichtsdusche mit Bauanforderungen versehen.

4.4.3 Die ADNR-Stoffliste

Der Anhang 4 der Anlage B 2 des ADNR enthält in der Stoffliste die für die Tank-schiffahrt erlaubten gefährlichen Stoffe in Form einer „nur“ Aufzählung (ca. 300 Stoffe). Dies bedeutet, dass nur die Stoffe transportiert werden dürfen, die in der Liste namentlich genannt sind.

Die Stoffliste enthält neben dem Stoffnamen, seiner UN-Nummer, seiner Klassifikation insbesondere die Bedingungen, unter denen dieser Stoff in einem Tankschiff zu transportieren ist.

Am Beispiel von UN 1005, Ammoniak, wasserfrei, wird die Stoffliste erläutert:

Stoffliste/Auszug aus ADNR, Anlage B 2, Anhang 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Stoffnummer	Stoffbezeichnung	Klasse, Ziffer und Buchstabe	Gefahren	Tankschiffstyp	Ladetankzustand	Ladetanktyp	Ladetankausrüstung	Öffnungsdruck des H.-J.-Ventils in kPa	max. zul. Tankfüllungsgrad in %	Dichte bei 20 °C	Art der Probenentnahmeeinrichtung	Pumpenraum unter Deck erlaubt	Temperaturklasse	Explosionsgruppe	Explosionsschutz erforderlich	Gasspürgerät erforderlich	Toximeter erforderlich	Anzahl der Kegel/Lichter	zusätzliche Anforderungen oder Bemerkungen
1005	Ammoniak, wasserfrei	2,2 TC	2+6.1+8+3	G	1	1	3		91		1	ja	T1	II A	+	+	+	2	1
..	..																		

Bild 8: Auszug aus der Stoffliste des ADNR

Zur Erläuterung:

Spalten 1, 2, 3, 4 - selbstlesend

Spalte 5: Tankschiffstyp G = Gas

Spalte 6: Ladetankzustand 1 = Drucktank

Spalte 7: Ladetanktyp 1 = unabhängiger Ladetank

Spalte 8: Ladetankausrüstung 3 = mit Berieselungsanlage

Spalte 9: keine Anforderungen

Spalte 10: max. Tankfüllungsgrad in % = 91

Spalte 11: keine Anforderungen

Spalte 12: Art der Probeentnahme 1 = geschlossen

Spalte 13: erlaubter Pumpenraum unter Deck

Spalte 14: Temperaturklasse T 1 = Zündtemperatur >450 °C

Spalte 15: Explosionsgruppe II A

Spalte 16: Explosionsschutz erforderlich + = ja

Spalte 17: Gasspürgerät erforderlich + = ja

Spalte 18: Toximeter erforderlich + = ja

Spalte 19: Anzahl der Kegel/Lichter 2 = 2 Stück

Spalte 20: Zusätzliche Anforderungen 1 =

1. Wasserfreies Ammoniak kann Spannungsrisskorrosion in Ladungsbehälter- und Prozesssystemen verursachen, die aus Kohlenstoff-Manganstahl oder Nickelstahl hergestellt sind. Um das Risiko des Auftretens der Spannungsrisskorrosion so klein wie möglich zu halten, sind die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen zu treffen.
 - a) Wird Kohlenstoff-Manganstahl verwendet, sind Ladetanks, Prozessdruckbehälter und Ladeleitungen aus Feinkornstahl mit einer Mindestnennstreckgrenze von nicht mehr als 355 N/mm² herzustellen. Die aktuelle Streckgrenze darf 440 N/mm² nicht überschreiten. Eine der folgenden konstruktiven oder betrieblichen Maßnahmen ist zusätzlich zu ergreifen:
 1. Werkstoff mit niedriger Zugfestigkeit (R... < 410 N/mm²) ist zu verwenden; oder

2. Ladetanks usw. sind nach dem Schweißen einer Wärmebehandlung zwecks Spannungsabbau zu unterziehen; oder
 3. die Beförderungstemperatur soll vorzugsweise dicht bei der Verdampfungstemperatur der Ladung von - 33 °C; aber in keinen Fall bei einer höheren Temperatur als - 20 °C gehalten werden; oder
 4. das Ammoniak soll nicht weniger als 0,1 Gew.-% Wasser enthalten.
- b) Wenn Kohlenstoff-Manganstähle mit höheren Streckgrenzen als in a) angegeben verwendet werden, sind die fertiggestellten Tanks, Rohrleitungsabschnitte usw. nach dem Schweißen einer Wärmebehandlung zwecks Spannungsabbau zu unterziehen.
 - c) Prozessdruckbehälter und Rohrleitungssysteme des Kondensationsteils der Ladungskühlanlage, die aus Kohlenstoff-Mangan oder Nickelstahl bestehen, sind nach dem Schweißen einer Wärmebehandlung zwecks Spannungsabbau zu unterziehen.
 - e) Nickelstähle mit mehr als 5 % Nickelgehalt und Kohlenstoff-Mangan-Stähle, die nicht die Anforderungen gemäß a) und b) erfüllen, dürfen nicht für Ladungsbehälter- und Rohrleitungssysteme für die Beförderung dieses Stoffes verwendet werden.
 - f) Nickelstähle mit nicht mehr als 5 % Nickelgehalt dürfen verwendet werden, wenn die Beförderungstemperatur innerhalb der unter a) angegebenen Grenzen liegt.
 - g) Der Gehalt des im Ammoniak gelösten Sauerstoffes darf den in der Tabelle angegebenen Wert nicht überschreiten:

t in °C	O₂ in % Vol.
-30 und darunter	0,90
-20	0,50
-10	0,28

t in °C	O ₂ in % Vol.
0	0,16
10	0,10
20	0,05
30	0,03

Die Stoffliste ergänzt also detailliert die in den allgemeinen Teilen der Anlage B 2 für die Tankschiffstypen N, C und G enthaltenen Anforderungen. Damit wird das jeweilige Tankschiff auf die ganz speziellen Erfordernisse für den sicheren Transport des Stoffes eingerichtet bzw. ausgerüstet.

In dieser Stoffliste ist Chlor, UN 1017, nicht enthalten. Damit ist der Transport von Chlor im Binnentankschiff gegenwärtig nicht erlaubt.

1017, Chlor, ist nach der ADR-Stoffklassifikation, auf die die Binnenschifffahrt zurückgreift bzw. verweist, in die Klasse 2-Gase, Ziffer 2 (verflüssigte Gase mit einer kritischen Temperatur von 20 °C oder darüber) Gruppe TC (giftig und ätzend) eingeordnet. Das einzige Gas dieser Gruppe TC, welches für den Transport im Binnentankschiff zugelassen ist, ist UN 1005, Ammoniak (siehe Beispiel in diesem Abschnitt).

5. Der Chlortransport mit Binnentankschiffen in den USA

5.1 Gesetzliche Grundlagen und Anforderungen

Die Vereinigten Staaten von Amerika erlauben gegenwärtig als einziger westlicher Staat den Chlortransport mit Binnentankschiffen. Für eine Risikobewertung solcher Transporte in Mitteleuropa stellen diese US-Transporte somit eine Quelle der Erfahrung dar. Über den Rechtshintergrund und die betrieblichen Erfahrungen der Amerikaner wird im folgenden berichtet.

In den Vereinigten Staaten von Amerika gilt für nationale Regeln - Verordnungen - der sogenannte „Code of Federal Regulations“. Der abgekürzt CFR genannte Code enthält Verordnungen für alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, unterteilt in 50 Titel. Im Titel 49 – Transportation - sind unter anderem - auch die Vorgaben für den Gefahrguttransport eingeschlossen. Der CFR Title 49 besitzt in seiner revidierten Fassung vom 1. Oktober 2000 folgenden Aufbau /17/:

Tabelle 5: Struktur des CFR, Title 49

Title 49	Subtitle	
Transportation		
	1 - 99	Office of the secretary of Transportation
	100 - 185	Research and Special Programs Administration
	186 - 199	Department of Transportation
	200 - 299	Federal Railroad Transportation
	300 - 399	Federal Highway Transportation
	400 - 499	Coast Guard
	500 - 599	National Highway Traffic Safety Administration
	600 - 699	Federal Transit Administration
	700 - 799	National Railroad Passenger Corporation
	800 - 999	National Transportation Safety Board
	1000 - 1199	Surface Transportation Board

Der Untertitel 400 - 499 „Coast guard“ ist wiederum unterteilt in die Teile:

Part		
	450	General
	451	Testing and approval of containers
	452	Examination of containers
	453	Control and enforcement

In Form einer Baumstruktur werden dann die „Parts“ weiter untersetzt, z.B. der Part 450 in 10 Unterteile mit immer detaillierteren Anforderungen an den Transportcontainer. Dieser Abschnitt enthält jedoch nur relativ weit gefasste, mehr allgemeine Zulassungs- und Inverkehrbringungsanforderungen für Frachtcontainer, welche auf Binnen(stückgut)-Schiffen transportiert werden sollen.

Für den Transport von gefährlichen Gütern in Tankschiffen muss der CFR-Title 46 - Shipping - herangezogen werden. Im Part 151 werden die Anforderungen an den Transport mit flüssigen Stoffen mit Binnentankschiffen aufgeführt („Barges carrying bulk liquid hazardous material cargoes“).

Dieser Part 151 ist für sich wieder unterteilt in ca. 150 Unterteile, welche u.a. neben der Beschreibung bestimmter Schiffstypen, spezieller Sicherheitsausrüstung (z.B. Flammensperren), der Unterteilung des Schiffskörpers usw. letztlich auch im Unter-

abschnitt 151.50.31 das Anforderungsbild an den Transport von Chlor mit Tankschiffen enthält.

5.2 Spezialanforderungen an Chlor-Bargen

Der Code CFR 46, Part 151.50-31 „Chlorine“ enthält die Mindestanforderungen an den Transport von Chlor in Drucktanks auf sogenannten „Chlor-Barges“ (Schubleichter). Diese sind in ihrer Bauart ganz wesentlich davon gekennzeichnet, dass sie keinen eigenen Schraubenantrieb besitzen (also geschoben oder gezogen werden müssen). Die Chlortanks dürfen nicht weniger als 300 psi (21 bar) Berechnungsdruck besitzen. Jeder Tank darf ein oder mehrere Mannlöcher über dem Flüssigkeitsspiegel besitzen.

Die Tanks können auf dem Schiffsdeck oder unter Deck installiert sein. Alle Ausrüstungen des Tanks müssen aus Metall und verträglich mit Chlor in der Gas- und Flüssigphase sein. Guss- oder Schmiedeeisen darf nicht verwendet werden.

Jeder Tank ist mit einer Lade- und Gassammelleitung auszurüsten, die mit manuell betätigten Ventilen und Sicherheitsventilen versehen sein müssen. Weiterhin müssen automatisch arbeitende Schnellschlussventile (excess flow valves) als erste Absperr-einrichtung im Tankinnern vorgesehen sein.

Flüssigkeitsstandsanzeiger (Geräte) sind auf Chlor-Barges verboten.

Die Füllung/Entleerung mehrerer Tanks zu einem Landtank hat nur mittels getrennter Leitungen (separate lines) zu erfolgen. Die Menge des umzuschlagenden Chlors muss mittels Wägung ermittelt werden. Die Leitungen müssen nach der Beladung gasfrei gemacht werden, die (verschlossenen) Ventile/Flansche sind auf ihre Dichtigkeit zu prüfen.

Bei der Entladung von Chlor ist ein zusätzlich aufgebracht Gasdruck durch Luft oder ein anderes geeignetes Gas erlaubt, vorausgesetzt, dieses Gas ist vollständig ölfrei und getrocknet und der Druck beträgt nicht mehr als 75 % des maximal zulässigen Betriebsdrucks des Tanks.

Jede Person, die sich auf der Barge während des Chlor-Umschlags befindet, muss einen Atemluftfilter bei sich tragen (lebensrettendes System).

Der Unterabschnitt Chlor-Barges des CFR 46, Part 151 schließt letztlich mit Hinweisen auf die wiederkehrende Prüfung der Tanks sowie das Zusammenladeverbot.

Wenn Chlor in einem Tank ist, dürfen nicht an Bord transportiert werden:

- Wasserstoff

- Methan
- Flüssiggas (liquefied petroleum gases)
- Leuchtgas (coal gas)
- Azetylen
- Ammoniak
- Terpentin
- Metallspäne
- Metallpulver
- pulverförmige organische Substanzen.

5.3 US-Erfahrungen mit Chlor-Bargen

Ausgehend von diversen Kontakten mit dem US-Verkehrsministerium (DOT), des Headquarters der US-Küstenwache (US Coast Guard), die auch polizeiliche Aufgaben auf den Binnengewässern der USA wahrnimmt, sowie dem Chlorine Institute, Inc. in Washington D.C. liegen folgende Erfahrungen von US-Verantwortlichen zum Chlor-Transport mit Tankschiffen auf den Binnenwasserstraßen vor:

Der Chlor-Transport auf Binnentankschiffen – Barges - ist in den USA erlaubt (im Gegensatz dazu ist der Transport von Chlor in seegehenden Tankschiffen verboten, obwohl dieser Transport nach den internationalen Seevorschriften der IMO - International Maritime Organisation - erlaubt ist).

Der Transport von Chlor mit Tankschiffen findet in den USA seit Mitte der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts statt. Die Tankschiffe sind ausnahmslos Schubschiffe („tows“), die aus der schon erwähnten „Barge“, dem antriebslosen Schubleichter und dem motorisierten Schubboot mit einer Unterkunft für die Besatzung bestehen. Die Schubleichter sind „open hopper barges“, d.h. die Drucktanks im Schiffsrumpf liegend, sind nicht durch ein Dach abgedeckt. Diese Schubleichter sind Eigentum der Chlorproduzenten.

Im Verlauf der Chlortransporte auf dem Wasser sind bisher keine Toten infolge von Unfällen oder Zwischenfällen zu beklagen. Die elektronische Datenbank der US-Küstenwache, die zurückgeht bis zur Mitte der 80er Jahre, zeigt keine Unfallinformationen beim Chlortransport an. Übereinstimmend können sich sowohl US-Coast Guard sowie ein Experte des Chlorine-Instituts an einen Transportunfall mit einem

Chlor-Schubschiff in den 60er Jahren erinnern. Während eines Tornados wurde eine Barge in der Schiffshaut so beschädigt, dass die Barge auf dem Mississippi sank. Der Unfall war bemerkenswert, weil es lange dauerte, bis die gesunkene Barge gefunden werden konnte. Die Strömung des Flusses transportierte die Barge weit weg vom Sinkort. Als die Barge gefunden und gehoben wurde, waren die Drucktanks nicht beschädigt, das Chlor sicher umschlossen.

Wegen dieses Unfalls wurden alle Chlorbargen später mit automatischen Ultraschallgebern („pingers“) ausgerüstet, die im Fall des Sinkens eine leichte Ortung ermöglichen (die Geräte entsprechen denen in den „flight data recorders“ der Luftfahrt für den Fall eines Absturzes auf See).

Diese Ausrüstung ist keine Vorgabe des Staates, die Industrie hat sich dazu selbst verpflichtet.

Daneben hat die Industrie eigene, insbesondere Konstruktions- und Betriebsvorschriften über den Rahmen der staatlichen Vorgaben (CFR 46) hinaus entwickelt. So muss der Berechnungsdruck der Tanks mindestens 24 bar (CFR verlangt 21 bar) betragen, der Füllgrad bei Umgebungstemperatur darf 85 % nicht übersteigen. Jede Barge ist mit nur 4 „relativ kleinen“ Tanks ausgerüstet, was auch einem Abkommen der Industrie entspricht.

Der Schubleichter - die Barge - selber ist nach dem höchsten Schiffs-Stabilitätsstandard gebaut (Typ 1 - Hülle des CFR 46 part 172).

Es gibt für den Transport von Chlor mit diesen Schub-Tankschiffen keine besonderen, zusätzlichen oder anderen Betriebsvorschriften wie für andere verflüssigte oder komprimierte Gase.

Besondere Notfallroutinen entlang der Wasserstrecke sind nicht existent.

In der Summe wird berichtet, dass der teilweise selbst auferlegte Sicherheitsstandard der Industrie zum Chlortransport mit Binnentankschiffen sehr hoch ist, sich über die fast 50-jährige Praxis eine „Sicherheits-Kultur“ entwickelt hat und es nie einen Antrag der Industrie gegeben hat, den Anforderungskatalog bezüglich der Sicherheit zu senken.

Als Bewertung der US-Erfahrungen lässt sich zweifelsfrei ableiten, dass der Transport von Chlor mit Binnentankschiffen sicher gestaltet werden kann.

6. Die Funktion der Binnenschifffahrt im Verkehrskonzept der deutschen Bundesregierung

Die Binnenschifffahrt ist in Deutschland ein wichtiger Teil des Verkehrs. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit soll die politisch gewollte Perspektive dieses Verkehrsträgers umrissen werden.

In den Perspektiven der Verkehrspolitik geht das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswirtschaft (BMVBW) davon aus, dass die Prognosen des Verkehrs bis zum Jahr 2010 von einer erheblichen Zunahme bestimmt werden. Insbesondere der Umstand, dass die Bundesrepublik Deutschland mindestens eine Verdoppelung des Transitverkehrs erwartet, begründet diese Vorstellung. Darüber hinaus werden zwei Fakten die Entwicklung des Verkehrs beeinflussen:

- die Verkehrsinfrastruktur beeinflusst immer nachhaltiger die Wettbewerbsfähigkeit und damit den Wirtschaftsstandort Deutschland und
- der Umweltschutz wird immer mehr zum Maßstab von Entscheidungen.

Insbesondere aufgrund des letztgenannten Faktums wird das weitere, nahezu einseitige Wachstum des Straßenverkehrs nicht auf Dauer hinzunehmen sein. Als Schlüssel zur Lösung dieses Problems wird die Kooperation der Verkehrsträger, die systematische Vernetzung von Auto, Bahn, Schiff und Flugzeug angesehen /18/. U.a. wegen der immensen ökologischen Vorteile des Binnenschiffsverkehrs (durchschnittlich 120 - 150 Lastwagenladungen befördert mit einem einzigen Lkw-ähnlichen Motor) werden im Rahmen des Bundesverkehrswegeplanes diverse Verkehrswegeprojekte zum Ausbau der deutschen Binnenwasserstraßen forciert (auch und insbesondere mit dem Ziel der besseren Einbindung der deutschen Hauptstadt in das Wasserstraßennetz durch das Verkehrsprojekt 17). Während 1950 die Binnenschifffahrt 16,7 Mrd. tkm leistete und damit den Straßengüterverkehr (7,1 Mrd. tkm) um mehr als das Doppelte überbot, vollzogen sich insbesondere in den letzten 15 – 20 Jahren drastische Veränderungen. Im Güterverkehr kehrte sich das Verhältnis im Jahr 1998 mit 315,9 Mrd. tkm für die Straße und nur noch 64,3 Mrd. tkm für die Binnenschifffahrt geradezu um (Eisenbahn 73,6 Mrd. tkm). Eine im Jahr 2000 vom BMVBW und BMF eingesetzte Kontrollkommission zur Verkehrsinfrastrukturentwicklung bemerkte im Schlussbericht /19/, : „Eisenbahn und Binnenschifffahrt erfüllen nichts desto weniger auch heute deutlich mehr als nur Ergänzungsfunktionen im Ver-

kehrssystem; sie können und sollen das auch in Zukunft..... Beide Verkehrsträger besitzen prinzipiell ein positives umwelt- und strukturpolitisches Wirkungspotenzial.“ Daraus resultieren die großen geplanten Investitionen zum Ausbau der Verkehrsträger. Die Bundeswasserstraßen erhalten steigende Investitionen (Plan):

2001	876 Mio. DM p.a.
2005	928 Mio. DM p.a.
2010	1,0 Mrd. DM p.a.

Unabhängig davon, dass der tatsächliche Bedarf für Ausbau und Ersatzmaßnahmen an Bundeswasserstraßen - die 7700 km lang sind, davon 7300 km Binnenwasserstraßen - aus Sicht der schifffahrtstreibenden Verbände als zu gering angesehen wird, zeigen doch die Zahlen die Tendenz der zukünftigen vom Staat gesteuerten Entwicklung dieses Verkehrsbereiches auf.

7. Die Binnenschifffahrt auf dem Rhein

7.1 Der Rhein als die Wasserstraße Deutschlands

Der Rhein bildet mit seinen charakteristischen Eigenschaften wie Verlauf und Zustand der Fahrrinne, der auf dem Fluss transportierten Gütermenge und der dazu eingesetzten Binnenflotte für die Risikobewertung möglicher Chlortransporte die wesentlichen Rahmenbedingungen. Diese werden im Folgenden, soweit wie für den beschriebenen Zweck notwendig, untersucht.

Von den schon erwähnten 7300 km des deutschen Binnenwasserstraßennetzes besitzen etwa 4800 km maßgebliche Bedeutung für den internationalen Güterverkehr in Europa. Die „Hauptader“ des europäischen Wasserstraßennetzes und zugleich die verkehrsreichste Binnenwasserstraße der Welt ist der Rhein mit seinen Nebenflüssen Neckar, Main, Mosel und Saar /20/. Die schiffbare Länge dieses Wasserstraßenverbundes beträgt 1548 km, wobei die Länge des Rheins von Rheinfeldern bis zur niederländischen Grenze bei Emmrich 718 km beträgt. Am Rhein sind etwa 20 Prozent der deutschen Industrie angesiedelt. Etwa 30 km nach der deutsch-niederländischen Grenze beginnt das große Rheindelta, welches wesentlich von den beiden Flussarmen Lek und Waal bestimmt wird. Ein Großteil dieses Gebietes bis zur Nordsee liegt dann auf Meeresspiegelhöhe.

Der wichtigste und weltgrößte Hafen (dem Umschlagsvolumen nach) im Delta ist Rotterdam, im Binnengebiet dagegen Duisburg.

Im Einzugsgebiet des deutschen Teils des Rheins leben etwa 34 Millionen Menschen. Als Hauptfluss im westlichen Teil Deutschlands durchfließt er fast alle dortigen großen Ballungs- und Industriegebiete.

Die Binnenwasserstraße Rhein dient nicht nur dem Verkehr in der gewerblichen Schifffahrt. Eine zentrale Aufgabe besitzt der größte deutsche Fluss auch für die Wasserversorgung der Rhein-Anliegerbereiche sowie für die Freizeit- und Sport-schifffahrt und natürlich für den Umweltschutz.

Im besonderen Maße wirken sich klimatische Verhältnisse auf dem Fluss aus. So gehen Hoch- und Niedrigwasser einher mit unterschiedlichen Sedimentablagerungen im Flussbett, durch die Vielzahl von Zuflüssen aus den Mittelgebirgen gibt es jedoch einen weitestgehenden Ausgleich der Auswirkungen extremer Wetterlagen auf den Fluss. Dies trifft auch auf die Winterzeit und die damit verbundene Eisbildung zu, die Zuflüsse führen jedoch relativ warmes Wasser. 1996 hat es zum letzten Mal einen Eisstand an der Loreley (km 554) gegeben.

7.2 Der Zustand der Fahrrinne und ihre Verfügbarkeit

Die Wassermenge des Rheins beträgt ca. 1 Mrd. m³. In einem Jahr fließen ca. 66 Mrd. m³ Wasser durch den Rhein; die durchschnittliche Flussgeschwindigkeit beträgt im Oberrhein ca. 1,3 m/s im Mittelrhein ca. 1,6 m/s und im Niederrhein ca. 1,4 m/s.

Die für die Schifffahrt relevanten Wasserstände des frei fließenden Rheins werden durch die Pegel

- Maxau (Rhein-km 326,1)
- Kaub (Rhein-km 546,3)
- Ruhrort (Rhein-km 780,8)

bestimmt.

Bei Hochwasserlagen als Ausnahmezustand auf dem Rhein sind 16 Pegel von Bedeutung (siehe Rheinschifffahrtspolizeiverordnung).

Der für die Schifffahrt relevante Wasserstand ist der sog. gleichwertige Wasserstand GLW. Er dient dazu, die auf ihn bezogenen Fahrrinntiefen vergleichbar zu machen. GLW bezeichnen einen Wasserstand, der im langjährigen Mittel an 20 eisfreien Tagen im Jahr erreicht oder unterschritten wird. Der GLW wird alle

10 Jahre neu festgelegt und dient letztlich als Maßzahl für das Schifffahrtsprofil des Rhein (⇒ siehe Bild 9).

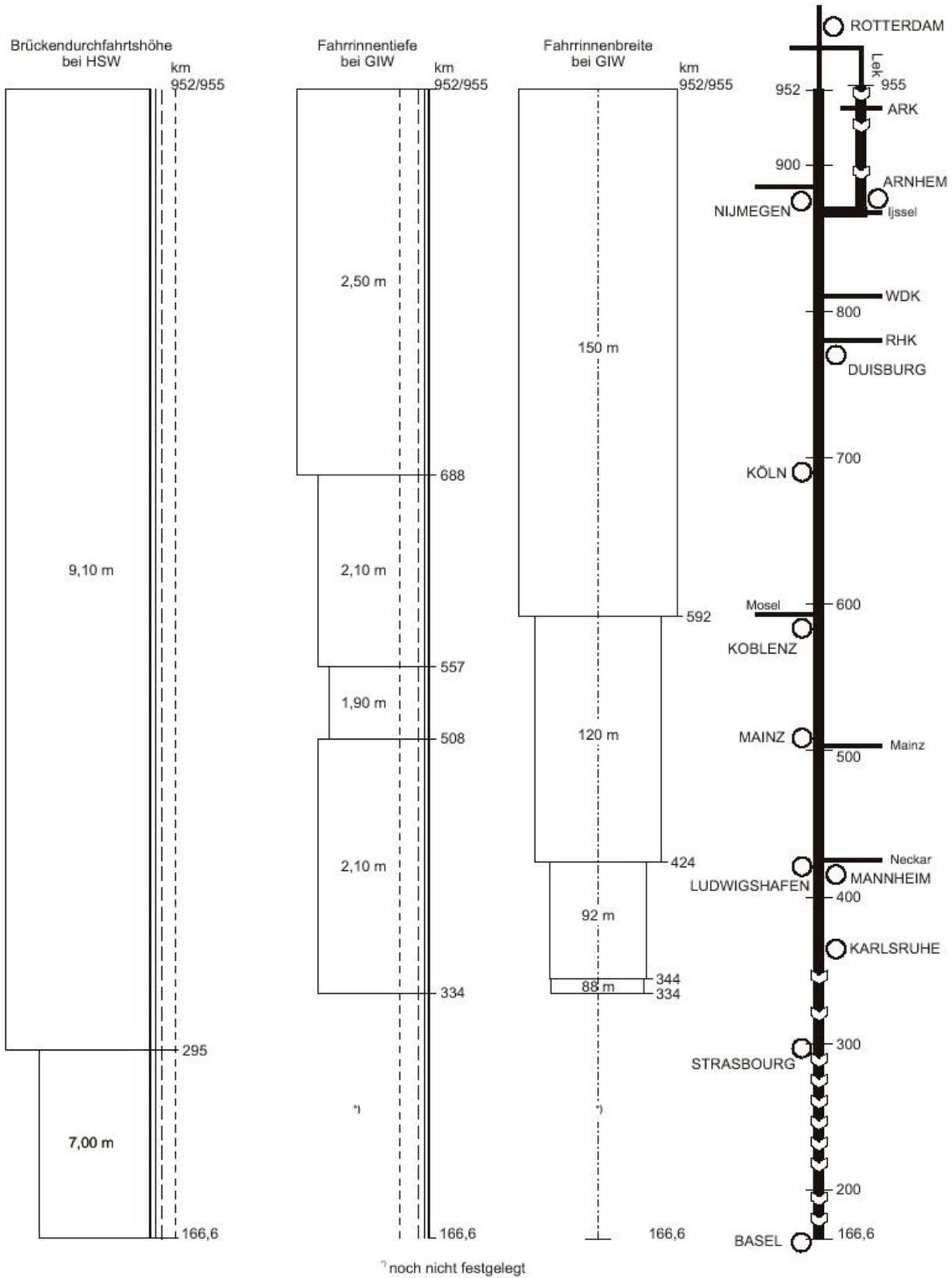


Bild 9: Bild 9: Schifffahrtsprofil des Rheins (entnommen aus ZKR-Jahresbericht /21, S.54/)

Interessant erscheinen insbesondere die Informationen zur Fahrrinntiefe und der verfügbaren Fahrrinnenbreite, die auch im „Binger Loch“, dort wo der Rhein das Gebirge quert, noch 120 m beträgt, wobei dort auf einer Strecke von etwa 8 km die Fließgeschwindigkeit bei Normalwasser etwa 3,5 m/s erreicht. Dieser Streckenbereich des Flusses wird nautisch mit einer Lichtwahrschau besonders geregelt.

Bezüglich der im Bild 9 dargestellten Fahrwasserverhältnisse auf der frei fließenden Rheinstrecke ergeben sich jedoch immer wieder Einschränkungen durch Fehlbreiten auf Stromabschnitten, auf denen die Fahrrinnenbreite durch Fehltiefen am Fahrrinnenrand eingeschränkt ist. Außerdem können Fehltiefen auftreten, wo die angestrebte Tiefe nicht auf der gesamten Fahrrinnenbreite gewährleistet ist. So wurden beispielsweise im Jahr 1998 zwischen den Rhein-km 338 bis 860 für das rechte und linke Rheinufer zusammen 56 Fehlbreiten und 50 Fehltiefen der Schifffahrt durch die zuständigen Schifffahrtsverwaltungen mitgeteilt (/21/ ZKR Jahresbericht 98/99).

Weitere Einflussgrößen auf die Verfügbarkeit der Wasserstraße Rhein sind:

1. Sperrungen der Schifffahrt wegen Überschreitung der Hochwassermarken II
2. Sperrungen der Schleusen
3. Sperrungen/Behinderungen wegen Schiffshavarien
4. Militärische Übungen
5. Öffentliche Veranstaltungen auf dem Rhein
6. Unfälle auf Brücken
7. Munitionsfunde.

Nach ZKR /21/ waren in den vergangenen Jahren diese Verfügbarkeitseinbußen der Wasserstraße so gering, dass eine Relevanz zum Risiko des Tankschiffsverkehrs zu vernachlässigen ist.

7.3 Das Transportaufkommen auf dem Rhein

Im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland wurden 1999 ca. 62,5 Mrd. Tonnenkilometer auf den Binnenwasserstraßen im Güterverkehr insgesamt geleistet. Davon trug der Rhein anteilig ca. 49,5 Mrd. Tonnenkilometer (siehe Bild 10)

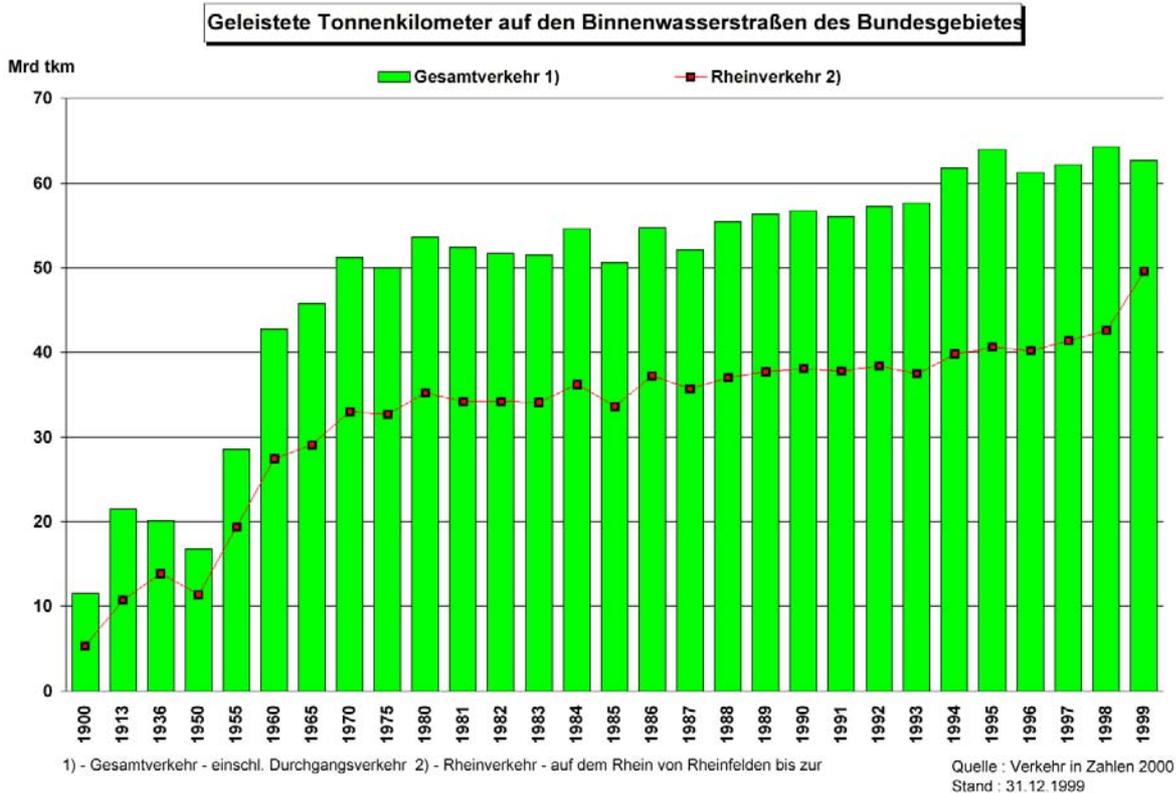


Bild 10: Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt

Im Jahr 2000 erhöhte sich die Transportleistung auf 66,6 Mrd. Tonnenkilometer bei einer Transportmasse von 242 Mill. Tonnen /23/. Dies entspricht einer Steigerung von 6,2 % in der Transportleistung, bzw. von 5,6 % in der Transportmasse.

Als abhebbare Entwicklungstendenzen bezüglich der Güterabteilungen zur Jahrtausendwende lassen sich in den letzten Jahren auf den internationalen Hauptverkehrsverbindungen deutliche Anstiege (mehr als 10 %) beim Transport von

- Eisen und sonstigen Metallen
- Erzen und Metallabfällen
- Landwirtschaftsprodukten
- Fertigerzeugnissen

feststellen. Lediglich der Transport von Kohle war rückläufig.

Die vom Bundesverkehrsministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 1999 herausgegebene Broschüre „Verkehr in Zahlen“ /24/ liefert zusätzlich Informationen über den anteiligen Gefahrguttransport auf den Binnenwasserstraßen. Danach waren 1997 22,6 % des gesamten Verkehrsaufkommens Gefahrgüter (zum Vergleich bei der Eisenbahn nur 13,5 %). Eine staatliche Statistik für die Aufschlüsselung der transportierten Gefahrgüter nach den Gefahrenklassen in der Binnenschifffahrt liegt nur bis zum Jahr 1997 vor. Danach wurden in diesem Jahr von insgesamt

233,5 Mio. t gesamten Verkehrsaufkommen 52,8 Mio. t Gefahrgut (ohne radioaktive Stoffe) transportiert.

Davon betragen anteilig:

verdichtete, verflüssigte oder unter Druck gelöste Gase der Klasse 2	1,9 Mio. t
entzündbare flüssige Stoffe der Klasse 3	44,5 Mio. t
entzündbare feste Stoffe der Klasse 4.1	1,3 Mio. t
giftige Stoffe der Klasse 6.1	0,7 Mio. t
ätzende Stoffe der Klasse 8	3,8 Mio. t
Übrige	0,7 Mio. t

Wird nunmehr eine nur 5 % Steigerung des Gefahrguttransports von 1997 bis zum Jahr 2000 wie nach Bild 10 abschätzbar angenommen, kann aufgrund allgemeiner Erfahrungen hinsichtlich des überproportionalen Wachstums an Gastransporten auf den anderen Verkehrsträgern (Bedarfssteigerung) angenommen werden, dass gegenwärtig ca. 2 Mio. t verdichtete, verflüssigte oder unter Druck gelöste Gase der Klasse 2 mit Binnentankschiffen in Deutschland pro Jahr transportiert werden. Weil annähernd 77 % der Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt auf deutschen Binnenwasserstraßen im Rheinstromgebiet erbracht werden, ist resultierend eine Zahl von 1,5 Mio. t an Gefahrgut der Klasse 2 auf dem Rhein pro Jahr realistisch.

Im Rahmen einer Prognose der Aufkommensentwicklung der Binnenschifffahrt wird in /19/ eingeschätzt, dass aufgrund

- des schrittweisen Ausbaus der Binnenwasserstraßen
- dem Verlagerungsdruck aufgrund zunehmender Überlastung des Straßenverkehrs und akuter Umweltprobleme
- der Erweiterung des logistischen Leistungsangebots der Binnenschifffahrt
- der höheren Integration der Binnenschifffahrt in den Fluss-See-Verkehr

im Jahr 2010 eine Transportleistung von etwa 116 Mrd. tkm bei einem Transportaufkommen von 342 Mill. t erreicht werden wird. Dies würde einer 30 %-igen Steigerung der Transportmenge entsprechen, d.h. konservativ ähnliche Verteilungen zwischen Nicht-Gefahrgut und Gefahrgut auch zukünftig vorausgesetzt, entstünde auch für die Binnenschifffahrt ein absoluter Zuwachs im Gefahrguttransportbereich von etwa 15 Mio. t.

7.4 Die Binnenflotte

Der Umfang und die Zusammensetzung der Flotte stellt sich als primärer Indikator für die Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt dar. Die in der Produktionslogistik der Binnenschifffahrt enthaltenen Verkehrsarten

- Direktverkehr
- gebrochener Verkehr
- kombinierter Verkehr

sowie die zu befördernden Güterarten

- fest
- flüssig
- gasförmig
- verpackt/unverpackt (Bulk)
- selbstrollend

und die hauptsächlich zu befahrenden Binnenwasserstraßen

- Rheingebiet
- Westdeutsches Kanalgebiet
- Mittellandkanalgebiet
- Elbegebiet
- Donaugebiet
- Wesergebiet
- Brandenburg/Berlin

verlangen eine kostenoptimale Gestaltung der jeweiligen typischen Schiffseinheit. Aus /22/ ist zu entnehmen, dass die Entwicklung der Tonnenkapazität der Binnenflotte auf dem Rhein gegenwärtig tendenziell rückläufig ist. Überdurchschnittlich ist davon die Tankschifffahrt (anzahlmäßig) betroffen.

Generell ist eine Vergrößerung der Tragfähigkeit der Schiffe sowohl in der Trocken- wie in der Tankschifffahrt zu erkennen. In der Tankschifffahrt besteht die Flotte auf dem Rhein größtenteils aus 1400 t Schiffen.

Aufgrund strenger Zulassungsverfahren sind durch die ZKR nach einer Reform der Schiffsregistrierung im Jahr 1979 exakte Informationen über die Rheinflotte, getrennt nach Schiffsgattung (Typ) der Rheinuferstaaten und Belgien verfügbar.

Am 31.12.1997 betrug der Stand der Rheinflotte nach Schiffsgattungen und Größenklassen (aus /22/):

Tabelle 6: Schiffsbestand auf den Rhein

	Anzahl Schiffe	Tragfähigkeit (t)
Schlepper	136	k.A.
Schubbote	517	k.A.
Gütermotorschiffe insgesamt	8327	8563922
Tankschiffe insgesamt	1153	1638399
Davon: Tankmotorschiffe	1054	1470561
Bis 1000 t	296	160521
Bis 3000 t	716	1170889
Über 3000 t	42	139151
Tankschleppkähne	4	2403
Bis 1000 t	3	1228
Bis 3000 t	1	1175
Über 3000 t	0	0
Tankschubleichter	95	165435
Bis 1000 t	26	19970
Bis 3000 t	66	135115
Über 3000 t	3	10350
Fahrgastschiffe	ca. 800	

Die oben aufgeführten Rheinschiffe teilen sich in folgende Anteile der Tankschiffe auf:

Von den 1153 Tankschiffen entfielen auf die Länder	
Niederlande	553 Stück
Deutschland	375 Stück
Belgien	162 Stück
Schweiz	53 Stück
Frankreich	10 Stück

Dies sind überwiegend C- und N-Tankschiffe. Die Anzahl der G-Tankschiffe wird von Experten auf etwa 50 - 70 Stück geschätzt.

Die nach dem ADNR für den Gefahrguttransport zugelassenen Binnenschiffe besitzen eine Restriktion hinsichtlich ihrer Baulänge. Für Schiffe über 110 m Länge sind „aus Sicherheitsgründen“ Sonderbestimmungen in den Verordnungen für einen sicheren Schiffsbetrieb enthalten. Der Einsatz von Schiffseinheiten über 110 m Länge ist nicht auf allen Stromabschnitten gestattet:

(Tabelle aus Kap. 5 in /21/)

Höchstabmessungen der Fahrzeuge

Ein Fahrzeug darf folgende Höchstlängen nicht überschreiten:

a)	Zwischen Basel (km 166,64) und Mannheim (km 412,35)	110 m
b)	Zwischen Mannheim (km 12,35) und Lorch (km 540,20)	135 m
c)	Zwischen Lorch (km 540,20) und St. Goar (km 556,00)	
	in der Bergfahrt	135 m
	in der Talfahrt	
	- bei Wasserständen zwischen 1,20 m und 3,50 m am Pegel Kaub, wenn das vorgeschriebene Bugstrahlruder betriebsbereit ist,	135 m
	- bei Wasserständen unter 1,20 m und über 3,50 m am Pegel Kaub	110 m
d)	Zwischen St. Goar (km 446,00) und Gorinchem (km 952,50)	110 m
e)	Zwischen Pannenerden (km 867,46) und Lekkanal (km 949,40)	110 m
f)	Zwischen Lekkanal (km 949,40) und Krimpen (km 989,20)	135 m

Gegenwärtig sind etwa 20 Binnenschiffe auf dem Rhein zugelassen, deren Länge 135 m übersteigt. Dies sind bis auf 3 Typ-C-Tankschiffe ausschließlich Containerschiffe.

8. Das Transportrisiko von Gefahrgut

8.1 Der sicherheitstechnische Risikobegriff

Im Rahmen des von der Bundesrepublik Deutschland vorgegebenen Vorsorgegebots des Staates gebietet das Gefahrgutbeförderungsgesetz (GGBefG, siehe Anhang 2) der staatlichen Exekutive „... über alle mit dem Transport gefährlicher Güter zusammenhängenden Fragen Rechtsvorschriften zu erlassen soweit dies zum Schutz gegen die von der Beförderung gefährlicher Güter ausgehenden Gefahren und erheblichen Belästigungen erforderlich ist“ (GGBefG, § 3, Abs. 1).

Es wird demnach gefordert, den Transport gefährlicher Güter sicher zu gestalten. Der angemessene Schutz von Mensch, Tier, Sachgut und Umwelt ist das erklärte Ziel.

Im Umkehrschluss wird mit der Angabe des genannten Schutzziels anerkannt, dass Zustände existieren (können), die Gefahren, die Risiken für die z.B. menschliche Gesundheit, darstellen. Es ist somit die Frage ableitbar was das Risiko ist und wie es vergleichbar gemacht werden kann.

Die ersten, klar als solche definierten Risikobewertungen entwickelten sich bereits in der Welt der Seefahrer zu Beginn des 17. Jahrhunderts. Dafür gab es den Begriff „risico“ (Klippe – die zu umschiffen war) als eine Möglichkeit der Beschreibung, einen eventuellen Verlust (am Schiff, an der Mannschaft) zu erleiden. Sehr schnell fand der Risikobegriff Eingang in die Versicherungswirtschaft (versicherbares Risiko umgesetzt in Geldwert).

Im Gegensatz zum Begriff der Gefahr, die eine unmittelbare Bedrohung bezeichnet, wird heute der Risikobegriff weiter gefasst, d.h. er ist vordergründig dann anzuwenden, wenn die Folgen ungewiss sind (in /36/ wird die Gefahr als Sachlage beschrieben, bei der das Risiko größer als das Grenzzisiko ist).

Ludwig bemerkt in /54/ im Zusammenhang mit der Risikobewertung im Bereich der öffentlich-technischen Sicherheit, dass es keinen Bereich menschlichen Daseins gibt, der als risikofrei zu bezeichnen ginge. In demokratisch verfassten Gesellschaften ist der Staat namentlich zum Schutz von Leben und Gesundheit seiner Bürger verpflichtet, ohne aber das Recht auf ein risikofreies Leben zu gewähren. Die Regelungsaufgabe des Technik- und Umweltrechts bestehe demnach darin, das „zulässige“ vom „unzulässigen“ Risiko zu kennen, indem ein akzeptables (und akzeptiertes) Grenzzisiko zu definieren ist.

Das Atomgesetz /55/ fasst die Grundsätze der Risikovorsorge wie folgt auf:

„Vom Gesetzgeber im Hinblick auf seine Schutzpflicht eine Regelung zu fordern, die mit absoluter Sicherheit Grundrechtsgefährdungen ausschließt, die aus der Zulassung technischer Anlagen und ihrem Betrieb möglicherweise entstehen können hieße die Grenze menschlichen Erkenntnisvermögens verkennen und würde weiterhin jede staatliche Zulassung der Nutzung von Technik verbannen. Für die Gestaltung der Sozialordnung muss es insoweit bei Abschätzungen anhand praktischer Vernunft bewenden.“

In der sich rasant entwickelnden Sicherheitstechnik bzw. -wissenschaft hat sich der Begriff des Risikos als das stochastische Produkt aus Schaden (K) und Eintrittswahrscheinlichkeit (H) herausgebildet (siehe Hartwig /34/ S. 21). Schön /38/ als auch Hartwig /34/ beschreiben das Risiko R als ein sich aufgrund der Gegebenheiten (mehrere Komponenten von H bzw. K) zu bildender Wert einer stochastischen Produktsumme

$$R = H \times K = \sum R_i = \sum (H_i \cdot K_i) \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Das Grenzkrisiko R_G bildet das größte noch vertretbare Risiko eines zu beurteilenden technischen Vorgangs. Es definiert die Sachlagen Sicherheit $R \leq R_G$ und Gefahr $R > R_G$. Ebenso wie bei der Betrachtung der Funktionszuverlässigkeit von Systemen oder einzelnen Bauteilen die Begriffe Ausfall- und Intaktwahrscheinlichkeit komplementär zu verwenden sind, sind Sicherheit und Gefahr zueinander komplementär und gedanklich durch das Risiko voneinander getrennt.

Eine verständliche Darstellung des Grundgedankens dieses Sicherheitsprinzips hat Hosemann in /42/ gegeben:

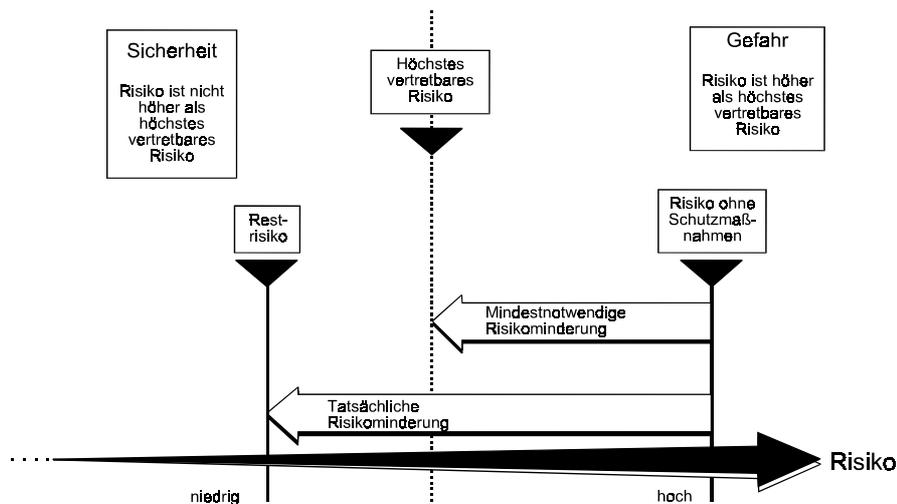


Bild 11: Darstellung von Gefahr, Risiko und Sicherheit (aus /42/)

Farmer betont in seinem Artikel über die Notwendigkeit einer ausgewogenen Risiko-beurteilung in /39/ dass (jedoch) in der Verteilung und Bewertung des Risikos auf verschiedenen Aktivitäten, auf Länderregionen und Nationen ein hohes Maß an Ungleichgewicht und Irrationalität existiert.

Differenzierte Wertvorstellungen, der individuelle Standpunkt des Bewerter zur Chance oder dem Risiko sowie das gesellschaftliche Vermögen, Risiken und Chancen überhaupt bewerten zu können, mögen das beispielhaft unterstreichen.

Unabhängig davon muss bei jeder Risikoermittlung eine eindeutige Risikodefinition erfolgen. Insbesondere die Definition des Schadens schließt, wenn sie nicht vorgängig normativ erfolgt, eine (subjektive) Wertung ein (Regeln der Relativität als Schadensbegriff). Kröger, Seiler und Georghe betonen in /40/, dass nicht sinnvoll von „Schaden“ oder „Risiko“ gesprochen werden kann, sondern immer nur von „Schaden für ...“ oder „Risiko, dass...“. Für die praktische Handhabung des Umgangs mit (sicherheits-) technischen Risiken stehen traditionell in erster Linie die (möglichen) Todesfälle, in neuerer Zeit auch Kontaminationen der Umwelt. Der deutsche Verband

der Schadensversicherer (VdS) hat den Zusammenhang zwischen Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß wie in Bild 12 dargestellt veranschaulicht.

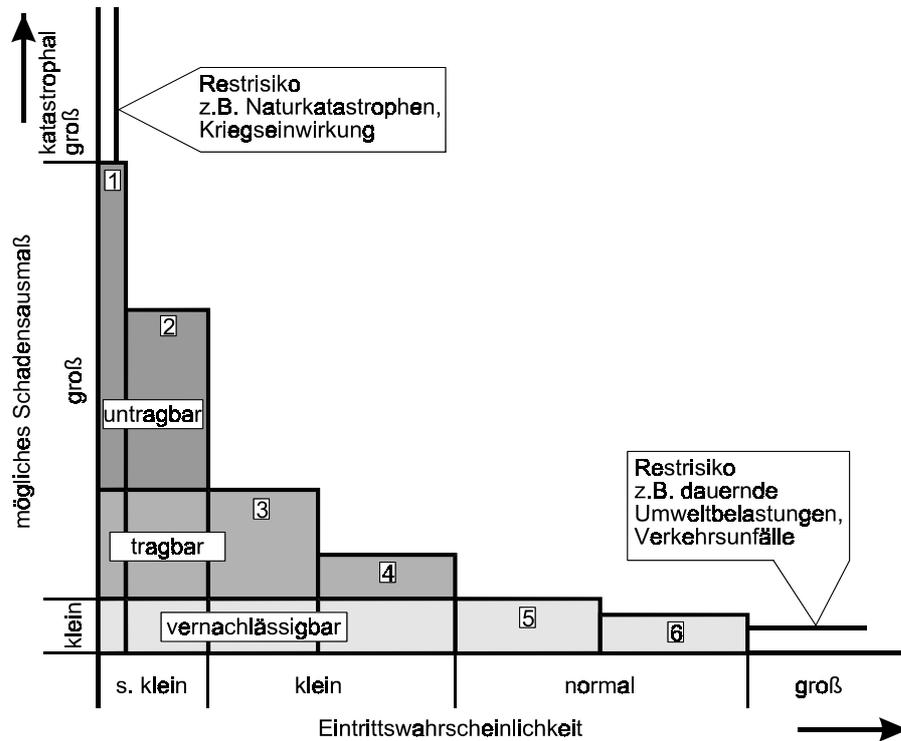


Bild 12: Risikostufen nach VdS

Die Begriffe tragbar, untragbar und vernachlässigbar sind in der Risikodiskussion neuerlich immer wieder auftauchende Bezeichnungen für die Beschreibung von Akzeptanzschwellen.

Renn spricht in /33/ über die Wahrnehmung technischer Risiken vom „rationalen“ Risiko. Dabei werden neben den klassischen Komponenten Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß auch weitere allgemein gültige Risikomerkmale thematisiert, etwa die Unsicherheiten bei der Abschätzung der beiden klassischen Komponenten, die Allgegenwart und Persistenz von Schadensauswirkungen unabhängig von ihrem Umfang oder der Möglichkeit zur institutionellen Steuerung und Begrenzung von Risiken. Die Festlegung eines rationalen Risikos ist von der Deutung und Wahrnehmung von Risiken in der Bevölkerung zu unterscheiden. Individuen, Gruppen oder soziale Organisationen nehmen zwar auch allgemein gültige Risikomerkmale auf, an der Bewertung sind aber stark subjektive Einflussgrößen beteiligt.

So werden etwa Risiken unterschiedlich bewertet, je nach dem, ob der Bewertende einen eigenen Einfluss auf die Höhe des Risikos für möglich hält oder nicht (persönliche Kontroll- und Steuerfunktion). Hier ist der Vergleich risikoreicher Freizeitaktivitäten (aktiv) mit dem Flugzeugpassagier (passiv) angebracht.

Das subjektive Risiko stellt also keine objektive Größe dar. Die Grenzen zwischen subjektivem und rationalem Risiko sind nicht eng zu ziehen.

Peters, Albrecht, Hennen und Stegelmann berichten in /47/, dass der Schock von Tschernobyl zum großen Teil auf der Empörung beruhte, dass der Unfall nicht ein rein hypothetisches Zahlenspiel geblieben war, sondern reale Auswirkungen auf die Umgebung hatte. Die Mischung von hypothetischen Risikoberechnungen und realen Gesundheitsschäden trug wesentlich zur öffentlichen Ratlosigkeit nach Tschernobyl bei. Was jahrelang in der Wahrnehmung des Restrisikos und der Schadensablaufsimulation als reine Hypothese und damit praktisch ausgeschlossen war, wurde plötzlich zur Realität.

Die deutsche Gutachterkommission für globale Veränderung (WGBU) beschäftigte sich in /48/ bei der Risikobewertung unter den Aspekten Komplexität, Unsicherheit und Doppeldeutigkeit auch mit dem Problem der Risiko-Kriterien (als Erkenntnisse) und der (gesellschaftlichen) Auffassung (Akzeptanz). Nach schwierigen Beratungen wurden folgende Risiko-Kriterien herausgearbeitet:

- Größe des Schadens (nachteilige Effekte; Tod, Verletzung, Produktionsausfall)
- Wahrscheinlichkeit des Ereignisses (Abschätzung der Frequenz der einzelnen oder kontinuierlichen Verlust-Funktion)
- Unsicherheit (Indikator für unterschiedliche unsichere Komponenten)
- Allgegenwart (definiert die geografische Verteilung von potenziellen Schäden)
- Ausdauer/Verweilzeit (definiert die zeitliche Ausbreitung potenzieller Schäden)
- Umkehrbarkeit (Möglichkeit der Restauration in den Zustand bevor sich die Havarie ereignete)
- Verzögerungseffekt (charakterisiert die Zeit der Latenz zwischen dem Initialeignis und dem aktuellen Havariezustand; die Latenzzeit kann chemischer, biologischer oder physikalischer Natur sein)
- Potenzial an Aktivierung (meint die Verletzung des Individuums, sozialer oder kultureller Werte, die soziale Konflikte generieren oder psychische Reaktionen bei Individuen oder Gruppen, welche sich den Risikokonsequenzen zugeordnet fühlen).

Insbesondere das letztgenannte Kriterium führte zur längsten Debatte in der WGBU. Deswegen wurde das Aktivierungspotenzial noch in weitere vier Hauptelemente aufgefaltet:

- Ungerechtigkeit vereint mit der Verteilung des Risikos oder des Gewinns über Zeit, Raum und Sozialstatus
- Psychologischen Stress und Beschwerden in Verbindung mit dem Risiko oder der Risikoquelle
- Potenzial für soziale Konflikte (Grad von politischem oder öffentlichem Druck von risikoregulierenden Behörden)
- Überschusseffekten, welche durch Begleiterscheinungen zu erwarten sind (hoher Symbolverlust), z.B. auf dem Finanzmarkt.

In dem für die Nutzung durch Aktionäre durch die europäische Normungsorganisation CEN erzeugten „Kompass für die Risikoanalyse“ /49/, der dem Aktionär helfen soll die Balance zwischen realem Gewinn und Kostenaufwendung gegenüber Risiken zu finden, ist zu entnehmen, dass „.... risikobasierte Entscheidungen mehr auf Politik (der Wahrnehmung) basieren als auf wissenschaftlichen Fakten“ und „... dass die Konflikte und Kontroversen um das Risiko für die menschlichen Werte oft von der Ignoranz der fundamentalen Unterscheidung zwischen Fakten und (menschlichen) Werten herrühren.“

Zu einem anderen Aspekt. Hulpke /53/ zog im Zusammenhang mit dem Risikobegriff den Freiheitsbegriff zu Rate. Freiheit ist nach seiner Definition nicht das zügellose Entfalten oder Festhalten, sondern Freiheit hat im Gegenteil stets die Pflicht, sich selbst Grenzen zu setzen. Dies bedeutet, dass auch in bezug auf die Freiheit Risiken in einem bestimmten Ausmaß akzeptiert werden müssen. Nur in einem definierten Bereich des Risikos hat die Freiheit ein Maximum. Wird weniger Risiko in Kauf genommen, so sinkt die Freiheit. Besonders bemerkenswert ist nach Hulpke, dass beim Risiko Null auch die Freiheit zu Null wird (Anm. des Autors – würde der Gefahrguttransport untersagt, existiert dann kein Risiko aber die unternehmerische Freiheit würde entfallen). Daraus schlussfolgert Hulpke, dass es kein Null-Risiko geben kann und dass falsch angelegte Risikominderungskonzepte in der Gefahr stehen, kontraproduktive Effekte zu erzeugen.

Für das Denken in weiten Systemgrenzen sei ein Beispiel genannt. Vor mehr als 10 Jahren wurde in der Bundesrepublik Deutschland der Umgang mit radioaktivem

Krypton im Sinne der Risikominderung diskutiert. Es stand die bis dahin praktizierte Freisetzung des aus der Wiederaufbereitung von Brennelementen stammenden leichten Krypton- Gases in die Atmosphäre zur Disposition. Dieses radioaktive Gas führt zwangsläufig zu einer zusätzlichen Luftbelastung. Als andere Variante wurde der Transport und der lagermäßige Einschluß des radioaktiven Kryptons in Druckgasflaschen vorgeschlagen. Aufgrund der geringen Halbwertszeit des Kryptons könnte nach dem Erreichen einer festzulegenden Schwelle die Freisetzung des Gases in die Atmosphäre mit deutlicher Minderbelastung der Luft erfolgen. Nach längeren Arbeiten am Problem wurde erkannt, dass bei Verwendung der kleinvolumigen Druckgasflaschen zwar die Strahlungsbelastung an sich gesenkt werden kann, das gesellschaftliche Risiko des Umgangs mit der radioaktiven Substanz aber gesteigert würde. Als Gründe wurden die Vielzahl der Befüll- und Entleerungsvorgänge der Flaschen, die (mangelnde) Funktionszuverlässigkeit der Flaschenventile, die zusätzlichen Gefahren bei der Fertigung der entsprechenden Druckgefäße (Stichwort Arbeitsunfälle pro geldwerter Produktion) usw. angeführt. Der alte Zustand wurde beibehalten.

G.-J. Winter schrieb in seinen „Anmerkungen zu angewandter Forschung in Grenzen“ /50/ zur Problematik der Gesamtbetrachtung technischer Systeme „... nicht dass Technologieforschung (in der Zukunft) auch nur ein Quentchen ihrer Bedeutung verlöre! Sie wird unentbehrlich bleiben wie sie ist. Aber ihr Resultat kann ad absurdum geführt werden, wird sie nicht von Anbeginn an in den gesamtsystemaren Zusammenhang gestellt, werden nicht Teilresultate ... immer wieder am Gesamtsystem gespiegelt.“

Der Weltkongress „Sicherheit moderner technischer Systeme“ verabschiedete in seiner Saarbrücker Erklärung zur technischen Sicherheit /51/ im Jahr 2001 die Forderung dass „... technische Systeme so zu gestalten sind, dass sie benutzerfreundlich und sicher im Sinne eines in der betreffenden Kultur akzeptierten Risikos genutzt werden können...“

Jaenicke /52/ schrieb: „Industriell erzeugte Probleme der Gegenwart, basierend auf Investitionsentscheidungen von gestern und den technologischen Entscheidungen von vorgestern, werden morgen auf Gegenmaßnahmen treffen, die eventuell übermorgen wirksam werden.“

Im Sinne des o.g. Vorsorgegebots des Staates soll diese Sichtweise auf den hier zu untersuchenden Transport von Chlor mit Binnentankschiffen Anwendung finden.

Ludwig hat für die Übertragung des Risikoansatzes aus Häufigkeit und Konsequenz für den Bereich des Gefahrguttransports in /54/ folgende bildliche Darstellung entwickelt:

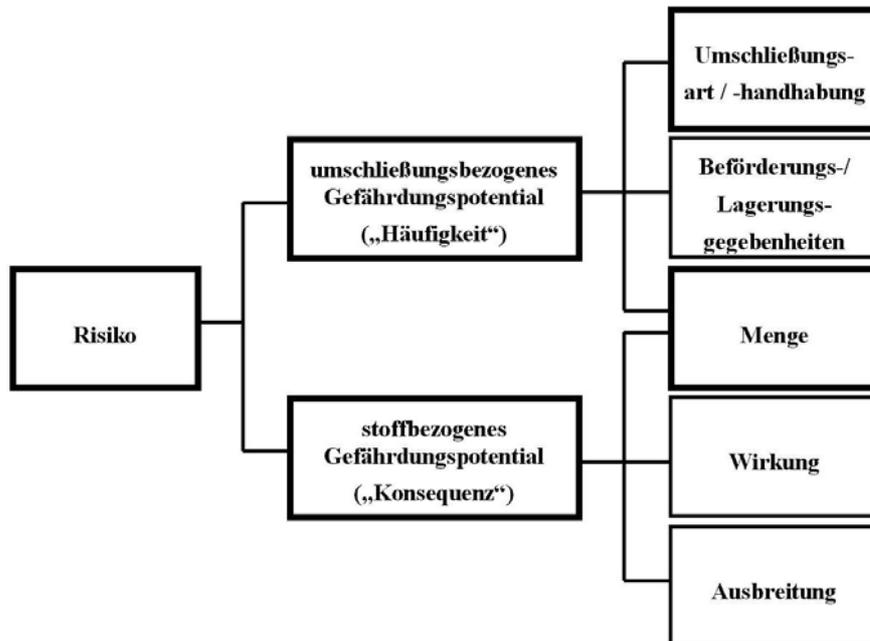


Bild 13: Prinzip der Risikoabschätzung Gefahrguttransport /aus 54/

An diesem Prinzip wird sich im Weiteren unter besonderer Analyse der Parameter Häufigkeit und Konsequenz orientiert.

8.2 Risikobeurteilung beim Transport gefährlicher Güter

Das Gefahrenpotenzial, welches beim Gefahrguttransport als einem Teil des öffentlichen Verkehrs auf den Verkehrswegen Straße, Schiene, See und Luft je Beförderungseinheit transportiert wird, liegt aufgrund der stoffinhärenten Eigenschaften über dem der anderen Verkehrsmittel. Ein Eisenbahnzug, bestehend aus 20 Kesselwagen mit je 90 m³ Benzin transportiert eine Gesamtmenge von 1800 m³ Benzin/Zug. Ein Binnentankschiff kann dieselbe Menge Benzin befördern. Bei Transportunfällen mit großen Folgen können die Auswirkungen an die Störfallgröße (Schadensereignis größeren Ausmaßes im Anlagenbereich) heranreichen (siehe Beispiele im Anhang 1). Entsprechende Meldungen über solche Unfälle richten sich fast ausschließlich nach ihrem Wert für die Medien.

Bedauerlicherweise wird kaum sachlich korrekt berichtet. Verluste von Gefahrgut infolge von Unfalleinwirkungen sind sehr häufig im Bereich des „erlaubten“ Restrisikos angesiedelt, es liegt kein Regelverstoß und auch kein Vollzugsdefizit vor. Die Gesellschaft percepiert große Unfälle stärker.

Über die soziologischen Fragen der gesellschaftlichen Risikoakzeptanz gibt es eine Vielzahl von Abhandlungen (z.B. /37/39/42/) ohne dass Lösungsansätze hinsichtlich der sachlichen Medienberichte erkennbar wären.

Erkannt worden sind aber prinzipielle Fragestellungen im Zusammenhang mit der von der Bundesregierung eingeforderten Berücksichtigung von Risiken für die Rechtsfortentwicklung (Stichwort risikoorientierte Vorschriftenentwicklung).

Die Basis gefahrgutorientierter Sicherheitsmaßnahmen bilden die stofflichen Gefahren, die ihren Niederschlag in den Klassifizierungen der Stoffe finden. Hartwig stellte in /39/ fest, dass die Klassifizierungsregeln der Gefahrgutklassen ein „fossiles Relikt“ seien, da sie ungenügend die möglichen ökologischen und toxischen Langzeitschäden berücksichtigen. Der Gefahrguttransport birgt zwar potentiell die Gefahr einer unfallbedingten Freisetzung der Gefahrgüter, aber bei dieser Freisetzung handelt es sich um eine akute, einmalige und kurzzeitige Einwirkung auf Personen, so dass die Langzeitwirkung von stofflichen Eigenschaften wie Mutagenität oder Kanzerogenität in den Klassifikationsregeln der Gefahrgüter anders gewichtet wird als bei den Gefahrstoffen im Anlagenbereich. Als Beispiel für eine durchaus sicherheitsrelevante Abweichung von den Regeln kann die lediglich aus wirtschaftlichen Aspekten heraus erfolgte Klassifikation von UN 1203, Ottokraftstoffe, in die Gefahrgutklasse 3, Verpackungsgruppe II erwähnt werden. Damit wird nur eine Tankumschließung erforderlich, die drucklosen, ventilierten Betrieb zulässt (offener Tank). Würde für das Massenprodukt Benzin, entsprechend seines Dampfdrucks bei 50 °C, ein höherwertiger Tank gefordert, würde die Freisetzungswahrscheinlichkeit aufgrund unfallbedingter Einwirkungen deutlich gesenkt werden können.

Insbesondere durch den Ortswechsel gefährlicher Güter kann es im Falle einer Freisetzung an ungünstigen Orten zu unvorhersehbaren Synergismen kommen.

In Bezug auf die Bewertung von Risiken sind in der Literatur /40/ Hinweise auf eine mögliche Erweiterung der Risikoformel $R = H \times K$ derart zu finden, dass ein Aversionsfaktor a verwendet werden kann, der damit den Schaden höher wichtet als die Wahrscheinlichkeit, indem gerechnet wird $R = H \times K^a$.

Die Sichtweise kommt dem natürlichen Verhalten von Menschen in Bezug auf Risikosituationen entgegen. Nach Erdmann /56/ verhalten sich Menschen grundsätzlich risikoavers. Sie bevorzugen diejenigen Situationen, deren Zukunft überschaubarer sind, d.h. diejenige, die mit einer geringeren Streubreite möglicher Handlungsfolgen gekennzeichnet ist, „Risikoaversion läuft darauf hinaus, eine Technologie mit einer hohen Varianz möglicher Schadens- und Gewinnfolgen erst dann als gleichwertig mit einer anderen Technologie anzusehen, wenn diese Technologie mit einem höheren Erwartungswert für den erhofften Nutzen oder - bei Beschränkung auf die Konsequenzszenarien - mit einem geringeren Erwartungswert für die befürchteten Unfallrisiken verbunden ist.“

Erdmann verweist aber auf den individuell-subjektiven Charakter des Aversionsexponenten (pattern recognition).

Die Schweizer Studie „Neue Dimensionen des Risikos“ (Binswanger, in /80/) wendet sich explizit dem infolge der Technikentwicklung (möglichen) neuen Dimension des Risikos zu, das nicht mehr von der Eintrittswahrscheinlichkeit, sondern allein vom Schadensausmaß abhängt. Die Überlegung wird übertragen auf den Vergleich zwischen einem einzigen großen Fall und einer Vielzahl von Kleinunfällen „Selbst, wenn beide Unfallsituationen im Mittel den gleichen Schaden verursachen, so werden sie doch unterschiedlich bewertet: Die Folgen eines einzigen Unfalls mit 1000 Toten werden von den meisten Menschen als schwerer beurteilt als die Folge von 1000 Unfällen mit je einem Toten“.

Diese Beurteilung scheint insofern (also der Bevölkerungsmeinung zugeordnet) praxisorientiert, als dass z.B. die deutsche Bevölkerung die konstant hohe Zahl von jährlich ca. 7500 Unfalltoten auf deutschen Straßen relativ teilnahmslos hinnimmt, wohingegen der einzelne Gefahrgut- oder Busunfall mit einigen Toten überproportional kritisch bewertet wird.

Binswanger beschreibt die Risikoaversion als einen psychologischen - gleichzeitig aber auch, wie die statistische Untermauerung zeigt, durchaus rational begründbaren - Tatbestand. Die Tatsache, dass dieser Term schwer messbar sei, dürfe nicht zur Annahme führen, dieser Term sei Null.

Besondere Bedeutung erlangt die Akzeptanz dieses „Aversionsanteils“ in Risikobetrachtungen, bei der ethische Maßstäbe, z.B. die Wirkung auf künftige Generationen (Schadensakkumulation) angesetzt werden müssen.

Ein weiterer Aspekt der Bewertung des Konsequenz-Elements liegt in der vielfachen Verwendung von mathematischen Modellen (z.B. Ausbreitungsmodelle) zur Konsequenz-Ermittlung. Ein Modell ist grundsätzlich nur eine näherungsweise Abbildung der Realität, insofern ist Simulation immer unsicher. Dies meint, dass Modellbetrachtungen oft gute Ergebnisse für die durchschnittlichen, die Hauptmerkmale des modellierten Systems liefern, für Extrema aber nur bedingt anwendbar sind.

Auch das Element Häufigkeit stellt sich nicht problemlos dar. Voraussetzung für die korrekte Ausfüllung ist auch hier die genaue Kenntnis der Situation. Diese ist jedoch in den seltensten Fällen gegeben. Werden Häufigkeitszahlen retrospektiv erfasst (z.B. Unfallzahlen) stellen sie Ereignisse aus der Vergangenheit dar, die unter den damaligen Situationen so entstanden. Üblicherweise wird davon eine Perspektive abgeleitet, von deren Ereignissituation noch keine Kenntnis vorliegen kann. Zu diesem Fehler addiert sich in vielen Fällen das Stichprobenproblem. Damit sind zwangsläufig Unsicherheiten verbunden, insbesondere bei sogenannten seltenen Ereignissen.

Eine Vertrauenserrhöhung der Ergebnisse ist durch die Nutzung theoretischer Modelle möglich.

Die Randbemerkungen zum technischen Risiko abschließend, soll noch kurz die unterschiedliche Arbeitsweise mit risikobewertenden Ergebnissen in der Bundesrepublik und z.B. den USA aufgezeigt werden. Während in Deutschland erarbeitete Risikountersuchungen (grundsätzlich) vertraulich behandelt werden und nur kleinen Kreisen von Experten zugänglich sind, die dann mit ihren Entscheidungen die Akzeptanzschwelle über die Empfehlungen zur Verordnungsvorgabe festlegen, sind in den USA auf dem Gebiet des Brennelementetransports in den Jahren 1998 – 2001 Risikountersuchungen und Bewertungen in enger Interaktion zwischen Experten und der Öffentlichkeit durchgeführt worden. Es wurde somit eine von der Öffentlichkeit tatsächlich beeinflusste gesellschaftliche Akzeptanzschwelle definiert /46/.

W.D. Rowe schrieb in /86/ zur Ermittlung von Risiken seltener Ereignisse über das „Null-Unendlichkeits-Dilemma“ und „dass jeder Fall mit eigenen Überlegungen für sich angegangen werden muss. Es gäbe keine Untersuchungsmethode, die an die Stelle der sichtbar und mit gesundem Menschenverstand vorzunehmenden individuellen Werturteile treten könne“.

Unabhängig von dem Aufzeigen einiger restriktiver Aspekte bei dem Umgang mit technischen Risiken und seiner abstrakten sicherheitlichen Bewertung, wird die

Durchführung von quantitativen Risikoanalysen als grundsätzlicher Fortschritt zu bisher teilweise zufällig gefundenen sicherheitstechnischen Bewertungen erachtet. In jedem Fall wird die Transparenz untersuchter Prozesse gesteigert und eine Kommunikation darüber gefördert. (Thoenes, H.W. in /39/).

Hartwig spricht in /34/ von der Risikoanalyse als ein „zwar sehr nützliches Werkzeug, dass man aber die Aussagekraft von solchen Analysen nicht überfordern oder überschätzen darf“, trotzdem dadurch die technologischen Interaktionen besser verstanden werden und letztlich erstmals eine integrale Sicht für die Sicherheit und das Risiko zum Tragen kommen.

9. Die Unfallwahrscheinlichkeit von Tankschiffen auf dem Rhein

Ausgehend von den unter dem vorangegangenen Kapitel dargestellten beiden Komponenten des Risikos werden im Folgenden auf dem retrospektiven Weg – der empirischen Auswertung von Transport- und Unfallstatistiken – die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Verkehrsunfällen und Betriebsstörungen auf Rhein-Tankschiffen für Gefahrgut ermittelt. Damit werden die Unfallereignisse während der eigentlichen Schiffsfahrt und die während des Festliegens (Laden, Löschen, Ankern) erfasst, die in ihrem Ansatz die Gefahr einer Freisetzung von Gefahrgut prinzipiell beinhalten. Eine qualitative Differenzierung der Unfälle in solche ohne und mit Freisetzungsfolgen (also nach der Unfallschwere) wird für die Ermittlung der Unfallrate bewusst nicht vorgenommen (siehe auch die Definition der Unfälle im folgenden Kapitel) . Eine aus sicherheitstechnischer Sicht erforderliche Bewertung möglicher, d.h. wahrscheinlich vorkommender Freisetzungsorten erfolgt im Kapitel 14.

Das wesentliche Ziel ist es, Ereigniswahrscheinlichkeiten zu bestimmen, die mit den Ereigniswahrscheinlichkeiten anderer Verkehrsträger, insbesondere denen im Forschungsbericht der Bergischen Universität Wuppertal zum Stoffzyklus Chlor, speziell zum Transport von Chlor in Eisenbahnkesselwagen, aufgeführten, vergleichbar sind, also gleiche Bezugsparameter benutzen.

Zur Verdeutlichung:

Bei (angenommenen) 60 in einem Jahr auf dem Rhein aufgetretenen Verkehrsunfällen errechnet sich bei einer Grundgesamtheit von (fiktiv) 1000 Schiffen eine Ereigniswahrscheinlichkeit von $6 \cdot 10^{-2}$ Unfällen pro Schiff und Jahr. Wird die Fahr- oder Transportleistung in die Betrachtung einbezogen – (beispielhaft angenommene) 7500000 km für alle 1000 Schiffe, so lässt sich eine Ereigniswahrscheinlichkeit von

$8 \cdot 10^{-6}$ Unfällen/Transportkilometer errechnen. Beide Zahlen sind exakt, haben aber andere Bezugsebenen und sind somit schwer zueinander ins Verhältnis zu setzen. Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die am Ende der Risikobewertung aufzustellenden Farmer-Diagramme (Faltung der Konsequenz einer Stofffreisetzung mit der Eintrittswahrscheinlichkeit ihres Auftretens) vergleichbare Aussagen über das Risiko liefern, aber es wird aus Akzeptanzgründen hier für sinnvoll erachtet, einen nachvollziehbaren, schrittweisen Vergleich mit den Untersuchungen zum Kesselwagen-Transport durchführen zu können.

Wie bereits berichtet, ist der Transport von Chlor mit Binnentankschiffen auf dem Rhein nicht erlaubt. Daraus schlussfolgert zwangsläufig, dass keine Transportmengen - und folglich keine Unfallinformationen - dazu vorliegen (können).

Da jedoch davon ausgegangen werden muss, dass sich (mögliche) Chlor-Tankschiffe in ihrem allgemeinen Verkehrsverhalten als „Beförderungseinheit Schiff“ ebenso oder in gleicher Weise wie andere Tankschiffe darstellen werden, erscheint die Analyse des Unfallgeschehens auf dem Rhein als ein probates Mittel zur Ableitung von Verkehrs- und Betriebsunfällen mit Tankschiffen, die (eventuell) Chlor transportieren.

Es wird also postuliert, dass sich ein (gedachtes) Chlor-Tankschiff auf dem Rhein allein aufgrund seiner Ladung nicht prinzipiell anders auf dem Verkehrsweg Rhein verhält als ein anderes Tankschiff – oder besser – eine andere Gefahrgut-Beförderungseinheit. Die Akzeptanz dieses Postulats ergibt sich aus den Eigenschaften des Stoffes Chlor, das eingeschlossen in eine technische Barriere – den Tank auf dem Schiff –, keine anderen verkehrstechnischen oder nautischen Bedingungen verlangt als ein vergleichbares Gas-Tankschiff (z.B. für Ammoniak). Insofern erscheint eine Analyse der „erlebten“ Verkehrssituation für die Ermittlung eines Erwartungswertes der Unfallwahrscheinlichkeit eines Chlor-Tankschiffes auf dem Rhein zielführend.

Eine restriktive Bedingung für diesen Ansatz stellt die für den Bereich der Rheinschifffahrt nicht vollständig vorliegende geeignete Verkehrsstatistik dar. Im Folgenden wird auf die in den jüngsten noch verfügbaren Datenerhebungen dargestellten Angaben abgehoben. Gleichwohl sind zur Fundierung von Annahmen, zum notwendigen Schließen von Lücken usw. eine Vielzahl von Expertenbefragungen (u.a. bei den Wasser- und Schifffahrtsdirektionen, bei Schiffsführern, bei Reedern) durchge-

führt worden, die wegen der Komplexität des Zusammenhangs ihrer Hinweise nicht immer einzeln aufgeführt werden können.

Dort, wo es möglich war, wurden die Verkehrszahlen vom Rhein über mehrere Jahre betrachtet und die Entwicklungstendenz, so denn eine ableitbar war (sonst der Mittelwert), für die Analyse herangezogen.

Einige Datensätze waren so bedeutend, dass sie als Maßstab für die Jahre genutzt werden mussten (z.B. die Flottenstruktur der Güterschiffe auf dem Rhein). Weil es im Verlauf der verkehrsreichen Abschnitte des Rheins - Mittelrhein und Niederrhein - keine Schleusenbauwerke am Fluss gibt, die zwangsläufig passiert werden müssen, fehlen für diese Bereiche entsprechende Verkehrsstatistiken. Es gibt generell keine Erhebungsstellen für die Schifffahrt in diesen Strombereichen. Im Rahmen von Sondererhebungen der Verkehrsbewegungen auf dem Rhein zur Begründung von (großen) binnenschifffahrtsbezogenen Verkehrsprojekten durch das Bundesverkehrsministerium wurden einzig im Jahr 1997 solche „Betriebsdaten“ der Schifffahrt auf dem Strom ermittelt. Diese sollen damit im o.g. Sinn als repräsentativ gelten.

Quellen der Verkehrs- oder Unfalldaten waren insbesondere

- das Statistische Bundesamt Wiesbaden,
- das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen,
- die Zentralkommission Rheinschifffahrt in Straßburg,
- der Bundesverband der deutschen Binnenschifffahrt.

9.1 Unfallanalyse

Im Gefahrguttransportbereich aller (Land-)Verkehrsträger gab es bis zum Jahr 2001 keine amtliche Statistik der Unfälle in der Bundesrepublik Deutschland (ausgenommen die Statistik über die Lagerung und dem Transport wassergefährdender Stoffe). Diverse Versuche über ordnungspolitische Vorgaben sicherheitstechnisch verwertbare Unfalldaten einzuholen, sind bisher nicht mit bemerkenswerten Erfolgen ausgegangen.

Heute gibt es im Schienen- und Straßenbereich über die erwähnten EU-Richtlinien zum RID/ADR die Pflicht der gegenseitigen Information innerhalb der EU-Länder über Gefahrgutunfälle ab einer definierten Schwere, jedoch noch nicht für den Binnen-

schiffahrtbereich. Seit dem Januar 2003 muss berichtet werden; es ist zu erwarten, dass dies für die Binnenschifffahrt auch eingeführt wird.

Dieser Situation wurde versucht, mit der Einteilung der erfassten Gefahrgutunfälle in solche mit und ohne Gefahrgutaustritt, zumindest ansatzweise, zu begegnen (siehe Unfallstatistiken Nr. 1, 2, 3 im Anhang 4).

Zur Definition der Begriffe

Verkehrsunfall:

Ein Verkehrsunfall liegt vor, wenn sich ein Unfall während der Fahrt eines Schiffes ereignet.

Betriebsunfall:

Ein Betriebsunfall ist ein Unfallereignis auf oder an einem festliegenden Schiff.

Sonstiger Unfall:

Ein Unfall, der nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Schiff steht (Zum Beispiel Sturz eines Passagiers = Freizeitunfall allgemeiner Art).

Als verwertbare Unfalldaten sind den Tabellen 1 – 3 des Anhangs 4 folgende Werte zu entnehmen:

Von 276 Schiffsverkehrsunfällen waren 171 Unfälle mit Folgen und 105 Unfälle ohne Folgen zu verzeichnen. Nach Tabelle 3 des Anhangs 4 sind davon 57 als Gefahrgutunfälle eingestuft. Dazu kommen noch 25 Betriebsunfälle. Weil sich im Sinne eines konservativen Ansatzes jeder Unfall zufällig unter Gefahrgutbeteiligung ereignen kann, wird für die weiteren Betrachtungen von der Gesamtzahl der Unfälle ausgegangen. Es sind somit insgesamt 301 Unfälle zu berücksichtigen, die potenziell als Ereignis mit möglicher Gefahrgutfreisetzung angesehen werden müssen. Die sonstigen Unfälle werden, trotz Toter und Verletzter, wegen der Nichtrelevanz zum Gefahrgutproblem, nicht betrachtet.

An den Verkehrsunfällen waren 80 Tankschiffe beteiligt, von denen wiederum 36 Gefahrgut transportierten.

Die relative Häufigkeit von Schiffsunfällen ist wie folgt für die Rheinabschnitte darstellbar:

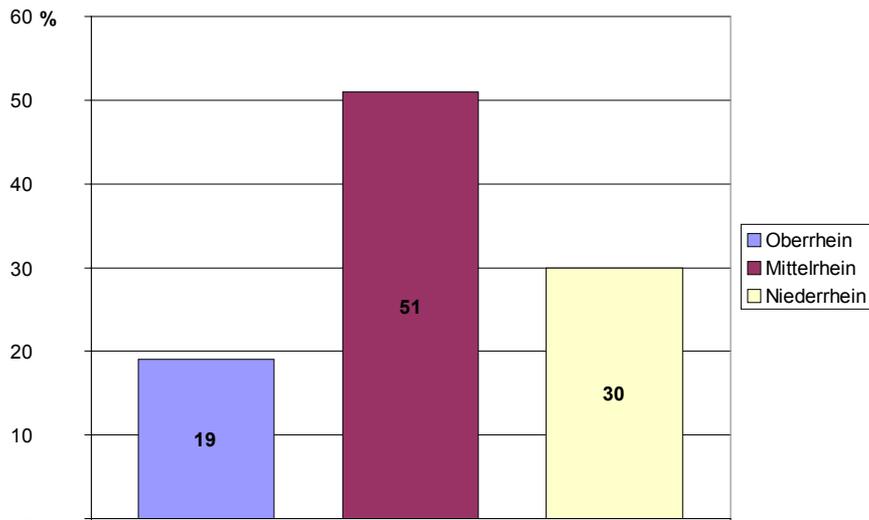


Bild 14: Prozentuale Verteilung der Schiffsunfälle auf die Rheinabschnitte

davon Tankschiffunfälle:

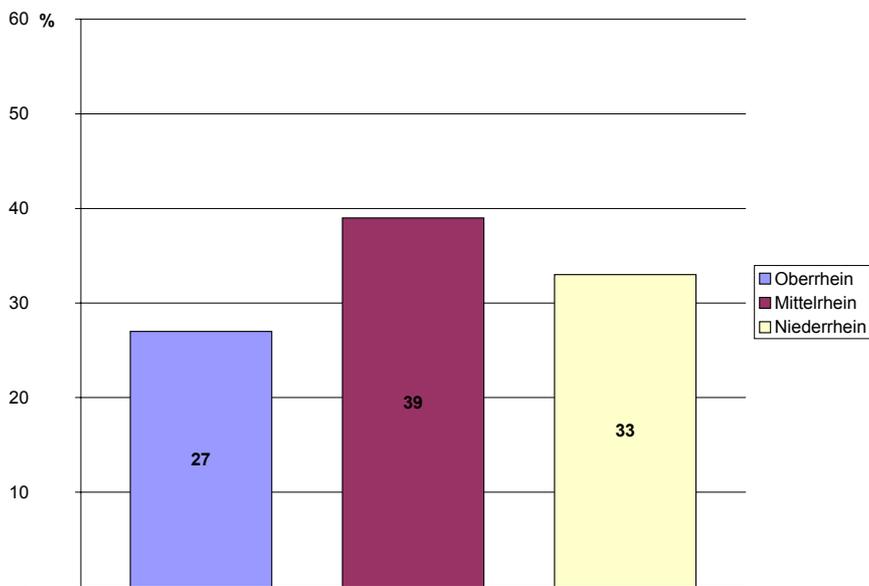


Bild 15: Anteil der Tankschiffsunfälle, bezogen auf die Gesamtunfälle

Wie auch aus Tabelle 2 und 3 des Anhangs 4 ersichtlich, waren bei den als Gefahrgut-Verkehrsunfällen registrierten Schiffsunfällen über die Jahre zwischen 2 und 8 Prozent dieser Unfälle mit Gefahrgutaustritt verbunden. Diese Zahlen werden ganz überwiegend von Gefahrgut-Tankschiffen (für die Klassen 2 und 3) bestimmt (siehe auch Tabelle 1 in Anhang 5 „Zusammenstellung der Havarien“).

Etwa 65 % der Unfälle ereigneten sich am Tag, 35 % in der Nacht.

Betriebsanalyse

Nach den Informationen der Tabelle 5/ Anhang 4 waren 1997 für den Rheinverkehr

7663 Motorschiffe

2961 Schubleichter/ Kähne

670 Schlepper/ Schubboote

Und nach Tabelle 9/ Anhang 4

734 Fahrgastschiffe, davon 525 deutsche

für den Verkehr auf dem Rhein zugelassen.

Diese Zahlen korrelieren genügend mit den diesbezüglichen Angaben der ZKR Straßburg für das Jahr 1998.

Somit waren zu dieser Zeit auf dem Rhein 11128 Schiffe mit Rheinschiffspatent und Schiffsnummer (ohne Sportboote) zum Verkehr zugelassen. Diese Zahl ist aber nur theoretischer Natur, können doch Schubleichter und Schleppkähne nicht allein am Verkehr teilnehmen. Wird angenommen, dass im Durchschnitt ein Schubboot drei Schubleichter bewegt (mindestens ein Leichter und maximal sechs Leichter erlaubt), reduziert sich die Anzahl der „Beförderungseinheiten“ auf (theoretische) 9740 frei fahrende Beförderungseinheiten.

Diese nehmen jedoch niemals alle gemeinsam am Rheinverkehr teil (Hafenliegezeiten, Reparaturen, auf anderen Wasserstraßen eingesetzt usw.).

Für die Menge an geleisteten Tonnenkilometern auf der Strecke Rheinfeldern bis zur D/NL-Grenzübergangsstelle Emmerich gibt die Tabelle 6, Anhang 4, im Mittelwert von den Jahren 1995 – 1997 40736 Mio. tkm an.

Diese Verkehrsleistung wurde zu ziemlich exakt zwei Dritteln in Bergfahrt und einem Drittel in Talfahrt erbracht (siehe dazu auch Bild 16).

BUNDESWASSERSTRASSEN

Güterverkehrsdichte der Binnenschifffahrt 1997 auf dem Hauptnetz der Binnenwasserstraßen



Bild 16: Verkehrsdichte auf dem Rhein in Berg- und Talfahrt
(Quelle: BMVBW, Abt. EW, 1999)

Über die auf dem Bild 16 erkennbaren verschiedenen Verkehrsdichten der Rheinabschnitte hinaus geben die nachfolgenden Tabellen 10, 11 und 12 die Übersichten über die Flottenstruktur der beladenen Schiffe in diesen Rheinabschnitten. Daraus lassen sich die tatsächlich entstandene Anzahl von Schiffsbewegungen („Fahrten“) ermitteln.

Tabelle 7: Flottenstruktur der beladenen Schiffe 1997

Oberrhein (von HF Dow Chemical nach HF Karlsruhe)

Größenklasse TT	Zu Berg		Zu Tal		Summe	
	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %
Motorschiffe						
Bis 400	101	1,1	290	2,6	390	1,9
401 bis 650	171	1,9	205	1,8	376	1,8
651 bis 900	500	5,4	617	5,5	1117	5,4
901 bis 1000	457	5,0	549	4,9	1006	4,9
1001 bis 1500	3047	33,1	3696	32,7	6743	32,9
1501 bis 2000	1635	17,8	1986	17,6	3622	17,7
Über 2000	2292	24,9	2792	24,7	5084	24,8
Summe MS	8203	89,2	10135	89,6	18338	89,4
Schubleichter						
bis 1500	82	0,9	89	0,8	171	0,8
1501 bis 2000	215	2,3	249	2,2	464	2,3
über 2000	697	7,6	835	7,4	1.533	7,5
Summe SL	994	10,8	1.173	10,4	2.168	10,6
Summe gesamt	9.197	100,0	11.308	100,0	20.506	100,0

Quelle: BMVBW, Abt. EW 20, /30/

Tabelle 8: Flottenstruktur der beladenen Schiffe 1997

Mittelrhein (von HF Oberwesel nach HF Oberlahnstein)

Größenklasse TT	Zu Berg		Zu Tal		Summe	
	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %
Motorschiffe						
bis 400	46	0,1	201	1,1	247	0,5
401 bis 650	1018	2,9	736	4,1	1754	3,3
651 bis 900	2501	7,2	1809	10,0	4311	8,1
901 bis 1000	1606	4,6	1059	5,8	2665	5,0
1001 bis 1500	11580	33,2	6209	34,2	17789	33,6
1501 bis 2000	5788	16,6	3054	16,8	8841	16,7
über 2000	10339	29,7	4245	23,4	14584	27,5
Summe MS	32877	94,3	17313	95,4	50190	94,7

Größenklasse TT	Zu Berg		Zu Tal		Summe	
	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %
Schubleichter						
bis 1500	377	1,1	89	0,5	467	0,9
1501 bis 2000	411	1,2	223	1,2	634	1,2
über 2000	1190	3,4	524	2,9	1714	3,2
Summe SL	1978	5,7	836	4,6	2814	5,3
Summe gesamt	34855	100,0	18149	100,0	53004	100,0

Quelle: BMVBW, Abt. EW 20, /30/

Tabelle 9: Flottenstruktur der beladenen Schiffe 1997

Niederrhein (von HF Wissel nach HF Emmerich)

Größenklasse TT	Zu Berg		Zu Tal		Summe	
	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %	Anzahl pro Jahr	Anteil in %
Motorschiffe						
bis 400	557	0,7	826	2,1	1,383	1,2
401 bis 650	2931	3,8	3528	9,0	6459	5,5
651 bis 900	8902	11,5	5628	14,4	14530	12,5
901 bis 1000	5679	7,3	3347	8,5	9026	7,7
1001 bis 1500	21062	27,2	11843	30,2	32906	28,2
1501 bis 2000	8012	10,4	6068	15,5	14080	12,1
über 2000	11960	15,5	5078	13,0	17039	14,6
Summe MS	59103	76,4	36318	92,7	95421	81,9
Schubleichter						
bis 1500	412	0,5	107	0,3	520	0,4
1501 bis 2000	748	1,0	447	1,1	1196	1,0
über 2000	17092	22,1	2325	5,9	19417	16,7
Summe SL	18253	23,6	2879	7,3	21132	18,1
Summe gesamt	77356	100,0	39198	100,0	116553	100,0

Quelle: BMVBW, Abt. EW 20, /30/

Der zusätzliche Anteil von Leerfahrten wird (nach Expertenbefragung und gemittelt über die Rheinabschnitte) mit 10 % angenommen, die Anzahl der Beförderungsein-

heit Schubschiff mit Leichtern (3 Stück) wird, wie schon ausgeführt, zur Ermittlung der Fahrtenanzahl auf ein Drittel reduziert.

Somit ergeben sich in den Rheinabschnitten

Oberrhein	20966	Güterschiffsfahrten
Mittelrhein	56241	Güterschiffsfahrten
Niederrhein	103490	Güterschiffsfahrten

Dazu wird unter angenommener Gleichverteilung die Anzahl von Fahrten der Fahrgastschiffe addiert, die in der erhobenen Flottenstruktur der Tabellen 10 - 12 nicht enthalten sind.

Fahrgastschiffahrt ist Saisonschiffahrt von Mitte März bis Mitte Oktober. Werden für die ca. 200 Tage Saisonbetrieb je deutschem Fahrgastschiff 2 Fahrten zugrunde gelegt, ergibt sich eine zusätzliche Anzahl von Schiffsfahrten, die potenziell zur Verkehrsunfallbeteiligung vorhanden sind.

Für die Fahrgastschiffahrt werden 420 Schiffe (entspricht 80 % der zugelassenen Schiffe) für den Betrieb angenommen (hohe Zahl, weil Winterzeit zur Instandsetzung genutzt wird und die Schiffe in der Saison einsatzbereit sind).

Aus dieser Betrachtung ergibt sich eine zusätzliche Anzahl von 168000 Fahrgastschiffsfahrten.

Somit erhöhen sich die absoluten Anzahlen der Schiffsfahrten:

Oberrhein	76966
Mittelrhein	112241
Niederrhein	159490

Für die Ermittlung der Unfallrate auf dem Rhein ist die Anzahl der Schiffsfahrten mit der Fahrtlänge zu verknüpfen. In /27/ S. 38 wird die mittlere Transportweite auf dem Rhein mit 200 km angegeben (damit 50 km geringer als auf den übrigen Binnenwasserstraßen). Für die am Schiffsverkehr beteiligten Fahrgastschiffe werden 30 km als mittlere Fahrtlänge angenommen.

9.2 Berechnung der Ereigniswahrscheinlichkeit Unfall und Freisetzung

Ausgehend von den ermittelten Parametern des tatsächlichen Verkehrs von Güterschiffen (unter Einbeziehung der Fahrgastschiffe) sowie der in diesem Zeitraum eingetretenen Unfälle (Verkehrsunfälle plus Betriebsunfälle) lassen sich die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Unfällen auf den drei Rheinabschnitten berechnen.

Die Basis bilden 301 Unfälle, die sich im Verhältnis 0,19 : 0,51 : 0,30 auf die Rheinabschnitte aufteilen.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit Unfall eines Gefahrgutschiffes, bezogen auf eine Schiffsfahrt (unter Beachtung der Fahrgastschiffahrt) pro betrachtetem Jahr beträgt am:

Oberrhein	$301 \cdot 0,19 / 76\,966 = 7,4 \cdot 10^{-4}$ Unfälle/Schiffsfahrt
Mittelrhein	$301 \cdot 0,51 / 112\,241 = 1,3 \cdot 10^{-3}$ Unfälle/Schiffsfahrt
Niederrhein	$301 \cdot 0,30 / 159\,490 = 5,6 \cdot 10^{-4}$ Unfälle/Schiffsfahrt

Über alle Schiffsfahrten auf den drei Rheinabschnitten zusammen ergibt sich eine mittlere Ereigniswahrscheinlichkeit (ohne Passagierschiffe) eines Unfalls von $1,6 \cdot 10^{-3}$ Unfälle/ Schiffsfahrt und Jahr.

Werden die Fahrgastschiffe entsprechend der Annahme mitberücksichtigt, so verkleinert sich die Unfallwahrscheinlichkeit auf $8,63 \cdot 10^{-4}$ Unfälle/Schiffsfahrt und Jahr. Dieses Ergebnis entspricht der erlebten Erfahrung der Fahrgastschiffahrt auf dem Rhein, dass eine Verkehrs- Unfallbeteiligung der Fahrgastschiffe erstens ein sehr seltenes Ereignis ist und zweitens bisher nur geringe Unfallfolgen zu verzeichnen waren (siehe dazu auch die Tabelle 1, Anhang 5 „Darstellung der Havarien“, es sind über 6 Jahre lediglich 4 unbedeutende Unfallbeteiligungen mit Fahrgastschiffen ausgewiesen). Daraus resultiert, dass eine Berücksichtigung der häufig verkehrenden Fahrgastschiffe die Ereigniswahrscheinlichkeit eines Verkehrsunfalls auf dem Rhein senkt.

Für die gebräuchliche Unfallrate müssen die Eintrittswahrscheinlichkeiten auf die Fahrtstrecke bezogen werden. Aus dieser Rechnung ergeben sich folgende Unfallraten auf den drei Rheinabschnitten:

Oberrhein	301U/a·0,19/ (20966·200 km+56000·30 km)	= 0,974·10 ⁻⁶ U/(km·a)
Mittelrhein	301U/a·0,51/ (56241·200 km+56000·30 km)	= 0,119·10 ⁻⁴ U/(km·a)
Niederrhein	301U/a·0,30/ (103490·200 km+56000·30 km)	= 0,403·10 ⁻⁵ U/(km·a)

Als Unfallrate auf dem gesamten deutschen Rheinabschnitt läßt sich daraus der Wert von $0,79 \cdot 10^{-5}$ Unfälle pro Kilometer und Jahr ermitteln.

In den Niederlanden wurde von Wiekema /84/ die Unfallrate für Binnen-Gefahrguttankschiffe „... mit einem schweren Schaden“ mit $3,1 \cdot 10^{-6}$ bis $3,1 \cdot 10^{-7}$ pro Kilometer und Jahr angegeben. In dem 1999 herausgegebenen niederländischen „Purple Book“ /85/ sind für die Unfallrate von Binnen-Gastankschiffen $6 \cdot 10^{-5}$ Unfälle pro Jahr errechnet worden (Anm. des Autors: die Bezugsstrecke von Kilometern fehlt in der Literatur, eventuell ein Übersetzungsmangel). In jedem Fall erscheint mit diesen ergänzenden Informationen die unter konservativen Annahmen ermittelte Unfallrate hinsichtlich der Größenordnung richtig nachgewiesen.

Folgerichtig müsste nun, dem Weg der immer größeren Detailliertheit folgend, die Berechnung der Freisetzungswahrscheinlichkeit von Gefahrgut aus Tankschiffen für Gase folgen.

Wie schon unter dem Kapitel Unfallanalyse dargestellt, sind bei den aufgezeichneten Binnenschiffahrts-Verkehrsunfällen und unter Berücksichtigung der Betriebsunfälle über die Jahre zwischen zwei und acht Prozent dieser Unfallanzahl mit Gefahrgutaustritt verbunden. Daran beteiligt sind aber auch Stückgut- Gefahrgutschiffe. Die Prozentzahlen schließen teilweise auch Freisetzungen von wenigen Litern ein (siehe Anhang 5, letzte Spalte der Tabelle Havarien). Die Ladungsverluste mit Gefahrgutmengen, die eine bemerkenswerte Konsequenz nach sich zogen, sind statistisch gesehen, nicht sinnvoll auszuwerten. Die Ereigniswahrscheinlichkeit würde mindestens um eine weitere Zehnerpotenz sinken.

Überdies waren das nach den vorliegenden Unfalldaten nur Tankschiffe, die Gefahrgut der Klasse 3, entzündbare flüssige Stoffe, beförderten. Diese Tankschiffe müssen nicht die höherwertigen Bauanforderungen der Gastankschiffe erfüllen, daraus resultiert zwangsläufig eine höhere Freisetzungswahrscheinlichkeit als bei Gastankschiffen, von denen über den Betrachtungszeitraum keine Unfallinformation mit Freisetzung vorliegt.

Es verbleibt im Sinne konservativen Herangehens die Möglichkeit, die oben ermittelten Werte für den Unfall eines Gefahrgutschiffes, bezogen auf einen Schiffskilo-

meter, um den Faktor 10 (bedeutet, dass jeder zehnte Unfall mit Freisetzung verbunden ist, was jedoch weit über der Realität liegt) zu verringern. Es entsteht die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Freisetzung von Gefahrgut der Klasse 2 von $0,119 \cdot 10^{-6}$ Unfälle mit Freisetzung/ km und Jahr für den unfallträchtigsten Abschnitt des Mittelrheins.

9.3 Ergänzende Ereignisbetrachtung

In der schon erwähnten US-Studie /32/ über einen Vergleich der Transportrisiken von sechs Chemikalien (darunter Chlor), Benzin, Flüssiggas und Explosivstoffen wird als Bezugswert für die Eintrittswahrscheinlichkeit von Gefahrgutfreisetzungen die Tonnenmeile verwendet.

Auszug aus /32/:

„This study supports the premise that the overall societal risk due to hazardous materials transportation is low, especially in comparison with other types of transportation risks encountered by the public. Averages on a per-ton-mile basis are referred to a normalized risk, this is the essential for comparing and contrasting the relative risk.“

Es wird im Sinne eines Vergleichs der Eintrittswahrscheinlichkeiten von (lasttragenden) Beförderungseinheiten ganz generell als hilfreich angesehen, wenn die Beförderungsleistung mit in die Relation z.B. zu anderen Verkehrsträgern einbezogen werden kann.

Diese Betrachtung trägt sicherlich vordergründig mehr wirtschaftliche Aspekte in sich als die Risikobestimmung aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Freisetzungskonsequenz aber sie bildet eine Möglichkeit der schnelleren Erstbewertung diesbezüglicher Fragestellungen. Zur Vollständigkeit und weil die Ableitung der Erkenntnisse anhand der vorhandenen Zahlen nunmehr einfach ist, soll dies noch ergänzt werden:

Die im Jahr 1997 als Jahresverkehrsleistung auf dem Rhein von der ZKR in ihrem Jahresbericht /22/ angegebenen $41596 \cdot 10^6$ tkm können, resultierend aus den Schiffsfahrtenhäufigkeiten und den Schiffsgrößenverteilungen auf den drei Rheinabschnitten, zugeordnet werden. Es entsteht eine Verkehrsleistungsübersicht. Diese wird der tatsächlichen Flottenstruktur der Güterschiffe (d.h. ohne 10 % Extra-Leerfahrtenanteil und ohne Fahrgastschiffahrt) für die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit bezogen auf die Tonnenkilometer zugrundegelegt. Die Aufteilung der tkm auf die Rheinabschnitte 1997 (siehe auch Anhang 4, Tabelle 10) zeigt sich wie folgt:

Oberrhein	$5028 \cdot 10^6$ tkm
Mittelrhein	$14811 \cdot 10^6$ tkm
Niederrhein	$21757 \cdot 10^6$ tkm

In dieser Darstellung fehlt die Fahrgastschifffahrt. Sie kann nicht am Güterverkehr teilnehmen und es wird keine Möglichkeit gesehen, diese Schiffsfahrten hier vernünftig zu berücksichtigen.

Da es sich jedoch bei dieser Ermittlung um Zahlen für die Grundgesamtheit handelt, erscheint eine Nichtbeachtung, d.h. Verkleinerung der Grundgesamtheit, im Sinne eines konservativen Ansatzes, gerechtfertigt.

Wird die Verkehrsleistung in Tonnenkilometer als Bezugswert für den Eintritt eines Unfalls herangezogen, so ergeben sich (ohne Fahrgastschiffe) folgende Wahrscheinlichkeiten:

Oberrhein	$301 \cdot 0,19 / 5028 \cdot 10^6$ tkm = $1,14 \cdot 10^{-8}$	Unfälle/tkm
Mittelrhein	$301 \cdot 0,51 / 14811 \cdot 10^6$ tkm = $1,03 \cdot 10^{-8}$	Unfälle/tkm
Niederrhein	$301 \cdot 0,30 / 21757 \cdot 10^6$ tkm = $4,15 \cdot 10^{-9}$	Unfälle/tkm

Anhand dieser Ergebnisse ist festzustellen, dass ebenso wie bei der Ermittlung der Unfallrate der Mittelrheinabschnitt auch die größte Eintrittswahrscheinlichkeit von Unfällen bezogen auf die tatsächlich geleisteten Tonnenkilometer besitzt. Interessant erscheint die Tatsache, dass sich bezogen auf die Tonnenkilometer im transportintensivsten Teil des Niederrheins die geringste Unfallwahrscheinlichkeit darstellt. Dies kann u.a. in der größeren Strombreite, der geringeren Fließgeschwindigkeit sowie dem im Gegensatz zum Mittelrhein (Gebirgsdurchfahrt) navigatorisch weniger anspruchsvollen Stromverlauf begründet sein.

10. Chlorfreisetzung aus dem Gastank

10.1 Allgemeine Bemerkungen

Zur Ermittlung des Erwartungswertes einer ungewollten unfallbedingten Freisetzung von Chlor aus einem Binnentankschiff werden nunmehr die typischen Versagensarten von Gastanks betrachtet.

Die Gefahrgutumschließung (der Tank) muss den im normalen Betrieb der Beförderungseinheit auftretenden statischen und dynamischen Belastungen standhalten ohne Gefahrgut freizusetzen. Diese Zielvorgabe enthalten die Gefahrgutverordnungen für alle Verkehrsträger. Ausgenommen davon sind Freisetzungsmengen, die aus evtl. vorhandenen Entgasungsöffnungen austreten. Als sicherheitstechnische Zielstellung des Gefahrgutrechts im Tankbau wird gefordert, dass die vorhandene Spannung σ beim Prüfdruck des Tanks an seiner am stärksten beanspruchten Stelle die in den Vorschriften festgelegten Werte nicht überschreitet. Diese konkrete Bauanforderung fehlt im ADNR für Binnentankschiffe, sie ist implizit in den Bauvorschriften für Gastankschiffe (III. Teil des ADNR, Kapitel 1, Rn 311 208) enthalten, wo der Verweis auf die „höchste Klasse“ der Klassifikationsgesellschaft erfolgt (siehe auch Rn 311 223). Es ist zwangsläufig davon auszugehen, dass ein Gastank auf einem für den Gefahrguttransport zugelassenen Binnentankschiff so gebaut ist, dass er im normalen Schiffsbetrieb und bei Einhaltung der betrieblichen Vorschriften das Gefahrgut sicher umschließt.

Bei Nichteinhaltung der Betriebsvorschriften und infolge von Schiffshavarien (z.B. Auflaufen, Anstoßen, Kollision) sind, entsprechend den Auslegungsanforderungen an den Gefahrguttank, Freisetzungen von Gefahrgut nicht auszuschließen. Dies wird durch die erlebte Vergangenheit bestätigt.

Im Sinne einer abschätzenden Betrachtung sind auch Sabotageakte zur gezielten Freisetzung von Gefahrgut auf die Beförderungseinheit Schiff grundsätzlich nicht auszuschließen.

10.2 Freisetzungsarten

Die an Gefahrguttanks häufigst vorkommende ungewollte Freisetzung des Inhalts erfolgt über Undichtigkeiten an den Tankausrüstungen. Diese als Leckagen bezeichneten Austritte erfolgen über die undicht (gewordenen) ersten und zweiten Absperrarmaturen, über undichte Bodenöffnungen oder über die Mannlochdeckel. Unbeständige Dichtungsmaterialien, verschlissene Ventile oder nachlässig verschlossene Deckel/ Flansche bilden die Ursache von Gefahrgutaustritten. Die Freisetzungsvolumina sind Gewöhnlicherweise klein, können aber in Abhängigkeit der Stoffeigenschaften gefährliche Situationen erzeugen. Während im Tankverkehr auf Straße und Schiene diese Undichtigkeiten längere Zeiten unbemerkt bleiben (Kesselwagen auf Abstellgleis, Tankfahrzeug in Fahrt auf der Autobahn), weil der Fahrer (insbesondere der Lokführer) keine Informationen über den Tankzustand hat, werden auf einem

Binnentankschiff (meist) zum Wachwechsel Kontrollgänge im Bereich der Ladung durchgeführt, die ein rechtzeitiges Erkennen derartiger Leckagen frühzeitig ermöglichen, so dass anschließend eine Abdichtung vorgenommen werden kann. Weiterhin wird der Schiffsführer jederzeit über entsprechende Kontrollgeräte über den Lade-tankzustand informiert (siehe Anhang 3).

Zusammenfassend scheint die Freisetzungsort Leckage auf dem Binnentankschiff besser beherrschbar als z.B. auf der Schiene. Im Forschungsbericht /4 /, in dem das Risiko des Chlortransportes mit Kesselwagen untersucht wurde, wird für Leckagen aus Kesselwagenarmaturen als eine Freisetzungsort eine Häufigkeit von ca. 45 % und für kleine Leckagen mit Armaturenleckagen ein Anteil von 70 % aller Freisetzungsort ermittelt. Da aus den oben genannten Gründen Gefahren, die aus Leckagen auf dem Binnentankschiff erfolgen, als unterhalb der zum Vergleich beim Chlortransport heranzuziehenden Eisenbahn-Kesselwagentransporte eingeschätzt werden, bestimmen diese im Weiteren nicht die im Focus stehenden Freisetzungsszenarien. Gleichwohl sind auch Ausnahmen mit großen Konsequenzen auf Binnentankschiffen bekannt geworden. So versank im Winter 2001 ein Säuretankschiff auf dem Rhein aufgrund einer Leckage an einem relativ kleinen Löschleitungsventil. Dieses havarierte Schiff besaß aber eine besondere Bauweise der Löschleitungen, die nach Vorschrift nur in den seltensten Fällen zur Anwendung kam.

Anders verhält es sich bei den Stofffreisetzungen, die während des Ladens/ Löschens eines Binnentankschiffes erfolgen können. Der Gefahr des Losreißen von Lade/ Löschleitungen während eines Umschlagvorganges auf einem Schiff in einem Stromhafen (der Fluss versucht mit der Strömung das Schiff talwärts zu ziehen) muss mit umfangreichen Sicherungsmaßnahmen begegnet werden. Es sind bisher aber keine Fälle derartig begründeter Gefahrgutschiffsunfälle/ Freisetzungen auf dem Rhein bekannt geworden.

In geschlossenen Binnenhäfen (z.B. Duisburg, Köln-Niehl, Speyer, Mannheim) ist diese Gefahr nicht gegeben. In einigen geschlossenen Häfen der Großchemie (z.B. BASF Ludwigshafen) werden speziell ausgerüstete Piers für bestimmte Gefahrgutklassen mit umfangreicher Sicherheitsausrüstung (Echtzeitmonitoring) vorgehalten. Diese Maßnahmen schließen u.a. auch aktive Gefahreneindämmmaßnahmen (z.B. Blasenvorhänge in der Hafenausfahrt) ein.

Obwohl generell die Steiger der Hafenanlagen mit automatischen Schnellschlusskupplungen und Überwachungseinrichtungen ausgerüstet sind und zudem eine Per-

son als Ladewache eingesetzt werden muss, ereigneten sich während des Ladens/Löschens Havarien mit teilweise großen Gefahrgutfreisetzung.

Entsprechend den Informationen aus der Tabelle 1 des Anhangs 4 sind für das Jahr 1999 auf dem Rhein die Schiffsunfälle (alle, nicht nur Gefahrgut) im Verhältnis von etwa 10 Verkehrsunfällen zu 1 Betriebsunfall auf oder an einem festliegenden Schiff verteilt.

Wegen der beim Fall des Ladens/ Löschens zwangsläufig gegebenen Nähe zum Ufer mit Menschen, Anlagen und Nachbar-Liegern sind ungewollte Gefahrgutfreisetzung dann vielfach mit großen Konsequenzen verbunden.

Als dritte Freisetzungsort wird der Verlust der Umschließungsfunktion des Gefahrguttanks auf einem Binnentankschiff infolge Tankversagen eingeordnet. Dieser Verlust an Umschließungsfunktion kann auf zwei Ursachen basieren - einer Einwirkung von außen oder einer Einwirkung von innen. Die Einwirkung von innen kann z.B. eine Folgewirkung einer inneren Explosion, einer rasant ablaufenden Polymerisation oder eines Korrosionsangriffs sein (also stoffbedingte Ursachen haben). Die Einwirkungen von außen können Kollisionen sein, die zum Tankversagen führen, aber auch von außen einlaufende Explosionen oder Feuerumhüllungen können Tankversagen bewirken. Im Rahmen des in der Mitte der Neunziger Jahre mit mehr als 5 Mio. € vom Bundesforschungsministerium geförderten Forschungsvorhabens THESEUS /77/ wurden auch Versagensgrenzen von Transporttanks infolge äußerer Einwirkungen untersucht. Aus den Ergebnissen ließen sich fundierte Erkenntnisse über das prinzipielle Versagensverhalten von Gefahrguttanks unter realen Unfallbeanspruchungen ableiten.

Weil Gastanks von Binnentankschiffen in ihrem Unfallverhalten keine grundsätzlichen Unterschiede zu den Gastransporttanks auf der Straße oder Schiene aufweisen, lassen sich die Forschungsergebnisse in gewisser Weise auf das Versagen von Gastanks auf Schiffen übertragen.

10.3 Unfallbedingtes Tankversagen

Mechanische Einwirkungen von außen auf einen Tank lassen sich prinzipiell in zwei Kategorien einordnen - lokal begrenzte (punktuelle) Kraftangriffe und globale, integrale Tankbelastungen. Während für die lokalen Belastungsfälle die Widerstandsfähigkeit (Durchstoßen) des Tanks unmittelbar von der Tankwanddicke und den Werkstoffeigenschaften (Zugfestigkeit und Dehnvermögen) abhängt, sind für den globalen

Belastungsfall die Tankparameter, welche die Tanksteifigkeit beeinflussen, wie Bauform und Verstärkungen, mit relevant.

Als Maß für die Ertragbarkeit von äußeren Einwirkungen hat sich in der Tank-Sicherheitsforschung das ertragbare Arbeitsaufnahmevermögen W als Wegintegral der auf die Tankschale wirkenden Kraft ($W = \int F ds$) international herausgebildet. Da es sich bei der Betrachtung von Unfällen/ Kollisionen von Transporttanks (also auch von denen, die in einem Schiff liegen) immer um dynamische Systeme handelt, wird für die Abschätzung der Tankreaktion auf die Belastung von einer (Bewegungs-) Energiebetrachtung ausgegangen.

11. Kollisionsbetrachtung von Binnen-Gastankschiffen

Wie im Kapitel „Bauvorschriften für Gastankschiffe“ ausgeführt wurde, sind Gastankschiffe zum Verkehr auf dem Rhein als Doppelhüllenschiffe mit Wallgängen und Doppelböden auszuführen (technische Details ebenda). Die Befestigung der Ladetanks im Schiff muss in Sätteln erfolgen, welche mindestens bis 20° unter die Mittellinie (Äquator) des Tanks hochgezogen sind.

Unter Beachtung diverser höherwertiger Forderungen an die Tankbefestigung im Schiff sowie zusätzlicher Energieaufnahmestrukturen zwischen Schiffswand und Ladetank (Seitenstringer, Rahmenträger) sind auch Einhüllenschiffe als Gastankschiffe zulassungsfähig. Für die weitere Betrachtung wird jedoch angenommen, dass, wenn Chlor in die Stoffliste des ADN aufgenommen würde, der Transport ausschließlich in Doppelhüllenschiffen erfolgen darf. Im übrigen darf aufgrund bestimmter Tendenzen angenommen werden, dass sich die Forderung nach der Doppelhülle zukünftig auch auf den Transport anderer Gefahrgüter ausdehnen wird (Weiterentwicklung des Standes der Technik).

Im Zusammenhang mit der beabsichtigten Veränderung der Anforderungen an die maximale Ladetankgröße von gegenwärtig 360 m^3 Ladetank werden in einer niederländischen Studie /78/ über die Sicherheitsauswirkungen bei einer Tankvergrößerung auf 550 m^3 Kollisionsbetrachtungen durchgeführt, die prinzipielle Versagenseigenschaften von Binnengastankschiffen aufzeigen. Da sich die dort angewendete Herangehensweise auf der Basis von Kollisionsenergiebetrachtungen mit der deutschen Auffassung von Versagensuntersuchungen an Tanks (THESEUS) deckt, kann im Weiteren auf das Prinzip abgehoben werden.

Konservativ stellt die 90°-Kollision von zwei Schiffen den größten anzunehmenden Unfall (GAU) dar. Wird für den Crash die Theorie des unelastischen Stoßes zweier Massen m mit der Geschwindigkeit v

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v \quad (\text{F } 1)$$

angesetzt, so ergeben sich Bewegungsenergieanteile beider Schiffe vor dem Stoß mit

$$W_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \quad (\text{F } 2)$$

und nach dem Stoß

$$W_2 = \frac{(m_1 + m_2)}{2} v^2. \quad (\text{F } 3)$$

Die Differenz dieser beiden Energien W_1 und W_2 stellt nach der Lehre der Dynamik den Energieverlust ΔW dar, der den Teil der Energie bildet, der für die Verformung der unelastischen Körper benötigt wird.

$$\Delta W = W_1 - W_2 = \frac{m_1 \cdot m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2 \quad (\text{F } 4)$$

Der Energieverlust ist gleichzusetzen mit Verformungsarbeit (Arbeitsaufnahmevermögen) die von den zusammenstoßenden Körpern (Schiffen) aufzunehmen ist. Wird dieser unfallbedingte Energieanteil im Sinne konservativer Betrachtung auf nur ein Schiff (das getroffene Gastankschiff) verteilt (während das stoßende Schiff als verformungsunfähig angesehen wird, was definitiv nicht exakt ist), lässt sich die vom Gastankschiff aufzunehmende Bewegungsenergie ermitteln. Auf diesen sicherheitsrelevanten Sachverhalt nimmt auch der Gesetzgeber (das ADNR) Bezug, in Rn 311 211, Fußnote 1, wird ein rechnerischer Nachweis gefordert, dass vom Gastankschiff bei einer Queranfahrung durch ein anderes Schiff mit gerader Bugform eine Energie von 22 MNm aufgenommen werden muss, ohne dass dabei die Ladetanks leckschlagen oder die zu den Ladetanks führenden Rohrleitungen abreißen.

Im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Kollisionsenergie von Schiffszusammenstößen hat Reckling /35/ auf die von den Schiffen im Crash mitbewegten Wassermassen aufmerksam gemacht, die während des Zusammenstoßens auch verzögert werden und damit eine Erhöhung der bewegten Massen m_1 und m_2 bewirken. Diese Annahme ist auch im TNO-Bericht /78/ getroffen worden. Demnach ist die Masse des anfahrenen Schiffes um 10 %, die des getroffenen Schiffes um 40 % zu erhöhen.

Nach /78/ wird ein Teil der als Verformungsenergie errechneten Energie nicht nur für die Verformung des angestoßenen Schiffes zur Verfügung stehen, etwa 2 % der Dissipationsenergie wird in elastische Schwingungsenergie (Längs-Biege- und Torsionsschwingungen) des Schiffskörpers umgewandelt. Dieser Anteil kann wegen Geringfügigkeit in der Betrachtung jedoch vernachlässigt werden.

Bei einem 1000 t Gastankschiff ergeben sich unter Beachtung der o.g. Annahmen folgende Kollisionsenergien:

Tabelle 10: Kollisionsenergien ausgewählter Schiffstypen

Schiffstyp	Masse [kg]	Geschwindigkeit [m/s]	Energie [MJ]
Hochgeschwindigkeitsfähre	$5 \cdot 10^5$	12	28,4
Mineralöltank-Schubeinheit	$6 \cdot 10^6$	6	21,5

Im Zusammenhang mit dem Ansatz, größere Ladetanks für LPG-Tankschiffe einzuführen /78/, wurden im Sinne der Verminderung der Freisetzungswahrscheinlichkeit der verflüssigten Kohlenwasserstoffe Entwicklungen zur Erhöhung der Kollisionssicherheit („Crashworthiness“) von Tankschiffen vorangetrieben. Durch spezielle Stützkonstruktionen (Y-Stringer) zwischen den die Ladetanks umschließenden Schiffsdoppelwänden, werden zusätzliche Verformungselemente geschaffen, die das Arbeitsaufnahmevermögen der Schiffswand im Bereich der Ladung erheblich steigern. Diese Steigerung beträgt nach dem Addendum 3 zum Bericht /78/ im konkreten Fall des untersuchten großen Gastankschiffs (2750 t) 20 MJ. Dies bedeutete im beschriebenen Fall, ausgehend von einem vorhandenen Arbeitsaufnahmevermögen baugleicher Gastankschiffe ohne Y-Stringer von 26 MJ (22 MJ müssen nach ADNR mindestens erreicht werden), mit der Verwendung von Y-Stringern ein Arbeitsaufnahmevermögen von 46 MJ für einen Schiffsanstoß in Höhe einer Tankmitte.

Im TNO-Bericht /78/ wurde als maximal auf den Rhein verfügbare Crashenergie 46 MJ, bezogen auf das erwähnte 2750 t Gastankschiff ermittelt. Dieser Bericht, der in der Bundesrepublik Deutschland, die Aussagen zur Schiffssicherheit betreffend, einer kritischen Wertung unterzogen und im Grundsatz bestätigt wurde, schlussfolgert, dass bei Beachtung aller konservativen Annahmen wie:

- mehraxiale Spannungszustände
- unnachgiebigem Eindringkörper
- Ignorierung der Tankwiderstandsfähigkeit resultierend aus der Eigenschaft des Tankkörpers und des Innendrucks

die Wahrscheinlichkeit des Tankversagens infolge Schiffskollision vernachlässigbar klein sei.

Wird für ein mögliches neugebautes Chlor-Gastankschiff die zulässige Wasserverdrängung auf eine kleinere Masse als 2750 t (siehe Beispielrechnung 1000 t) begrenzt, sinkt der Anteil der zur Verformung der Schiffe zur Verfügung stehenden Kollisionsenergie entsprechend der Theorie des Stoßes weiter erheblich ab (der Widerstand des leichteren Schiffes gegenüber dem Anfahrer ist geringer, die Systemgeschwindigkeit beider Stoßpartner nach dem Stoß wird größer). Insofern kann geschlossen werden, dass für ein nach modernen, gegenwärtig verfügbaren Schiffsbaurichtlinien, gefertigtes Chlor-Gastankschiff mit begrenzter Wasserverdrängung, die Zerstörung der Ladetanks infolge Schiffs-Schiffskollision unter den gegebenen Verkehrsbedingungen auf dem Rhein unwahrscheinlich ist.

Von dieser Bewertung abweichend sind Schiffskollisionen/ Unfallszenarien nicht auszuschließen, unter deren Bedingungen auch die Ladetanks zerstört werden können. Wenn das Chlor-Tankschiff am Kai vertäut ist und ein aus diversen möglichen Gründen (Fahrfehler, Ruderschaden) aus dem Strom kommendes Schiff die Kollision verursacht, besteht nicht die Möglichkeit der Systembewegung nach dem Stoß, d.h., in das getroffene Schiff wird in diesem Fall die gesamte (konservativer Ansatz) Bewegungsenergie des anfahrens Schiffes eingeleitet.

Der umgekehrte Fall tritt ein, wenn das Chlorgastankschiff selbst, dem Ruder nicht mehr folgend, z.B. mittschiffs auf einen Brückenpfeiler trifft. In beiden Szenarien kann die Energiebilanz das zum Schutz der Ladetanks vorhandene Arbeitsaufnahmevermögen der Konstruktion Schiffswände, Versteifungen, Tanks übersteigen und infolge der Ladetank zerstört werden.

Ein weiteres Unfallszenario mit Verlust der Umschließungsfunktion der Ladetanks ist vorstellbar, wenn ein Land-Fahrzeug ein Brückengeländer durchbricht und von oben auf ein in diesem Augenblick die Brücke passierendes Gastankschiff herabfällt.

Solcherart beschriebene Schiffsunfälle sind für den Rhein bisher jedoch nicht bekannt geworden. Gleichwohl ist die unfallbedingte Zerstörung des Ladetanks eines (gedachten) Chlortankschiffes nicht grundsätzlich auszuschließen, da unter keinen Umständen zu erwarten ist, dass zum Chlortransport auf dem Binnenschiff unfallsichere Tanks verwendet werden.

Bezüglich der errechneten Unfallrate, die mit einer möglichen Freisetzung von Gefahrgut gekoppelt war, ist im Lichte der hier gemachten Einschätzungen von einer weiteren deutlichen Verminderung der Wahrscheinlichkeit eines Tankversagens auf einem neuen Doppelhüllenschiff auszugehen. Die Wahrscheinlichkeit der Chlorfreisetzung kann nunmehr begründet mit $0,12 \cdot 10^{-7}$ pro Kilometer und Jahr angenommen werden.

12. Freisetzung infolge Sabotage

Es ist grundsätzlich nicht auszuschließen, dass Chlortankschiffe Ziel möglicher Sabotageakte (Stichwort Wirtschaftskriminalität) oder terroristischer Angriffe (Stichwort politischer Terror) sein können. Das gerade in der Gastankschiffahrt mitgeführte Potential an stoffbezogener Gefahr (explosiv und/ oder toxisch) stellt diese Schiffe als in diesem Sinn besonders zu schützende Beförderungseinheiten dar. Die Sicherung (security) von Transporteinheiten besonders gefährlicher Güter bekommt in Ergänzung zur Sicherheit (safety) besonders nach den Ereignissen des 11. September 2001 in den USA eine neue Bedeutung. Mittels terroristischer Maßnahmen sind Gefahrgutfreisetzungen aus Tankschiffen praktisch zu jeder Zeit und an jedem Ort entlang der Wasserstraße oder im Hafen möglich. Die Angriffsmaßnahmen können so gestaltet werden, dass eine Totalzerstörung des Tankschiffes erfolgt und entsprechend große Konsequenzen vorliegen.

Im Vergleich mit anderen Transporten auf der Bahn oder der Straße werden aber, bedingt durch den über die Wasserstraße vorgegebenen Fahrweg, keine erhöhten Wahrscheinlichkeiten, zumindest in bezug auf politisch ausgerichtete Terroranschläge, vermutet. Mit einem straßengebundenen Fahrzeug lassen sich bestimmte, z.B. politisch brisante, Objekte direkt anfahren. Im Bahnbetrieb gibt es viele Stillstandszeiten der Züge, mit denen zwangsläufig eine schwer kontrollierbare Manipulationszeit verbunden ist. Außerdem erscheint der Zugang zu Bahnbetriebsgeländen vom

Grundsatz her leichter möglich. Im Gegensatz dazu ist das 2- Kegel- Binnentankschiff rund um die Uhr mit Mannschaft besetzt und darf verordnungsgemäß mit anderen Schiffen und Wohnbebauung nicht zusammenliegen (Mindestabstandsregelung). Weiterhin haben die Rheinschiffahrtszentralen jederzeit Überblick über den aktuellen Schiffsstandort und können im Bedarfsfall Kontakt mit dem Schiff aufnehmen (Vorwarnungsmöglichkeit).

Zusammenfassend werden aus diesen Gründen für das Gastankschiff auf dem Rhein keine systembedingten Erhöhungen der Eintrittswahrscheinlichkeit durch Sabotage oder Terror im Vergleich mit anderen Gefahrgutbeförderungen auf den anderen Verkehrsträgern gesehen.

Bezüglich der Konsequenz eines gezielten Angriffs ist diese möglicherweise höher zu erwarten.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass im Bereich des Transportes von explosiven Stoffen auf der Straße im Rechtsbereich des ADR eine Hinwendung der EU zu dem Problem der Sicherung dieser Transporte unter dem Eindruck des 11. September mit der Maßgabe begonnen wurde, z.B. bestimmte Betriebsabläufe sicherer zu regeln (Auswahl und Zulassung von Fahrern, Inbetriebnahme der Fahrzeuge usw.). Diese Entwicklung wird auf allen Verkehrsträgern zeitversetzt fortgeführt.

13. Die Ladetanks für den Chlortransport

Die UN-Modellvorschriften, der IMDG-Code für die Seeschifffahrt, sowie die europäischen Gefahrgutvorschriften enthalten detaillierte Anforderungen an den Bau von Transporttanks sowie Tankfahrzeugen und Kesselwagen für den Transport von UN 1017 Chlor. Entsprechend den im vorangegangenen Kapitel dargestellten sicherheitstechnisch geforderten Bauanforderungen müssen Transporttanks für Chlor mindestens dem Tankcode P22DH(M) entsprechend ausgeführt sein. Dies bedeutet, sie müssen einen Berechnungsdruck von 22 bar besitzen, dürfen keine Öffnungen unterhalb des Flüssigkeitsspiegels haben (D) und müssen hermetisch (H) verschlossen sein. Die hermetische Absperrung kann dadurch erreicht werden, dass der Tank durch Blindflansche im Transportvorgang luftdicht verschlossen ist (im Verkehr auf Straße und Schiene in Europa üblich) oder dass sich Sicherheitsventile am Tank befinden, die aber durch eine Berstscheibe geschützt sind (Anforderung im Seeverkehr).

Der Prüfdruck dieser Tanks für die erstmalige und die wiederkehrenden Prüfungen liegt in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines Sonnenschutzbleches bei 19 bar (ohne) und 17 bar (mit Sonnenschutz).

Aus der Differenz zwischen Prüf- und Berechnungsdruck ist zu ersehen, dass der Gesetzgeber mit den um 3 bzw. 5 bar erhöhten Berechnungsdruck das Ziel verfolgte, eine Erhöhung der Wandstärke von Chlortanks zu erzeugen, um diesen Tanks auch gegenüber Einwirkungen von außen eine höhere Sicherheitsmarge zu geben als es für Tanks zum Transport anderer Stoffe üblich ist.

Die Größe der Tanks für UN 1017 Chlor liegt bei den „Portable Tanks“ (Tankcontainern) gewöhnlicher Weise bei 30 m³ (20“ Container) und bei den Eisenbahnkesselwagen sind in Deutschland maximal 60 m³ große Tanks zugelassen (Restriktion durch zulässige Achslasten). Im Binnenschiffahrtsbereich sind weit größere Tankvolumina für Gastanks zulässig (350 m³) und im Einsatz (z.B. für druckverflüssigte Kohlenwasserstoffe, LPG).

Diese im Schiffahrtsbereich eingesetzten Drucktanks (auch z.B. für Ammoniak) werden nach den von der Klassifikationsgesellschaft vorgegebenen Regeln gebaut. Dem Grundsatz nach greift auch die Klassifikationsgesellschaft auf die durch die Physik bzw. die internationalen Druckbehältercodes vorgegebenen Entwurfsformeln zurück. Damit entstehen Schiffs-Druckgastanks, die sich in ihren Umschließungseigenschaften, in Relation zum Volumen, denen der oben beschriebenen Transporttanks angleichen. Das heißt, als Tankmaterial wird wegen der hohen zulässigen Festigkeitswerte überwiegend Feinkornbaustahl eingesetzt. Die mindestens auszuführenden Wanddicken der Tanks hängen somit im Wesentlichen vom Durchmesser der Tanks ab.

Nach Anregungen aus dem schiffahrtstreibenden Gewerbe sollte die Größe von Chlor-Ladetanks auf Binnenschiffen im Sinne eines wirtschaftlichen Einsatzes 150 m³ betragen. Bei einem vorgegebenen Verhältnis von Durchmesser zu Länge des Tanks von 1 : 5 würde der Tank einen Durchmesser von 3,4 m besitzen. Bezogen auf die Forderung nach einem Berechnungsdruck von 22 bar und bei Verwendung von Feinkornstahl P355NL2 nach EN 10028-3 mit der Zugfestigkeit $R_m = 490 \text{ N/mm}^2$ und der Streckgrenze R_e von 355 N/mm^2 ergibt sich als Mindestwanddicke des zylindrischen Tankkörpers für den Landverkehr nach

$$e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \lambda} \text{ mit } P = 2,2 \text{ MPa} \quad (\text{F } 5)$$

$$D = 3400 \text{ mm}$$

$$\sigma = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = 1 \text{ Schweißfaktor für Gastanks}$$

ein Wert von $e=16 \text{ mm}$.

Diese Wanddicke (als Richtgröße) wäre für einen 150 m^3 Chlor-Ladetank für den Transport druckverflüssigten UN 1017, Chlor, erforderlich.

13.1 Ladetankanforderungen für Chlor, tiefkalt

Aus technischer Sicht würde die Möglichkeit bestehen, Chlor im tiefkalten Zustand, bei einer Siedetemperatur von $-34,1 \text{ °C}$ zu transportieren.

Für Chlor, tiefkalt gibt es jedoch zur Zeit keine UN-Nummer in den Stofflisten der Gefahrgutverordnungen, d.h., rechtlich gesehen darf tiefkaltes Chlor gegenwärtig auf keinem Verkehrsträger befördert werden. Für eine Veränderung dieser Situation müsste bei UN ein entsprechender begründeter Antrag auf Aufnahme einer neuen UN-Nummer gestellt werden.

Weiterhin muss festgestellt werden, dass in der Binnentankschifffahrt auf dem Rhein gegenwärtig nur ein Stoff (Ammoniak) für tiefkalten Gastransport zugelassen ist.

Entsprechend den tanktechnischen Anforderungen für tiefkalte Transporte muss der Prüfdruck solcher Tanks mindestens das 1,3-fache des höchstzulässigen Betriebsdrucks des Stoffes, jedoch mindestens 3 bar, betragen. Für Tanks mit Vakuumisolierung ist der Betriebsdruck um 1 bar zu erhöhen. Angewandt auf tiefkaltes Chlor würde bei Annahme gleicher Tankgröße und gleichen Werkstofffestigkeiten wie in der Beispielbetrachtung für das druckverflüssigte Chlor mit einem Prüfdruck von 3 bar eine Tankwanddicke von 2,1 mm rechnerisch nach der Druckformel erforderlich.

Im Verkehrsrecht wird bestimmt, dass die Tankart, bei der die geringsten Mindestwanddicken für Tanks mit einem Durchmesser größer 1,80 m zulässig sind (Tankcontainer) in keinem Fall unter 3 mm Wanddicke ausgeführt werden dürfen. Als auszuführende Wanddicke für einen tiefkalten Tank mit 3,6 m Durchmesser bei ca. 17 m Länge erscheint wegen der erforderlichen Tankstabilität eine Wanddicke von 5 mm realistisch.

Dies bedeutet im Vergleich mit der Wanddicke für den Druckgastank eine Wanddickenreduktion auf etwa ein Drittel.

Es ist bei tiefkalten Tanks aber vom Vorhandensein einer Feststoffisolierung auszugehen, wenn sie nicht vakuumisoliert ausgeführt sind. Diese Feststoffisolierung bedeckt die Oberfläche des Tanks vollständig und wirkt in jedem Fall schützend gegenüber Einwirkungen von außen.

13.2 Ausrüstungsanforderungen an Gas-Ladetanks

In der Praxis, entsprechend den Anforderung des ADNR, werden in der Gasschifffahrt die Druckgastanks geschlossen ohne Sicherheitseinrichtungen gefahren. Der Zustand der Ladetanks wird permanent überwacht. Eine Füllstandsanzeige, ein Niveau-Warngerät, eine Druckmesseinrichtung sowie eine Temperaturmesseinrichtung geben dem Schiffsführer ständig Informationen über jeden Ladetank. Bei Erreichen von festgelegten Grenzwerten wird automatisch akustischer und optischer Alarm ausgelöst (siehe auch Anhang 3).

Im Falle des Transports von tiefkalten Gasen würde wahrscheinlich die Sicherheitsphilosophie der Transporttanks der anderen Verkehrsträger auf die Binnentankschiffe angewandt werden, d.h. die Ladetanks für tiefkaltes Chlor müssten mit mindestens zwei unabhängig voneinander wirkenden Sicherheitseinrichtungen gefahren werden. Das Sicherheitsziel besteht eindeutig im Schutz des Tanks vor innerem Überdruck, wenn die Kühlung des Tanks unterbrochen wird oder die Isolierung (teilweise) versagt und es dadurch bedingt zur Drucksteigerung im Tank kommt. Dieser Grundsatz wird auf alle Tanks für tiefkalte verflüssigte Gase auf allen Verkehrsträgern vorgeschrieben und es wird kein Grund gesehen, davon in der Binnenschifffahrt abzuweichen.

An eine Kühlanlage werden im ADNR Zuverlässigkeitsanforderungen gestellt, die einen sicheren Tankbetrieb gewährleisten sollen (ADNR, Anlage 2, Rn 311 227). Die Kühlanlagen müssen redundant ausgeführt sein, im Fall des Ausfalls beider Anlagen muss die technische Möglichkeit gegeben sein, die Kühlleistung von einer vom Schiff unabhängigen Anlage einspeisen zu können. Weiterhin müssen die Tanks, die Rohrleitungen und das Zubehör so isoliert sein, dass beim Ausfall aller Kühlanlagen die Ladung mindestens 52 Stunden lang in einem Zustand bleibt, bei dem die Sicherheitsventile nicht öffnen.

Es sei angemerkt, dass diese Anforderungen nicht generell für den Transport tiefkalter Gase gelten, da gegenwärtig zum Transport nur Ammoniak zugelassen ist. Die oben beschriebenen Kühlanlagen dienen dem gekühlten (nicht tiefkalten) Transport anderer Stoffe. Es sind aber Anforderungen, die aus sicherheitstechnischer Sicht in

ihrer Gänze so zuverlässig erscheinen, dass sie auch auf einen möglichen tiefkalten Transport von Chlor Anwendung finden könnten, eine entsprechende Kühlleistung vorausgesetzt.

14. Die Freisetzung von Chlor aus Transporttanks

14.1 Die Freisetzung aus Druckgastanks

Der Verlust der Umschließungsfunktion eines Druckgastanks für Chlor kann theoretisch in drei Schädigungsarten unterschieden werden:

- Der Tank wird beschädigt im Bereich der Gasphase
- Der Tank wird beschädigt im Bereich der Flüssigphase
- Der Tank versagt großflächig über beide Phasen (Totalverlust).

Der Dampfdruck in einem Chlorgastank liegt bei Umgebungstemperaturen von 20 °C bei 6,73 bar (absolut). Bei einem zulässigen Füllgrad von 1,25 kg/l würden in dem angenommenen 150 m³-Tank 187500 kg Chlor vom Tank aufgenommen werden können. Resultierend aus der Dichte von Chlor bei 20 °C von 1,409 kg/l würde ein Gasraum von 16900 Litern entstehen. Bei einem Tankversagen (bedingt durch lokale Einwirkung von außen) in diesem Gasraum würde das verdichtete Gas dem Tank entweichen und sich bei dieser gedrosselten Entspannung abkühlen (Joule-Thomson-Effekt). Bedingt durch den als „Gasfeder“ bezeichneten Druckraum im Tank wird der Tank nach vorliegenden Erkenntnissen über das Tankversagen von Gastanks nicht nur lokal beschädigt bleiben bis sich der Tankinnendruck dem Außendruck angeglichen hat, sondern der Tank wird, ausgehend von der lokalen Schädigungsstelle, aufreißen, d.h. großflächig versagen und den gesamten Tankinhalt freisetzen. Der Grund für dieses Verhalten liegt in einem Überschreiten der Werkstofffestigkeit der Tankschale an der lokalen Versagensstelle aufgrund der durch die „Gasfeder“ zeitlich weiter vorhandenen Expansionsenergie (im Gegensatz zu einer unter Druck stehenden inkompressiblen Flüssigkeit, bei der nach Volumenvergrößerung der Druck sofort sinkt). Qualitativ begünstigt wird das Tankversagen zusätzlich noch durch die Gasabkühlung in Bezug auf die sinkenden Werkstoffeigenschaften der Tankwand. Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass bei einer Tankwandpenetration am Druckgastank mit einer spontanen Freisetzung des gesamten Tankinhalts zu rechnen ist.

14.2 Die Freisetzung aus dem tiefkalten Tank

Bei - 34,1 °C liegt im Chlortank ein absoluter Druck von 1,013 bar vor. Praktisch besteht damit keine Druckdifferenz zur Tankumgebung, der Tank ist drucklos. Wird die Tankwand in der Gasphase penetriert, würde bei unverletzter Tankisolierung zumindest über ein bestimmtes Zeitintervall bis ein Wärmeeintrag in den Tank erfolgt, dem Tank nahezu kein Chlor entweichen. Würde die Tankpenetration im Bereich der Flüssigkeitsphase geschehen, strömt das flüssige Chlor lediglich unter dem Einfluss der Schwerkraft, ähnlich dem Wasser welches aus einem Loch aus einem Eimer fließt, aus. Dieser Vorgang wird mit etwa zeitkonstantem Volumenstrom ablaufen bis die Lochhöhengrenze erreicht ist (der Flüssigkeitsspiegel sinkt kontinuierlich ab, der statische Druck der Flüssigkeitssäule sinkt, gleichzeitig nimmt die Wärmekapazität des Tanks auch ab, d.h. die in den Tank einströmende Wärme erzeugt eine leichte Temperaturerhöhung).

Als Fazit ist festzustellen, dass eine penetrierende Einwirkung auf den tiefkalten Chlortank wenn der Tank nicht vollständig versagt, nicht zwangsläufig zur Freisetzung des Gesamtinhalts führen muss wie dies beim Druckgastank geschieht. Die Freisetzungsmenge ist bei Penetration des tiefkalten Tanks in der Flüssigkeitsphase eine Funktion der Zeit. Wird der Tank in der Gasphase penetriert, erscheint zumindest theoretisch, eine temporäre Abdichtung des Lecks, denkbar.

Im weiteren Ablauf der Betrachtungen wird nur der Transport von druckverflüssigtem Chlor stehen. Diese Transportart entspricht dem gegenwärtigen Stand im weltweiten Gefahrguttransport. Der wahrscheinlich sicherheitstechnisch höherwertige tiefkalte Transport gehört wegen o.g. Gründe (keine Rechtsgrundlage, keine entsprechende UN-Stoffnummer) in den Bereich „future work“.

15. Ausbreitung von Schwergaswolken

Die Ausbreitung von gasförmigen, toxischen Stoffen hat in der Vergangenheit schon zu einer beachtlichen Anzahl von Ereignissen mit schwerwiegenden Konsequenzen geführt /68/. Dabei kommt der Ausbreitung schwerer Gase eine besondere Bedeutung zu.

Grundsätzlich sind zur Gefährdungsbeurteilung von Gasaustritten folgende Teilabschnitte der Gasbewegung von Bedeutung und im Einzelnen zu bewerten:

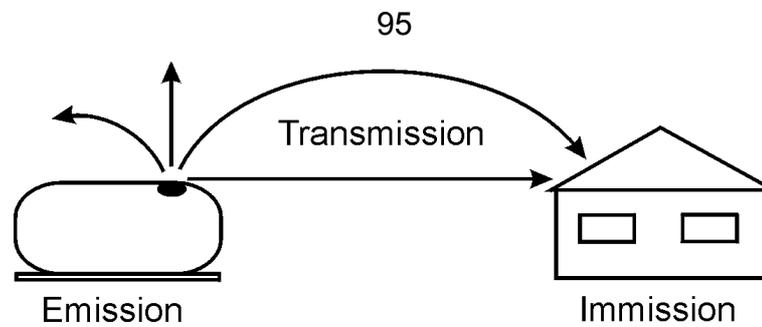


Bild 17: Gas-Ausbreitungsszenario, prinzipiell

Die Ausbreitung schwerer Gase ist mit der Ausbreitung dichteneutraler oder leichterer Gase in bezug auf Luft nicht vergleichbar. Die Schwergaswolke besitzt eine ausgeprägte Eigendynamik, eine turbulente Vermischung mit der Umgebungsluft wird wegen des Dichtesprungs am Wolkenrand behindert. Fehlende (negative) Auftriebskräfte bewirken eine flache, bodennahe Schicht der Schwergaswolke. Den Haupteinfluss auf die Schwergaswolke hat die Gravitationskraft. Hartwig stellt in /67/ das Schwergas als Fluid dar und bemerkt, dass Fluide mit verschiedenen Dichten zu Schichtungen neigen. „Ob zwei Fluide Schichtungen bilden (Fluid wird hier als gemeinsamer Oberbegriff von Flüssigkeit und Gas verstanden) hängt von gegeneinander wirkenden Einflüssen ab. Die Schwerkraft bewirkt eine Schichtung, Strömung verbunden mit Turbulenz, versucht diese Schichtung auszugleichen. Es hängt natürlich von der Stärke der Turbulenz ab, wie schnell so eine Schichtung aufgehoben werden kann.“

Unter dem Einfluss der Schwerkraft „fließen“ im fluiddynamischen Sinn Schwergase entlang des Bodens. Bodensenken werden ausgefüllt, d.h. die Luft wird verdrängt (deswegen existieren Befahrverbote von flüssiggasbetriebenen Fahrzeugen in Tiefgaragen). Schwergase können sogar, bei nicht zu hohen Windgeschwindigkeiten, gegen den Wind fließen, wenn die orografischen Verhältnisse danach sind /67/. Aus der gleichen Quelle stammt auch die folgende Übersicht, die sicherheitstechnisch wichtige Schwergaseigenschaften aufzeigt:

- | | |
|---------------------------|---|
| eher statische Phänomene | - Auffüllen von Bodensenken |
| | - Auffüllen von Kellern |
| | - Bildung von beharrenden Schwergasseen |
| eher dynamische Phänomene | - Fließen entlang von Bodenrinnen |
| | - Fließen mit oder gegen den Wind |
| | - Dämpfung der Turbulenz |
| | - Vortexbildung bei Freisetzung |
| | - Retardierte Verdünnung |

Die Ausbreitung einer Schwergaswolke enthält aufgrund der großen Anzahl von Einflussparametern viele Unwägbarkeiten. Flothmann / in 57/ erwähnt, dass die Freisetzungshöhe ein weiterer wichtiger Parameter sei, da die Atmosphäreinflüsse mit der Höhe steigen. Insbesondere kontrolliert die Grenzschicht zwischen der Gaswolke und der Umgebungsluft die Ausbreitung. Grundsätzlich können Schwergaswolken auseinanderbrechen, d.h. sich in zwei oder mehrere Schwergasarme aufteilen. Für die Ausbreitung der Wolke spielt der Wärmeeintrag eine wichtige Rolle. Die Wärme wird durch Konvektion, durch Strahlung und Turbulenzen aus der Atmosphäre, vom Boden durch Diffusion und vom Wasser hauptsächlich durch Konvektion übertragen. Besonders die letztgenannten Bedingungen, Schwergaswolke über fließendem Wasser, sind kompliziert zu beschreiben. Dies trifft insbesondere zu, wenn kaltes Schwergas auf die Wasseroberfläche trifft. Wenn davon ausgegangen wird, dass plötzliches Tankversagen mit 2-Phasenbildung existiert, kann Filmsieden eintreten, gekoppelt mit einer möglichen Eisbildung wird der Wärmeübertrag Wasser/Gaswolke limitiert und sich ein retardierender Zustand einstellen. Zusammenfassend ist unter anderem durch den unterschiedlichen Wärmeeintrag in die Gaswolke die Schichtung innerhalb der Wolke begründet. An der Oberseite der Gaswolke stellen sich an der Grenzschicht Wolke/Luft instabile Zustände ein, die durch interne Turbulenzen der Wolke generiert werden. Besonders an der Wolkenoberfläche setzt zudem die Gaskondensation ein.

Für die Erkenntnis der Phänomene der Schwergasausbreitung auf dem Wasser wurden Anfang der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts weltweit verschiedene Großversuche durchgeführt. Hervorzuheben sind davon die „maplin sands experimente“, an der Atlantikküste Englands. Dort wurde tiefkaltes LPG (liquefied petroleum gas) auf die Meeresoberfläche verteilt und die Schwergaswolken beobachtet. Auf dem China-Lake in Kalifornien, USA, wurde verflüssigtes Erdgas als Versuchsgas eingesetzt. Informationen über Ausbreitungsart, -höhe und Dichte sowie Luftaufnahmen der Gaswolken enthält /58/. Beide Versuche zeigten die schon erwähnten, boden(-seewasser)nahen Wolkenbildungen. Obwohl diese Ausbreitungswolkenform den allgemeinen Erwartungswerten entspricht, zeigt Jones in /69/ die Möglichkeit der temporären Ausbildung umgekehrt glockenförmiger Ausbreitungswolken (sog. engl. „burts“) auf.

Zwar konzentriert sich die Dichte der Schwergaswolke auch hierbei um eine gedachte Mittelachse der Wolke, jedoch ist diese Achse vertikal ausgerichtet, bis sie der Schwerkraft und eventuellem Wind folgend, sich der Horizontalen zuneigt. Gabbard zeigt in /70/ am Beispiel des Ammoniak-Unfalls von Houston/ Texas im Jahr 1976 solch unerwartete Gaswolkenformen, die relativ exakt dokumentiert wurden:

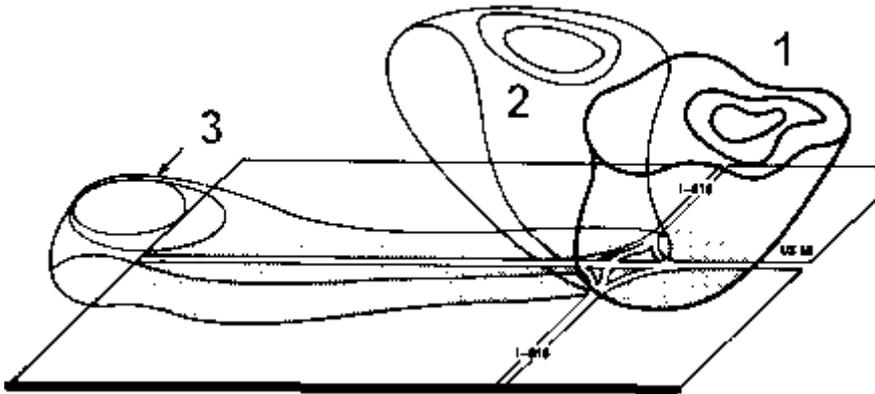


Bild 18: Glockenförmige Ausbreitungswolken (bursts) 1,2,3 zeigen die zeitliche Entwicklung (aus: /70/)

„Für schwere Gase sind in erster Linie Auftriebseffekte, Reibungseffekte und Durchmischungsvorgänge (interne Turbulenzen) für das Verhalten einer Schwergaswolke zu berücksichtigen Es wird im Weiteren davon ausgegangen, dass die Veränderung der Gestalt der Quelle vom Auftrieb und der Reibung am Boden beim Auseinanderfließen bestimmt sind und dass dieser Vorgang in kürzeren Zeiten abläuft als die turbulente Diffusion“ /57/.

Tieferegehende Behandlungen der Problematik Schwergasausbreitung sind u.a. zu finden in /57, 58, 59, 60, 62, 65, 67, 68/.

16. Ausbreitungsmodelle

Für die Ermittlung der Erwartungswerte von Gasausbreitungen in der Atmosphäre wurden eine Vielzahl von Ausbreitungsmodellen entwickelt, die sich in ihrem Inhalt und ihrer Ausrichtung an der zu lösenden Aufgabe orientieren. Ein Ausbreitungsmodell zur Gefahrenabschätzung einer (geplanten) Chemieanlage besitzt andere Zielgrößen als ein Ausbreitungsmodell, welches von Notfallkräften eingesetzt wird, um zeitkritische Entscheidungen für die Evakuierung von Menschen zu ermöglichen. Im

letzten genannten Fall muss die „Berechnung“ der Gaswolkenausbreitung schneller erfolgen als die Ausbreitung selber.

Für den Fall der Ausbreitung toxischer Gase fordert Andrews /43/ generell ein Konsequenz-Modell. Dieses muss den Mechanismus des Transports (Transmission) zu den betroffenen Flächen mit der Kontaktmöglichkeit für Menschen, die Anzahl potenziell betroffener Personen und die Gesundheitskonsequenzen für variable Belastungsniveaus (Immissionsverhalten) beschreiben.

Das Ziel besteht darin, die raum- und zeitabhängige Konzentration des Gases innerhalb des Ausbreitungspfades zu bestimmen und seine Wirkung abzuschätzen.

Insofern sind generell folgende Einflussgrößen zu berücksichtigen:

- Art und Größe der Freisetzung (Masse und Energiestrom)
- Umgebungsbedingungen
 - orografische Struktur des Geländes
 - meteorologische Situation (Temperatur, Wind)
- Bevölkerungsdichte
- Konsequenzminderungsmaßnahmen (Flucht, Schutzmöglichkeiten).

Mit dem Wissen aus der Ausbreitungsanalyse lassen sich mit Hilfe von bekannten Dosis-Wirkungs-Beziehungen Auswirkungsberechnungen durchführen.

Wird diese Auswirkungsanalyse verknüpft mit den wahrscheinlichen Erwartungswerten des Eintrittsfallens von Gas-Freisetzen in die Atmosphäre, lässt sich das Schadensmaß, das Risiko, der so betrachteten Gasemission für die Gesundheit der Bevölkerung ermitteln.

Hartwig schreibt dazu in /57/: „Das Problem dabei liegt nicht im Wissen um die Vorgänge, sondern in der hohen Zahl der unterschiedlichen Parameter und unterschiedlichen Einflüsse und ihrer Interaktion. Diese sind so vielfältig, dass Vereinfachungen erforderlich sind.“

/39/ enthält die Darstellung von zwei international bekannt gewordenen Risikoanalysen unter Einbeziehung von Ausbreitungsrechnungen für Schwergas – die Canvey Island und die Rynmond-Studie. Während die Canvey Island Studie das Ziel hatte, eine mögliche Ausbreitung von 1000 t Ammoniak in der Nähe Londons bezüglich des Risikos für die Bevölkerung zu untersuchen, ging es bei der Rynmond-Studie um die

Untersuchung der Eignung der Methode am realen Beispiel einer 400 t-Chlorfreisetzung im Rheindelta Rotterdams. Beide Untersuchungen hatten wesentlichen Einfluss auf die Ausrichtung und Präzisierung von Schwergasausbreitungsmodellen.

Für die Ausbreitungsrechnung in der schon erwähnten und als Vergleichsmaßstab für die vorliegende Arbeit heranzuziehenden Risikobewertung des Chlortransports mit der Eisenbahn in der Bundesrepublik wurde von Hartwig /34/ das Schwergasmodell DEGADIS verwendet.

Dieses Modell berechnet den zeitabhängigen Konzentrationsverlauf der Chlorwolke $c = (x, y, t)$ bei Berücksichtigung des zeitabhängigen Freisetzungsmassenstromes und des Quellradius, der Oberflächenrauheitslänge, der Windgeschwindigkeit und der atmosphärischen Stabilitätsklasse. Daran schloss sich in der erwähnten Forschungsarbeit die Berechnung der resultierenden Dosis in radialer Entfernung um den Freisetzungsort anhand der Dosisfunktion unter Verwendung der o.g. Konzentration $c = (x, y, t)$ nach

$$D(x, y, t) = \int_0^t (C(x, y, t))^n dt \quad \text{mit} \quad (F 6)$$

D = Dosis

C = Konzentration

n = Dosisexponent Chlor

t = Expositionszeit

an.

Diese Schritte wurden für 9 Windgeschwindigkeiten, 36 Windrichtungen und 6 Stabilitätsklassen je Freisetzungsort variiert. Unter Beachtung der Häufigkeitsmatrix für unterschiedliche Wettersituationen am Betrachtungsort und der Bevölkerungszahlen in radialer Freisetzungsentfernung wurde die van Heemst-Probitfunktion (siehe Kapitel 3) zur Berechnung der Zahl der Todesopfer in radialer Entfernung zum Freisetzungsort als Funktion der berechneten Dosis genutzt.

Mit dieser Vorgehensweise war es möglich, die Auswirkung von Chlorfreisetzungen für die Bevölkerung entlang der betrachteten Eisenbahnstrecken in Deutschland zu ermitteln.

In der sehr differenziert durchgeführten Analyse wurden von Hartwig und Klumpe verschiedene Quellterme des Chlors (z.B. vom Dichtungsversagen über kleine

Tankleckagen bis zum ganzheitlichen Tankversagen) am Eisenbahnkesselwagen berücksichtigt /79/.

Für den hier behandelten Fall der Auswirkungsbetrachtung von Chlorfreisetzungen aus einem Druckgastank eines Tankschiffes auf dem Rhein wird mit einem Verweis der Begründung auf Kapitel 10.2 nur der „worst-case“, das komplette Tankversagen betrachtet.

17. Auswirkungsberechnung

Für die Untersuchung des Risikos des Eisenbahntransports mit Chlor wurden in /79/ auf dem Gebiet der (alten) Bundesrepublik 96 Eisenbahnstrecken ausgewählt. Mit dem Ziel eines Vergleichs von Chlorfreisetzung aus Kesselwagen und Ladetanks von Tankschiffen werden gerade die Eisenbahnstrecken zum Vergleich herangezogen, die sich in ihrem Verlauf dem Stromverlauf des Rheins am weitesten nähern, teilweise in unmittelbarer Flussnähe parallel zum Strom verlaufen. Der Rhein könnte also aus logistischer Sicht durchaus als äquivalenter Verkehrsweg für den auf den rhein-nahen Eisenbahnstrecken erfolgten Chlortransport gelten.

Mit dem oben gemachten Ansatz können einige der erwähnten Einflussparameter auf das Ausbreitungsszenario einer Chlorausbreitung als etwa gleich angesehen werden und brauchen somit für eine Vergleichsbetrachtung nicht besonders ermittelt werden.

Das trifft auf die überwiegend vorherrschende meteorologische Situation am Ausbreitungsort zu.

Tabelle 11: Die im Forschungsbericht /79/ untersuchten Eisenbahnstrecken

Nr.	Strecke
89	Kenzingen – Karlsruhe
86	Karlsruhe – Graben
80	Graben – Mannheim
77	Mannheim – Biblis
76	Biblis – Mannheim
69	Groß Gerau – Mainz
64	Mainz – Neuwied
53	Neuwied – Köln – Kalk

- 49 Köln Ost lokal
- 43 Köln – Oberhausen
- 37 Oberhausen – Vahnum

liegen im Durchschnitt nicht weiter als 10 km vom Stromverlauf des Rheins entfernt. Die für die o.g. Eisenbahnstrecken im Jahresmittel angenommenen meteorologischen Situationen entsprechend der in /79/ ermittelten Häufigkeitsmatrix können somit auch für die Rheinschiene angenommen werden.

Eine Besonderheit stellt die orografische Struktur des Geländes am Ausbreitungsort auf dem Rhein dar. Es erscheint sinnvoll, für die Wasseroberfläche des Rheins im Ansatz von der gleichen Rauigkeitslänge von $R = 10^{-4}$ m (0,01 cm) auszugehen, wie das bei der Modellierung der Ausbreitung entlang der Eisenbahnstrecken in /79/ auch getan wurde. Diese Rauigkeit entspricht sehr glatten Oberflächen (vergleichbar Schnee).

Wenn, wie nach Bild 9 (Schifffahrtsprofil des Rheins) ersichtlich, die Fahrrinnenbreite des deutschen Rheinteils von ca. 90 - 150 m bei GLW festgelegt ist, kann nach Information der Wasser- und Schiffahrtswest davon ausgegangen werden, dass die Breite der Wasseroberfläche (Fahrwasserbreite) im Mittel am Oberrhein 200 m, am Mittelrhein 400 m (Rheingau bis 800 m) und am Niederrhein 400 m beträgt. Aufgrund der Tatsache, dass Wasser immer in einer Rinne fließt (bei Hochwasser am Strom wird diese „Rinne“ breiter bis eine entsprechende Begrenzung –der Deich- auftritt, bei Hochwasser ist aber die Gefahrgutschiffahrt unterbrochen) ist grundsätzlich am Rande - dem Ufer des Stromes - von einer Böschung auszugehen.

Wie schon im Kapitel 15 „Ausbreitung von Schwergaswolken“ dargestellt, besitzen die am Freisetzungsort schwerer Gase vorherrschenden orografischen Verhältnisse große Bedeutung für die Ausbreitung der Schwergaswolke. Gerade in Bezug auf das zu untersuchende Szenario - Ausbreitung von Chlor hoher Konzentration auf dem Rhein - müssen deshalb die dort typischen, in unmittelbarer Flussnähe gegebenen Verhältnisse in die Betrachtung einbezogen werden.

Die orografischen Verhältnisse sind dadurch gekennzeichnet, dass der Fluss mit einer geringen Hangneigung talwärts in einer durch die Ufer begrenzten Rinne fließt. Bei einem die Ufer übersteigenden Wasserstand des Flusses wird die Wasseraus-

breitung und folglich auch die Schwergaswolkenausbreitung seitlich durch die „Eindeichung“ des Flusses verhindert.

Nach Informationen des Bundesamtes für Wasserbau in Karlsruhe hat der deutsche Teil des Rheins eine Böschungshöhe (unterteilt in Deiche und Dämme) an beiden Rheinseiten von $H \geq 3$ m bezogen auf den höchsten schiffbaren Wasserstand (HSW).

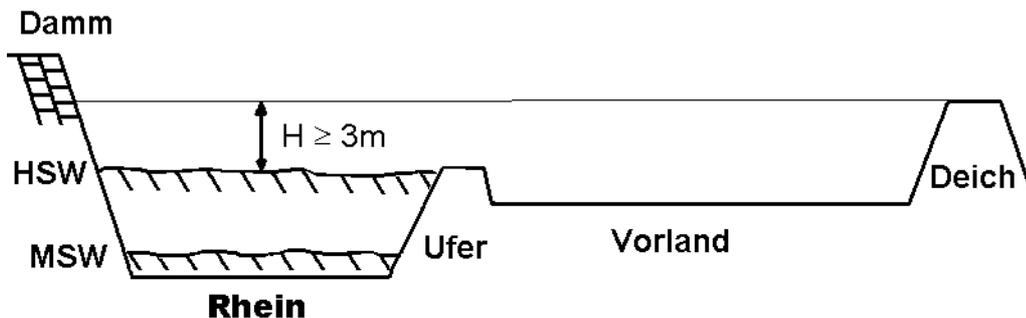


Bild 19: Prinzipdarstellung des Rhein-Hochwasserschutzsystems

Es existieren entlang des Flusses aber einige Bereiche, herausragend sind dafür die Städte Köln und Bonn zu nennen, in denen die 3 m Schutzhöhe bei HSW nicht erreicht wird (Köln 0,7 m, Bonn 1,5 m).

Der Wasserstand HSW wird in Jahresdurchschnitt lediglich an 5 - 10 Tagen/Jahr erreicht. Dies bedeutet, dass dieser Zustand an weniger als 3 % der Zeit eines Jahres zu erwarten ist und deshalb als vernachlässigbar anzusehen ist.

Führt der Rhein Normalwasser, wird vom mittleren schiffbaren Wasserstand (MSW) gesprochen. Dieser mittlere Wasserstand liegt entlang des Flusses um 3 - 7 m unter dem HSW, an den o.g. kritischen Ortslagen Köln und Bonn ist von nur 3 m Differenz auszugehen. Dies bedeutet aber, dass auch dort in Köln bei MSW ein seitliches wasserdichtes Hindernis von 3,70 m und in Bonn von mehr als 4 m Höhe vorhanden ist.

Im modelltechnischen Sinn stellen diese mindestens 3,7 m hohen Böschungen Hindernisse für die seitliche Chlorgasausbreitung dar und schließen, dem o.g. Ansatz folgend, den gesamten zu betrachtenden Stromabschnitt ein. Es ist ausdrücklich anzufügen, dass diese 3,7 m den untersten Wert der Hindernishöhe darstellen und nur auf einem lokal sehr begrenzten Abschnitt vorhanden sind.

17.1 Bevölkerungsdaten

Für die genannten Eisenbahnstrecken von Kenzingen bis Vahnum wurden in /79/ im 2-km Abstand im Umkreis von 16 km ($R=16$ km) jedem Streckenpunkt

72 Bevölkerungszahlen zugeordnet. Für die Strecke Nr. 89 Kenzingen- Karlsruhe konnte beispielhaft /79/ folgende Darstellung der Bevölkerungssumme entlang der Strecke entnommen werden:

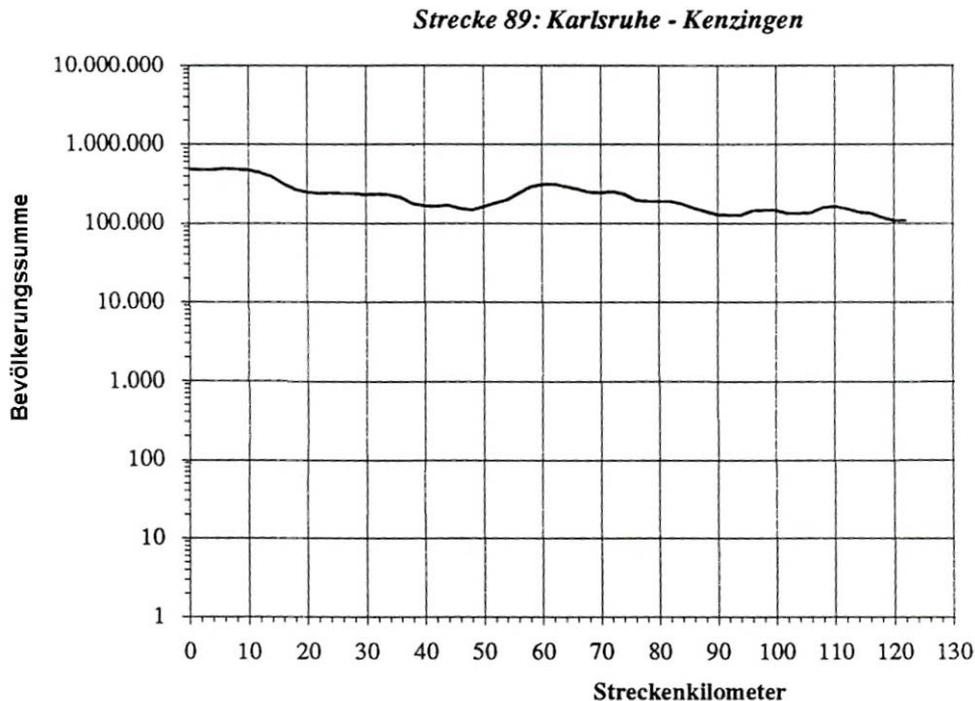


Bild 20: Bevölkerungssumme an Strecke Nr. 89

Der Rhein liegt im gesamten Verlauf der Eisenbahnstrecke Nr. 89 innerhalb des 16 km-Umkreises, bei dieser Strecke nähert sich der Strom teilweise bis auf 6 – 8 km der Eisenbahnstrecke (in Höhe Lahn und Rastatt). Entlang dieser (Beispiel)- Strecke ist eine Bevölkerungsdichte von 500 Einwohner pro Quadratkilometer bis zu 2800 Einwohner pro Quadratkilometer zu verzeichnen.

Die weiteren, zum Vergleich herangezogenen Eisenbahnstrecken Nr. 86 (Karlsruhe - Graben), 80 (Graben - Mannheim), 77 (Mannheim - Biblis), 76 (Biblis - Groß Gehrau), 69 (Groß Gehrau - Mainz) besitzen etwa die gleiche Entfernung vom Rhein. An der langen Strecke Mainz - Köln (Streckennummern 64, 53, 49) verläuft die Eisenbahntrasse am Ufer des Rheins, so dass dafür praktisch auch die gleiche Lage der Zentren der 16 km-Kreisradien besteht. Für die Eisenbahnstrecken 43 (Köln - Oberhausen) und 37 (Oberhausen - Vahnum) liegt der Strom streckenweise nicht außerhalb, aber am Rande des 16 km-Umkreises. Da aber im dicht besiedelten Industriegebiet von NRW, von Neuss über Düsseldorf, Uerdingen, Duisburg, Moers, Oberhausen bis Dinslaken eine hohe Bevölkerungsdichte in der Fläche (weit über den angesetzten 16 km-Umkreis hinaus) vorhanden ist, wird die bis zum Rand des Erfassungsgebietes

tes vorhandene Abweichung der Lage der Eisenbahnstrecke und des Rheins für vertretbar angesehen.

Eine Prinzipdarstellung diese Ansatzes ist in Bild 21 enthalten:

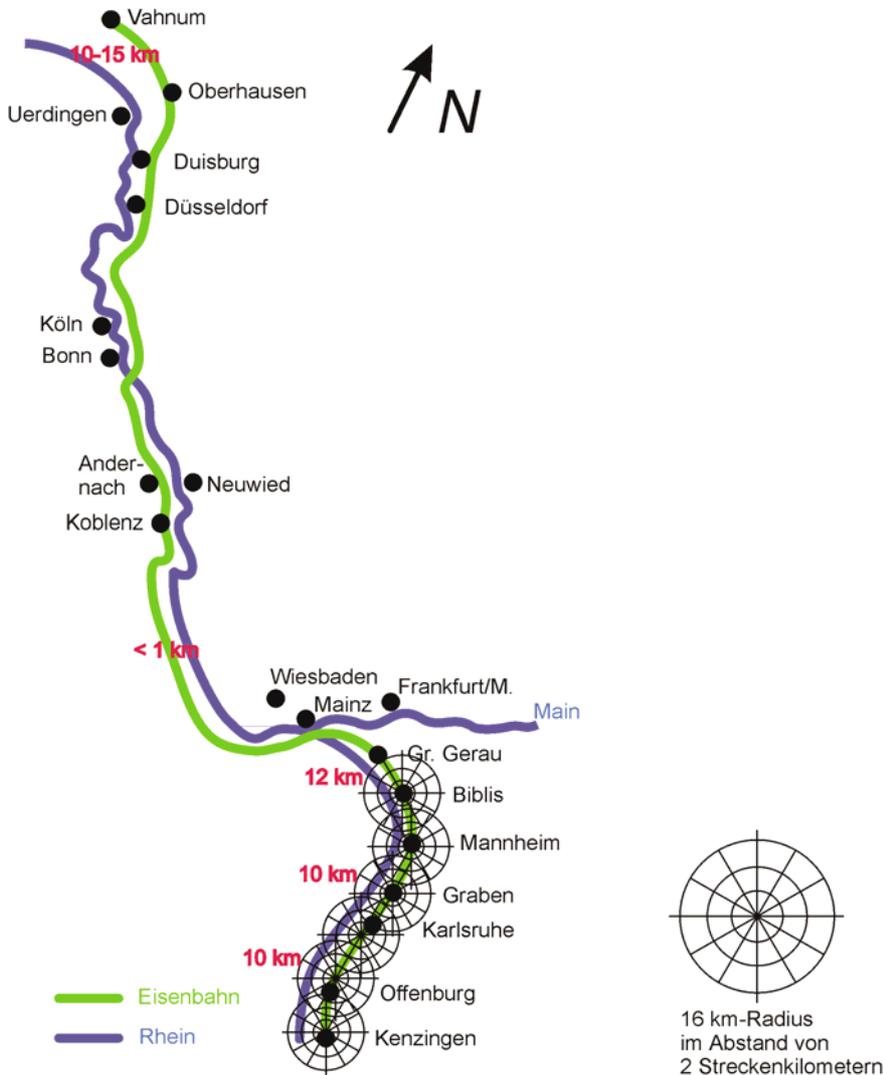


Bild 21: Qualitative Darstellung der Auswirkungsbetrachtung einer Chlorfreisetzung auf dem Rhein im Vergleich mit der Kesselwagenfreisetzung bezogen auf den Streckenverlauf

Resultierend ist festzustellen, dass es zielführend erscheint, die Bevölkerungszahlen aus dem Forschungsbericht /79/ für die rheinnahen Eisenbahnstrecken auch für die Ausbreitungsbetrachtung von Chlorgaswolken auf dem Rhein selbst zu nutzen. Dieser vereinfachende Ansatz begründet sich darin, dass es nach Kartenlage keine anderen besonderen Ballungsgebiete am Rhein gibt, die vom o.g. Ansatz nicht erfasst und einen deutlichen Sprung in den Bevölkerungsdichten außerhalb der Deichgebiete darstellen würden.

Während bei der Auswirkungsbetrachtung von aus Eisenbahn-Kesselwagen freigesetzten Chlorgaswolken diese beispielhaft (hier aus /79/) ausgewählten Bevölkerungsdichten angesetzt werden müssen, sind für den Betrachtungsfall Chlorgasfreisetzung auf dem Rhein im Bereich der Eindeichung signifikant andere Bevölkerungsdichten anzunehmen. Im gesamten Bereich der Hochwasserschutzgebiete darf keine Wohn- oder Industriebebauung erfolgen. Ergo ist auch nicht vom Vorhandensein einer großen Anzahl von Menschen in diesen Gebieten entlang des Rheins auszugehen.

Einige Schiffsbesatzungen, möglicherweise Fahrgastschiffe mit Passagieren, einige Besucher/Wanderer am Flussufer bilden somit die Grundgesamtheit der möglicherweise chlorexponierten Bevölkerungsanteile in unmittelbarer Flussnähe innerhalb der eingedeichten Zone, also des Bereiches der Gaswolke mit sehr hoher Chlorkonzentration (bewohnte Inseln im Fluß werden nicht betrachtet).

Außerhalb dieser Bereiche, auf dem bewohnten Land, gelten die aus der Literatur /79/ gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Bevölkerungsdichten.

18. Ausbreitungsberechnung Chlorfreisetzung

Für die in der vorliegenden Untersuchung angenommene Chlorfreisetzung von einem Chlortankschiff auf dem Rhein sind, wie im vorangegangenen Kapitel diskutiert, unter Berücksichtigung der vorgenannten Aspekte der Umgebungsbedingungen (Geländestruktur und meteorologische Situation) sowie der zu berücksichtigenden Bevölkerungsdichte bis auf die eingedeichten Flußrandzonen etwa gleiche Bedingungen wie entlang der untersuchten Eisenbahnstrecken in /79/ anzunehmen. Die Besonderheit der Chlorfreisetzung auf der Wasserstraße besteht darin, dass die Wasserfläche des Stromes bis zum Ufer frei von Menschen angenommen werden kann. Wegen der nicht verfügbaren theoretischen Grundlagen über den Transport schwerer Gaswolken auf strömenden Wasseroberflächen und dem Anspruch, die Vorgänge möglichst realitätsnah zu modellieren, wurde ein Ansatz gewählt, den Eintritt von Flüssigchlor in strömendes Wasser als Basis für die Ausbreitungsrechnung zu erfassen.

Dieser Umstand stellt das eigentlich neue Szenario einer unfallbedingten Chlorfreisetzung aus dem Binnentankschiff dar, verteilt sich das aus einem versagten Tank ausgetretene Flüssigchlor nicht wie auf dem Land in Form einer bodengebundenen Lache sondern tritt aufgrund seiner höheren Dichte im Vergleich mit Wasser primär in die Wasseroberfläche ein.

Eine weitere Besonderheit zur Ausbreitungsberechnung gegenüber den Eisenbahnkesselwagen stellt bei den Tankschiffen die Größe des Quellterms dar. Für die Auswirkungsberechnung in /79, 34/ wurde für die Freisetzungstankversagen /34, S. 98/ eine Chlormenge von 60 t pro Kesselwagen angesetzt. In dem in Kap. 13 beschriebenen Schiffsdrucktank würden 180 t Chlor mitgeführt und - im Berstfall - spontan freigesetzt.

Zur Ermittlung der Auswirkung der Freisetzung der dreifachen Chlormenge auf dem Wasser wird unter Wahrung der ansonsten gleichen Parameter das DV-Ausbreitungsprogramm „DEGADIS“ /99/ zur Anwendung gebracht. Das Ziel der Ausbreitungsberechnung mit dem erwähnten Programm besteht in einem cursorischen Vergleich der Chlorgasausbreitung aus dem Eisenbahnkesselwagen gegenüber dem Binnenschiffstank, letztlich in der Erkenntnis der größenordnungsmäßigen Auswirkungsänderung (Konsequenz) eines Tankversagens auf dem Binnenschiff im Vergleich zum Tankversagen eines Kesselwagens unter besonderer Berücksichtigung der prinzipiell verschiedenen Szenarien. Damit soll eine Konsequenzabschätzung der beiden zu betrachtenden Schadensfälle möglich werden, die sich primär auf einen Vergleich der betroffenen Flächen abstützt und über diese die Bestimmung der Zahl Betroffener ermöglicht.

18.1 Ausbreitung von Chlor aus dem Eisenbahnkesselwagen (EKW)

Es wird davon ausgegangen, dass im EKW 60 t Chlor bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C druckverflüssigt bei einem Betriebsdruck von ca. 6,9 bar_{abs} transportiert wird.

Durch einen Unfall reißt der Druckbehälter quer auf einer Länge von ca. 4,7 m (halber Behälterumfang) und einer Breite von ca. 10 mm auf. Diese Annahme basiert auf dem Erfordernis von DEGADIS, einen zeitgebundenen Massestrom als Quellterm zu definieren. Wahrscheinlich, wie im Kapitel Tankversagen erläutert, wird sich ein Druckgastank bei Versagen mehr öffnen, als es der beschriebene große Riss darstellt. Aus den Berechnungen von Hartwig und Klumpe /34, 79/ ist aber zu erkennen, dass gerade das große Leck eines Tanks, also der zeitlich begrenzte Freisetzungsmassestrom, eine größere Ausbreitungswolke zur Folge hat als die spontane Flashverdampfung des gesamten Tankinhalts. Um diese Phänomene abzubilden, wird im Weiteren von diesem beschriebenen großen Tankversagen ausgegangen.

Die aus einer Leckfläche austretende Flüssigkeitsmenge berechnet sich nach /88/ :

$$\dot{m}_{fl} = \mu \rho_{fl} A \sqrt{\frac{2 \left(\frac{\Delta p}{\rho} + gh \right)}{(1 + \xi)}} \quad (F 7)$$

Hierbei ist μ die Ausflusszahl, ρ_{fl} die Flüssigkeitsdichte, A die Leckfläche, Δp der an der Leckstelle herrschende Überdruck, g die Erdbeschleunigung, h die Höhe der Flüssigkeitsoberfläche über dem Austrittspunkt der Flüssigkeit und ξ der Reibungsbeiwert. Die Ausflusszahl liegt im Bereich von 0,62 (scharfkantig) bis 0,92 (runde Düse) (siehe Kuchling /89/).

Der Reibungsbeiwert ist im vorliegenden Fall im Wesentlichen eine Funktion der Strahlkontraktion und berechnet sich nach /88/

$$\xi = \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 \quad (F 8)$$

Für die vorliegenden Berechnungen wird eine Ausflusszahl von 0,62 angenommen. Entsprechend der großen Leckfläche wird ein Massenstrom von ca. 10000 kg/s freigesetzt. Die Ausströmzeit beträgt somit ca. 6 Sekunden.

Das Chlor wird mit einer Betriebstemperatur T_{fl} von 20 °C, die oberhalb der Siedetemperatur T_s von ca. -34 °C liegt, freigesetzt und ein Teil der Flüssigkeit verdampft spontan. Mit der Annahme einer adiabaten Expansion ergibt sich für den spontan verdampften Flüssigkeitsanteil \dot{m}_g

$$\dot{m}_g = \dot{m}_0 \left(1 - e^{\left(\frac{c_p (T_s - T_{fl})}{h_v} \right)} \right) \quad (F 9)$$

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

Von dem freigesetzten Massenstrom von ca. 10000 kg/s werden ca. 1000 kg/s spontan verdampfen. Die Restmenge der Flüssigphase wird sich, vernachlässigt man

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

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

Außerdem ist aus Vollständigkeitsgründen die Existenz latenter Wärme in Form des Wasserdampfes in der Luft zu erwähnen.

18.1.1 Konvektiver Wärmestrom zwischen Luft und Flüssigkeit

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

$$\dot{Q}_{\text{kon}} = \alpha (T_{\text{Luft}} - T_{\text{fl}}) A_{\text{Lache}} \quad (\text{F } 10)$$

Der Wärmeübergangskoeffizient wird aus dem Ansatz für eine mittlere Nusselt Zahl bei einer längsangeströmten ebenen Platte in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit w berechnet /90/:

$$\text{Nu} = \frac{\alpha l}{\lambda}$$

$$\text{Pr} = \frac{\eta c_p}{\lambda}$$

$$\text{Re} = \frac{w l}{\nu}$$

(F 11 - F 16)

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

$$\text{Nu}_{\text{lam}} = 0,664 \sqrt{\text{Re}} \sqrt[3]{\text{Pr}}$$

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

Für die Überströmlänge l wird konservativ der Lachendurchmesser angesetzt und als Windgeschwindigkeit wird von 3 m/s ausgegangen.

18.1.2 Wärmestrom aus dem Boden

Als Lösung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung erhält man für den Wärmestrom aus dem Boden wie bei Lebuser, Schecker /91/ und Wörsdörfer /92/ dargestellt:

$$\dot{Q}_B = \frac{\lambda_B}{\sqrt{\pi a t}} (T_{\text{Boden}} - T_{\text{fl}}) A_{\text{Lache}} \quad (F 17)$$

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

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

$$\dot{Q}_B = \frac{\lambda_B}{\sqrt{\pi a}} (T_B - T_{fl}) \sum \frac{\pi(R^2 - r^2)}{\sqrt{t - t^*}} \quad (F 18)$$

Wird die Ausbreitung der Lache nicht durch Umrandungen (Auffangwanne) begrenzt, so breitet sie sich unter der Einwirkung der Schwerkraft durch unterschiedliche Schichthöhen und gehemmt durch Oberflächenkräfte und Bodenreibung aus. Zur Berechnung des Radius einer sich radial ausbreitenden Flüssigkeit wird in Anlehnung an Briscoe und Shaw /93/ folgende Beziehung verwendet:

$$r = \sqrt{\left(\frac{8g}{\pi} \int_0^t \dot{V} - \frac{\dot{m}}{\rho_{fl}} dt \right)^{0.5} t} \quad (F 19)$$

Die Ausbreitung der Lache wird durch die minimale Schichtdicke begrenzt. Als Anhaltswerte können hierzu die bei Lebuser und Schecker /91/ zitierten Werte verwendet werden:

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

Bei den vorliegenden Berechnungen wird von einer Freisetzung auf unebenem, sandigen Boden mit einer Schichtdicke von 25 mm ausgegangen.

18.1.3 Wärmestrahlung

Eine umfassende Berücksichtigung der Wärmeübertragung durch Strahlung muss nach Lebuser /94/ die Faktoren

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

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

$$\dot{Q}_{\text{Str}} = (0,86 \dot{Q}_{\text{Sonne}} - 0,9 \sigma T_{\text{fl}}^4 + 0,46 \sigma (T_{\text{Luft}}^4 - T_{\text{fl}}^4)) A_{\text{Lache}} \quad (\text{F } 20)$$

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

18.1.4 Ausbreitungsberechnung Eisenbahnkesselwagen

Im folgenden Bild ist der verdampfte Massenstrom der Chlor-Lache als Ergebnis der instationären Berechnung bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s dargestellt. Während der Freisetzungsdauer von 6 Sekunden wird neben dem dargestellten Massenstrom aus der Lachenverdampfung von maximal 90 kg/s auch noch der Massenstrom aus der Flashverdampfung von ca. 1000 kg/s gasförmig freigesetzt.

Danach verringert sich der Massenstrom durch die Abkühlung des Bodens und des damit verbundenen verringerten Wärmestroms in die Lache bis auf ca. 6 kg/s nach 30 Minuten.

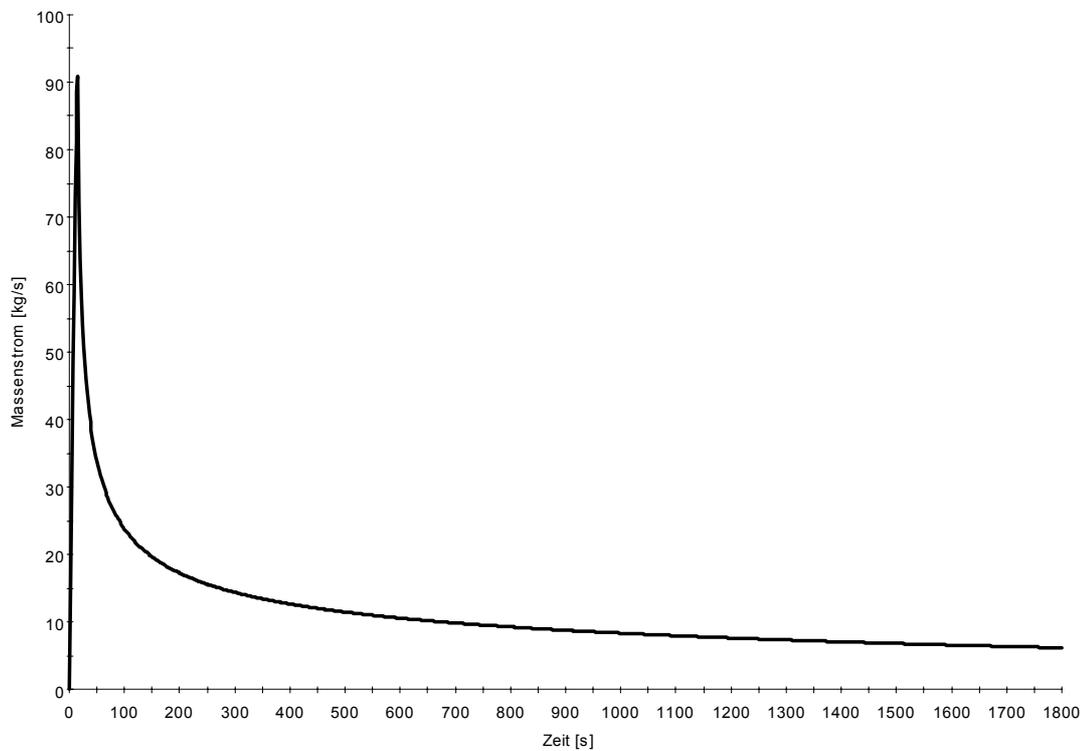


Bild 22: Massestrom des verdampften Chlors aus der Lache

Die zeitliche Entwicklung des Lachenradius ist im folgenden Bild dargestellt.

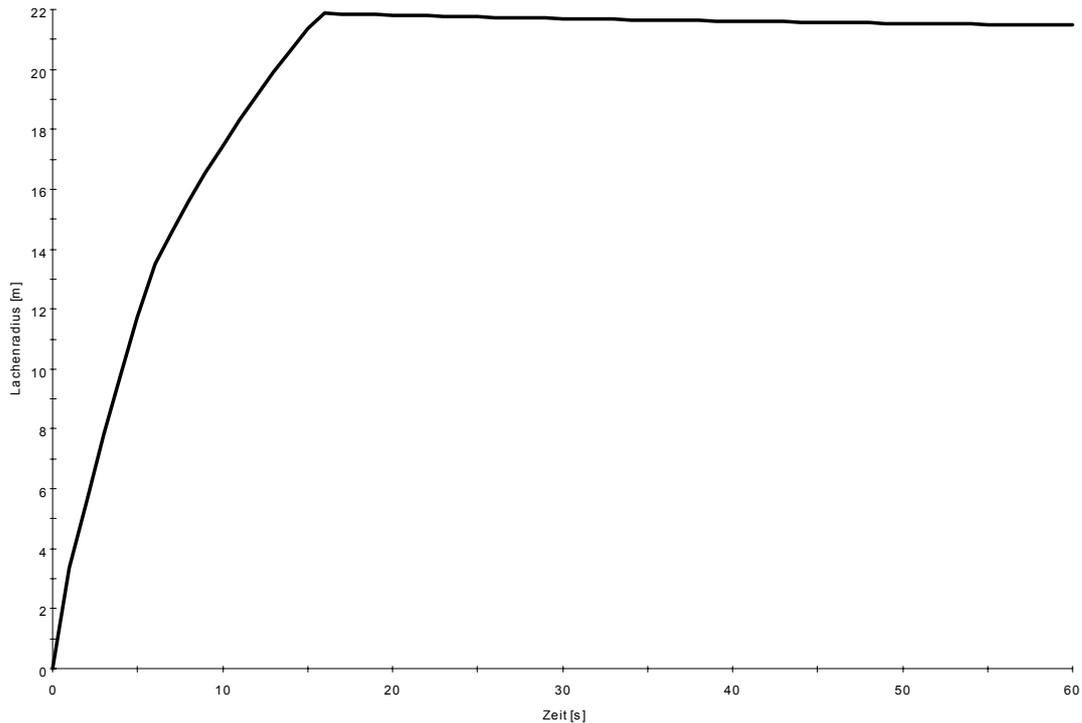


Bild 23: Zeitliche Entwicklung des Lachendurchmessers

Die Lache erreicht nach ca. 15 Sekunden ihre maximale Ausdehnung mit einem Lachradius von ca. 22 m bei einer Schichtdicke von 25 mm. Danach verringert sich der Lachenradius durch die Verdampfung, wobei vorausgesetzt wird, dass die Schichtdicke immer erhalten bleibt.

Für die Gasausbreitung wurde, wie schon erwähnt, das Programm DEGADIS /99/ verwendet.

Als Eingabedaten werden der berechnete Massenstrom und der Lachenradius für eine Freisetzungsdauer von 30 Minuten verwendet. Da sich der Massenstrom aus der Lache immer weiter verringert, wird auch die Ausdehnung der Chlorgaswolke geringer. Da aber die maximale Ausdehnung der Gaswolke ermittelt werden soll, ist ein Betrachtungszeitraum von 30 Minuten ausreichend.

Die Umgebungs- und die Bodentemperatur werden mit 20 °C angenommen. Es wird von einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s in einer Höhe von 10 m über Erdgleiche ausgegangen. Dem entsprechend wird für eine mittlere Sonneneinstrahlung am Tag eine Pasquill Stabilitätsklasse B entsprechend den Angaben in /99/ vorausgesetzt.

Entsprechend den Berechnungen von Hartwig /34/ wird von einer sehr glatten Oberfläche der Umgebung mit einer Rauigkeit von 0.001 m ausgegangen.

Als Beurteilungswert für die Gasausbreitung wird eine Konzentration von 1000 Vol.ppm herangezogen, da bei dieser Konzentration schon nach einer kurzen Einwirkungsdauer mit tödlichen Folgen gerechnet werden muss. Primär geht es bei der Ausbreitungs- Wirkungsbetrachtung um einen relativen Vergleich, um die Ermittlung eines „Delta“ bezüglich der Schwergaswolkengröße aus dem Kesselwagentank und dem Binnenschiffstank.

Im folgenden Bild ist die Isolinie für eine Konzentration von 1000 Vol.ppm in einer Höhe von 1,5 m dargestellt. Die Chlorgaswolke hat nach ca. 650 Sekunden ihre maximale Ausdehnung erreicht. Die Fläche beträgt ca. 130000 m².

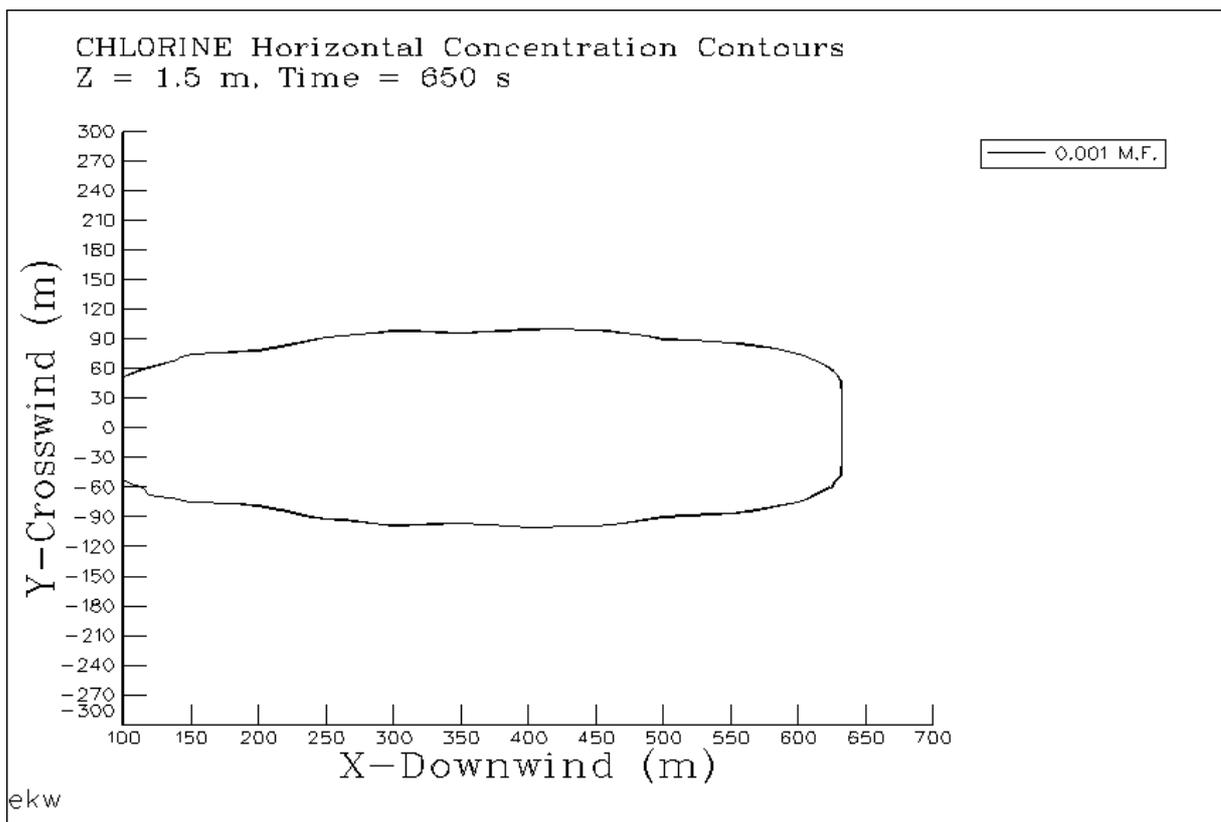


Bild 24: Ausbreitungs-Isolinie des Chlors für 1000 Vol.ppm nach 650 s in 1,5 m Höhe

18.2 Ausbreitung von Chlor aus dem Binnentankschiff

18.2.1 Modellierung der Ausbreitungsbedingungen

Es wird wie bei der Betrachtung des Kesselwagen-Unfalls davon ausgegangen, dass Chlor bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C druckverflüssigt bei einem Betriebsdruck von ca. 6,9 bar_{abs} im Binnenschiff transportiert wird. Das Fassungsvermögen des Tanks beträgt 180 t Chlor. Es wird ebenfalls davon ausgegangen, dass durch einen Unfall der Druckbehälter quer auf einer Länge von ca. 4,7 m und einer Breite von ca. 10 mm aufreißt und für den scharfkantigen Riss eine Ausflusszahl von 0,62 angenommen werden kann. Entsprechend den im vorangegangenen Kapitel ermittelten Massenstrom aus der großen Leckfläche wird ein Massenstrom von ca. 10000 kg/s freigesetzt. Die Ausströmzeit beträgt somit ca. 18 Sekunden. Durch die Entspannung des druckverflüssigten Gases kommt es zu einer Flashverdampfung mit dem oben berechneten Massenstrom von 1000 kg/s für die Freisetzungsdauer von 18 Sekunden.

Die restliche Flüssigphase wird in den Fluss freigesetzt. Da Chlor bei Siedetemperatur von -34 °C eine Flüssigkeitsdichte von ca. 1500 kg/m³ besitzt wird sich die Flüssigphase im Wasser verteilen. Durch die Wärmeaufnahme aus dem Wasser verdampft das Chlor und es steigen Dampfblasen im Wasser auf. Ein Teil des Chlors wird sich im Wasser lösen, was aber als konservative Betrachtung für die Rechnung vernachlässigt wird (siehe Bemerkungen im Kapitel 18.2.3).

Zur Zeit sind keine experimentellen Untersuchungen oder Modelle zur Verdampfung von flüssigem Chlor in fließendem Wasser bekannt. Um den Massenstrom des aus dem Wasser verdampfenden Chlors grob abschätzen zu können, werden folgende Betrachtungen durchgeführt, die damit zwei verschiedene Modellansätze beinhalten:

Erstes Modell

Bei einer Relativgeschwindigkeit des Wassers zum Binnenschiff von ca. 1,4 m/s wird sich bei einer Freisetzungsdauer von ca. 18 Sekunden eine Chlorfahne von ca. 25 m Länge im Wasser ausbilden. Durch die Turbulenz wird Wasser in die Chlorfahne eingemischt. Es wird in erster Näherung davon ausgegangen, dass sich eine kegelförmige Chlorfahne ausbildet, die nach 25 m die gesamte Flusstiefe von ca. 5 m (entspricht damit dem Durchmesser der Grundfläche des Kegels) ausfüllt. Einflüsse

des Flusslaufes selbst, wie z.B. die Boden- und Uferrauigkeiten (Buhnen), die Wirkung von richtungsbeeinflussenden Prall- oder Gleithängen am Fluss mit den durch sie hervorgerufenen Verwirbelungen des Wassers, bleiben wegen ihrer Unbestimmbarkeit unberücksichtigt.

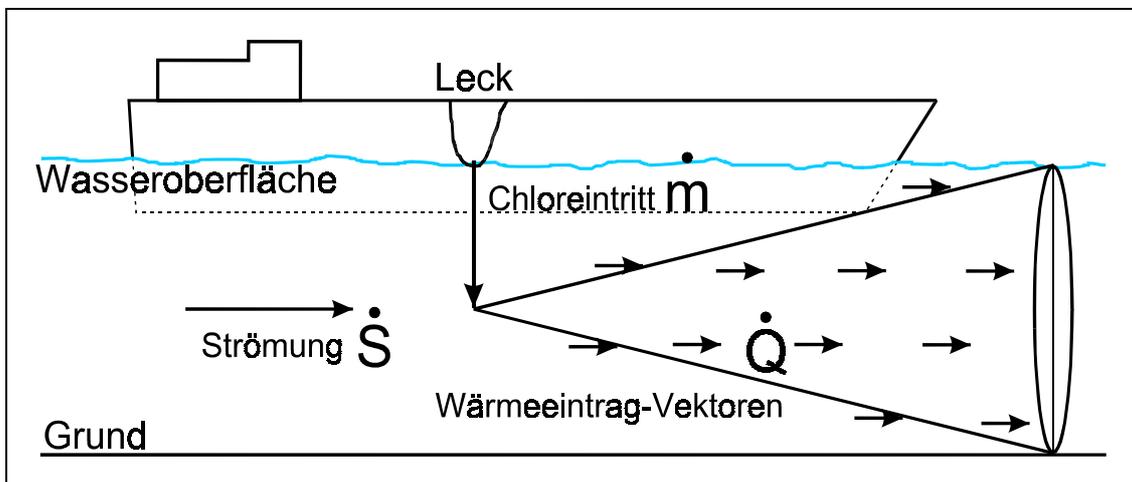


Bild 25: Ausbreitungsmodell 1 des Chlors im strömenden Rheinwasser

Über die Oberfläche dieses angenommenen Kegels von ca. 217 m² erfolgt die Wärmezufuhr aus dem Wasser in das Chlor. Bei den experimentellen Untersuchungen zu Freisetzungen von flüssigem Erdgas (LNG) auf Wasser /100/ wurde ein Wärmeeintrag von maximal 177 kJ/m²s vom Wasser in die LNG-Lache auf der Wasseroberfläche ermittelt. Dieser Wärmestrom wird auch für die weiteren Betrachtungen herangezogen.

Zweites Modell

Das zweite Modell geht nach dem Tankversagen vom gleichen Massestrom des Chloreintrages in das Rheinwasser aus. Bedingt durch den tiefkalten (- 34 °C) Zustand des Flüssigchlors infolge der adiabaten Expansion aus dem Drucktank, tritt bei Wasserberührung Eisbildung um das kalte Chlor auf und das Flüssigchlor dringt nicht in die tieferen Wasserschichten ein. Es bilden sich mit einer Wassereishülle umgebene Chlorteile, die an der Oberfläche des Wassers mit der Strömung treiben. Da die Wärmeleitfähigkeit von Eis sehr gering ist, wird dieser Zustand längere Zeit dauern, insbesondere auch deshalb, weil keine Relativgeschwindigkeit zwischen den von Eis umgebenen Chlorteilen und dem Wasser besteht, also ein schneller Wärmeaustausch nicht durch Anströmen erfolgen kann.

Nach und nach werden die Eisschichten um einzelne Chlorteile aufgelöst und das Chlor tritt in den gasförmigen Zustand über und legt sich als Schwergaswolke auf das Wasser. Es ist wegen des mit diesen Vorgängen verbundenen größeren Zeitfaktors

dann von einer geringeren Konzentration in der Schwergaswolke auszugehen, als die Konzentrationsbetrachtung im Modell 1 erbringt.

Weil in beiden Modellansätzen von einem Chloreintrag von 160 t Chlor in 18 Sekunden in das Wasser ausgegangen wird, erscheint wegen der dagegen viel größeren Masse an warmem Rheinwasser mit seiner hohen Wärmekapazität das Modell 1 als realitätsnäher. Es besteht kein Zweifel, dass sich Mischformen aus den beiden Modellen bei der Freisetzung einstellen werden, für die weitere Betrachtung wird aber das Modell 1 zugrunde gelegt, weil es risikobezogen wegen der höheren Anfangskonzentration den kritischeren Fall beschreibt.

18.2.2 Ausbreitungsrechnung Binnentankschiff

18.2.2.1 Ungehinderte Ausbreitung der Chlorgaswolke

Aufgrund der Erkenntnis, dass Schwergaswolken bis zu einer unteren Konzentration von 1 Vol.% Gas in der Luft deutliches Schwergasverhalten zeigen und in Verbindung mit den Ausführungen zu den orografischen Verhältnissen - Stichwort Eindeichung der Schwergasquelle - wird sich das Chlor mit den Dichten bis hinunter zu einem 1 Vol.% innerhalb des Deichraumes aufhalten. Von dort erfolgt die Diffusion in die umgebende Luft. Es entstehen Konzentrationen geringeren Maßes die keine ausgeprägten Schwergaseigenschaften besitzen. Diese überwinden die Deiche und überstreichen das hinter den Deichen liegende Land mit seiner normalen Wohn- sowie Industriebebauung und den zugrunde gelegten Bevölkerungszahlen..

Die Ausbreitung der Chlorgaswolke aus einem unfallbedingt versagenden Chlorgastank eines Binnentankschiffes wird im Folgenden betrachtet. Im sogenannten GAU (Größter anzunehmender Unfall- vollständiges Tankversagen) wird wegen der Nicht-Modellierbarkeit im benutzten EDV-Ausbreitungsprogramm DEGADIS die begrenzte Wirkung der Uferböschung/Deiche außeracht gelassen und von einer Chlorgaswolke ausgegangen, die unter Querwindinfluss die angrenzende Landseite als eine sich aus dem eingedeichten Flussabschnitt fortbewegende Wolkenfahne überstreicht.

Entsprechend des Modells 1 wird das Chlor solange aus dem Wasser ausgasen, bis alles Chlor, welches an der Eintrittsstelle in das Wasser eintrat, wieder aus dem Wasser ausgetreten ist. Weil sich das im Wasser befindliche Chlor mit dem Wasser fortbewegt (nicht die sich über dem Wasser ausbildende Schwergaswolke) und dabei

permanent ausgast, bildet sich eine Schwergaswolkenspur in Fließrichtung des Wassers. Die über der Wasseroberfläche liegende Schwergaswolke verhält sich sofort entsprechend ihrer signifikanten Eigenschaften. Sie fließt über der Wasseroberfläche sehr schnell auseinander, zeitgleich in Richtung der Deiche aber auch entgegen und in Richtung der Wasserströmung.

Die nachfolgende Berechnung der Ausbreitung der Chlorgaswolke ist eine aufgrund der vorher beschriebenen orografischen Verhältnisse theoretische Betrachtung weil sie, wie oben erläutert, nicht den auswirkungsmindernden Einfluß des Hindernisses Deich berücksichtigen kann. Im nachfolgenden Kapitel 18.2.2.2 werden deshalb die errechneten Ergebnisse der Gaswolkenausbreitung unter diesem Aspekt kritisch diskutiert.

Die Verdampfungsenthalpie von Chlor bei Siedetemperatur beträgt ca. 288 kJ/kg. Somit verdampft entsprechend des zugrunde gelegten Modells ca. 133 kg/s Chlor aus dem Wasser und wird an der Wasseroberfläche eine Schwergaswolke bilden. Da durch das fließende Wasser immer Wärme zugeführt wird, wird davon ausgegangen, dass der Verdampfungsmassenstrom konstant ist. Somit würde die Freisetzungsdauer aus dem Wasser ca. 20 Minuten betragen und bei einer Wassergeschwindigkeit von 1,4 m/s einen Uferbereich mit einer Länge von ca. 1700 m beeinträchtigen.

Als Eingabedaten für das Programm DEGADIS wird der berechnete Massenstrom, der sich aus der Flashverdampfung während der Freisetzungsdauer von 18 Sekunden und dem verdampften Massenstrom aus dem Wasser zusammensetzt, verwendet. Da das Programm DEGADIS von kreisförmigen Lachen ausgeht, wird ein Lachendurchmesser in der Größe der Chlorgasfahne von 25 m angenommen.

Die Umgebungstemperatur wird mit 20 °C angenommen. Es wird von einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s in einer Höhe von 10 m über Erdgleiche ausgegangen. Dem entsprechend wird für eine mittlere Sonneneinstrahlung am Tag eine Pasquill Stabilitätsklasse B entsprechend den Angaben in /99/ vorausgesetzt. Bei einer Schwergasfreisetzung auf einem Fluss kann davon ausgegangen werden, dass die Uferböschung ein Strömungshindernis darstellen. Da die linienförmige Uferböschung mit DEGADIS nicht zu modellieren ist, eine Berücksichtigung der am Ufer vorhandenen höheren Rauigkeiten aber sinnvoll erscheint, wird daher von einer Oberflächenrauigkeit von 0,09 m (Gelände mit Büschen /99/) ausgegangen.

Damit ist nicht die Eindeichung berücksichtigt.

Die Chlorgasfreisetzung aus dem Binnenschiff ist in zwei Bereiche zu unterteilen:

1. Flashverdampfung von 1000 kg/s für 18 Sekunden aus dem in Bezug auf die Uferbebauung stationären Schiff.
2. Gasfreisetzung aus der Chlorgasfahne mit einem Massenstrom von 133 kg/s. Da die Chlorgasfahne mit der Strömungsgeschwindigkeit des Flusses an der Uferbebauung vorbeizieht, wirkt dieser Massenstrom an einem Ort für ca. 18 Sekunden.

In den folgenden Bildern sind die Isolinien für eine Gaskonzentration von 1000 Vol.ppm in einer Höhe von 1,5 m über Erdgleiche für unterschiedliche Zeiten nach dem Unfall dargestellt. Die Chlorgaswolke aus der Flashverdampfung bei Tankversagen erreicht mit der betrachteten Konzentration maximal eine Entfernung von ca. 1150 m und eine Breite von maximal 800 m.

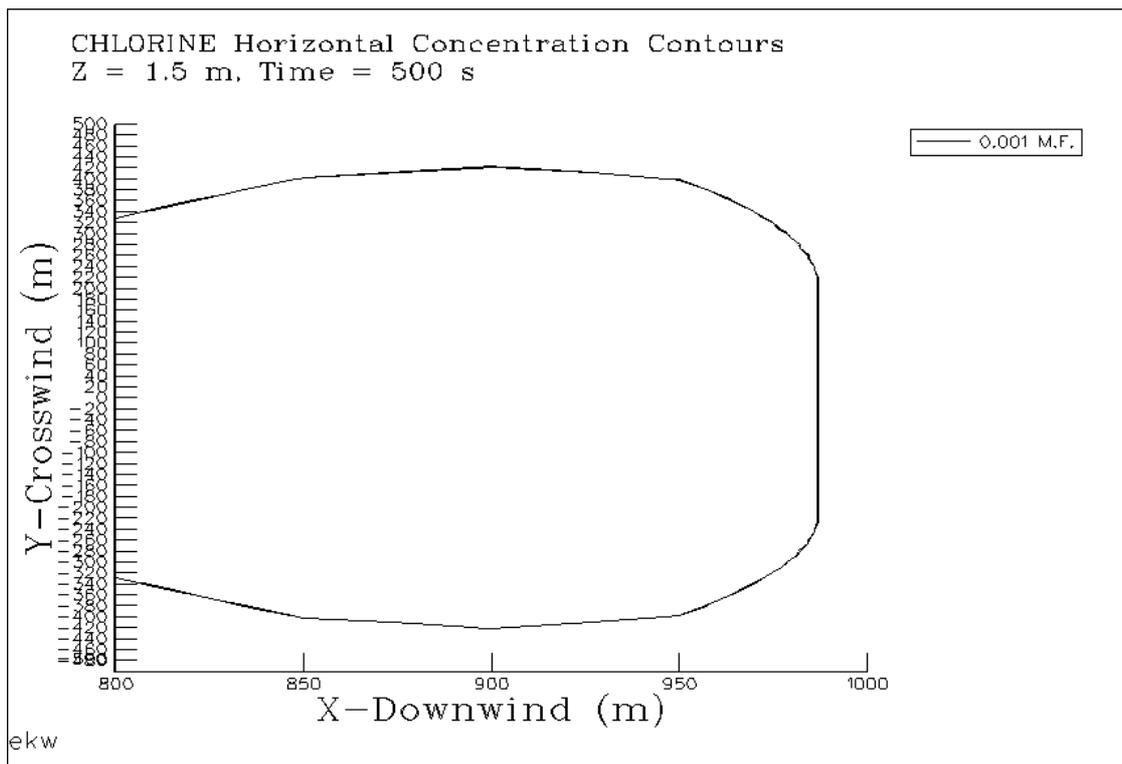


Bild 26: Ausbreitungs-Isolinie für 1000 Vol.ppm Chlor nach 500 s und in 1.5 m Höhe

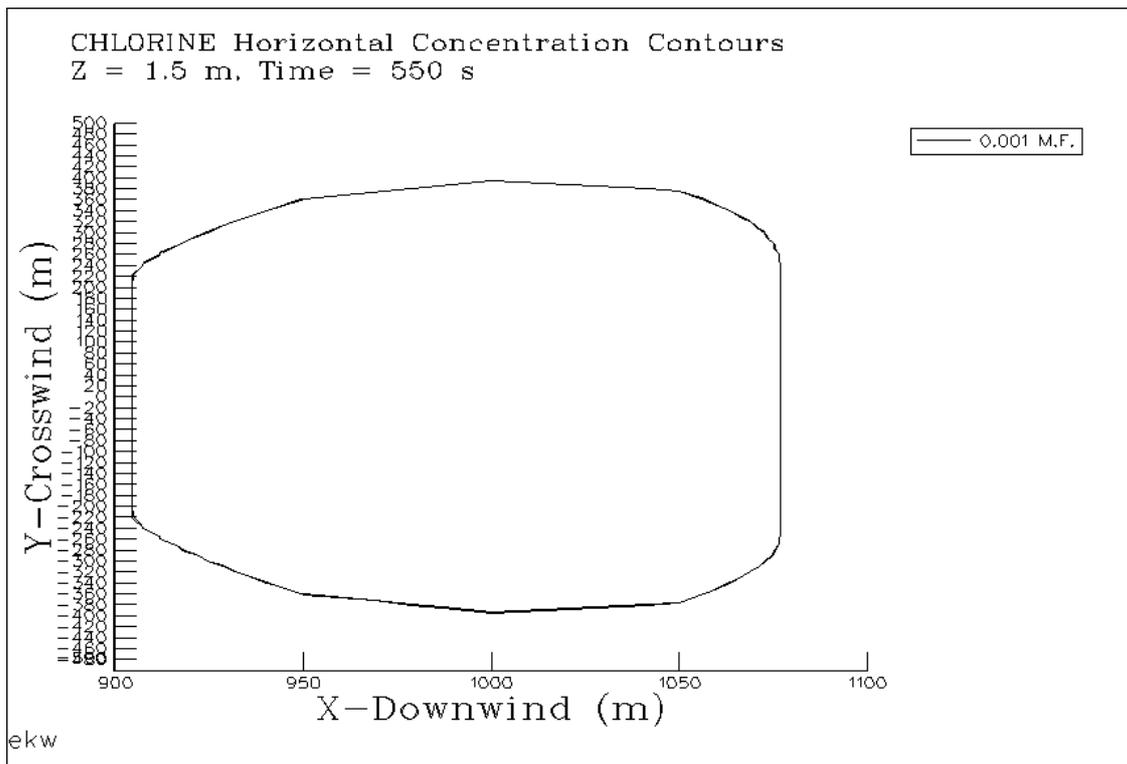


Bild 27: Ausbreitungs-Isolinie für 1000 Vol.ppm Chlor nach 550 s und in 1,5 m Höhe

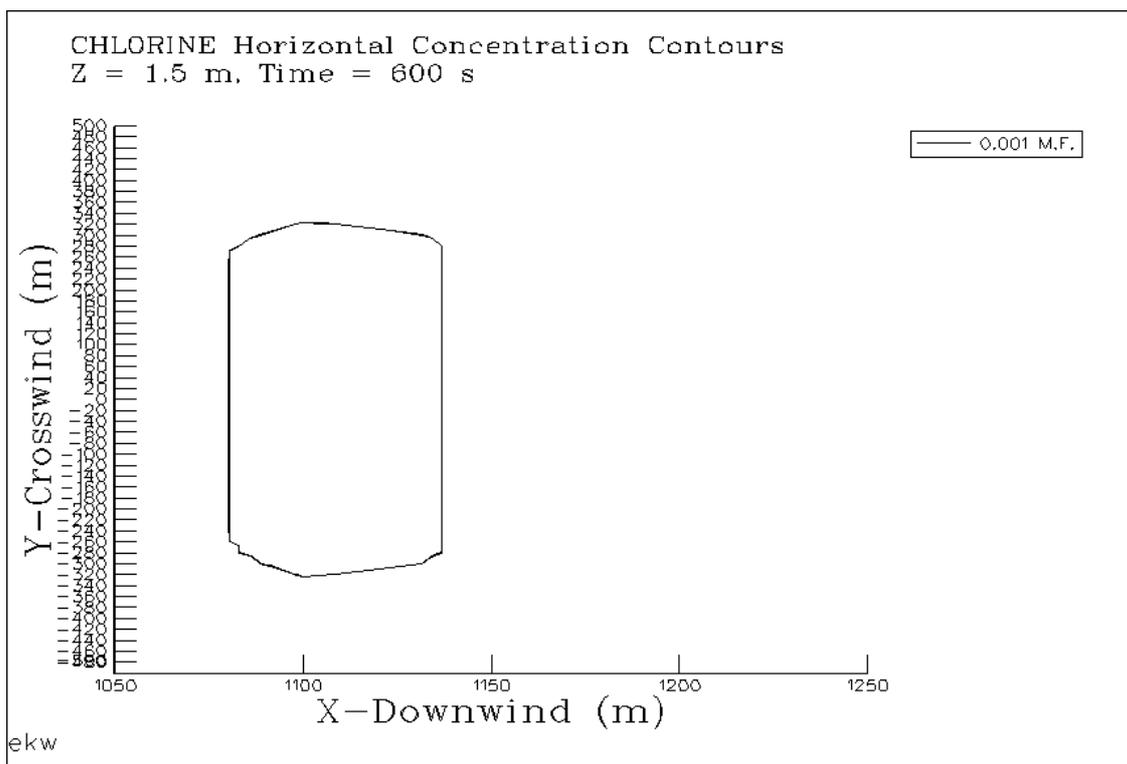


Bild 28: Ausbreitungs-Isolinie für 1000 Vol.ppm Chlor nach 600 s und in 1,5 m Höhe, die Schwergaswolke hat sich von der Quelle entfernt und wird kleiner, ihre Dichte nimmt ab

In den folgenden Bildern sind die Isolinien für eine Gaskonzentration von 1000 Vol.ppm in einer Höhe von 1,5 m über Erdgleiche für unterschiedliche Zeiten

nach dem die Chlorgasfahne, die sich aus dem aus dem Wasser tretenden Chloranteil bildet, an einem Punkt der Uferbebauung angekommen ist, dargestellt. Die Chlorgaswolke erreicht mit der betrachteten Konzentration maximal eine Entfernung von ca. 510 m und einer Breite von maximal 400 m. Da die Schwergasquelle mit der Strömung des Flusses ausgebildet wird, werden Personen, die sich im Uferbereich bis zu einem Abstand von 590 m befinden, ca. 286 Sekunden durch das Chlor beeinträchtigt.

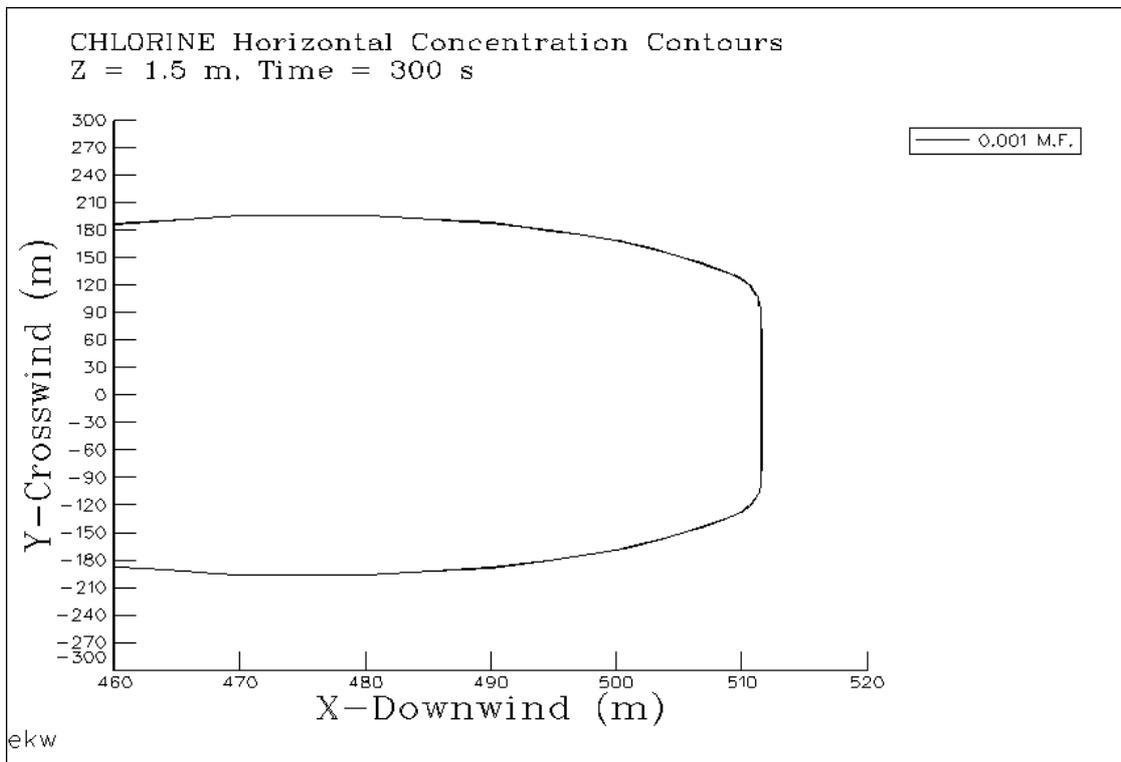


Bild 29: Ausbreitungs-Isolinie für 1000 Vol.ppm Chlor nach 300 s und in 1,5 m Höhe

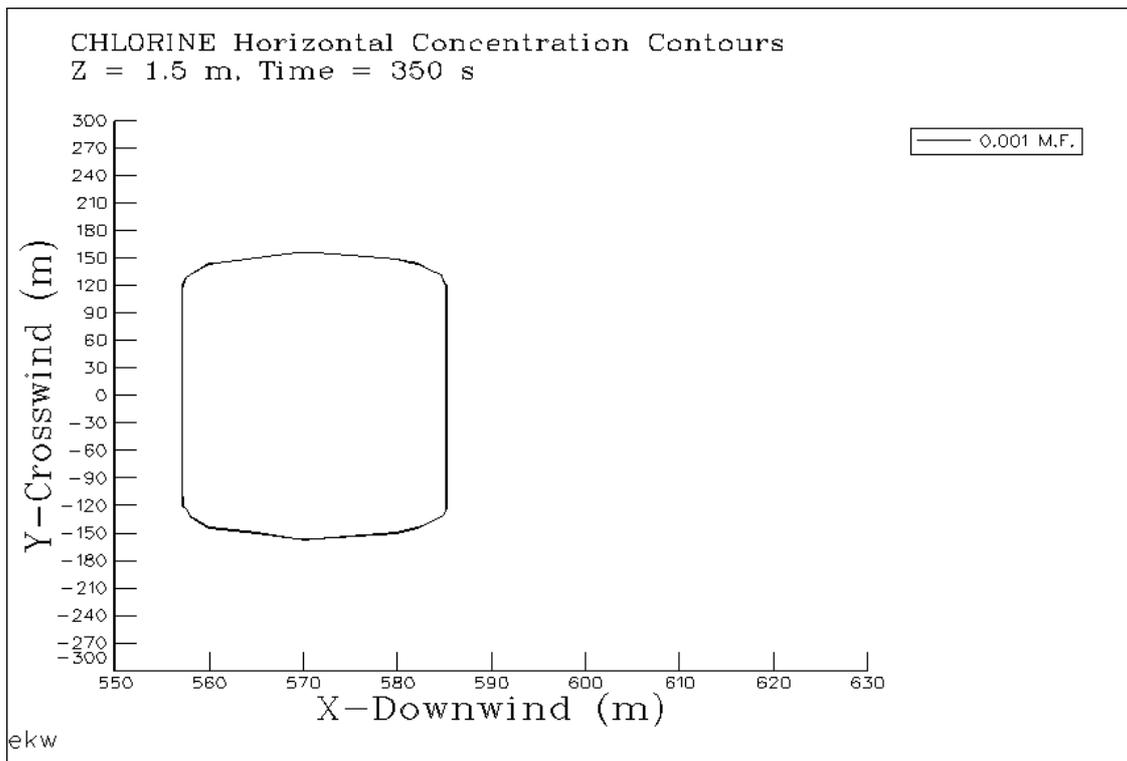


Bild 30: Ausbreitungs- Isolinie für 1000 Vol.ppm Chlor nach 350 s und in 1,5 m Höhe, keine Verbindung mehr zum Quellort und Auflösung der Wolke.

Für die Berechnung der von der Chlorfreisetzung aus dem Schiffsladetank bezogenen Fläche mit einer Konzentration mit 1000 Vol.ppm Chlor in Luft müssen in Analogie zur Ausbreitungsbetrachtung aus dem Kesselwagen nunmehr zwei Teilflächen berücksichtigt werden. Die erste Teilfläche, entsprechend Bild 26, beträgt ca. 640000 m². Die zweite Teilfläche entsprechend des Modells von der mit dem strömenden Wasser mitbewegten, sich in Strömungsrichtung aus dem Wasser generierenden Quelle, beträgt abzüglich der eingedeichten halbseitigen Wasserfläche des Rheins (500 m Deichabstand angesetzt) ca. 400000 m².

Somit ist von einer Gesamtfläche von 1000000 m², gleich 1,0 km² mit einer Konzentration von 1000 Vol.ppm Chlor bei Versagen des Druckgastanks eines Binnentankschiffs auf dem Rhein auszugehen.

Die betroffene Fläche beträgt etwa das achtfache der Fläche, die beim Versagen des Kesselwagentanks mit Soforttoten zu befürchten wäre. Der überwiegende Teil der großen Chlorgaswolke des Tankversagen des Binnenschiffs resultiert aus der adiabaten Flashverdampfung des Chlors aus dem großen Drucktank.

18.2.2.2 Diskussion der Ausbreitungsrechnung der Chlorgaswolke unter Berücksichtigung der Hochwasserschutzsysteme

Wird von dem in Kap. 18.2.2.1 beschriebenen Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung des Chlors ausgegangen und im Folgenden die uferseitige Ausrichtung der Chlorgasfahne unter Berücksichtigung der Deiche untersucht, müssen aufgrund des Rinnenquerschnitts (Kanalisation) des Flußlaufes abgeschwächte Ausbreitungskonzentrationen der Chlorgaswolke erwartet werden.

Wie im Kapitel 15 dargestellt, besitzt Chlorgas aufgrund des relativen Dichteüberschusses zu Luft am Freisetzungsort (in diesem Fall dem Ort des Chlorgasaustritts aus dem Wasser in die wassernahe Atmosphärenschicht) eine ausgesprochene Schwergascharakteristik. Damit werden in erster Linie die beschriebenen Eigendynamiken einer Schwergaswolke bestimmend für die Ausbreitungsphase der Wolke. Das aus dem Wasser austretende Chlorgas besitzt keinen besonderen Anfangsimpuls. Dies bedeutet, die sich bildende Schwergaswolke wird nur vom Schwerfeld der Erde angetrieben.

In der ersten Entwicklungsphase wird sich der Schwergaspool unter der Gravitationskraft ähnlich einer freigesetzten (leichten) Flüssigkeit auf der Wasseroberfläche gleichmäßig, ringförmig um den Quellort, verteilen.

Aus den Ausbreitungsberechnungen des noch sehr dichten (1000 Vol.ppm) Chlorgaswolkenanteils im vorangegangenen Kapitel mittels „DEGADIS“ kann geschlossen werden, dass die Chlorgaswolke in ihrer Breite (quer zum Stromlauf) die gesamte Rheinbreite ausfüllen kann. Die Eindeichung, welche zwangsläufig immer, wenn auch in unterschiedlicher Höhe vorhanden ist, begrenzt die Breitenausdehnung der Schwergaswolke. Im Mittel wird von 500 m Deichabstand ausgegangen (siehe Kap. 17), die Höhe der Deiche/Uferböschung ist dort mit mindestens 3,7 m angegeben.

Im /101/ beschreibt Schnatz die sich ausbreitende Schwergaswolke als eine „massive Störung des atmosphärischen Strömungsverhaltens in der bodennahen Grenzschicht, d.h., das Wind- und Turbulenzprofil werden durch das Schwergas verändert.“ Insbesondere an der sich ausbreitenden Wolkenfront wird das Konzentrationsniveau der Schwergaswolke durch die Zumischung von Umgebungsluft (sog. Entrainment) verändert (Top- und Side-Entrainment). Die einzelnen Phasen der Poolbildung und der Ausbreitungsbewegung mit der Dispersion und der späteren Verdünnung lassen sich wegen des komplexen Charakters der Vorgänge (Übergang des Chlors aus dem

Wasser in die Atmosphäre, Ausbildung der Schwergaswolke, Strömung des Wassers, Entrainment) nicht zeitlich voneinander trennen, sie sind überlappend.

Die zeitabhängige Dichteänderung der Wolke oder Teilen von ihr werden noch begleitet von der „Nahrung“ der Wolke mit neuem Chlor aus dem Wasser, auf dem die Wolke nur ihrer eigenen Dynamik folgend aufliegt.

Wegen des noch 20-minütigen aus dem Wasser austretenden Chlors wird sich demnach die Wolke in Längsrichtung des Flusses ausbilden.

Im Rahmen der 3-dimensionalen Wolkenausbreitung kommt im Sinne der Konsequenzbewertung des Chlors dabei der Wolkenhöhe eine besondere Priorität zu.

Hartwig schreibt in /67, S. 75/ in Bezug auf die räumliche Ausdehnung von Schwergaswolken: „... dass Schwergaswolken nur wenige Meter hoch sein werden, wenn überhaupt, und in diesen unteren Bereichen der Grenzschicht keine sehr großen Wirbel wirksam werden.“

Aus den Ergebnissen zahlreicher Ausbreitungsversuche (z.B. Thorney Island, eine Versuchsserie mit auch sehr geringen Freisetzungsimpulsen) konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass innerhalb der Schwergaswolke ein starker vertikaler Konzentrationsgradient existiert. Auch der bemerkenswert gut dokumentierte Chlorfreisetzungsunfall von Hengelo, Niederlande, im Jahr 1976 unterstreicht diese spezifische Charakteristik des höhenabhängigen Konzentrationsgrades einer Chlor-Schwergaswolke. Die aus einer Leitung freigesetzten 5000 kg Chlor bildeten dort eine Bodenlache, die über mehrere Stunden verdampfte. Die sich bildende Schwergaswolke driftete in einen unmittelbar benachbarten Kanal. In diesem Kanal breitete sich die Chlorgaswolke ca. 300 m quer zur Windrichtung aus. Durch leichten Querwind wurden ab und zu Wolkenteile abgelöst, die die ca. 3 m hohe Kanalböschung überwandern und sich im benachbarten Wiesengelände ausbreiteten. Augenzeugen berichteten deutlich über ihre Wahrnehmung der flächenmäßigen, flachen Ausbreitung der Wolkenteile. Wie stark die vertikale Struktur der Schwergaswolke ausgeprägt war, wird an der Tatsache deutlich, dass die Augenzeugen, die längere Zeit auf einer Brücke über dem Kanal standen, in einer Höhe von 5 - 10 m über der Wolke lediglich über eine leichte Geruchswahrnehmung berichteten. Ist dafür von 1 - 3 Vol.ppm und im Bereich des Kanals von mehr als 5000 Vol.ppm Chlor in der Luft auszugehen, lässt sich nachweisen (hier geschehen durch Konzentrationsuntersuchungen an betroffenen Pflanzen), dass die Konzentration in der Höhe der ersten 5 - 10 m um mehr als 3 Zehnerpotenzen abnahm /101/.

Dies bedeutet, übertragen auf die Schwergaswolke auf dem Rhein die seitlich von den Hindernissen an beiden Ufern begrenzt wird, dass solche Wolkenteile, die das Ufer überwinden, einen bedeutsamen Konzentrationsabfall aufweisen müssen.

Die Deiche als Hindernis bewirken somit eine erhebliche Konsequenzabschwächung der Chlorgaswolke auf dem Land.

Die dabei auftretenden Wirkungsdistanzen sind wegen der noch herrschenden Unkenntnis der beschriebenen Phänomene der diversen Phasenübergänge des Chlors und der anderen erläuterten Imponderabilien quantitativ nicht exakt zu bewerten. Aus dem ersten Modellansatz, welcher zur Berechnung herangezogen wurde, sind 1700 m Flusslänge für die Ausgasungsphase aus dem Wasser zugrunde gelegt worden. Dies entspricht dem aus dem Wasser austretenden Chlor bezogen auf den definierten Massestrom und der Fließgeschwindigkeit des Wassers.

Auf dem Rhein selber ist probabel eine bedeutend geringere Anzahl von Menschen im unmittelbaren Kontakt mit der Schwergaswolke als auf dem Land. Es ist vom Vorhandensein einiger Schiffe mit ihren Besatzungen, auch von der möglichen Existenz von Fahrgastschiffen auszugehen. Die Zahl unmittelbar im Bereich der Quellkonfiguration des Chlors auf dem Wasser Betroffener ist trotz dieser Annahme um mindestens eine bis zwei Zehnerpotenzen geringer anzunehmen als auf dem Land, eine mittlere Bevölkerungsdichte vorausgesetzt (sogenannte mögliche Dominoeffekte werden ebenso wie bei der Ausbreitungsbetrachtung auf dem Land nicht berücksichtigt).

Die Ursache dafür liegt in der Besonderheit des Chloraustritts an einem Ort, der dadurch gekennzeichnet ist, dass das unmittelbare Umfeld der Chlor-Quelle praktisch immer frei von Menschen angenommen werden kann wohingegen diese Einschätzung auf den möglichen Ort des Kesselwagenversagens nicht in dieser Weise zutrifft.

Die Anteile der Chlorwolke, welche die Deiche überwinden, haben bedeutsam geringe Konzentration. Hartwig und Klumpe haben in /79/ den Abfall der Chlorkonzentration mit zunehmender Höhe und in geringer Quellentfernung, wo eine starke Stratifikation des Schwergases besteht, untersucht: „In zwei Metern Höhe bewegen sich die Chlorkonzentrationen im ppm-Bereich, in Bodennähe hingegen im %-Bereich...Mit zunehmender Quellentfernung wird die Konzentrationsabnahme mit steigender Höhe geringer (Tracergas), jedoch sind hier die wesentlich geringeren Schadgaskonzentrationen zu berücksichtigen.“

Diesen Sachverhalt berücksichtigt auch die VDI- Richtlinie 3783 /63/ (die selbst ein konservatives Berechnungsmodell für die Ausbreitung von Schwergasen nutzt), indem das dort verwendete Ausbreitungsmodell für schwere Gase verschiedene o- rografische Ausbreitungsgebiete mit Hindernissen als variable Parameter enthält und in der Konsequenz erhebliche Abschwächungen der Gaskonzentration hinter diesen Hindernissen errechnet. In der VDI-Richtlinie, Blatt 2, ist das hier zugrunde zu legende Szenario mit dem „Ausbreitungsgebiet IV“ der Richtlinie gleichzusetzen. Entsprechend den dort enthaltenen Diagrammen zur Konzentrationserwartung hinter starren Hindernissen, so wie sie die Deiche darstellen, ergibt sich eine Konzentrationsminderung von 70% bis 80% hinter entsprechend dimensionierten Hindernissen. Weil die Eindeichung des Rheins diese in der Richtlinie enthaltenen Hindernishöhen zwar nicht erreicht, aber die Entfernung der Deiche von der Quelle sehr groß ist (d.h. die Konzentration der auf dem Fluß liegenden sich ungehindert im Deichabstand und Flußlängsrichtung ausbreitenden Schwergaswolke ohnehin schon niedriger zu erwarten ist als eine Bodenlache die den Modellen der VDI-Richtlinie zugrunde gelegt ist) wird nunmehr damit begründet angenommen, dass die von der 1000 Vol.ppm- Isolinie überstrichene Fläche hinter dem Deich nur noch etwa 10% der errechneten Fläche ohne Berücksichtigung der Deiche beträgt und damit auf 90% ihrer Ausbreitungsfläche innerhalb der als bevölkerungsfrei anzunehmenden Deichzonen liegt. Weil dieser Sachverhalt von DEGADIS nicht zu berücksichtigen war, wird die errechnete Ausbreitungsfläche der 1000 Vol.ppm-ISO-Line um 90 % verringert, d.h., es ist a priori von 0,1 km² mit 1000 Vol.ppm belasteter Landfläche hinter dem Deich auszugehen.

18.2.3 Der Chloreintritt in das Wasser und seine Auswirkung

Diese Erwartungswerte besitzen aufgrund der Annahmen einen konservativen Charakter. Der Übergang von Chlor in Wasser gestaltet sich komplex. Neben der Disproportionierung des Chlors in unterchlorige Säure und Salzsäure entstehen auch Chlorhydrate.

Die Bruttoreaktionsgleichung von Chlor in Wasser lautet:



Die Löslichkeit von Chlor in Wasser beträgt bei 10 °C etwa 6 g Chlor pro Liter Wasser. Dieser Wert ist abhängig von der Temperatur, vom Partialdruck sowie vom

pH-Wert des Wassers. Mit zunehmendem alkalischen Charakter steigt die Löslichkeit. Das chemische Gleichgewicht wird sich unter den angenommenen Umständen schnell und vollständig einstellen. Das chlorgesättigte Wasser strömt rheinabwärts, dabei sinkt kontinuierlich die Löslichkeit unter dem normalen Luftdruck und das Chlor wird aus dem Wasser wieder ausgasen, wobei die Ausgasungskonzentration ständig sinkt. Über die dabei vom Wasser zurückzulegende Entfernung, bis ein Teil des Chlors (der Teil, der nicht chemisch reagierte) wieder aus dem Wasser ausgetreten ist, konnten nur die dargestellten Modellansätze berücksichtigt werden.

Der beschriebene Umstand der Chlorausgasung (Phasenübergang von flüssig in gasförmig) aus dem Wasser wird auch bei der Einstufung von Stoffen in die verschiedenen Kategorien der Wassergefährdung berücksichtigt. Chlor ist wegen des „Gasbonus“ nur als „wassergefährdend“, (Wassergefährdungsklasse II) nicht aber als „stark wassergefährdend“ (Wassergefährdungsklasse I) eingestuft. Daraus resultiert auch die nicht in den Vordergrund der Risikobetrachtung dieser Arbeit gestellte aquatische Toxizität des Chlors wenngleich bei einem so massiven Chloreintrag in das Rheinwasser wie beim beschriebenen Tankschiffsunfall, von einer erheblichen Schädigung der lokalen Wasserflora und -fauna auszugehen ist. Diese Schädigungen lassen sich jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht quantifizieren.

Die vorgenannten Bemerkungen sollen verdeutlichen, dass der Eintritt von Flüssigchlor in das Rheinwasser nach einem komplexen Tankversagen aus einem Binnentankschiff modellierbar ist, die konsequenzvermindernden Parameter hinsichtlich der Konzentration der unmittelbar aus dem Wasser heraustretenden Chlorgase wegen der unbekanntem Zeitdauer der sich einstellenden Prozessabläufe jedoch nicht exakt bestimmbar waren. Insofern wurde konservativ davon ausgegangen, dass alles Chlor welches in das Wasser eintritt, seinen unmittelbaren Beitrag für die toxisch wirkende Luftbelastung innerhalb eines limitierten Zeitfensters leistet, was aber mit Sicherheit eine wesentlich überhöhte Betrachtungsweise bezüglich der sich einstellenden und als Grundlage der Berechnung dienenden Chlorkonzentrationen darstellt.

Auf der Grundlage der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Bevölkerungszahlen entlang des Rheinverlaufes ist unter Berücksichtigung der Deiche im Ergebnis der Auswirkungsberechnung beim Binnenschiffsunfall mit Querwindeinfluss für den beispielhaft ausgewählten Streckenabschnitt Nr. 89 von Kenzingen nach Karlsruhe mit einer mittleren Bevölkerungsdichte von 625 Einwohnern je km² mit circa 60 Soforttoten zu rechnen. Wird der bevölkerungsreichste Rheinabschnitt, die Stre-

cken Nr. 43 und 37 zwischen Vahnum und Köln betrachtet, steigt die Zahl der Soforttoten auf 220 an. Für den mittleren Wert der Bevölkerungsdichte von 230000 Einwohnern im 16 km-Umkreis (nach Hartwig und Klumpe in /79/), ist mit circa 25 Soforttoten bei der beschriebenen Gasfreisetzung aus dem Binnenschiffstank zu rechnen. Zu diesen Zahlen, die sich auf Betroffene auf dem Land hinter den Deichen beziehen, ist noch eine geringe Zahl Betroffener auf dem Wasser selber zu addieren. Dazu wurden Ausführungen gemacht. Es wird angenommen, dass diese Zahl, bezogen auf 1,7 km Flusslänge und fünf möglicherweise vorhandenen Binnenschiffen mit 10 bis 20 Personen anzusetzen ist.

Entsprechend den berechneten Flächenverhältnissen würde die Anzahl Soforttoter beim Kesselwagenversagen an den in Bezug genommenen Orten, also auch unterschieden in die Regionen mit niedriger oder hoher mittlerer Bevölkerungsdichte auf dem Land, in etwa den selben Größenordnungen liegen. Die Grundlage dieser Bewertung stellen die von der 1000 Vol.ppm Isolinie umrissenen ca. 130000 m² Landfläche vom Kesselwagenversagen dar. Die Annahme gleicher mittlerer Bevölkerungsdichten auf dem Land außerhalb der Deichzonen für beide Szenarien wurde begründet. Unberührt von dieser Feststellung bleibt die Tatsache, dass es im Fall der Kesselwagentransportfreisetzung lokal außerordentlich hohe Bevölkerungszahlen geben kann, im Fall der Binnenschiffstransportfreisetzung diese Maxima in unmittelbarer Quellumgebung der Chlorlache aber wegen dem praktisch menschenfreien Raum innerhalb der Deichzonen nicht erreicht werden können. Es sind deshalb im Fall des Eisenbahntransports Chlorfreisetzungsunfälle mit hohen Letalschäden (siehe Ergebnisse aus /79/) im Gegensatz zum Binnenschiffstransport nicht auszuschließen. Für die Beantwortung der Forschungsaufgabe dieser Arbeit mußte sich aus Kapazitätsgründen auf einen kursorischen Vergleich abgestützt werden und deshalb konnten nur die jeweils mittleren Bevölkerungszahlen innerhalb der 16 km-Umkreise berücksichtigt werden.

Auswirkungsverringemde Faktoren wie z.B. der Gebäudeaufenthalt und allgemeine Evakuierungsmaßnahmen, die, wie von Hartwig und Klumpe in /79/ beschrieben, die Anzahl der zu erwartenden Toten auf ein Zwanzigstel ($1/20$) reduzieren, werden wegen der hier vorliegenden Zielstellung eines relativen Vergleichs unberücksichtigt gelassen. Es muß in diesem Zusammenhang nochmals darauf verwiesen werden, dass das Ziel der Untersuchung nicht in der Ermittlung eines absoluten Erwartungswertes an letalen Bevölkerungsschäden lag.

19. Die Risikobewertung des Chlortransports mit Binnentankschiffen im Ergebnis eines Risikovergleichs mit dem Kesselwagentransport

19.1 Ergebnisdarstellung

Auf der Basis der berechneten Zahlen für die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Tankschiffsunfalls mit Freisetzung des Tankinhalts eines Ladetanks und der Konsequenz einer Chlorfreisetzung aus einem Schiffsladetank ist die Ermittlung des Risikos des Chlortransports mit Binnentankschiffen auf dem Rhein im kursorischen Vergleich mit dem Risiko des Chlortransports mittels Kesselwagen möglich.

In der durchgeführten Untersuchung wurden die Schiffsunfälle auf die eigentlichen Verkehrsunfälle und die Betriebsunfälle während des Ladens und Löschens begrenzt. Aus der Unfallanalyse wurde unter der Annahme der Berücksichtigung der Unfälle mit Chlorfreisetzung die Eintrittswahrscheinlichkeit von $0,12 \cdot 10^{-7}$ Unfällen pro Km und Jahr über die betrachteten Rheinabschnitte (Heranziehung des unfallträchtigsten Abschnitts) hergeleitet. Wird nunmehr eine Transportmenge von 50000 t Chlor pro Jahr mit Tankschiffen bei einer Ladungsmenge pro Schiff von 800 t angenommen und die durchschnittliche Fahrtlänge auf dem Rhein mit 200 Km angesetzt, ergibt sich eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $1,5 \cdot 10^{-4}$ Freisetzung-Unfällen pro Jahr, das entspricht einem Erwartungswert von einem Unfall in 6500 Jahren. Diesem Zahlenwert liegt aber eine nicht wissenschaftlich exakt begründbare Verminderung der Freisetzungswahrscheinlichkeit des Chlors aus dem Schiffsladetank zugrunde, die sich auf die konstruktiv bedingte „Unwahrscheinlichkeit“ /78/ des Tankversagens infolge Unfalleinwirkung bezieht. Es wurde im Kapitel 11 dazu eine begründete Annahme getroffen.

Dem gegenüber steht die Wahrscheinlichkeit der Chlorfreisetzung aus Kesselwagen infolge Bahnbetriebsunfällen von $7,2 \cdot 10^{-3}$ Unfällen pro Jahr, das entspricht einem Unfall in 140 Jahren /34/.

Bezüglich der Konsequenz ergeben sich trotz der 3-fach größeren freigesetzten Chlormenge aus dem Tankschiff keine größeren Auswirkungen, bezogen auf betroffene Menschen, als beim Freisetzungsunfall mit Chlorkesselwagen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Havariefall des Tankschiffes bezogen auf das dafür bestimmende Unfallszenario des größten anzunehmenden Unfalls –vollständiges Tankversagen- und unter Beachtung der dreifach so großen freigesetzten Chlormenge, die Chlorgaswolke einen praktisch (im Vergleich zum Land) riesigen Ausbreitungs-

raum entlang des Rheins und zwischen den Deichen ausfüllt in welchem sich praktisch nur sehr wenige Menschen aufhalten und die diesen abgegrenzten Raum überschreitenden Chlorwolkenanteile eine stark verminderte Konzentration aufweisen. Die Bezugsgröße für die Anzahl Betroffener stellen die in /34/ untersuchten rheinnahen Eisenbahnstrecken dar, deren mittlere Bevölkerungszahlen entsprechend des geschilderten Ansatzes für den Vergleich außerhalb der Deichgebiete herangezogen wurden. Es ist aber nicht davon auszugehen, dass die Anzahl aller von der Chlorgaswolke aus dem Binnentankschiff Betroffenen (also auch derer, die einer geringeren Konzentration als der 1000 Vol.ppm im fernerem Hinterland ausgesetzt sind) auch um den ausgewiesenen Vergleichswert von „1“ im Vergleich mit der Kesselwagenfreisetzung betroffen sind. Der Grund dafür liegt in der über die große Fläche verteilten Gaswolke auf dem Rhein, die sich in der Konzentration (weil an jeder Stelle der 1700 betroffenen Rheinmeter nur eine temporäre Gasemission aus dem Wasser erfolgt) schneller abschwächt als die Gasemission aus der Lache bei der Kesselwagenfreisetzung und deshalb die Dosis für weiter vom Quellort entfernte Personen hinter den Deichen rascher sinkt.

Unter dem Gesichtspunkt der Risikobewertung, als stochastisches Produkt von Häufigkeit und Konsequenz, zeigt sich demnach unter (gedachter) Beibehaltung des gegenwärtig von den Gefahrgutvorschriften festgelegten und geforderten Sicherheitsniveaus von Gastanks und Tankschiffen im direkten Vergleich:

Bei einer auf die mittleren Bevölkerungszahlen (die keine nur beim Eisenbahnbetrieb überhaupt auftretenden Bevölkerungsmaxima/ Fläche berücksichtigen) als gleich anzunehmenden Konsequenz (Soforttoter) und einer etwa fünfundvierzigfach niedrigeren Eintrittswahrscheinlichkeit des Unfalls im Binnentankschifftransport gegenüber dem Kesselwagentransport ist das Transportrisiko von Chlor mittels Binnentankschiffen auf dem deutschen Rheinabschnitt im Fall des Szenarios „Größter anzunehmender Unfall“ (Tankversagen) geringer als das Risiko des Transports von Chlor in Eisenbahnkesselwagen. Weil die Schwergaswolkenausbreitung durch die Rheineindeichung in Richtung der Landseite begrenzt wird, verringert sich die Konsequenz der Gaswolke auf die betroffenen Menschen deutlich. Dies führt in Verbindung mit der geringeren Freisetzungswahrscheinlichkeit zu einem Absinken des Transportrisikos für den Binnenschifftransport von Chlor im Vergleich mit dem Kesselwagentransport.

Diese Einschätzung wird unterstützt durch die US-amerikanische Erfahrung, nach der sich in fast fünfzig Jahren der praktischen Chlorbeförderung mittels Binnentank-

schiffen kein einziger Chlorfreisetzungsfall ereignete, wohingegen die Freisetzungsfälle von mit Chlor beladenen Kesselwagen in Amerika weithin bekannt sind.

19.2 Diskussion der Ergebnisse

Alle der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung notwendigerweise getroffenen Annahmen waren dem Grundsatz nach konservativ, dies meint, zur sicheren Seite hin ausgelegt. Auf die Besonderheit der Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit wurde hingewiesen, ebenso wurde aber auch die Ermittlung der Freisetzungskonsequenz vom Ansatz her überhöht (Stichwort Masse des Chloreintrags in das Wasser gleich Austrittsmasse in definierter kurzer Zeit), im Sinne der Darstellung der Gefährdung der Bevölkerung, realisiert.

Es wird der im Verhältnis zum Kesselwagentank nach sicherheitstechnisch gleichen Kriterien (Druckbehältercode) ausgelegte Druckgastank eines Binnenschiffes in die Doppelhülle eines (wieder im Vergleich zum Kesselwagen) wesentlich langsamer fahrenden Tankschiffes eingesetzt. Diese Doppelhülle stellt nach den bisherigen Unfallereignissen mit Doppelhüllenschiffen des Typs „C“ (Schiffe, die als Ladetank keinen von der Schiffshaut unabhängigen Drucktank besitzen) einen äußerst wirksamen Schutz für den Druckgastank im Falle von Kollisionen dar, beim Kesselwagen ist der Druckgastank ungeschützt.

Zusätzlich sind im sicherheitstechnischen Sinn folgende, den Schiffsbetrieb begleitende Betriebsbedingungen, auf der Positivseite einer möglichen Chlortankschiffahrt zu berücksichtigen, die in die Bewertung des Risikos, wie oben dargestellt, nicht eingehen:

- das Binnentankschiff ist zu jeder Zeit durch die Rhein-Revierzentralen im Melde- und Informationssystem der Binnenschiffahrt (MIB) überwacht
- das Chlortankschiff unterliegt als 2-Kegelschiff neben den allgemeinen Tankschiffanforderungen des ADNR noch weiteren besonderen Fahrt- und Liegebedingungen
- der Rhein stellt nach Einschätzung der Wasserschutzpolizei den am besten überwachten Landverkehrsweg (dazu zählt nach Definition des Gefahrgutrechts auch die Binnenwasserstraße) dar
- die Schiffsbesatzung ist immer an Bord und besitzt eine gefahrgutspezifische Sonderausbildung

- der Zustand der Ladetanks wird permanent automatisch überwacht und angezeigt
- vom Vorhandensein eines immer weiter verbesserten Rheinnavigationssystems (Stichwort ARGO-Advanced River naviGatiOn) ist auszugehen.
- Für Notfallmaßnahmen steht Wasser, z.B. für den Aufbau von Wasservorhängen auf und in der Nähe des Flusses, praktisch in unbegrenzter Menge zur Verfügung.

Zusammenfassend wird nunmehr geschlussfolgert, dass der Transport von UN 1017, Chlor, im Binnentankschiff auf dem deutschen Teil des Rheins unter Beibehaltung der gegenwärtig von den Gefahrguttransportvorschriften vorgegebenen Bedingungen für die Technik und den Betrieb mit keinem höheren Transportrisiko verbunden ist als der Transport von Chlor in Eisenbahnkesselwagen.

20. Empfehlung für weiterführende Arbeiten

Es darf abschließend die Anregung gegeben werden, dass die wissenschaftliche Weiterbeschäftigung mit dem Phänomen der Phasenübergänge von Chlor im strömendem Wasser, insbesondere unter Beachtung des Eintrags von tiefkalt transportierten Chlors in Wasser, eine sinnvolle Ergänzung der vorliegenden Arbeit darstellen würde und damit der alternative Transport von tiefkaltem Chlor im Bereich der Binnenschifffahrt untersucht werden kann.

Literaturverzeichnis

1. Verkehr in Zahlen 1990,
Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)
1000 Berlin, 33, Königin-Luise-Straße 5
2. Pöttsch, M.; Würsig, A.
"Das Risiko bei der Beförderung gefährlicher Güter im Landverkehr"
Tagungsbericht des 8. Kolloquiums Sicherheitstechnik von BAM und PTB, 1999
Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven, ISBN 3-89701-293-6
3. Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (GGVSE)
vom 11.12.2001, BGBl. I S. 3529 vom 17.12.2001
4. Hartwig, S., Klumpe, G.
"Ermittlung, Bewertung und Vorschläge zur Minderung der Risiken bei der
Produktion, Lagerung, Transport und Verarbeitung schwerer Gase, insbesondere:
Stoffzyklus Chlor"
Zusammenfassung des Forschungsberichts der Bergischen Universität-
Gesamthochschule Wuppertal, 1996, (FKZ.13RG9005)
5. "Untersuchung des Gefährdungspotentials durch den Transport von Gefahrgütern auf
Fähren"
Forschungsbericht UBA Nr. :FKZ 102 04 419, 1998
6. Hannesen, K.
"Materials of construction for handling chlorine"
Vortrag auf dem Chlorine Safety Seminar der Euro-Chlor in Brüssel, 14.-15.11.1990
7. Datenbank Gefahrgut
Informationssystem über Gefahrgüter und Gefahrgutumschließungen
Hrsg.: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin 2000
8. Datenbank Chemsafe
Datenbank für bewertete sicherheitstechnische Kenngrößen von brennbaren Gasen,
Flüssigkeiten und Stäuben und deren Gemische
Hrsg.: BAM Berlin, PTB Braunschweig, DECHEMA Frankfurt/Main
Berlin 2000
9. Ellehorn, Matthew J.; Barceloux, Donald G.
"Medical toxicology"
Elsevier Science Publishing Company, Inc.
665 Avenue of the Americas
New York, New York 10010, 1988
ISBN 0-444-01527-2
10. Flury, Ferdinand; Zernik, Franz
"Schädliche Gase"
Verlag von Julius Springer, Berlin 1931
Nachdruck 1969

11. Eisenberg, N.A.; Lynch, C.J.; Breeding, R.J.
"Vulnerability model: a simulation system for assessing damage resulting from marine spills", Rep. CG-D 136-75, Enviro Control
Luc., Rockville, MD, 1975
12. Clayton, George D.; Clayton, Florence E.
"Patty's Industrial Hygiene and Toxicology"
John Wiley & Sons, Inc. New York, 1981
ISBN 0-471-07943-X
13. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, 12. revised edition
UNITED NATIONS 2001
ISBN 92-1-139074-5
14. Zweites Forschungsprogramm "Sicherheit in der Gefahrgutbeförderung"
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 105, Wirtschaftsverlag NW,
Bremerhaven, 1999
ISBN 3-89701-374-6
15. Ludwig, Jörg
"Experimentelle Untersuchungen und Empfehlungen zur Belastbarkeit von
Transporttanks für gefährliche Stoffe durch Explosionsdruck und andere
Beanspruchungen"
Dissertation an der Bergischen Universität-Gesamthochschule Wuppertal, 1999
16. Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt - ZKR -, Flyer, Kurzinformation, 1998
17. National Archives and Records Administration
"Code of federal regulations"
700 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20408, USA
18. Wissmann, Matthias
"Perspektiven der Verkehrspolitik"
Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr
Bonn, 1994
19. Kommission Verkehrsinfrastrukturierung
Schlussbericht
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Sept. 2000
20. Handbuch Güterverkehr Binnenschifffahrt
Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bonn, 1997
21. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR)
Bericht 1998 – 1999
Hrsg.: ZKR, Place de la République, 67082 Strasbourg
22. Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR)
Bericht 1997
Hrsg.: ZKR, Place de la République, 67082 Strasbourg
23. Statistisches Bundesamt
"Binnenschifffahrt mit Rekordergebnis"
Mitteilung für die Presse, 2. März 2001

24. Verkehr in Zahlen 1999
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, diverse Jahrgänge
25. Kurzinformation zur Verkehrsstatistik – Binnenschifffahrtsunfälle – Juni 2001
Statistisches Bundesamt, Gruppe "Verkehr"
26. "Schätzung des Transports gefährlicher Güter im Eisenbahnverkehr in der Binnenschiffahrt und im Seeverkehr 1997"
Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik 5/1999
27. Binnenschiffahrt in Zahlen 1998
Bundesverband der Binnenschiffahrt e.V. und Bundesverband der Selbständigen
Abt. Binnenschiffahrt e.V.
28. Verkehr, Fachserie 8, Reihe 4, Binnenschiffahrt 1999
Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
29. Bundeswasserstraßen, Güterverkehrsdichte der Binnenschiffahrt 1997, BMVBW, Abteilung EW, Bonn 1999 (Karte)
30. Flottenstruktur der beladenen Schiffe 1997
BMVBW, Abteilung EW, Ref. 20, 2000
31. Güterverkehrsleistung der Bundesrepublik Deutschland
Entwicklung und Prognose
BMVBW, Ref. EW 20, März 2001
32. "A National Risk Assessment for Selected Hazardous Materials Transportation "
U.S. Department of Energy, Office of science and technical information, Dec. 2000
P.O. Box 62
Oak Ridge, TN 37831-0062
33. Renn, Ortwin
„Wahrnehmung und Akzeptanz technischer Risiken“
Kernforschungsanlage Jülich GmbH; Jül-Spez-97 Bd. 1, Januar 1981
34. Hartwig, Sylvius
"Die Risikoanalyse als Hilfe für Sicherheitsentscheidungen gezeigt am Beispiel schwerer Gase des Chlorstoffzyklus"
Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. Berlin 1999
ISBN 3503 048278
35. Reckling, K.-A.
"Beitrag der Elasto-Plastomechanik zur Untersuchung von Schiffskollisionen"
Jahrbuch der schiffsbautechnischen Gesellschaft, Springer-Verlag Berlin, 1976
36. DIN VDE 31 000, Teil 2
"Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten" 12/1987
37. Perrow, Ch.
"Normale Katastrophen – Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik"
Campus-Verlag, Frankfurt 1989

38. Schön, G.
"Grundkonzept der Sicherheitstechnik"
Safety Science, 16 (1993) 343 - 358
39. Hartwig, Sylvius
"Große technische Gefahrenpotentiale" - Risikoanalysen und Sicherheitsfragen"
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1983
ISBN 34-540-11827-6
40. Kröger, W., Seiler H.-J., Gheorghe, A.:
"Technik, Risiko und Sicherheit"
Abschlussbericht des Polyprojekts Risiko und Sicherheit technischer Systeme an der
ETH Zürich
Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1996
ISBN 37281 2296 3
41. Hauptmanns, U.; Hertrich, M
"Technische Risiken-Ermittlung und Beurteilung"
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1987
ISBN 3-540-18185-7
42. Hosemann, G.
"Sicherheit und Vorsorge – der Schutzgedanke in der Technik"
DIN-Mitteilungen 80, 2001, Nr. 3
43. Andrews, W.B.
"An Assessment of the risk of Transporting Liquid Chlorine by Rail"
Pacific Northwest Laboratory operated by Battelle Richland, Washington 99352, 1980
44. Seminarband
"Risiko und Sicherheit im Güterverkehr"
Herausgegeben vom Ministerie van Verkeer en Waterstaat, NL, 1992
45. "Schätzung des Transports gefährlicher Güter im Eisenbahnverkehr, in der
Binnenschifffahrt und im Seeverkehr 1997"
Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik 5/1999
46. Sorenson, K.B.
"Overwies of Recent NRC Risk Studies an Proposed Future Work"
Transportation Risk Assessment Seminar
Berlin, 2001
Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico
47. Peters, H.P., Albrecht, G., Hennen, L., Stegelmann, H.U.
„Die Reaktion der Bevölkerung auf die Ereignisse in Tschernobyl“
Jülich-Spezial 400 (KFA: Jülich 1987)
48. WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2000) World in Transition.
"Strategies for Managing Global Environmental Risks"
Annual Report 1998 Berlin et al.: Springer
49. Proposal towards a project on the development of a compass for risks analysis
Draft Consensus Report, CEN, STAR-N 356, 2001-01-19

50. Winter, C.-J.
"Endlichkeit - Anmerkungen zu angewandter Forschung in Grenzen"
Vortrag auf dem DLR-Kolloquium 23./24. Januar 1991, Stuttgart
51. Saarbrücker Erklärung
Weltkongress Sicherheit moderner technischer Systeme
Saarbrücken, September 2001
52. Jaenicke, M.
"Wie das Industriesystem von seinen Missständen profitiert", Köln 1979, in U. Beck, Risikogesellschaft, Edition Suhrkamp 1365, 1986
53. Hulpke, H.
"Risiko – ein Begriff mit vielschichtigen Dimensionen"
BAM-Info - Mitarbeiterzeitschrift der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Berlin, 3/99, S. 35 ff, ISSN-0341-1079
54. Ludwig, J., Konersmann, R., Peinelt, J.
"Sicherheitsüberlegungen zur Beförderung und Lagerung gefährlicher Güter am Beispiel von Rohrfernleitungen"
in: Report Nr.252 der North Atlantic Treaty Organisation
55. "Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen die Gefahren " in: Atomgesetz mit Verordnungen,
Nomos Verlagsgesellschaft Baden-Baden, ISBN 3-7890-7592-2
56. Erdmann, G.
"Vorschläge zum technischen Risikomanagement aus der Sicht der Ökonomik"
Zeitschrift Kyklos (44) 1991, S. 383 - 409, Schweiz
57. Hartwig, Sylvius
"Heavy Gas and Risk Assessment"
D. Reidel Publishing Company
Dordrecht, Boston, London, 1980
ISBN 90-277-1108-9
58. Hartwig, Sylvius
"Heavy Gas and Risk Assessment II"
D. Reidel Publishing Company
Dordrecht, Boston, Lancaster, 1983
ISBN 90-277-1594-7,
59. Langlo, G.-K., Schatzmann, M.
„Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase“
Staub-Reinhaltung der Luft 49 (1989) 241 – 247
60. Heinrich, M., Gerold, E., Wietfeldt, P.
"Large scale propane release experiments overland at different atmospheric stability classes"
Journal of Hazardous Materials, 20 (1988) 287 - 301
61. Durchführung der Störfallverordnung bei Flüssiggasanlagen
Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit
Frankfurt/Main, 1997

62. Bjerketvedt, D., Bakke, J.-R., Wingerden, van K.
Gas Explosion Handbook
Journal of Hazardous Materials 52 (1997) 1 - 150
63. Ausbreitungen von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre
Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase - Sicherheitsanalyse
VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2
64. Strohmeier
„Typische Versagensereignisse bei druckführenden Apparaten und Rohrleitungen in
Chemieanlagen“
Gutachten im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, 1988
65. Ermittlung der möglichen Gefährdungsreichweiten mittels Nomogrammen für Stoff-
und Energiefreisetzungen
Leitfaden des VCI, 2000
66. Gewehenberger, J.
„Schadenspotenzial über den Ausbreitungspfad Atmosphäre bei Unfällen mit
Tankfahrzeugen zum Transport von Benzin, Diesel, Heizöl und Flüssiggas“
Bericht des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg Nr. 2
ISSN 1435 - 618 X
67. Hartwig, Sylvius
„Schwere Gase bei Störfallfreisetzung“
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1989
ISBN 3-18-400874-6
68. Bützer, P., Silvestri, J.
"Die großräumige Wirkung von toxischen Gasgemischen"
Chimia, 48, 295, 1994
69. Jones, C.D.
"On the structure of instantaneous plumes in the atmosphere"
J. Hazard. Mat. 7, 87 – 112, 1983
70. Gabbard, H.
Special investigation report, Survival in hazardous material transportation accidents,
U.S. Dept. of Commerce, 6. Dec. 1979, PB 80 - 14492
71. Ermittlung, Bewertung und Vorschläge zur Minderung der Risiken bei der Produktion,
Lagerung, Transport und Verarbeitung schwerer Gase, insbesondere Stoffzyklus
Chlor
Teil 1:
„Qualitative und quantitative Beschreibung des technischen Chlorflusses in der
Bundesrepublik Deutschland/1992“
Forschungsbericht der Universität Wuppertal, Fachbereich Sicherheitstechnik,
Gauß-Str. 20, 5600 Wuppertal 1
72. Nader, F.
„Perspektiven der Chlorchemie“
in: Chemie Technik 25. Jahrgang (1996) Nr. 8. S. 66 ff

73. Schulz-Forberg, B.
"Yellow Paper - Modell für eine weltweite Regelung des Gefahrguttransports für alle Verkehrsträger"
K.O. Storck Verlag, Hamburg 1997
74. ADR
"European Agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road"
United Nations Publication, ISBN 92-1-139069-9
75. RID
"European Agreement concerning the international carriage of dangerous goods by rail"
WEKA Fachverlag Augsburg, NE Zwischenstaatliche Organisation für den internationalen Eisenbahnverkehr (OTIF), 2002, ISBN 3-8111-4640-X
76. Rheinschiffspolizeiverordnung
Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, 2002 und BGBl I, S.4580 vom 18.12.2002
77. THESEUS
Tankfahrzeuge mit höchst erreichbarer Sicherheit durch experimentelle Unfallsimulation
Forschungsvorhaben des BMBF, Schlußbericht 1995
78. "ADNR safety equivalence 550m³ gas tanker fitted with Y-type side structure"
TNO Report 2001-CMC -R004
Center for maritime engineering, 2600 Delft, NL
79. Klumpe, G., Hartwig, S.
"Ermittlung, Bewertung und Vorschläge zur Minderung der Risiken bei der Produktion, Lagerung, Transport und Verarbeitung schwerer Gase, insbesondere Stoffzyklus Chlor, Teil 9 - Auswirkungen und Risiken der unerwünschten Ereignisabläufe beim Schienentransport, bei der Lagerung und der Abfüllung von Chlor in Eisenbahnkesselwagen"
Forschungsbericht der Bergischen Universität Wuppertal (FKZ.13RG9005), 1995
80. Binswanger, H.C.
"Neue Dimensionen des Risikos"
ZfU 2/9 S. 103 – 118
81. Finney, D.J.
"Probit Analysis"
Cambridge University Press. (1971)
82. Pietersen, C.M.
"Consequences of accidental releases of hazardous material"
Journal of loss prevention in the process industries, 3, 136-141
83. Lees, F.P.
"Loss prevention in the process industries"
London, Butterworths (1980)
84. Wiekema, B.J.
"Risikoanalyse für den Transport gefährlicher Güter"
Vortrag auf "Internationale Binnenschifffahrts-Gefahrgut-Tage"
2./3. Mai 1990, Lahnstein/Rhein

85. "Purple book" – CPR – 18 E
Guidelines for qualitative risk assessment
SdU Uitgevers, Den Haag 1999
ISBN S012 08796 1
86. Lange, S.
„Ermittlung und Bewertung industrieller Risiken“
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1994
ISBN 3-540-13056-X
87. Vahrenholt, F.
„Risikomanagement und Risikobewußtsein“
Vortrag auf den Gefahrgut-Tagen Hamburg 1999
88. Geike, R., Horn, A.
„Probleme bei Ausbreitungsrechnungen“
TÜ Bd. 34 (1993) Nr. 4
89. Kuchling, H.
Taschenbuch der Physik, Fachbuchverlag Leipzig – Köln, 1994
90. VDI-Wärmeatlas
8. Auflage, Springer-Verlag, 1998, ISBN 3-540-14620-2
91. Lebuser, U., Schecker, H.-G.
„Verdampfung von Flüssigkeiten aus offenen Lachen“
Dechema-Monographien, Band 197, 1987
92. Wörsdörfer, K.
„Beschreibung der thermodynamischen Vorgänge und Wechselwirkungen bei der Freisetzung von Ammoniak“
Dissertation Bergische Universität, Gesamthochschule Wuppertal, 1994
93. Briscoe, F, Shaw, P.
Prog. Energy Comb. Sci (1980)
94. Lebuser, U.
„Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Verdunstung aus Flüssigkeitslachen“
Dissertation Universität Dortmund 1989
95. Deutsch, S.
„Verdunstung aus Flüssigkeitslachen unter atmosphärischen Bedingungen“
Dissertation Universität Dortmund 1995
96. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2
Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen schwerer Gase – Sicherheitsanalyse
Beuth Verlag GmbH
97. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1
Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen – Sicherheitsanalyse
Beuth Verlag GmbH
98. Schönbacher, A., Scheller, V.
„Ausbreitung von Abgasfahnen“
Chem.-Ing. Techn. 53 (1981) Nr. 5

99. „DEGADIS- A Dispersion Model For Elevated Dense Gas Jet Chemical Releases“
EPA-450/4-88-006 a, April 1988
100. „The Spread and Vaporization of LNG“
Risk & Industrial Safety Consultants, Inc. 1993
101. Schnatz, G.
“Schwere Gase”, Modelle, Experimente und Risikoanalyse
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1986, ISBN 3-540-16579-7
102. “Modellierung und Ausbreitung von Schwergasen im Störfall in strukturierten
Geländen”
Schnatz, G., Heudorfer, W.
im Tagungsbericht des IV. Symposiums “Schwere Gase und Sicherheitsanalyse”,
Bonn 1991, herausgegeben von S. Hartwig im Battelle Eigenverlag Frankfurt/ Main

Anhänge

Anhang 1: Darstellung ausgewählter Gefahrgutunfälle

Anhang 2: Gefahrgut-Vorschriftenverzeichnis allgemein und für den Binnenschiffsverkehr

Anhang 3: Eindrücke einer Tankschiffahrt

Anhang 4: Statistische Daten zur Binnenschiffahrt

Anhang 5: Unfalldatensammlung von Gefahrgutschiffen auf bundesdeutschen
Schiffahrtsstrassen

Darstellung einiger ausgewählter Transportunfälle mit großen Konsequenzen besonders im Eisenbahn- und Schiffsbereich:

- **Schiffs-Explosion**

Jahr: 1947
Ort: Texas City, Texas, USA
Ladung: Ammoniumnitrat

Ein mit Düngemittel (Ammoniumnitrat) beladenes Binnen-Trockengüterschiff geriet in Brand und explodierte – Trümmerflug bis 5000 m. Die Explosion setzte 2 Flugzeuge, die gerade die Unglücksstelle überflogen, in Brand – der Knall dieser Explosion war 250 km weit zu hören. Öllagertanks am Ufer, sowie eine chemische Fabrik, gingen in Flammen auf. Ein zweites, ebenfalls mit hochexplosiven Düngemitteln beladenes Schiff, versuchte aus der Gefahrenzone zu kommen, rammte dabei ein drittes Schiff. Sie verkeilten sich und waren manövrierunfähig. Beide Schiffe fingen später Feuer und explodierten – das Feuer sprang auf ein Hafenspeicher über, in dem Schwefel gelagert war. Ein Drittel der Stadt stand in Flammen.

Bilanz: 562 Tote, > 3000 Verletzte
Schaden > 100 Mio. \$

- **Explosion eines Flüssiggas-Kesselwagens**

Jahr: 1948
Ort: Ludwigshafen, Deutschland
Ladung: Dimethylether

Intensive Sonneneinstrahlung verursachte in einem über dem zulässigen Füllgrad hinaus beladenem Kesselwagen eine hydraulische Drucksteigerung. Nachdem der Drucktank versagte und etwa 30 t Dimethylether in den umgebenden Luftraum vergast waren, kam es zur Zündung der Gaswolke mit einer heftigen Explosion.

Bilanz: 270 Tote, 3800 Verletzte
schwerste Gebäudeschäden im Werk und in der Stadt

- **Zusammenstoß eines Tankfahrzeuges mit Personenzug im Schrankenbereich**

Jahr: 1967
Ort: Langenweddingen bei Magdeburg, Deutschland
Ladung: Leichtbenzin, 15 000 Liter

Ein Personenzug mit 540 Reisenden fährt mit 85 km/h in das Führerhaus des Tankfahrzeuges, das bei halbgeöffneter Schranke den Gleisbereich überquerte. Das brennende Benzin erfasst sofort die ersten beiden Reisezugwagen, 3 weitere Wagen sowie das Bahnhofsgebäude werden später erfasst.

Bilanz: 96 Tote (davon 44 Kinder)

- **Binnenschiffs-Großbrand**

Jahr: 1970
 Ort: Rheinhafen der BASF, Ludwigshafen, Deutschland
 Ladung: Propylen

Ein Gastankschiff löschte über eine Flüssiggasleitung seine Ladung. Zum Zeitpunkt des Abreißen (Bruch) der Entladeleitung, waren noch 110 t Propylen im Schiff. Das austretende Flüssiggas verdampfte sofort und bildete eine große weiße Gaswolke (350 m lang, 100 m breit, 12 m hoch), die entzündet wurde. Von der Gaswolke wurden mehrere andere Tankschiffe eingeschlossen. Das Feuer griff auf ein mit ca. 800 t Benzol beladenes Tankschiff über, das nach explodieren von 2 Ladetanks vollständig ausbrannte. Weitere 3 Tankschiffe, davon 2 Schubschiffleichter mit insgesamt 1810 t Rohbenzin, wurden durch das auslaufende und brennende Benzol („Feuerstraße“ von 3-4 km Länge) erfasst und teilweise in Brand gesetzt. Es wurden Hafenanlagen auf 350 m Länge und 50 m Tiefe vernichtet.

Bilanz: 6 Tote, einige Schwerverletzte

- **Eisenbahnunfall eines Kesselwagenzuges**

Jahr: 1970
 Ort: Crescent City, Illinois, USA
 Ladegut: Propan

Ein aus 15 Kesselwagen bestehender Zug entgleiste im Stadtgebiet von Crescent City. 9 Kesselwagen wurden vom Brand erfasst. Nach 63 Minuten entstand der 1. BLEVE. Es folgten 2 weitere BLEVE's.

Bilanz: 66 Personen verletzt
 25 Häuser vollständig zerstört
 90 % des City-Distrikts beschädigt

- **Kesselwagenzugunfall infolge Entgleisung**

Jahr: 1979
 Ort: Mississauga, Kanada
 Ladung: verschiedene gefährliche Güter

24 eines aus 106 (!) Einheiten bestehenden Güterzuges entgleisten infolge Achsenbruch. 8 Propangas-Kesselwagen explodierten bzw. gerieten in Brand. Ein explodierender Kesselwagen flog 675 m weit durch die Luft, Waggonteile wurden noch bis zu 1,6 km entfernt gefunden. Die Flammen schossen bis zu 1500 m hoch in den Himmel. Unter den 106 Wagen war ein Chlorgaskesselwagen (90 t), der in den Unfall verwickelt war. Aus diesem traten trotz permanenter Kühlung etwa zwei Drittel des Chlors aus, das jedoch durch die gewaltigen Explosionen in höhere Luftschichten geschleudert wurde.

Bilanz: Massenevakuierung von 250 000 Menschen; (130 km²)

- **Explosion mit Ammoniak-Kesselwagen**

Jahr: 1979
 Ort: Crestview, USA
 Ladung: wasserfreies NH₃, Aceton, Methanol, Chlor, Carbonsäure

Ein Güterzug mit 29 Wagen, darunter 26 Kesselwagen entgleiste durch zu hohe Geschwindigkeit und überhöhter Ladung (11,360 t) auf abschüssiger Strecke. Zwei mit Ammoniak beladene Kesselwagen explodierten, 12 weitere Aceton, Methanol, Chlor, Carbonsäure und NH₃ enthaltende Wagen wurden aufgerissen und brannten aus.

Bilanz: 14 Verletzte
 4500 Personen evakuiert

- **Explosion eines Binnen-Tankschiffs**

Jahr: 1990
 Ort: Hafen Ludwigshafen, Deutschland
 Ladung: Leichtbenzin

Auf einem mit 2000 t Leichtbenzin beladenen Tankschiff brach beim Entladen ein Feuer im Ladungsbereich aus. Kurz danach kam es im Schiffsinnenen zu einer Explosion. Unmittelbar danach brach das Schiff auseinander und sank auf den Grund des Hafens.

Bilanz: 2 Schwerverletzte
 Sachschäden, Gewässerverunreinigung

- **Gefahrgutunfall mit Eisenbahnkesselwagen**

Jahr: 1994
 Ort: Zürich Affoltern, Schweiz
 Ladung: 1592 t Benzin in 20 EKW

Ein Kesselwagen entgleiste und schlug nach Zusammenprall mit einer Stromleitung leck. Drei Kesselwagen kippten seitwärts um, zwei weitere entgleisten und blieben stehen. Aus den aufgeschlagenen Domöffnungen lief Benzin aus, es entzündete sich durch Kurzschlussfunken bzw. Funkenwurf durch Materialreibung. 7 der 20 Wagen lagen im Brand, 3 anliegende Häuser standen in Vollbrand, ein weiteres sowie verschiedene parkende Fahrzeuge brannten durch Strahlungswärme. Während des gesamten Einsatzes und den Aufräumarbeiten bestand akute Explosionsgefahr. Durch schwere Explosion wurden mehrere hundert Meter Kanalisation und Regenklärbecken zerstört.

Bilanz: 3 verletzte Personen, diverse Schockeinwirkungen;
 Naturschäden (Boden-, Gewässer- und Luftverschmutzungen)
 sowie mehr als 20 Mio. SFr Sachschäden (nicht Eisenbahn!)

- **Entgleisung eines Kesselwagenzuges**

Jahr: 1996
 Ort: Schönebeck, Deutschland
 Ladung: Vinylchlorid

Von einem Gaszug aus 18 Kesselwagen mit 1413 t Bruttogewicht, beladen mit Vinylchlorid, entgleisten nach einer Weichenüberfahrt die Wagen 7 bis 16. Der Tank des Wagen 16 wurde zerstört, es kam zum explosionsartigen Entzünden des Ladegutes. Zwei weitere Wagen brannten aus. Die Ursache der Entgleisung wird in einer Verkettung einer Vielzahl unglücklicher Umstände gesehen.

Bilanz: einige Verletzte
 Brand- und Umweltschäden
 Bemerkung: Konsequenzen hätten wesentlich größer sein können

- **Zerbersten eines Eisenbahnkesselwagens**

Jahr: 1997
 Ort: Marl, Deutschland
 Ladung: Propen

Ein bei – 20 °C in der Ukraine um 56 % überfüllter Kesselwagen (122 m³) wurde nach Deutschland überführt. Bedingt durch erheblichen Temperaturanstieg, erhöhte sich der Innendruck des Tanks während des Transports auf etwa 80 bar (Prüfdruck des Tank 26 bar!). Während der Kesselwagen in Marl auf einem Abstellgleis stand, barst der Tank unter dem enormen Innendruck. Es wurden schlagartig 68,5 t Propen freigesetzt (Flash-Verdampfung). Die entstandene explosionsfähige Gaswolke, die durch glückliche Umstände nicht gezündet wurde, hatte ein errechnetes Volumen von über 100'000 m³.

Bilanz: 2 Arbeiter erlitten Hörschäden
 Beschädigung von 6 weiteren Druckgaskesselwagen
 Bemerkung: Anhand von Berechnungen wurde ermittelt, dass bei einer Zündung der Gaswolke, die Folgen der Explosion das Maß des Vorstellbaren überschritten hätte, es wäre mit Zerstörungen in km²-Maßstab zu rechnen gewesen.

- **Kesselwagenzugunfall**

Jahr: 1997
 Ort: Elsterwerda, Deutschland
 Ladung: Benzin und Heizöl, 1300 t

Ein aus 22 Eisenbahnkesselwagen bestehender Zug verunglückte im Bahnhofsbereich. Zwei mit Benzin beladene Kesselwagen explodierten, 13 weitere wurden beschädigt und brannten teilweise aus. Mehrere 10'000 l Benzin versickerten im Boden und traten teilweise 4 Wochen (!) später durch die Wand einer Bahnstabsunterführung aus.

Bilanz: 2 Tote, 120 Evakuierte
 Zerstörung des Bahnhofgebäudes
 20 Pkw auf dem Vorplatz verbrannt
 Bemerkung: Eine viertel Stunde vor dem Unfall verließ ein vollbesetzter Reisezug den Bahnhofsbereich.

Gefahrgut-Vorschriftenverzeichnis allgemein und für den Binnenschiffsverkehr

Verkehrsträgerübergreifende Vorschriften

EU-Recht

Vertrag zur Gründung der Europäischen
Gemeinschaft i.d.F. vom 07.02.1992

Verordnung (EWG) Nr. 3356/91 des Rates vom
November 1991 zur Änderung der Verordnung
(EWG) Nr. 4060/89 über den Abbau von
Grenzkontrollen der Mitgliedstaaten im Straßen-
und Binnenschiffsverkehr

- 1. Bekanntmachung des BMV vom 21.12.1989
- 2. Bekanntmachung des BMV vom 24.02.1992

Sicherheitsberater (Gefahrgutbeauftragten)-
Richtlinie (96/35/EG)

Prüfungsrichtlinie für Sicherheitsberater
(Gefahrgutbeauftragte) (Gemeinsamer
Standpunkt)

Richtlinie über ortsbewegliche Druckgeräte
(1999/36/EG) vom 29. April 1999

Informations-Richtlinie (98/34/EG) vom
22.06.1998

- geändert durch Richtlinie 98/48/EG vom
20.07.1998

Seveso-Richtlinie (96/82/EG) vom 09.12.1996

VOC-Richtlinie (94/63/EG) vom 20.12.1994

Verpackungs-Richtlinie (94/62/EG) vom
20.12.1994

Druckgeräte-Richtlinie (97/23/EG) vom
29.05.1997

Fundstelle:

BGBl. II S. 1251

VkBl. 1989 S. 387

VkBl. 1992 S. 78

ABl. der EG Nr. L 145
vom 19.06.1996, S. 10
vom 29.03.1998

ABl. der EG Nr. L 138
vom 01.06.1999, S. 20
ABl. der EG Nr. L 204 vom
21.07.1998, S. 37

ABl. der EG Nr. L 217
vom 05.08.1998, S. 18

ABl. der EG Nr. L 10
vom 14.01.1997, S. 13

Abl. der EG Nr. L 365
vom 31.12.1994, S. 24

Abl. der EG Nr. L 365
vom 31.12.1994 S. 10

ABl. der EG Nr. L 181
vom 09.07.1997, S. 1

Gesetze

Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter
(GGBefG), Neufassung vom 29. September 1998

BGBl. I S. 3114

Gesetz zu dem Vertrag vom 31.08.1990 zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Demokratischen Republik über die Herstellung der Einheit Deutschlands – Einigungsvertragsgesetz - und der Vereinbarung vom 18.09.1990 BGBl. I S. 885

Rechtsverordnungen

Gefahrgutbeauftragtenverordnung (GbV) vom 26.03.1998 BGBl. I S. 648
geändert durch Artikel 2 der GefÄndV vom 23. Juni 1999 BGBl. S. 1435
Gefahrgutbeauftragtenprüfungsverordnung (PO GB) vom 01.12.1998 BGBl. I S. 3514
Bekanntmachung der bei der Prüfung von Gefahrgutbeauftragten zu verwendenden Prüfungsfragen BANZ. Nr. 63a vom 01.04.1999
Kostenverordnung für Maßnahmen bei der Beförderung gefährlicher Güter (GGKostV) vom 13.11.1990 BGBl. I S. 2490
geändert durch Artikel 3 der GefÄndV vom 23. Juni 1999 BGBl. I S. 1435
Verordnung zur Übertragung gefahrgutrechtlicher Ermächtigungen auf den Bundesminister für Verkehr vom 12.09.1985 BGBl. I S. 1918
1. Änderung vom 23.05.1990 BGBl. I S. 989
Gefahrgut-Ausnahmeverordnung (GGAV) vom 23.06.1993 BGBl. I S. 994
zuletzt geändert durch Artikel 1 der GefÄndV vom 23. Juni 1999 BGBl. I S. 1435

Vorschriften für den Binnenschiffsverkehr

EU-Recht

ADN-Rahmenrichtlinie Vorschlag vom 16.07.1997 ABl. der EG Nr. C 267 vom 03.09.1997, S. 96
Strukturbereinigungs-Verordnung (EWG) Nr. 1101/89 ABl. der EG Nr. L 116 vom 28.04.1989, S. 25
Strukturbereinigungs-Verordnung (EWG) Nr. 1102/89 ABl. der EG Nr. L 116 vom 28.04.1989, S. 25
Richtlinie für den Zugang zum Beruf (87/540/EWG) vom 09.11.1987
Kabotage-Verordnung (EWG) Nr. 3921/91 vom 16.12.1991
Richtlinie für gegenseitige Anerkennung von Schiffspatenten (91/672/EWG) ABl. der EG Nr. L 373 vom 31.12.1991, S. 29

Rechtsverordnungen

Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Binnenschifffahrt - GGVBinSch vom 21.12.1994)	BGBl. I S. 3971
Zuletzt geändert durch 4. Änderungsverordnung vom 22.12.1998	BGBl. I S. 4049
Verordnung zur Inkraftsetzung der Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein und der Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Mosel („ADNR-Verordnung“) vom 21.12.1994	BGBl. II S. 3830 mit Anlageband
Zuletzt geändert durch die Vierte Verordnung zur Inkraftsetzung der Änderungen der Anlagen A, B 1 und B 2 zur Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein (ADNR) und der Änderungen der Anlagen A, B 1 und B 2 zur Verordnung vom 22.12.1998 über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Mosel	BGBl. II S. 1058 mit Anlageband

Eindrücke einer Tankschiffahrt

Im Frühsommer des Jahres 2001 nahm der Autor an einer Schifffahrt des Tankschiffs „Odin“ (siehe Bild 1) auf dem Rhein von Ludwigshafen bergab nach Duisburg teil. Die gut 360 Rheinkilometer wurden sowohl als Tag- und als Nachtfahrt (bis etwa gegen 0 Uhr) zurückgelegt. Nach einer Schlafpause („vor Anker liegen“) in Höhe der Stadt Köln wurde am frühen Morgen die Fahrt nach Duisburg fortgesetzt. Das Ziel der Mitfahrt bei einer ganz gewöhnlichen Tankschiffsreise bestand im Schaffen eines persönlichen Eindrucks über die Sicherheits- oder Gefahrenlage eines Gefahrgutschiffes auf dem viel befahrenen Rhein (der Autor selbst ist Sportbootfahrer und seit Jahren im Besitz eines Bootsführerscheins Binnenverkehr).



Bild 1: Ammoniak- Tankschiff „ODIN“



Bild 2: Heckansicht mit 2 blauen Kegeln

Das Tankschiff „Odin“ besitzt die ADNR-Zulassung für den Transport von UN 1005, Ammoniak, wasserfrei. Damit muss das Schiff als Gastankschiff gemäß der Stoffliste des ADNR am Tag 2 blaue Kegel und in der Nacht 2 blaue Lichter führen (siehe Bild 2). Im Bereich der Ladung liegen zwei zylindrische Drucktanks hintereinander (Volumen je 130 m³). Die Tanks bestehen aus Feinkornstahl StE 355, der Tankaufstellungsraum ist steuer- und backbordseitig mit 80 cm breiten Wallgängen ausgerüstet. Diese sind mit Wasser flutbar und werden zum Trimmen des Schiffes eingesetzt. Über den Tanks sind Sprinkleranlagen zum eventuellen Kühlen der Tanks installiert. Der Bereich der Ladung ist vollständig mit einem Trunk abgedeckt (siehe Bild 3). Die Tanks sind mit einem Überdruck-Sicherheitsventil ausgerüstet (ein sogenanntes High-Jet-Ventil); das Abblaserohr mit der roten Mündung ist gut auf Bild 3 zu erkennen.



Bild 3: Ansicht des Bereichs der Ladung mit High- Jet Ventil

Der Zustand des Ladetanks wird permanent überwacht. Im Sichtbereich des Schiffsführers im Steuerhaus befinden sich Anzeigen des Druckes, der Temperatur und des Füllstandes jedes Tanks. Bei Erreichen voreingestellter Grenzwerte ertönt zusätzlich akustischer Alarm. Während der Tagfahrt betrug die Ladungs-Temperatur zwischen 13,2 °C und 13,8 °C, der Druck schwankte dabei im Zehntelbereich um 6,8 bar. Der Füllstand der Tanks lag mit 81 % erheblich unter dem zulässigen Füllgrad von 91 % entsprechend der Stoffliste.

Die gesamte Tagesfahrt verlief in einer vollkommen, so subjektiv empfunden, geruhsamen Talfahrt. Für den Mitfahrer war die Hektik des Straßenverkehrs für ca. 35 Stunden zu vergessen. Dieser Eindruck bezieht sich definitiv auch auf die Nachtfahrt bei vollkommener Dunkelheit. Das TMS „Odin“, ausgerüstet mit 2, im unterschiedlichen Sichtwinkel vom Schiff aus arbeitenden Radargeräten, gibt dem Schiffsführer jederzeit ausreichende und klare Informationen zur nautischen Situation um das Schiff und damit zur sicheren Schiffsführung.

Eindrucksvoll war insgesamt auf der Reise die „Verkehrsdisciplin“ aller Binnenschiffe auf dem Rhein sowie die permanente Kommunikation von Schiff zu Schiff bzw. zu den Revierzentralen der Rheinüberwachung, die quasi in Echtzeit über den Betriebszustand des Schiffes (Ablegen mit Gast an Bord, in Talfahrt bei km xy, Anker gelegt usw.) informiert werden.

Zum Unterstreichen der Verkehrssituation auf dem Rhein sind letztlich die beiden folgenden Bilder aussagekräftig, wo in Höhe des Rhein-km 553 sowohl am links- wie auch am rechtsseitigen Ufer, eingerahmt vom Gebirge, zwei Güterzüge mit Kesselwagen/Tankcontainern in wesentlich höherer Fahrgeschwindigkeit als der von Schiffen den Rhein tangierten.



Bild 4: Rhein-km 553, links – und rechtsseitiges Uferbild mit Eisenbahngefahrgutzügen, aufgenommen im gleichen Moment

Anhang 4: Statistische Daten zur Binnenschifffahrt

Tabelle 1

Schiffsunfälle auf dem Rhein nach Streckenabschnitten 1999

	Oberrhein		Mittlerhein		Niederrhein		gesamt
	gesamt	davon Tankschiffe	gesamt	davon Tankschiffe	gesamt	davon Tankschiffe	
Verkehrsunfälle:							
gesamt	52	21	144	35	80	24	276
Unfälle							
ohne Folgen	15		56		34		105
mit Folgen	37	?	88	?	46	?	171
bei Tag	27		80		51		158
bei Nacht	24		61		27		112
Unfallart:							
Auflaufen, Festkommen, Grundberührung	14	6	44	11	38	8	96
Zusammenstoßen gesamt	12	6	23	8	23	10	58
mit Schleusenanlage	1	0	0	0	0	0	1
mit Brücken, Kais	22	7	54	9	17	6	93
sonstige Verkehrsunfälle	3		23		2		28
Unfallfolgen:							
Tote	0		0		1		1
Verletzte	0		2		2		4
Sachschäden	0		1		0		1
gesunkene Schiffe							
Schwimmfähigkeit schwer beeinträchtigt	10		29		26		65
Schwimmfähigkeit leicht beeinträchtigt	18		37		36		91
Schäden	1		0		0		1
an Schleusen							
an Brücken, Kais, Schiffsfahrtszeichen	34		58		14		106
Betriebsunfälle:							
gesamt	5		10		10		25
Tote	0		1		3		4
Verletzte	3		3		9		15
sonstige Unfälle:							
gesamt	3	2	5 ^{*)}	6 ^{*)}	3	0	11
Tote	0		1		1		2
Verletzte	3		4		0		7

Quelle: Binnenschiffahrtsunfälle 2001, Statistisches Bundesamt /25/

*) Widerspruch bereits in der Quelle vorhanden

Tabelle 2

Verkehrsunfälle von Schiffen mit Gefahrgütern 1997/1999

(ohne Betriebsunfälle)

Klasse	Anzahl			davon mit Gefahrgutaustritt		
	1997	1998	1999	1997	1998	1999
1 Explosive Stoffe	0	0	0	0	0	0
2 Gase	47	49	23	5	2	2
3 Entzündbare flüssige Stoffe	92	79	49	9	2	1
4.1 Entzündbare feste Stoffe	10	4	3	0	0	0
4.2 Selbstentzündliche Stoffe	0	0	0	0	0	0
4.3 Stoffe die mit Wasser gefährlich reagieren	3	1	1	0	0	0
5.1 Entzündend wirkende Stoffe	32	36	39	0	0	1
5.2 Organische Peroxide	0	0	0	0	0	0
6.1 Giftige Stoffe	5	2	1	0	0	0
6.2 Ekeleregende, ansteckende Stoffe	0	0	0	0	0	0
7 Radioaktive Stoffe	0	0	0	0	0	0
8 Ätzende Stoffe	13	5	2	0	0	0

Quelle: Binnenschiffahrtsunfälle 2001, Statistisches Bundesamt /25/

Tabelle 3

Verkehrsunfälle mit Gefahrgut nach Stromgebiet 1999

	Oberrhein		Mittelrhein		Niederrhein		gesamt
	gesamt	davon GG*)	gesamt	davon GG*)	gesamt	davon GG*)	
1. Brennbare Flüssigkeiten	9	1	9		9		27
2. Gase und ätzende Stoffe	3	1	8		4	1	15
3. sonstige Gefahrgüter	2		7		6		15

*) Gefahrgutaustritt

Quelle: Binnenschiffahrtsunfälle 2001, Statistisches Bundesamt /25/

Tabelle 4

Binnentankflotte verschiedener westeuropäischer Länder 1998

	Motortankschiffe	Schubleichter/Kahne
Deutschland	347	55
Niederlande	775	71
Belgien	243	20
Frankreich	60	60
Schweiz	47	1
insgesamt	1472	207
zusammen	1679	

Quelle: Binnenschiffahrt in Zahlen 1998 /27/

Tabelle 5

Die internationale Rheinflotte 1998

(mit Rheinschiffsattest und Schiffsnummer)

	Gütermotorschiffe	Schubleichter/Kahne	Schlepper/Schubboote
Deutschland	1568	1176	335
Niederlande	3893	663	258
Belgien	1459	147	45
Frankreich	675	71	5
Schweiz	68	4	7
insgesamt	7663	2061	670
zusammen	10394		

Quelle: Binnenschifffahrt in Zahlen 1998 /27/

Tabelle 6

Beförderte Güter und geleistete Tonnenkilometer im Rheinverkehr

(von Rheinfeldern bis Emmerich)

	Beförderte Güter [1000 t]	Tonnenkilometer [Mio tkm]
1994	198'580	48'120
1995	195'540	40'564
1996	188'425	40'207
1997	194'234	41'456

Quelle: Binnenschifffahrt in Zahlen 1998 /27/

Tabelle 7

Bestand an Güterschiffen im Bundesgebiet

(nur Deutschland)

	1995	1996	1997	1998
Motorschiffe	1973	1834	1756	1665
Schubleichter	1312	1290	1277	1280
insgesamt	3285	3124	3033	2945

Quelle: Binnenschifffahrt in Zahlen 1998 /27/

Tabelle 8

Aus Tabelle 7: Binnentankflotte (davon)

	1995	1996	1997	1998
Motortankschiffe	383	355	354	347
Tankschubleichter	58	57	56	55

Quelle: Binnenschifffahrt in Zahlen 1998 /27/

Tabelle 9

Verteilung der Fahrgastschiffe nach Ländern

Schweiz	31
Deutschland	525
Frankreich	23
Niederlande	ca. 150
Belgien	5
insgesamt	734 *)

*) einschließlich 18 Fahrgastkabinenschiffen

Quelle: ZKR Jahresbericht 1997 /22/

Tabelle 10

**Güterverkehr und geleistete Tonnenkilometer auf dem Rhein nach
Wasserstraßenabschnitten**

Rheinabschnitt	Wasserstraßenabschnitt	Tonnenkilometer [Mio tkm]
Oberrhein	Rheinfelden - Straßburg	548
	Straßburg - Neuburgweier	1'477
	Neuburgweier - Mannheim	3'003
	Summe	5'028
Mittelrhein	Mannheim - Bingen	4'891
	Bingen - Lülldorf	9'920
	Summe	14'811
Niederrhein	Lülldorf - Orsoy	11'638
	Orsoy - Emmerich	10'119
	Summe	21'757
Rhein (gesamt)	Rheinfelden - Emmerich	41'596

Quelle: ZKR Jahresbericht 1997 (Auszug aus Tabelle 1) /22/

Anhang 5

Unfalldatensammlung von Gefahrgutschiffen auf bundesdeutschen Schifffahrtsstrassen

Quelle: Basisdaten von Herrn Horst Beck, BMVBW, Referat A33, (ergänzt durch Autor)

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
1	1994-03-11	Main	1,5	TMS		Grundberührung		Benzin (1203)		500	
2	1994-04-26	Rhein	608,3	GMS	B	Grundberührung	Fahrfehler	Düngemittel		0	
3	1994-05-09	Elbe	593	a) TMS "Spree" b) TMS "Raab Karcher 104"		Kollision	Unsichtiges Wetter	a) Superbenzin (1203) b) Heizöl (1202)		10000	
4	1994-12-11	Rhein	556,2	TMS "Magnolia"	CH	Leck in 4 Ladetanks	Vergessen Kopfruder einzufahren	Gasöl (1202)		15000	
5	1994-12-26	Rhein	534	TMS	NL	Festfahung	Fahrfehler	Benzin (1203)		0	
6	1995-01-05	Rhein	367	a) TMS "Raab Karcher 116" b) unterwasserreibender Gegenstand	D	Kollision				0	
7	1995-01-09	Rhein	607,1	TMS	NL	Grundberührung		Gasöl (1202)		0	
8	1995-01-18	Rhein	536,8	TMS	NL	Grundberührung	nicht angepasster Tiefgang	Gasöl (1202)		0	
9	1995-01-25	Rhein	425,68	TMS TMS	NL D	Kollision	Fahrfehler	leer / leer		0	
10	1995-02-16	Main	39,97	a) KV aus TMS "TTB 1" / b) TSL "TTB 2" c) Kaimauer		Kollision		Diesel (1202)		1500	
11	1995-02-27	Rhein	343	TMS "Egon G" Bühne	NL	Kollision	Fahrfehler			0	
12	1995-03-04	Neckar	61,6	TMS "Anroba II" Krananlage	B	Kollision	Fahrfehler			0	
13	1995-03-05	Rhein	564	TMS GMS	D D	Kollision	Fahrfehler	Salzsäure (1789) /Kohle		0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
14	1995-03-09	Mosel	29,8	TMS		Festfahring	Fahrfehler			0	
15	1995-03-12	Main	3,6	a) TMS "Joachim" b) TMS "Oranje 15"		Abreißen der Drähte	Sog und Wellenschlag durch b)			0	
16	1995-03-12	Rhein	621	a) TMS b) GMS stilliegend	D NL	Kollision	Trunkenheit bei a)	Gasöl (1202)		0	
17	1995-03-13	Donau	2251,1	TMS	NL	Festfahring	Fahrfehler	Heizöl (1202)		38000	
18	1995-03-14	Rhein	428,814	TMS	CH	Rißbildung und Aufwerfung im Tankdom Raum 2	vermutlich Überdruck und Fehlbedienung	Hexamethylendiamin (1783)		0	
19	1995-03-16	Rhein	357,8	KV aus 2 TMS	D	Festfahring	Fahrfehler	Gasöl (1202)		0	
20	1995-03-21	Rhein	503,6	TMS Spundwand	D	Kollision	Fahrfehler	leer		0	
21	1995-03-28	Neckar	176,26	TMS "Morini" Schleusentor	NL	Kollision	Fahrfehler			0	
22	1995-04-02	Rhein	398	TMS	CH	Grundberührung	Ruderschaden	Benzin (1203)		0	
23	1995-07-04	Rhein	535,6	TMS "Berta Beckmann"		Festfahring				0	
24	1995-07-08	Rhein	592	a) Sportboot b) TMS	D D	Kollision	Ruderschaden bei a)	Heizöl (1202)		0	
25	1995-07-10	Main	13,7	a) TMS "Alchimist Paris" b) Unbekannt		Abreißen der Drähte und Löscharm	Sog und Wellenschlag durch b)				
26	1995-07-17	Rhein	593,8	TMS	D	Grundberührung	Fahrfehler	schweres Heizöl		0	
27	1995-07-18	Rhein	543	TMS Steiger	NL	Kollision		Benzin (1203)		0	
28	1995-08-01	Rhein	766	a) GMS "Janette" b) TMS "Theseus"	D D	Kollision	Ruderschaden bei a)	Benzol (1114)		0	
29	1995-08-12	Main	63,72	TMS "Stadt Schweinfurt" Schleusenunterhaupt		Kollision				0	
30	1995-08-14	Rhein	529,5	GMS		Kollision		Jet-Benzin		0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
31	1995-08-15	Rhein	465,7	TMS	CH	Kollision	Ruderschaden	Flugbenzin		0	GMS gesunken
32	1995-08-27	Rhein	555,7	TMS	NL	Grundberührung	Ausfall der Maschine	Cyclohexan (1145)		0	
33	1995-09-01	Rhein	518	TMS "Perla Nera"		Grundberührung und Festkommen				0	
34	1995-09-07	Rhein	591	TMS Steigeranlage	NL	Kollision	Ausfall Bugstrahlruder bei a)	Gasöl (1202)		0	
35	1995-09-08	Main	22,8	a) TMS "Almenhof" b) TMS "Synergos"	D	Abreißen der Drähte und Löscharm	Sog und Wellenschlag durch b)				
36	1995-09-13	Rhein	573	TMS FS	NL D	Kollision	Fahrfehler	Heizöl (1202)		0	
37	1995-09-15	Main	5,2	a) TMS "Tweg" b) GMS "Zeit ist Geld"		Kollision				0	
38	1995-09-19	Rhein	505,5	a) TMS "Hans Memling" b) BB "Danja" am Steiger		Kollision				0	
39	1995-09-20	Mosel	163,3	TMS	NL	Grundberührung	Fahrfehler			0	
40	1995-09-25	Rhein	527,8	TMS GMS	D	Kollision	Fahrfehler	Heizöl (1202)		0	
41	1995-09-27	Rhein	465,5	TMS "Tyro" Fahrwassertonne		Kollision				0	
42	1995-10-24	Rhein	426,57	TMS "VTG 207"		Explosion		Methanol (1230)	1 Toter 3 Verl		
43	1995-10-25	Elbe	551,5	a) TMS "Christoph Harms" b) GMS "Neptun"		Kollision		Diesel (1202)		18000	
44	1996-01-03	Mosel	193,6	TMS Fahrwassertonne	CH	Kollision	Fahrfehler	leer		0	
45	1996-01-03	Rhein	550	a) TMS b) TMS	NL D	Kollision	Fahrfehler	Gasöl (1202)/ leer		0	
46	1996-01-06	Rhein	518,4	TMS "Friendship"		Festfahring				0	
47	1996-01-13	Rhein	529,5	a) TMS b) GMS	D NL	Kollision	Fahrfehler	leer / Düngemittel		0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
48	1996-01-23	Rhein	530,6	TMS	NL	Festfahring	Ausfall der Maschine	leer		0	
49	1996-01-25	Rhein	518,8	TMS "Ayla"		Grundberührung und Festkommen				0	
50	1996-01-25	Rhein	537	a) TMS b) TMS	D NL	Grundberührung von a)	Sog und Wellenschlag durch b)	Heizöl (1202) / schweres Heizöl		0	
51	1996-02-01	Rhein	427,85	a) TMS b) GMS	CH D	Kollision beim Wenden durch a)	Fahrfehler	leer		0	
52	1996-02-02	Rhein	429,5	a) GSL "Haniel 162" b) GSL "Haniel 187" c) TSL "Rückwarth 12"	D D NL	Kollision	Bruch der Ankerkette			0	
53	1996-02-03	Main	31	TMS "Petershagen" Eisenbahnbrücke		Kollision				0	
54	1996-02-05	Rhein	633	TMS	CH	Grundberührung	Fahrfehler	Heizöl (1202)		5000	
55	1996-02-07	Rhein	423	TMS	D	Festfahring	Ruderschaden	Heizöl (1202)		0	
56	1996-02-12	Main	3,04	a) TMS "St. Edwin" b) TMS "Maria"		Kollision				0	
57	1996-02-19	Main	35,6	a) KV aus TMS "Meteor I" / b) TSL "Meteor II" c) Pfeiler der alten Brücke		Kollision				0	
58	1996-02-19	Mosel	176	TMS Straßenbrücke	CH	Kollision		Heizöl (1202)			
59	1996-02-23	Main	56,7	a) TMS "Andrea" b) Steganlage und c) 4 Sportboote	D	Kollision				0	
60	1996-02-26	Rhein	366,8	TMS "Orinoco"	B	Festfahring	Fahrfehler			0	
61	1996-02-29	Rhein	461	TMS "Wilhelm Beckmann"		Festfahring				0	
62	1996-03-01	Rhein	461	TMS "Wilhelm Beckmann"		Festfahring				0	
63	1996-03-05	Rhein	424,8	a) GMS b) Bunkerstation mit BB	L D	Kollision	nach Festfahring auf Grund von Fehltiefen	Gasöl (1202)		0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
64	1996-03-06	Rhein	538,5	a) TMS b) SV	NL NL	Kollision	Ausfall der Maschine bei a)	Heizöl (1202)		0	
65	1996-03-09	Mosel	4,68	TMS Fahrwassertonne	NL	Kollision	Fahrfehler	leer		0	
66	1996-03-13	Rhein	426,45	TMS "Veenendaal"	NL	Festfahung	Fehltiefe			0	
67	1996-03-14	Rhein	634	TMS	D	Festfahung	Technischer Mangel	Heizöl (1202)		0	
68	1996-03-17	Main	3,04	a) TMS "Ruhrtank 13" b) TMS "Lumara"		Grundberührung von a)	Sog und Wellenschlag durch b)			0	
69	1996-03-18	Rhein	358,2	a) TMS b) TMS	D D	Kollision	Fahrfehler			0	
70	1996-03-26	Rhein	353,3	TMS "Trifa"	D	Festfahung	Fahrfehler			0	
71	1996-03-26	Rhein	551	a) TMS b) TMS	D D	Kollision	grasender Anker	Gasöl (1202)		0	
72	1996-03-28	Rhein	682	TMS "Sarah"	D	Festfahung	Ruderschaden	Gasöl (1202)		20000	
73	1996-03-30	Rhein	527,8	TMS "VTG 211" Fahrwassertonne		Kollision und Festfahung				0	
74	1996-04-01	Mosel	37,15	TMS GMS	NL B	Kollision in Schleuse	Bruch eines Drahtes	Gasöl (1202)		0	
75	1996-04-03	Rhein	367,5	TMS "Nedurance" Verladesteiger	B	Kollision	Fahrfehler			0	
76	1996-04-06	Rhein	441,6	TMS "Lombardia"		Festfahung				0	
77	1996-04-06	Rhein	543	a) GMS b) GMS	NL NL	Kollision	Fahrfehler bei Überholmanöver	b) Magnesium		0	
78	1996-04-12	Main	38,28	TMS "Therese Straub" Schleusentor		Kollision				0	
79	1996-04-17	Neckar	85,95	TMS "Brejpott" Schleuse	D	Kollision	Fahrfehler			0	
80	1996-04-17	Neckar	200,8	TMS "Corby"	NL	Riss im Boden Raum 1	vermutlich Grundberührung	leer		0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
81	1996-04-18	Mosel	158,5	TMS Baustellenfahrzeug	CH	Kollision	Fahrfehler	Gasöl (1202)		0	
82	1996-04-18	Rhein	354	TMS "Anouk"	B	Grundberührung	Fahrfehler			0	
83	1996-04-18	Rhein	354,2	TMS	NL	Festfahung	Fehltiefe	Benzin (1203)		0	
84	1996-04-26	Rhein	553,5	TMS	D	Grundberührung	Ruderschaden	Gasöl (1202)		ja	
85	1996-05-05	Rhein	461,5	TMS "Kairos" Fahrwassertonne		Kollision	Fahrfehler			0	
86	1996-05-08	Rhein	389,2	TMS "Sven"		Festfahung	Technischer Mangel			0	
87	1996-05-09	Main	20,5	a) TMS "Marena" b) TMS "Kairos"		Abreißen von a) von Löschstelle	Sog und Wellenschlag durch b)			0	
88	1996-05-10	Rhein	354	TMS	NL	Festfahung	Fahrfehler	Benzin (1203)		0	
89	1996-05-10	Rhein	354	TMS "Amatah"	NL	Festfahung	Fahrfehler			0	
90	1996-05-10	Rhein	354	TMS "Amatah"	NL	Festfahung	Technischer Mangel			0	
91	1996-05-23	Rhein	367,5	TMS "Maria" Dalben	NL	Kollision	Fahrfehler			0	
92	1996-05-23	Rhein	583,4	TMS		Festfahung	Fehltiefe	Natronlauge (1824)		0	
93	1996-05-24	Rhein	431,25	a) TMS b) TMS	D D	Kollision	Fahrfehler	a) Naphta (1268); b) Butan (1011)		0	
94	1996-05-28	Rhein	638	TMS	NL	Festfahung	grasender Anker	Gasöl (1202)		0	
95	1996-05-31	Rhein	534,5	a) TMS b) Verankerung Messschiff	NL	Kollision	unbekannt			0	
96	1996-06-04	Rhein	596,4	TMS		Festfahung	Fahrfehler	Diesel (1202)		0	
97	1996-06-11	Rhein	555,4	TMS	NL	Festfahung	Fahrfehler	Gasöl (1202)		0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust	sonstiges
98	1996-06-24	Rhein	400	TMS Uferböschung	NL	Kollision mit Grundberührung	Fahrfehler	Heizöl (1202)		0	
99	1996-07-05	Rhein	530	TMS	NL	Festfahung	Ausfall der Maschine	schweres Heizöl		0	
100	1996-07-07	Mosel	1,1	TMS Spundwand	L	Kollision	Fahrfehler	Heizöl (1202)		0	
101	1996-07-07	Mosel	85,5	a) 2 stillliegende MY b) TMS	B		Sog und Wellenschlag durch b)	leer		0	
102	1996-07-08	Rhein	550,65	SV aus TMS und TSL	NL	Festfahung	Fahrfehler	Gasöl (1202)		0	
103	1996-07-10	Neckar	176,247	TMS "Tina Rein" Schleuse	D	Kollision	Fahrfehler			0	
104	1996-07-12	Neckar	52,6	a) TMS "Advena" b) GMS "Bärenstein"	NL D	Kollision	Fahrfehler			0	
105	1996-07-21	Rhein	528	TMS "St. Edwin"		Festfahung				0	
106	1996-07-22	Rhein	503	TMS Dalben	D	Kollision	Fahrfehler	Heizöl (1202)		0	
107	1996-08-09	Main	37,2	a) TMS "Raab Karcher 213" b) GMS "Groenendaal"		Kollision				0	
108	1996-08-12	Rhein	520,5	TMS "Var"		Festfahung	grasender Anker			0	
109	1996-08-19	Neckar	82	TMS "Hildegard"	D	Grundberührung	Fahrfehler			0	
110	1996-08-20	Rhein	367,5	a) TMS b) TMS	CH NL	Festfahung	durch erforderliches Ausweichmanöver von b)			0	
111	1996-08-24	Rhein	455	TMS "Friendship" Fahrwassertonne		Kollision	Fahrfehler			0	
112	1996-08-30	Rhein	599	BB	D	Festfahung	nach Ablegen von Bergfahrer			0	
113	1996-09-06	Rhein	358	a) TMS "Scheltestad" b) Schifffahrtszeichen	B	Kollision	Fahrfehler von a)			0	
114	1996-09-07	Rhein	441,2	TMS	D	Festfahung	Fahrfehler			0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
115	1996-09-14	Rhein	521	a) Sportboot b) TMS	NL	Kollision	Fahrfehler von a)	Diesel (1202)		0	
116	1996-09-17	Neckar	13,3	TMS "Hildegard"	D	Festfahung	Fahrfehler			0	
117	1996-09-18	Rhein	620,9	a) TMS b) GMS	D D	Kollision	Ruderschaden bei a)	leer / Schrott		0	
118	1996-09-19	Rhein	590,87	TMS	NL	Kollision	Fahrfehler	Gasöl (1202)		0	
119	1996-09-23	Rhein	372,5	TMS	NL	Kollision	Ruderschaden	Methanol (1230)		0	
120	1996-09-23	Rhein	389,6	KV aus TMS und TSL	D	Festfahung	Fahrfehler	Heizöl (1202)		0	
121	1996-09-30	Rhein	541,5	TMS	NL	Grundberührung von a)	nicht angepasster Tiefgang	Gasöl (1202)		0	
122	1996-10-07	Rhein	367,5	a) TMS "Triviant" b) TMS "Pliz Bowal"	NL CH	Kollision	Fahrfehler			0	
123	1996-10-11	Rhein	364,6	TMS	D	Festfahung	Fahrfehler	Superbenzin (1203)		0	
124	1996-10-18	Rhein	403,5	a) TMS "Hinter" b) GMS "Ursula"	NL D	Kollision im Nebel	Fahrfehler			0	
125	1996-10-21	Rhein	543,5	SV Fahrwassertonne	NL	Kollision	Fahrfehler	Gasöl (1202)		0	
126	1996-11-05	Neckar	61,43	TMS "Brigitte"	D	Grundberührung				ja	Umpumpen in anderes TMS
127	1996-11-06	Rhein	563,5	TMS	D	Festfahung	Ruderschaden	Diesel (1202)		1800	
128	1996-11-06	Rhein	563,5	TMS	D	Festfahung	Fahrfehler	Diesel (1202)		0	
129	1996-11-11	Neckar	93,8	TMS "Alchemist Prag"	NL	Grundberührung					
130	1996-11-12	Rhein	399,5	TMS	CH	Festfahung	Fahrfehler	Naphta (1268)		0	
131	1996-11-13	Rhein	358	TMS "Aquamarin" Schifffahrtszeichen	CH	Kollision	Fahrfehler			0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
132	1996-11-15	Mosel	59,7	TMS Schleuse; Molenkopf		Kollision	Fahrfehler			0	
133	1996-11-16	Main	59,6	TMS "Lucanus" Straßenbrücke		Kollision				0	
134	1996-11-22	Rhein	384	TMS GMS	D D	Kollision im Nebel	Absprachefehler		1	0	
135	1996-12-03	Mosel	166,5	TMS GMS		Kollision	Scheinwerferblendung	leer		0	
136	1996-12-14	Rhein	535,5	TMS Steiger		Kollision	Fahrfehler	leer		0	
137	1996-12-15	Rhein	427	a) TMS b) TMS	NL NL	Löscharmschaden	Sog und Wellenschlag durch b)	a) Gasöl (1202) b) Natron		4 bis 5	Hydrauliköl
138	1996-12-16	Rhein	376,6	TMS "Vierwaldstättersee" unbekannter Gegenstand	B	Kollision	Ruderschaden			0	
139	1996-12-16	Rhein	376,9	TMS Fahrwassertonne	B	Kollision	Fahrfehler	Benzin (1203)		0	
140	1996-12-18	Rhein	367,5	TMS "Hanna-W" unbekannter Gegenstand	D	Kollision				0	
141	1996-12-21	Rhein	358,5	TMS Union II"		Festfahung		Gasöl (1202)		2100	Schiffahrtssperre
142	1996-12-22	Rhein	629	TMS SV	D	Kollision	Fahrfehler von a)	Heizöl (1202)		0	
143	1996-12-28	Rhein	547,2	TMS	D	Grundberührung	grasender Anker	Heizöl (1202)		0	
144	1997-01-01	Rhein	552,4	SV	NL	Festfahung	Trunkenheit	Diesel (1202)		0	
145	1997-01-03	Rhein	373,5	TMS "Bärbel"		Grundberührung	Ruderschaden			0	
146	1997-01-05	Rhein	377,6	TMS	B	Festfahung	Fahrfehler von a)			0	
147	1997-01-07	Rhein	511,3	TMS	D	Festfahung		Gasöl (1202)		2000	
148	1997-01-11	Main	3,5	TMS "Meteor I" / TSL "Meteor II" Schleusenspundwand		Kollision		Gasöl aus Bunker		ja	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
149	1997-01-11	Rhein	465,25	a) KV aus TMS und GMS b) unbekannt	NL	Grundberührung von a)	Sog und Wellenschlag durch b)			0	
150	1997-01-13	Rhein	630,5	TMS	D	Grundberührung	unbekannt	Xylol		0	Wassereinbruch im Bugbereich
151	1997-01-16	Main	0,004	TMS "Aro 1"		Festfahung	Radarausfall			0	
152	1997-01-16	Rhein		GMS "Christoph Harms" GMS "Anna"	D NL	Kollision	Ruderanlage fiel aus	Heizöl (1202)		ja	
153	1997-01-17	Rhein	367,5	TMS "Dettmertank 81" Fahrwassertonne	D	Kollision	Fahrfehler			0	
154	1997-01-17	Rhein	376,2	TMS	NL	Festfahung	Fahrfehler	Superbenzin (1203)		0	
155	1997-01-19	Rhein	363,9	TMS "Beate Jägers" TMS "Piz Varuna"	D CH	Kollision	Fahrfehler			0	
156	1997-01-20	Rhein	527,8	TMS	D	Grundberührung		Diesel (1202)		600	
157	1997-01-24	Rhein	395	TMS GMS	D NL	Kollision	Fahrfehler			0	
158	1997-01-24	Rhein	395,3	GMS "Johanna" TMS "Gert"	D D	Kollision im Nebel	Fahrfehler			0	
159	1997-01-24	Rhein	559,6	TMS Fahrwassertonne	D	Kollision	Fahrfehler	Propan (1978)		0	
160	1997-01-25	Rhein	386	TMS	D	Festfahung	Fahrfehler			0	
161	1997-01-28	Neckar	171,99	TMS "Ardea" Schleuse		Kollision		Diesel (1202)		1500	
162	1997-01-30	Rhein	532	TMS Fahrwassertonne	NL	Kollision		schweres Heizöl		0	
163	1997-02-02	Rhein	504	TMS	D	Grundberührung von a)	nicht angepasster Tiefgang	Heizöl (1202)		40	
164	1997-02-04	Rhein	511,4	TMS	NL	Festfahung	unbekannt	Heizöl (1202)		0	
165	1997-02-11	Rhein	363,9	TMS Piz Cambrena"	CH	Festfahung	Fahrfehler			0	Schiffahrtssperre

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
165	1997-02-11	Rhein	363,9	TMS "Ute S"	D	Festfahung	Fahrfehler			0	
166	1997-02-11	Rhein	363,9	TMS "Bäbel"	NL	Festfahung	Fahrfehler			0	
167	1997-02-11	Rhein	363,9	TMS "Martin"	NL	Festfahung	Fahrfehler			0	Schiffahrtssperre
168	1997-02-11	Rhein	376	TMS	NL	Festfahung	Fahrfehler	Butadien (1010)		0	
169	1997-02-16	Rhein	334,1	TMS "Michael" GMS "Hunter"	D CH	Kollision	Fahrfehler			0	
170	1997-02-19	Neckar	61,43	TMS "Tina Rein" Schleuse	D	Kollision	Fahrfehler			0	
171	1997-02-24	Rhein	572	TMS	D	Grundberührung	Fahrfehler	Diesel (1202)		3000	
172	1997-03-02	Rhein	596,5	TMS Treppe - Kaimauer	NL	Grundberührung	Fahrfehler	leer		0	Leck in Raum 4 Bb.
173	1997-03-02	Main	59,55	TMS "Stadt Kitzingen" Straßen- + Eisenbahnbrücke		Kollision	Fahrfehler			0	
174	1997-03-05	Rhein	347,1	TMS "Gakie" GMS "Gerda O.länder"	D NL	Kollision im Nebel	Fahrfehler			0	
175	1997-03-11	Rhein	543,8	TMS Fahrwassertonne	NL	Kollision	Fahrfehler	leer		0	
176	1997-03-11	Rhein	553,5	a) TMS b) TMS	NL NL	Grundberührung von a)	Fahrfehler	Heizöl (1202)		0	verbotene Begegnung
177	1997-03-11	Neckar	26,2	TMS "Anna Frieda" Schleuse	D	Kollision	Ausfall Bugstrahlruder			0	
178	1997-03-12	Rhein	550,05	TMS Steiger	D	Kollision	Fahrfehler	leer		0	
179	1997-03-13	Rhein	431	a) TMS b) GMS	CH D	Abreißen der Drähte	Sog und Wellenschlag durch b)	Naphta (1268)		0	
180	1997-03-18	Rhein	647,6	KV aus 2 TMS, BB, BS	D	Festfahung	unbekannt	Gasöl (1202)		25000	
181	1997-03-20	Neckar	153,2	TMS "Breijpott" Hochwasserabschluss	D	Kollision	Fahrfehler			0	Steuerhaus blieb oben

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
182	1997-03-26	Rhein	527,55	TMS eigener Anker	D	Kollision	Fahrfehler	Diesel (1202)		0	
183	1997-03-30	Rhein	553,45	TMS	D	Grundberührung	Fahrfehler	Gasöl (1202)		0	
184	1997-04-01	Rhein	363,9	TMS	NL	Grundberührung	nicht angepasster Tiefgang	Gasöl (1202)		0	
185	1997-04-05	Mosel	0,5	a) TMS b) GMS	D D	Kollision	Fahrfehler von a)			0	
186	1997-04-05	Mosel	0,9	a) TMS b) GMS	D D	Kollision	Fahrfehler von a)	leer		0	
187	1997-04-08	Rhein	364	TMS "Anouk" Fahwassertonne	B	Kollision	Fahrfehler			0	
188	1997-04-09	Rhein	630,2	a) TMS b) unbekannt	NL	Grundberührung von a)	Sog und Wellenschlag durch b)	Destillate		0	Leck im Bugstrahl- ruderraum
189	1997-04-10	Rhein	521	TMS "Bernd"		Festfahung	unklares Ankerspill			0	
190	1997-04-12	Rhein	364	TMS "Maracaibo" FgKS "Switzerland"	B CH	Kollision	Fahrfehler			0	
191	1997-04-16	Rhein	748	TMS "Heide-S"	D	Grundberührung		Gasöl (1202)		7000	
192	1997-04-16	Rhein	572,5	TMS	D	Grundberührung	Ruderschaden	leer		0	
193	1997-04-18	Rhein	363,8	TMS "Ljito II"	NL	Festfahung	nicht angepasster Tiefgang			0	
194	1997-04-24	Rhein	551,4	TMS	D	Grundberührung	Ruderschaden	Heizöl (1202)		0	
195	1997-04-28	Neckar	125,3	TMS "Ardea" Schleuse	D	Grundberührung	Fahrfehler			0	Aufs. auf Drembel Ruderblatt verloren
196	1997-04-29	Rhein	575	a) FS "Rheinjet" b) TMS	D NL	Kollision	Ruderschaden bei a)	Gasöl (1202) bei b)	6 Fahrgäste	0	
197	1997-04-29	Neckar	93,86	TMS "Ute-S" Schleuse	D	Kollision	Fahrfehler			0	
198	1997-05-03	Mosel	103	a) GMS b) TMS	D	Kollision	Fahrfehler von a)	leer		0	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
199	1997-05-10	Rhein	551,3	TMD	D	Festfahmung	Ruderschaden	leer		0	
200	1997-05-11	Rhein	549,1	TMS	B	Festfahmung	Ruderschaden	Gasöl (1202)		0	
201	1997-05-14	Rhein	389	TMS "Eillen" Fahrwassertonne	NL	Kollision	Fahrfehler			0	
202	1997-05-27	Rhein	541	TMS	D	Grundberührung	unbekannt	Gasöl (1202)		0	
203	1998-04-09	Main	54,9	a) TMS "Zehendick" b) TMS "RO 1"		Grundberührung von a)	Sogwirkung von b)				
204	1998-04-18	Neckar	22,65	a) Ruderboot "Twix" b) TMS "Tyro"	D	Kollision	unbekannt				
205	1998-04-18	Rhein	608,3	TMS Fahrwassertonne	CH	Kollision	Fahrfehler	leer			
206	1998-04-24	Rhein	532,4	a) TMS b) Koppelverband		Kollision	unbekannt				
207	1998-04-26	Rhein	536,8	TMS	D	Grundberührung	unbekannt	Jet-Benzin			
208	1998-04-28	Rhein	590,5	TMS Steiger		Kollision	Fahrfehler				
209	1998-04-28	Rhein	596,5	TMS	D	Festfahmung	Fahrfehler	Gasöl (1202)			
210	1998-05-02	Rhein	755,9	a) GMS "Julius Beckmann" b) Schubverband c) Containerschiff d) Kiesfrachter	D	Kollision, Explosion	Nebel vermutlich fehlerhafte Radarbildauswertung von c)	Methanol (letzte Ladung)			
211	1998-05-11	Rhein	517,3	TMS "Sandokan"		Festfahmung	zu große Abladung				
212	1998-06-03	Rhein	531,5	TMS "Hypatia"			Ausfall der Ruderanlage				
213	1998-06-07	Mosel	123,8	a) TMS b) GMS	D D	Kollision	Fahrfehler von a)	Heizöl (1202)			
214	1998-06-07	Rhein	529	TMS "Petra-R"			Ausfall der Ruderanlage				

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
215	1998-06-17	Rhein	527,1	TMS	CH	Grundberührung	zu große Abladung	Gasöl (1202)			
216	1998-06-21	Rhein	527,1	TMS	NL	Grundberührung	Fehltiefen	Benzin (1203)			
217	1998-06-26	Rhein	532,3	TMS "Moritz"		Grundberührung	10m vom grünen Tonnenstrich			ja	
218	1998-06-26	Rhein	532,3	TMS	D	Grundberührung	unbekannt	Gasöl (1202)		700	
219	1998-07-03	Main	15,5	TMS "Carolin" Schleusentor		Kollision					
220	1998-07-03	Main	22,82	a) TMS "Liberia" b) Ladestelle Fa. Clariant		Schaden an b)	Sog und Wellenschlag durch GMS "Vacando"				
221	1998-07-09	Rhein	596,5	TMS	D	Festfahrung	Fahrfehler	Gasöl (1202)			
222	1998-07-20	Rhein	532,2	TMS	NL	Festfahrung	überhöhte Abladung	Gasöl (1202)			
223	1998-07-22	Neckar	27,3	TMS "Emstank"	D	Grundberührung	2,6 m abgeladen				Schiffahrtssperre
224	1998-07-24	Rhein	503,7	TMS	B	Festfahrung	technischer Defekt	Gasöl (1202)			
225	1998-07-26	Rhein	509,3	Koppelverband	A	Grundberührung		Benzin (1203)		ja	
226	1998-10-25	Rhein	566,2	a) GMS "Romburg" b) GMS		Kollision	Ausfall Ruderanlage u. Positionslichter	a) Benzin b) Düsenkraftstoff		ja	
227	1998-10-30	Rhein	559,9	TMS Fahrwassertonne	NL	Kollision	Fahrfehler	Dieselöl (1202)			
228	1998-11-07	Rhein	550,9	TMS Koppelverband	NL NL	Kollision					
229	1998-11-08	Main	16,6	TMS TMS	D D	Kollision					
230	1998-11-14	Rhein	550,9	TMS Schubverband	D D	Kollision		leer / Stahlschrott			
231	1998-11-15	Main	64,1	TMS Mole	D	Kollision	Fahrfehler				

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
232	1998-11-19	Rhein	548	TMS	CH	Brand	Heißlaufen eines Lagers	Jet - Petrol			
233	1998-11-28	Rhein	333	TMS TMS	B D	Kollision	Fahrfehler				
234	1998-11-28	Rhein	538,25	TMS		Festfahung	Fahrfehler				
235	1998-11-30	Rhein	555,42	TNS	D	Festfahung	Fahrfehler	Gasöl (1202)			
236	1998-12-02	Rhein	538,2	Schubverband	NL	Grundberührung	Fahrfehler	Propan			
237	1998-12-02	Rhein	538,6	TMS	NL	Grundberührung	Fahrfehler	Gasöl (1202)			
238	1998-12-03	Rhein	563,7	TMS	D	Festfahung	Fahrfehler	Superbenzin (1203)			
239	1998-12-06	Rhein	538,3	TMS Fahrwassertonne	D	Kollision	Fahrfehler	Naphta			
240	1998-12-08	Neckar	48,12	a) TMS b) GMS	NL D	Kollision	Fahrfehler von a)				
241	1998-12-10	Rhein	538	TMS	NL	Festfahung	Fahrfehler	Gasöl (1202)			
242	1998-12-11	Rhein	538,4	TMS Fahrwassertonne	B	Kollision	Fahrfehler	leer			
243	1998-12-14	Rhein	559,6	Schubverband Fahrwassertonne	D	Kollision	Fahrfehler	Sojaschrot			
244	1998-12-17	Rhein	344	GMS TMS		Kollision	Technischer Mangel / Nebel				
245	1998-12-19	Rhein	626	a) TMS b) GMS	NL NL	Kollision	Fahrfehler von a)	leer / Tonerde			
246	1998-12-22	Main	1,5	a) GMS b) TMS		Abreißen der Drähte	Sog und Wellenschlag durch b)				
247	1998-12-24	Rhein	538,4	TMS Fahrwassertonne	D	Kollision	Fahrfehler	leer			
248	1998-12-27	Rhein	431,7	TMS	CH	Festfahung	Fahrfehler	Orthoxyol			

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
249	1998-12-28	Neckar	101,9	TMS	NL	Grundberührung	Fahrfehler			ja	
250	1999-01-14	Rhein	538,3	TMS Fahrwassertonne		Kollision	Fahrfehler				
251	1999-01-17	Rhein	226,02	TMS "Jaguar"	NL	Grundberührung	Fehlentiefe				
252	1999-01-18	Rhein	410	GMS "Ronika" TMS "LRG-Gas 81"	B D	Kollision	Fahrfehler / Nebel				
253	1999-01-18	Rhein	410	TMS (GAS) GMS	D D	Kollision	Fahrfehler / Nebel				
254	1999-01-20	Rhein	487	TMS "Detmer Tank 81" GMS "Adriana"	D	Kollision					Nebel
255	1999-01-20	Rhein	538	a) GMS b) TMS	NL D	Grundberührung a)	Fahrfehler b)				
256	1999-02-05	Rhein	525,7	TMS Fahrwassertonne	NL D	Kollision	Fahrfehler				
257	1999-02-12	Rhein	431,5	TMS "Elisabeth Jägers" GMS "Freienstein"	D D	Kollision	Fahrfehler				
258	1999-02-15	Mosel	0,8	a) TMS b) Schubleichter	NL F	Abreißen der Drähte	Sog und Wellenschlag durch b)				
259	1999-02-20	Mosel	103	TMS Schleuse	NL	Kollision	Fahrfehler				
260	1999-02-27	Rhein	543,3	TMS TMS	D D	Kollision	Fahrfehler				
261	1999-03-04	Rhein	424,4	TMS GMS	CH D	Kollision	Fahrfehler				
262	1999-03-05	Main	64,4	TMS "Willem D"	NL	Festfahung					
263	1999-03-06	Rhein	550,9	TMS GMS	NL NL	Kollision	Fahrfehler				
264	1999-03-07	Main	39,4	TMS "Gemini"	NL	Festfahung					
265	1999-03-08	Main	64,5	a) Schubverband "Majestic I / Majestic II" b) TMS " Raab Karcher 213"	NL D	Kollision					

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust	sonstiges
266	1999-03-09	Neckar	21,5	TMS "Hanne W" GMS "Faial"	D NL	Kollision	unbekannt				
267	1999-03-10	Main	55,5	TMS "Susann" Ufer	D	Kollision					
268	1999-03-13	Main	68,8	TMS "Ro 1" TMS "Bayernland"	D D	Kollision					
269	1999-03-26	Rhein	Ölhafen Karsruhe	TMS "Eiltank 13 Verladesteiger	D	Kollision	Technischer Mangel				
270	1999-04-01	Rhein	425,1	a) Tankschubverband b) GMS	D NL	Kollision	Fahrfehler a)	Vakuumpgasöl			
271	1999-04-19	Rhein	532,8	TMS	B	Festfahrgung	technischer Mangel	Dieseloil (1202)			
272	1999-04-29	Rhein		GMS "St. Edwin"	NL	Leck	unklar	Dieseloil (1202)		3500	
273	1999-05-07	Rhein	710,6	GMS "Avanti"		Explosion	unklar	Erdödestillate (1268)	4 Tote, 7 schw. verl., 1 P. vermisßt	ja	
274	1999-05-18	Rhein	420,6	TMS Verladeeinrichtung	B	Kollision	Ruderausfall	Rohöl (letzte Ladung)			
275	1999-05-18	Rhein	550,5	TMS Ufermauer	NL	Kollision	Ruderausfall	Benzin (1203)			
276	1999-05-20	Main	38,7	TMS "Eiltank 210" Einfahrhilfe Schleuse	D	Kollision					
277	1999-05-28	Rhein	545,1	TMS Fahrwassertonne	D	Kollision	Ruderausfall durch treibende Fahrwassertonne				
278	1999-05-31	Rhein	385,6	TMS GMS	D D	Kollision	durchgehender Anker	Cyclohexan			
279	1999-06-01	Rhein	638,6	TMS	CH	Festfahrgung	Technischer Mangel	Benzin (1203)			
280	1999-06-02	Rhein	516,82	TMS "VIA CHALIENA"	D	Festfahrgung	Ruderverlust				
281	1999-06-10	Rhein	620,2	TMS	D	Grundberührung	Fahrfehler	Benzin (1203)		1800	
282	1999-06-22	Main	32	a) TMS "Partner" b) Ruderboot	D D	Kollision	Fahrfehler b)				

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust	sonstiges
283	1999-06-30	Rhein	532	TMS "RP LORELEY" Fahrwassertonne	B	Kollision	Fahrfehler				
284	1999-07-06	Main	53	TMS "Stadt Dormagen" Schleuse	D	Kollision	Fahrfehler				
285	1999-07-11	Mosel	71	TMS	NL	Grundberührung	Fahrfehler	Leckage			
286	1999-07-20	Rhein	428,1	a) TMS b) GMS	D D	Kollision	Fahrfehler a)				
287	1999-07-31	Rhein	353,2	TMS "Beate Jägers"	D	Festfahung	Fahrfehler				
288	1999-08-02	Rhein	416	TMS	D	Festfahung	Ruderaustall				
289	1999-08-20	Rhein	390	TMS	B	Wassereinbruch	Bruch einer Abwasserleitung im MR				
290	1999-08-28	Mosel	122	TMS	D	Grundberührung	Fahrfehler				
291	1999-09-02	Rhein	Ölhafen Karsruhe	TMS "Eiltank 14" Uferböschung	D	Kollision	Fahrfehler				
292	1999-09-05	Rhein	554,9	a) TMS b) Aalschokker		Abreißen der Drähte bei b)	Sog und Wellenschlag durch a)				
293	1999-09-07	Rhein	421	TMS Fahrwassertonne	D	Kollision	Fahrfehler				
294	1999-09-10	Rhein	424,1	TMS	D	Festfahung	Fehlentiefe				
295	1999-09-10	Rhein	612	TMS	B	Festfahung	Fahrfehler				
296	1999-09-17	Neckar	189,52	TMS "St. Edwin" Schleuse	D	Kollision	Fahrfehler				
297	1999-09-18	Rhein	550,5	TMS	D	Festfahung	Fahrfehler				
298	1999-10-05	Rhein	558,7	a) TMS b) TMS	D D	Kollision	durchgehender Anker von a)				
299	1999-10-12	Rhein	444,6	a) TMS "LRG 206" b) GMS "Samary"	D NL	Kollision	Fahrfehler a)				

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust	sonstiges
300	1999-10-12	Rhein	524,7	TMS "Dordrecht 41"	NL	Festfahung	Fahrfehler				
301	1999-10-12	Rhein	536,8	TMS	D	Grundberührung	Fehltiefe				
302	1999-10-15	Rhein	511,7	a) TMS "Volkel" b) GMS "Auquaplan" c) TMS "Oranje 14"		Kollision	Fahrfehler a)				
303	1999-10-17	Mosel	30	TMS	NL	Festfahung	Fahrfehler				
304	1999-10-26	Mosel	184	TMS	D	Sinken	undichte Schwanzwelle				
305	1999-10-30	Rhein	382	TMS SV	D D	Kollision	Fahrfehler				
306	1999-11-02	Rhein	Hafen Andernach	TMS GMS	D NL	Kollision	Fahrfehler				
307	1999-11-10	Rhein	357,8	TSV "Aramis I + II" Bühne	D	Festfahung	Fahrfehler				
308	1999-11-13	Rhein	424,2	TMS "Barco" Fahrwassertonne	NL	Kollision	Fahrfehler				
309	1999-11-17	Rhein	Ölhafen Karlsruhe	TMS "Elli Beckmann" Ufer	D	Kollision	Fahrfehler				
310	1999-11-17	Rhein	261,5	TMS "Janna"		Grundberührung	Fahrfehler				
311	1999-11-22	Rhein	581,8	TMS	D	Brand	defekter Turbolader				
312	1999-11-25	Rhein	357,5	TMS "Beate Jägers" Bühne	D	Festfahung	Fahrfehler				
313	1999-11-25	Rhein	553,2	TMS	D	Grundberührung	defekte Ruderanlage				
314	1999-12-07	Rhein	357,6	TMS Eiltank 24" Bühne	D	Festfahung	Fahrfehler				
315	1999-12-18	Neckar	173,8	TMS "Verena L. Gerhard"	NL	Grundberührung	Unterstau				
316	2000-01-17	Rhein	534,3	TMS "Excalibur" Fahrwassertonne		Kollision	Fahrfehler				

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
317	2000-01-27	Main	19	TMS "Almira" Hafeneinfahrt Kelsterbach		Grundberührung					
318	2000-01-27	Mosel	141,4	TMS Dalben		Kollision	Versagen Umsteuerung				
319	2000-01-28	Rhein	534,3	TMS "Elinic"		Kollision	Fahrfehler				
320	2000-02-02	Rhein	Hafen Mannheim	TSV "Majestic I" / TSL "Majestic II"	NL	Kollision	unbekannt				
321	2000-02-03	Rhein	Ölhafen Karsruhe	TMS "Dresden"	D						
322	2000-02-09	Rhein	599,8	TMS	D	Kollision	Ruderaustall				
323	2000-02-10	Mosel	177,72	TMS	NL	Kollision	Fahrfehler				
324	2000-02-16	Rhein	Ölhafen Karsruhe	TMS "Shenandoah"	NL	Kollision	Fahrfehler				
325	2000-03-08	Rhein	553,7	GMS (Container)		Kollision	Fahrfehler	Kl. 3 und 8			
326	2000-03-21	Rhein	533,73	TMS	NL	Kollision	Fahrfehler				
327	2000-03-30	Rhein		TMS	NL	Kollision	beim Ankereinholen				
328	2000-04-23	Rhein	527,8	TMS "Eiltank 3"		Festfahung	Fahrfehler				
329	2000-04-25	Neckar	77,6	TMS "Internautic"	L	Festfahung	Maschinenaustall				
330	2000-04-29	Rhein	415	TMS "Gwendolyana"	CH	MR – Brand					
331	2000-04-30	Rhein		GMS		Kollision	b) manövrierunfähig, wurde von a) gerammt	p-Xylen		0	
332	2000-05-05	Rhein		GMS	NL	Kollision	Fahrfehler				
333	2000-05-09	Neckar	72,45	TMS "Piz Albana"	CH	Kollision	Fahrfehler	Gasöl (1202)		10	

Nr.	Datum	Fluss	km	Havariebeteiligte	Land	Havarieart	Havarieursache	Ladung	Personen- schaden	Ladungsver- lust in Litern	sonstiges
334	2000-05-16	Rhein	596,5	TMS		Festfahrgang	Fahrfehler	Heizöl (1202)		100	
335	2000-05-24	Rhein	568,5	TMS	D	Kollision	Fahrfehler				
336	2000-05-27	Mosel	134,9	TMS	CH	Grundberührung a)	Sog und Wellenschlag durch b)	Benzin (1203)		3000	
337	2000-09-26	Rhein		GMS		Grundberührung	Unebenheit	Erddestillate (1268)			
338	2000-11-12	Rhein	505,2	a) GMS b) Güterbinnenschiff		Kollision	Fahrfehler b)	Schwefelsäure			
339	2000-12-07	Rhein		GMS		Leck	Haarrisse Rumpf	Dieselöl (1202)		ja	
340	2001-01-15	Rhein		GMS		Brand, Grundberührung	nach Brand riss beim Ankerwerfen die -Kette: manövrierunfähig	Heizöl (1202)		0	
341	2001-02-02	Rhein	353,1	GMS		Grundberührung	menschliches Fehlverhalten	Benzin (1203)		0	
342	2001-09-09	Rhein	b. Geisenheim		D	Grundberührung		Schweröl		0	
343	2001-09-24	Rhein	b. Sürth		D	Kollision		versch. Chemikalien		0	
344	2001-11-22	Rhein	b. Krefeld-Uerdingen/Bayer-Werk		D	Brand/Grundberührung	undichtes Rohr	Salpetersäure			1300 t Ladung wurden zur Gefahrenabwehr in den Rhein gepumpt
345	2002-01-07	Rhein	b. Dormagen	a) Binnentanker b) Containerschiff	D D	Kollision	Leck a) alkoholisiertes Kapitän von b)	Benzin (1203) a)		12 000	
346	2002-02-07	Rhein	Ludwigshafen	Binnentanker	D	Ladung in den Rhein gelaufen	Druckmanometer geborsten	Salpetersäure		20	

Quelle: Basisdaten von Herrn Horst Beck, BMVBW, Referat A33, (ergänzt durch Autor)