



# Risikoermittlung Rhein 2016

## Synthesebericht

Schlussfassung

21. April 2017 / Version 3.0

## Impressum

<b>Auftraggeber</b>	Kanton Basel-Stadt	Kanton Basel-Landschaft
	Tiefbauamt Planung Infrastruktur Dufourstrasse 40 4001 Basel	Tiefbauamt Wasserbau Rheinstrasse 29 4410 Liestal
<b>Dokument</b>	BE_RERhein2016_Zusammenfassung_20170421_v30.docx 21. April 2017 / Version 3.0	

## Inhalt

1	Einleitung .....	4
2	Systemdefinition und Systemabgrenzung .....	5
3	Methodik .....	8
4	Ergebnisse und wesentliche Erkenntnisse aus der Risikoermittlung.....	10
5	Massnahmen .....	17
6	Schlussfolgerungen .....	20

## 1 Einleitung

Der Rhein untersteht als Verkehrsweg der Störfallverordnung StFV. Im Jahr 2002 wurde eine Risikoermittlung zur Beurteilung der sich aus der Beförderung von gefährlichen Gütern ergebenden Risiken erstellt. Diese Risikoermittlung wurde 2013 überprüft und den Stand der Umsetzung der definierten Massnahmen beurteilt.

Die Tiefbauämter der beiden Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft möchten die Risikoermittlung über die Beförderung von gefährlichen Gütern auf dem Rhein vollständig neu und unabhängig von der bestehenden Risikoermittlung erstellen. Dabei sollen insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Neue Entwicklungen Transport  
Neue Entwicklungen in der Beförderung von gefährlichen Gütern sind zu berücksichtigen. Insbesondere die stetig steigende Beförderung von Containern sowie die Beförderung von tiefgekühltem Flüssigerdgas (LNG) sind zu beurteilen.
- Aufzuzeigende Risikounterschiede  
Es sind die Risikounterschiede auszuweisen, die sich aus unterschiedlichen Schiffsgrössen (Überlängen > 110 m) ergeben. Weiter sind die Risiken auf die Grossschifffahrt aufzuzeigen, die sich aus der Kleinschifffahrt, aus dem Fährbetrieb und dem Schwimmbetrieb ergeben.
- Nutzung Rhein / Rheinufer  
Die veränderte Nutzung des Rheins und des Rheinufers sind in die Risikoermittlung einzu beziehen, namentlich der Aufenthalt grosser Personengruppen am Rhein während Festaktivitäten oder dergleichen, Fahrgastschiffe, Kleinschiffe, Fähren, Schwimmbetrieb, Rheinbrücke und Uferpromenade
- Leitstoffe  
Die Wahl der Leitstoffe ist im Hinblick auf die auf dem schweizerischen Rheinabschnitt beförderten gefährlichen Gütern zu überprüfen.
- Transparenz  
Die Methodik und die ermittelten Ergebnisse sollen transparent dargestellt werden.

## 2 Systemdefinition und Systemabgrenzung

Der betrachtete Rheinabschnitt verläuft vom Auhafen, Rheinkilometer 159.2 bis zur Landesgrenze Dreiländereck, Rheinkilometer 170. Er weist eine Länge von 10.8 km auf und ist u.a. aufgrund der Kurvenlage und der zahlreichen Brücken mit teils geringen Durchfahrtsbreiten nautisch sehr anspruchsvoll.

Für die Bestimmung der Risiken wird der Streckenabschnitt grundsätzlich in sechs Segmente eingeteilt (vgl. Abbildung 1). Der Abschnitt zwischen Dreirosenbrücke und Schleuse Birsfelden (Segment 4) weist zusätzlich zahlreiche Brücken auf, weshalb für dieses Segment eine nochmalige Untergliederung in Teilsegmente erfolgt. Mit der Segmentierung ergeben sich homogene Segmente hinsichtlich der Streckencharakteristik und des Verkehrsaufkommens, womit eine adäquate Risikobeurteilung der Teilsegmente ermöglicht wird.

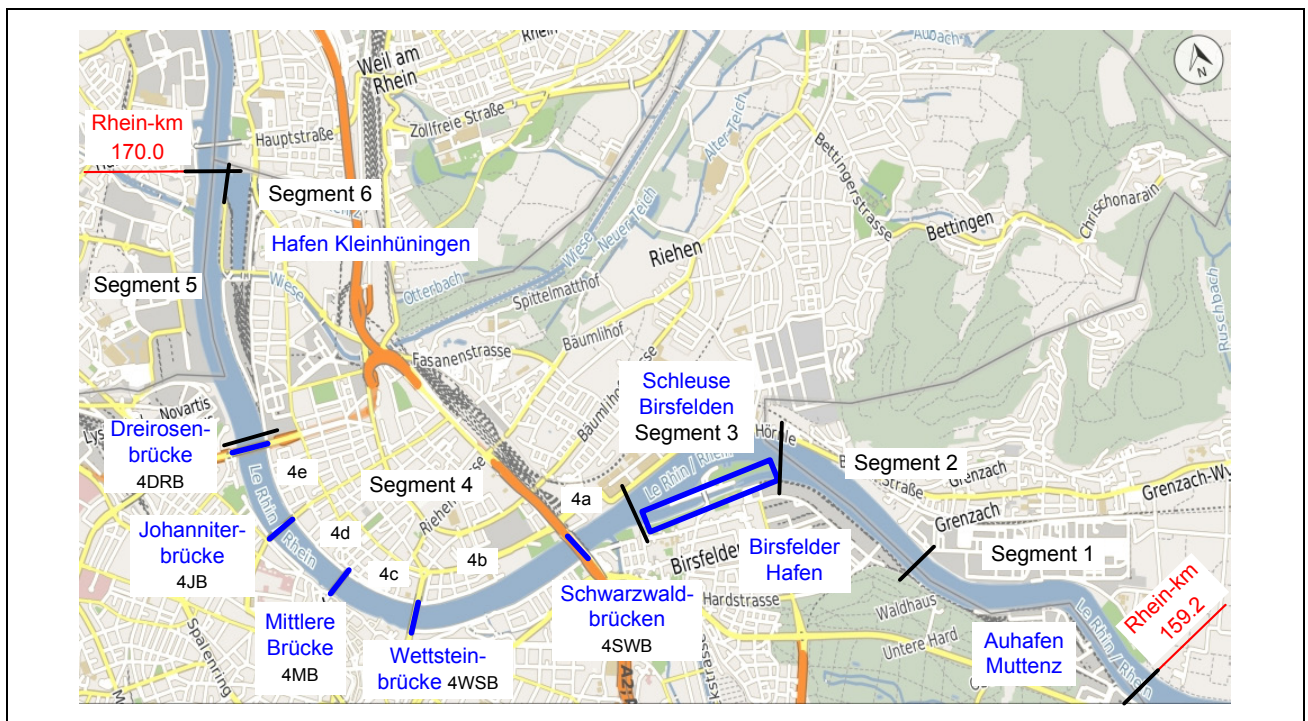


Abbildung 1: Streckenübersicht (Quelle: GeoViewer Basel-Stadt)

Auf dem Streckenabschnitt verkehren rund 5'800 Güterschiffe pro Jahr (Mittelwert der Jahre 2010 – 2014, Segment 5). Rund jedes vierte Güterschiff transportiert Mineralölerzeugnisse. Mit einer jährlichen Transportmenge von rund 2.9 Mio. Tonnen stellen Mineralölerzeugnisse mit Abstand der grösste Anteil der transportierten Gefahrgüter dar. In weit geringeren Mengen werden Dünger (ca. 133'000 Tonnen pro Jahr) und weitere chemische Erzeugnisse (ca. 470'000 Tonnen pro Jahr) transportiert. Gefahrgüter werden mit Tankschiffen, Trockengüterschiffen oder mit Containerschiffen transportiert.

Auf der Basis des Transportaufkommens auf dem Rhein werden für die Risikoermittlung stellvertretend für die Vielfalt der transportierten Güter Leitstoffe bestimmt. Den Leitstoffen werden spezifische Stoffeigenschaften zugewiesen, die für die Gesamtheit der den Leitstoffen zugeordneten Gefahrgüter gültig sind. In der Tabelle 1 sind die Leitstoffe und die betrachteten Szenarien zusammengestellt. Nicht berücksichtigt werden die Szenarien "Explosion eines freigesetzten Gas-Luftgemisches aus einem leeren, nicht entgasten Benzinladetank" und "Freisetzung von humantoxischen Stoffen". Diese Szenarien führen im ersten Fall zu keiner relevanten Schädigung im Sinne der Störfallverordnung und im zweiten Fall ist das Transportaufkommen gering, so dass der Beitrag zum Risiko in erster Näherung vernachlässigt werden kann.

Tabelle 1: Leitstoffe und Szenarien

Leitstoff (Vertreter)	Szenario, Wirkung bei Freisetzung
Benzin (Warenklassen 321, 323 und 819 wie Benzin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leckage aus Ladetank eines Tankschiffes infolge Unfall</li> <li>– Lachenbildung, Verunreinigung Rhein; Indikator verunreinigte Fläche</li> <li>– bei Zündung Lachenbrand mit Hitzestrahlung (Voraussetzung: Lachendicke &gt; 1 cm); Indikator Anzahl Todesopfer</li> </ul>
Gasöl (Warenklassen 325, 327 und 341 wie Diesel, Heizöl)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leckage aus Ladetank eines Tankschiffes infolge Unfall</li> <li>– Lachenbildung, Verunreinigung Rhein</li> <li>– Indikator verunreinigte Fläche</li> </ul>
Benzol (Warenklasse 831 wie Benzol, Toluol, Pyrolysebenzin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leckage aus Ladetank eines Tankschiffes infolge Unfall</li> <li>– Lachenbildung, Verunreinigung Rhein; Indikator verunreinigte Fläche</li> </ul>
Dünger (Warenklassen 721, 724, 729 wie DAP, Ammonsulfat, Ammonsalpeter) Hinweis: Nicht alle Düngemittel sind Gefahrgüter gemäss ADN	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leckage aus Laderaum eines Trockengüterschiffes infolge Unfall</li> <li>– Vermischung mit Rheinwasser, Verunreinigung Rhein; Indikator verunreinigtes Volumen</li> </ul>
Ökotoxische Stoffe (Gefahrgutklasse 6.1 wie Azide, Phenole, Pestizide, Transport in Containern)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Leckage aus Container und Laderaum eines Containerschiffes infolge Unfall</li> <li>– Vermischung mit Rheinwasser, Verunreinigung Rhein; Indikator verunreinigtes Volumen</li> </ul>
Tiefgekühltes Flüssigerdgas LNG	<p>Szenarien Leckage</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Leckage aus Ladetank infolge Unfall</li> <li>– Freisetzung Dampf Wolke mit Abbrand (Wolkenbrand); Indikator Anzahl Todesopfer</li> <li>– Freisetzung Flüssigkeit mit Abbrand (Lachenbrand); Indikator Anzahl Todesopfer</li> </ul> <p>Szenario BLEVE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Erwärmung Treibstofftank durch Brand und Zerreißen aufgrund Druck</li> <li>– BLEVE; Indikator Todesopfer</li> </ul>

Als Schadenindikatoren für die Beurteilung der Risiken werden für die Umwelt die verunreinigte Fläche oder das verunreinigte Volumen des betroffenen Oberflächengewässer, d.h. des Rheins, und für die Bevölkerung die Anzahl Todesopfer verwendet. Infolge Störfälle auf dem Rhein ergibt sich für das Grundwasser aufgrund der Disposition der Grundwasserfassungen und der Trinkwasseraufbereitungsanlagen Hardwasser und Lange Erlen keine schwere Schädigung gemäss den für diesen Indikator provisorisch festgelegten Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung StFV. Entsprechend wurde der Schadenindikator verunreinigte unterirdische Gewässer nicht weiter verfolgt.

Für die Bevölkerung werden die Wohn- und Arbeitsbevölkerung als auch die Freizeitbevölkerung berücksichtigt. Zu der Freizeitbevölkerung zählen die zahlreichen Fahrgastschiffe mit bis zu 200 Personen an Bord, die Rheinschwimmer in den warmen Sommermonaten sowie die Freizeitbevölkerung entlang des Rheins und auf den Brücken. Für die Abschätzung der Belegung werden wo vorhanden Statistiken verwendet. Falls keine Daten verfügbar sind, werden plausible Annahmen getroffen.

Die Risiken werden für den Zustand 2015 und für den Prognosehorizont 2025 unter Berücksichtigung der Betriebsaufnahme des Containerterminals Basel-Nord und der zu erwartenden LNG-Transporte (LNG-Terminal Auhafen, LNG-Antriebe und Tank) ermittelt.

### 3 Methodik

Die Risiken für den Rhein und die Bevölkerung werden anhand von Ereignisabläufen bestimmt. Die Ereignisabläufe beinhalten die Abschätzung der Freisetzungswahrscheinlichkeiten von Gefahrgütern bei einem Unfall und die Schadenausmassbestimmung bei Exposition des Rheins oder der Bevölkerung durch die freigesetzten Gefahrgutmengen.

Die Freisetzungswahrscheinlichkeiten von Gefahrgütern bei einem Unfall wird unter Verwendung von Bayes'schen Netzen abgeschätzt. Damit können die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Freisetzung transparent dargestellt werden. Ausgehend von einem Unfall (Initialereignis) erfolgt eine Freisetzung einer bestimmten Menge von Gefahrgut. Als massgebliche Unfallszenarien werden dabei folgende sechs Unfallarten identifiziert:

- Kentern,
- Grundberührung,
- Schiffskollision,
- Kollision mit Brücke,
- Kollision im Bereich der Schleuse,
- Kollision im Hafen.

Für jede Unfallart wird aus der Unfallstatistik eine durchschnittliche Unfallrate – sogenannte Basisunfallrate - aus der Statistik der Schweizerischen Rheinhäfen bestimmt. Für die Unfallart Kentern liegen keine Meldungen über Unfälle vor. Entsprechend wurde eine um den Faktor 10 tiefere Unfallrate gegenüber der kleinsten der anderen Unfallraten angenommen. Diese Annahme ist konservativ. Eine weitere Reduktion um den Faktor 10 (d.h. total um den Faktor 100) kann aufgrund der Streckendisposition durchaus auch als realistisch betrachtet werden. Im vorliegenden Synthesebericht werden die Ergebnisse wie folgt dargestellt:

- Personenrisiken mit Unfallrate Kentern um den Faktor 10 tiefer angesetzt,
- Risiken Oberflächengewässer mit Unfallrate Kentern um den Faktor 100 tiefer angesetzt.

Abweichungen von der Basisunfallrate werden mit Unfallmodifikationsfaktoren modelliert. Abweichungen ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Charakteristik der einzelnen Segmente. Nicht jeder Unfall führt jedoch zu einer relevanten Freisetzung von Gefahrgut. Bedingung dazu ist, dass ein Schiff mit Gefahrgut am Unfall beteiligt ist und die Unfallschwere so gross ist, dass eine relevante Freisetzung von Gefahrgut auftritt (z.B. Beschädigung des Ladetanks). Daher wird zur Ermittlung der Freisetzungsrates die Unfallrate mit einer Freisetzungswahrscheinlichkeit korrigiert. Insgesamt werden vier Freisetzungsmengen (klein, mittel, gross, sehr gross) unterschieden.

Für die Schadenausmassbestimmung wird ausgehend von der Freisetzung einer bestimmten Menge eines Leitstoffes die Wirkung auf den Rhein und die Bevölkerung mittels physikalischen Modellen und Probit-Funktionen modelliert. Dabei werden die relevanten Umgebungseinflüsse wie z.B. der Pegelstand des Rheins, die Fliessgeschwindigkeit des Rheins, die Windsituation berücksichtigt.



Die Risikosituation wird für die Schadenindikatoren "Anzahl Todesopfer" und "verunreinigte oberirdische Gewässer" separat betrachtet. Die Beurteilung der Tragbarkeit der Risiken erfolgt anhand der Lage der Summenkurve im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm (W/A-Diagramm) in Bezug auf die Grenzwerte gemäss Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung StFV.

## 4 Ergebnisse und wesentliche Erkenntnisse aus der Risikoermittlung

In der Tabelle 2 findet sich eine Zusammenstellung der Lage der Summenkurven im W/A-Diagramm in Bezug auf die Grenzwerte gemäss Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung StFV.

Tabelle 2: Ergebnisse der Risikoermittlung

Schadenindikator		Segment															
		1	2	3	4a	4SWB	4b	4WSB	4c	4MB	4d	4JB	4e	4DRB	5	6	
Bevölkerung	Benzin, LNG	2015	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	Übergangsbereich	akzeptabler Bereich	
		2025	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich	Übergangsbereich	akzeptabler Bereich
	Benzin, Gasöl, Benzol	2015	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich
		2025	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	nicht akzeptabler Bereich	akzeptabler Bereich
Dünger, Ökotox.	2015	akzeptabler Bereich	Übergangsbereich	akzeptabler Bereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	akzeptabler Bereich	
	2025	akzeptabler Bereich	Übergangsbereich	akzeptabler Bereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	Übergangsbereich	

**Legende** Verlauf der Summenkurve im:  
 akzeptabler Bereich  
 Übergangsbereich  
 nicht akzeptabler Bereich

Die aus risikoanalytischer Sicht für die Beurteilung der Tragbarkeit der Risiken wesentlichen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassend darstellen:

*Personenrisiken (vgl. Abbildungen 2 und 3)*

- Die Summenkurven verlaufen für den Zeithorizont 2015 im akzeptablen Bereich oder im Übergangsbereich.
- Für den Zeithorizont 2025 verschieben sich die Kurven nach unten (Verkleinerung der Ereigniswahrscheinlichkeiten) und nach rechts (Vergrößerung des Schadenausmasses) in Richtung Übergangsbereich. Die Ereigniswahrscheinlichkeiten verkleinern sich insbesondere aufgrund des Verbots der Einhüllentankmotorschiffe für die Beförderung von gefährlichen Gütern sowie der Vertiefung der Fahrrinne in den Segmenten 3 und 4. Das Verbot reduziert die Ereigniswahrscheinlichkeit von Benzinlachenbränden. Durch den Transport von LNG vergrößert sich jedoch das Schadenausmass. Dazu trägt insbesondere das Szenario "LNG – Gaswolkenbrand" bei.
- Der Beitrag der einzelnen Bevölkerungsgruppen zum Risiko ergibt folgendes Bild:
  - Der Beitrag der Rheinschwimmer zum Risiko ist gering.
  - Die Rheinuferbelegung sowie die Wohn- und Arbeitsbevölkerung steuern das Risiko.

- Im Segment 4e wird das Risiko durch die Fahrgastschiffe (Kabinenschiffe) und die Personenbelegung des Rheinuferes gesteuert.
- Folgende Aspekte ergeben höhere Risiken:
  - Segment 1 (Auhafen): Das Risiko ergibt sich durch die angenommene Belegung der Badeanstalt auf der deutschen Seite.
  - Segment 3 (Schleuse Birsfelden): Das Risiko ergibt sich durch die Nähe des Ufers zur angenommenen belegten Fläche auf der Insel (8 m breite Uferwege um die Insel). Die sich ergebende Personenbelegung auf der Insel kann als konservativ betrachtet werden.
  - Segment 4MB (Mittlere Brücke): Das Risiko ergibt sich durch die Nähe der Transportroute zum Rheinufer und die höhere Belegung auf der Mittleren Brücke und des Rheinuferes.
  - Segment 4a (Schleuse Birsfelden – Schwarzwaldbrücke): Das Risiko ergibt sich durch Belegung resp. der belegten Fläche des Birskopfes.
  - Segment 5 (Hafen Kleinhüningen): Das Risiko ergibt sich durch die höheren Freisetzungsraten. Im Zeithorizont 2025 erhöht sich zudem das Risiko aufgrund der zusätzlichen Wohn- und Arbeitsbevölkerung auf der Rheininsel und der Promenade am Rheinufer.

#### *Oberflächengewässer Rhein (vgl. Abbildungen 3 und 4)*

- Die Summenkurven der Szenarien "Benzin, Gasöl – Leckage" und "Benzol – Leckage" für den Schadenindikator "verunreinigte oberirdische Gewässer, Fläche in km<sup>2</sup>" verlaufen alle für beide Zeithorizonte im nicht akzeptablen Bereich.
- Für den Zeithorizont 2025 verringern sich die Ereigniswahrscheinlichkeiten aufgrund des Verbots der Einhüllentankmotorschiffe für die Beförderung von gefährlichen Gütern sowie der Vertiefung der Fahrrinne in den Segmenten 3 und 4. Das Schadenausmass bleibt gleich.
- Die Beförderung von Gasöl trägt am meisten zum Risiko bei. Zweitrangig folgt die Beförderung von Benzin und danach von Benzol.
- Die Summenkurven der Szenarien "Dünger – Leckage" und "Ökotoxische Stoffe – Leckage" für den Schadenindikator "verunreinigte oberirdische Gewässer, Volumen in m<sup>3</sup>" verlaufen alle für beide Zeithorizonte teilweise im Übergangsbereich. Die Freisetzung von Düngern ergibt Störfallwerte von Null. Das Risiko wird somit ausschliesslich durch die Beförderung der ökotoxischen Stoffe gesteuert.
- Durch den Betrieb des Containerterminals im Hafenbecken 3 erhöhen sich die Risiken in den Segmenten 5 und 6 im Zeithorizont 2025 gegenüber dem Zeithorizont 2015 aufgrund des höheren Transportaufkommens und somit der Erhöhung der Ereigniswahrscheinlichkeiten.

#### *Hinweise zu einzelnen Einflussgrössen*

- Schiffslänge  
Das in der Risikoermittlung verwendete Modell für die Unfallraten ist nicht sensitiv innerhalb der betrachteten Variationen bzgl. der Schiffslängen. Wird vorausgesetzt, dass Schiffe > 110 m bei den definierten Fahrbedingungen den Rhein mit gleicher Fehlertoleranz befahren

können wie Schiffe bis 110 m, so erhöht sich auch die Unfallrate und entsprechend das Risiko nicht.

– Ladetankgrösse

Das Schadenausmass insbesondere bei den Leitstoffen "Benzin", "Gasöl" und "Benzol" erhöht sich bei der Vergrößerung der Ladetankkapazität stark. Setzt man voraus, dass der Leckagewiderstand grösserer Ladetanks adäquat erhöht wird, so verkleinert sich die Freisetzungswahrscheinlichkeit und das Risiko verändert sich nur geringfügig. Grosse Schadenausmasse sind hingegen grundsätzlich möglich, wenn auch mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit. Eine Vermeidung grosser Schadenausmasse ist nur durch ein entsprechendes Verbot möglich.

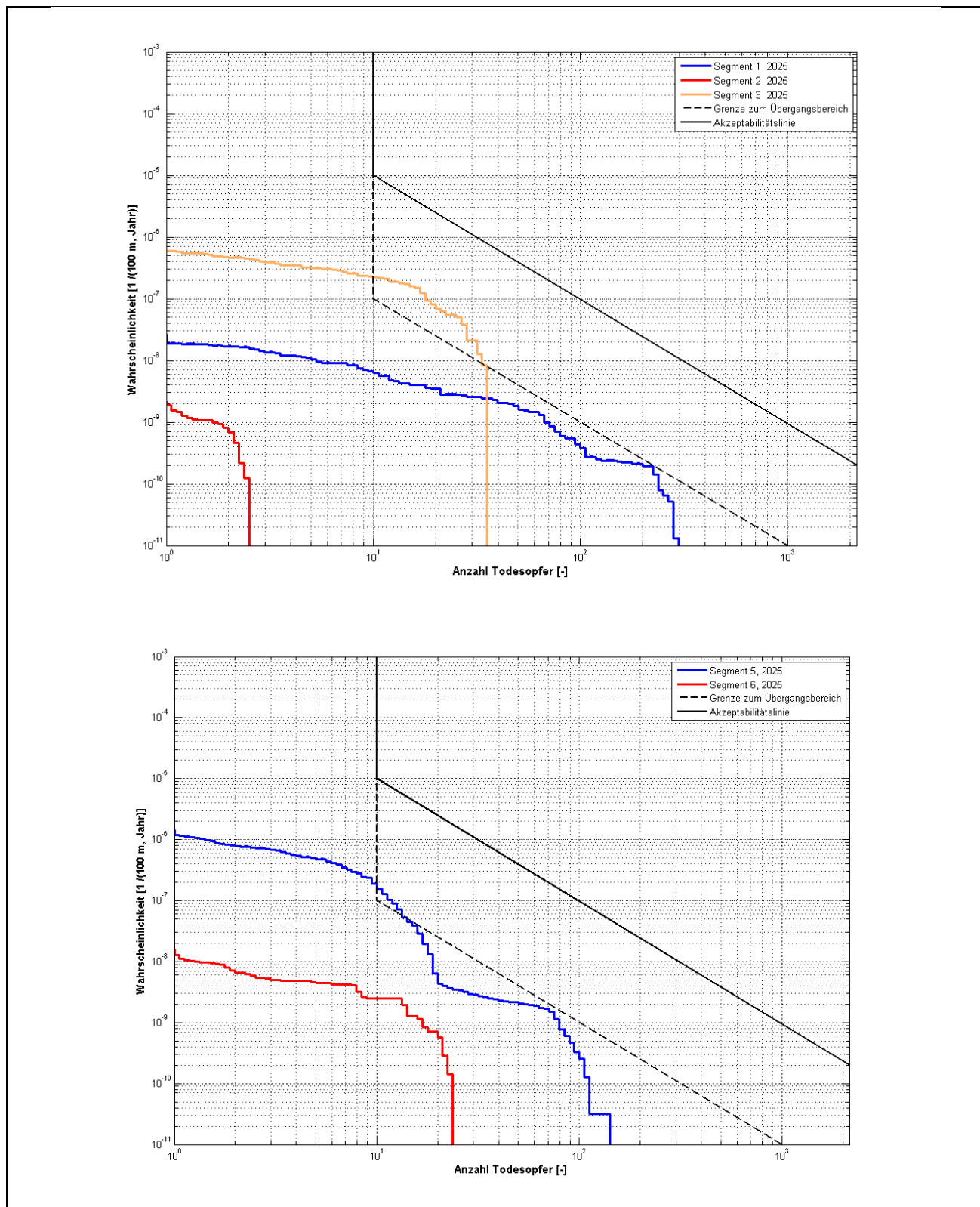


Abbildung 2: W/A-Diagramme mit den Summenkurven der Segmente 1, 2, 3, 5 und 6 der Szenarien "Benzin Lachenbrand", "LNG Lachenbrand" und "LNG Gaswolkenbrand" mit Indikator "Todesopfer" für den Zeithorizont 2025 (Unfallrate Kentern um Faktor 10 tiefer angesetzt)

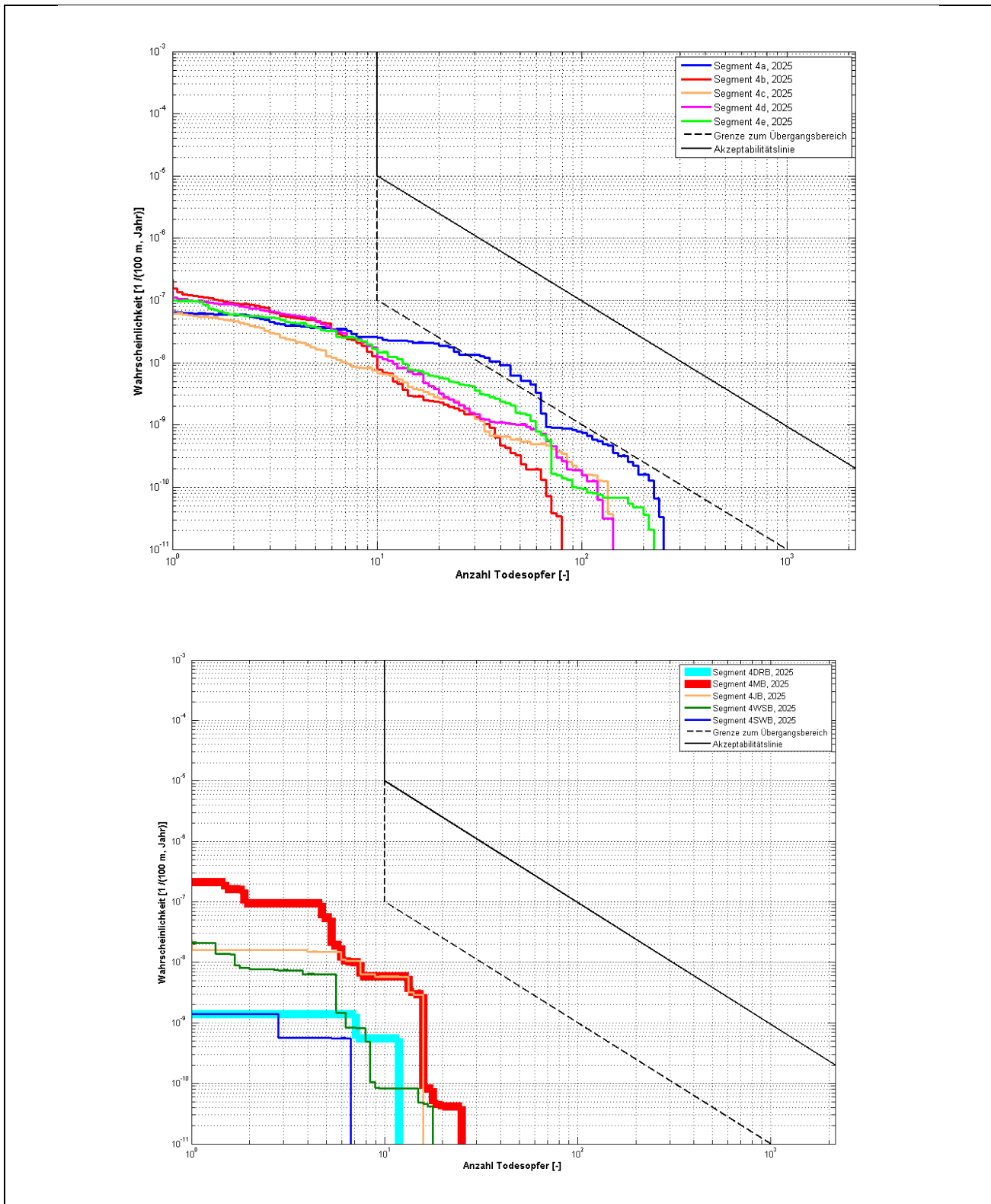


Abbildung 3: W/A-Diagramme mit den Summenkurven der Segmente 4a, 4b, 4c, 4d, 4e sowie 4SWB, 4WSB, 4MB, 4JB und 4DRB der Szenarien "Benzin Lachenbrand", "LNG Lachenbrand" und "LNG Gaswolkenbrand" mit Indikator "Todesopfer" für den Zeithorizont 2025 (Unfallrate Kentern um Faktor 10 tiefer angesetzt)

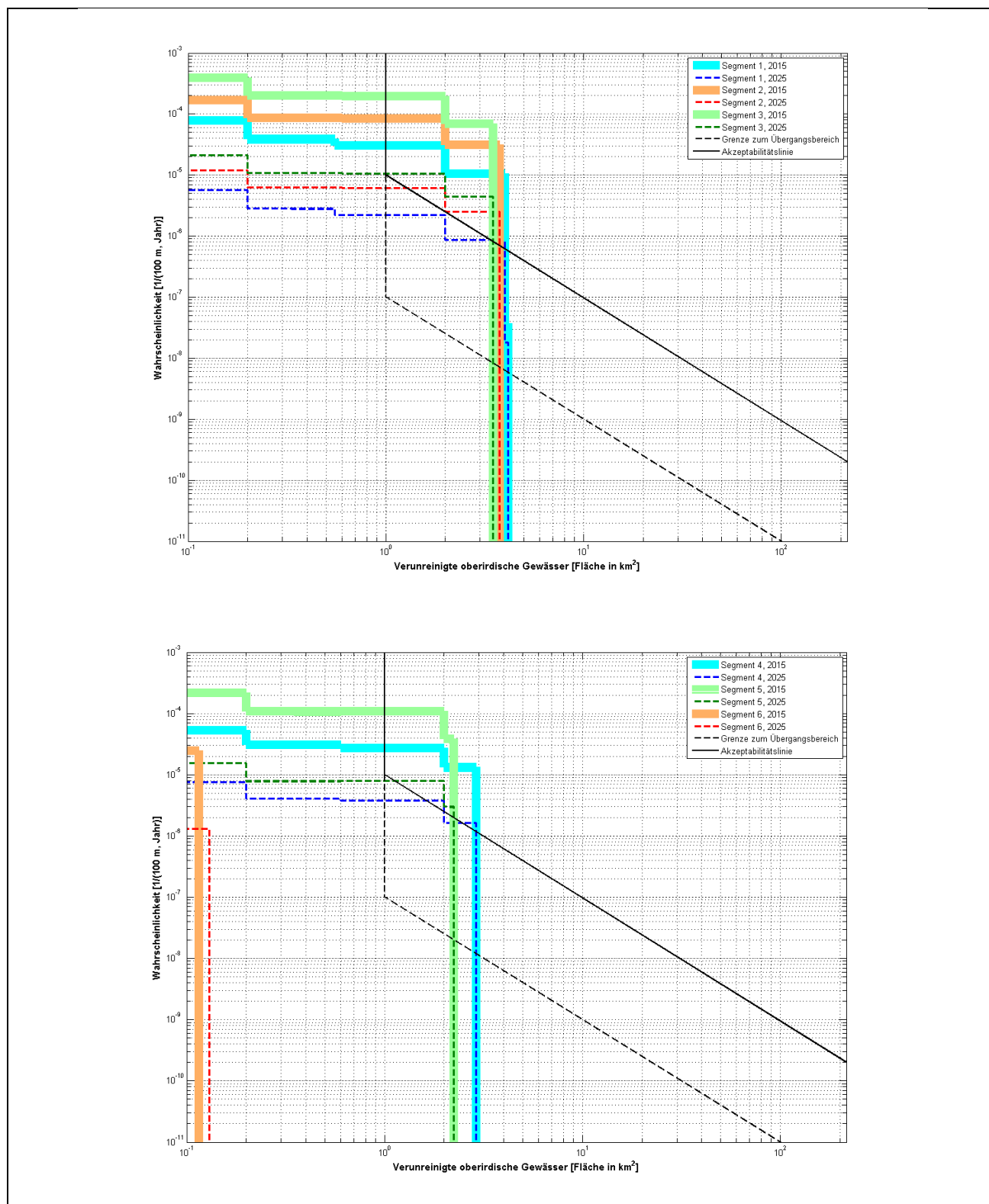


Abbildung 4: W/A-Diagramm mit den Summenkurven der Segmente 1, 2, 3, 4, 5 und 6 der Szenarien "Benzin, Gasöl – Leckage" und "Benzol – Leckage" mit Indikator "verunreinigte oberirdische Gewässer, Fläche in km<sup>2</sup>" für die Zeithorizonte 2015 und 2025 (Unfallrate Kentern um Faktor 100 tiefer angesetzt)

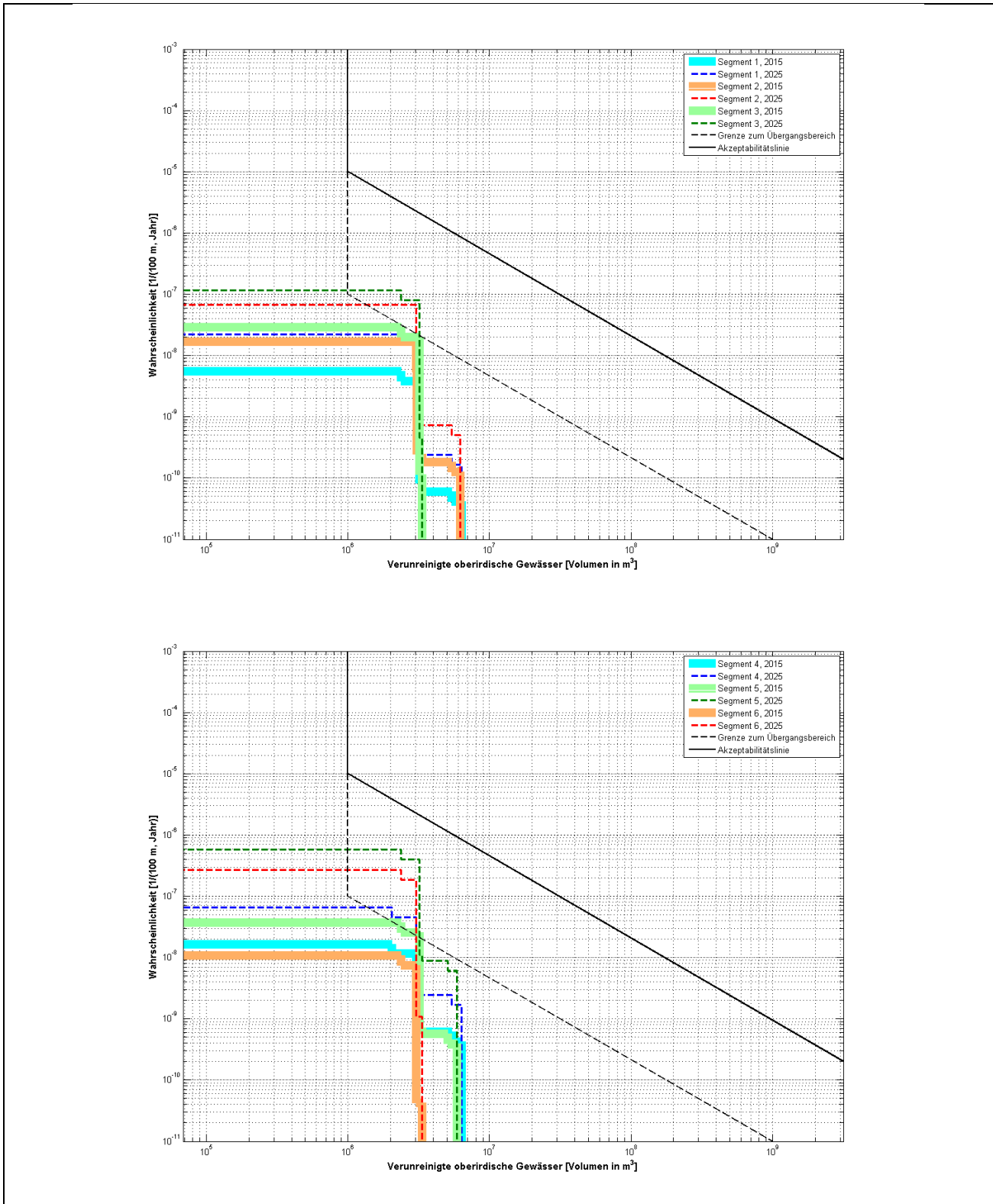


Abbildung 5: W/A-Diagramm mit den Summenkurven der Segmente 1, 2, 3, 4, 5 und 6 der Szenarien "Dünger – Leckage" und "Ökotoxische Stoffe – Leckage" mit Indikator "verunreinigte oberirdische Gewässer, Volumen in m<sup>3</sup>" für die Zeithorizonte 2015 und 2025 (Unfallrate Kentern um Faktor 100 tiefer angesetzt)



## 5 Massnahmen

Die Risiken für die Bevölkerung liegen teilweise im Übergangsbereich. Die Risiken für den Rhein liegen im nicht akzeptablen Bereich. Entsprechend sind weitergehende Massnahmen zu prüfen.

Die Schweizerischen Rheinhäfen haben mit dem Aktionsplan 2016 bereits zahlreiche Massnahmen in die Wege geleitet:

- Aktion 1 (in Umsetzung): Erhöhung der Mindestfahrrinntiefe um 30 cm bei gleichwertigem Wasserstand GIW 2012,
- Aktion 2 (umgesetzt): Beschaffung eines neuen modernen und leistungsfähigen Schlepp- und Schubbootes (ab 1. Januar 2017 im Einsatz) und Integration der Schlepp- und Schubbootdienstleistungen in die SRH,
- Aktion 3 (umgesetzt): Integration der Lotsendienstleistungen in die SRH,
- Aktion 4 (in Umsetzung): Revision der Verordnung des UVEK über die Inkraftsetzung der Schifffahrtspolizeiverordnung Basel-Rheinfelden 747.224.211,
- Aktion 5 (Umsetzung 01.01.2018): Erweiterung der Betriebszeiten der Revierzentrale von Montag bis Sonntag 04.30 Uhr bis 22.00 Uhr zur Verbesserung der Verkehrsüberwachung,
- Aktion 6 (Umsetzung kurzfristig): Förderung eines Kompetenzzentrums für die Rheinschifffahrt,
- Aktion 7 (Umsetzung langfristig): Einführung eines automatischen Bahnführungssystems für die Binnenschifffahrt durch Basel.

Neben diesen Massnahmen aus dem Aktionsplan 2016 ergeben sich aus der Risikoermittlung folgende weitergehende Massnahmen:

- Massnahme M1 (Umsetzung kurzfristig): Verstärkte Einschränkung des Gefahrguttransportes während Grossanlässe wie z.B. Fasnachtsumzüge im Bereich des Rheinuferes,
- Massnahme M2 (Umsetzung kurzfristig resp. sobald LNG-Transporte durchgeführt werden): Regulierung der Durchfahrt von LNG-Transporten,
- Massnahme M3 (Umsetzung mittelfristig): Siedlungsentwicklung, Überbauungen oder generell bauliche Änderungen am Rhein unter Berücksichtigung von Vorsorgemassnahmen,
- Massnahme M4 (Umsetzung kurzfristig): Überprüfung der bestehenden Einsatzplanung sowie der Festlegungen zur Abwicklung von Havarien auf Vollständigkeit insbesondere bzgl. der Elemente Evakuierung und Alarmierung / Warnung der Bevölkerung. Bei Bedarf Ergänzung der zugehörigen Dokumente und Ausbildungsunterlagen.

Die Wirkungen der einzelnen Massnahmen auf das Risiko können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die SRH Aktionen reduzieren grundsätzlich die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses. Sie wirken auf die Unfallarten "Grundberührung", "Kentern", "Schiffskollision", "Kollision Brücke". Die zugehörigen Unfallraten werden teilweise massgeblich verkleinert.

- Das Gesamtrisiko wird durch die SRH Aktionen 1,2,3, 4 und 6 verkleinert. Die Summenkurven der Risiken für das Oberflächengewässer verbleiben jedoch im nicht akzeptablen Bereich (vgl. Abbildung 6).

- Die beiden Massnahmen M1 und M2 sind auf die Reduktion der Personenrisiken ausgerichtet.

Diese Massnahmen sind betrieblicher Art. Aufgrund der entsprechend geringen Kosten für die Umsetzung sind diese Massnahmen risikotechnisch gesehen effizient. Der Einfluss auf das Risiko kann für die Massnahme M1 der Abbildung 7 und für die Massnahme M2 der Abbildung 8 entnommen werden.

- Die Wirkung der Massnahme M3 kann nur anhand eines konkreten Siedlungsentwicklungsprojekts bestimmt werden.

Diese Massnahme leitet sich auch aus den Grundsätzen zur Vorsorge gemäss der Störfallverordnung StfV ab.

- Die Wirkung der Massnahme M4 kann mit der verwendeten Risikomodellierung nicht abgeschätzt werden, da nur Szenarien mit grossen Ausflussraten verwendet werden.

Die Erfordernis einer aktuellen, dem Stand der Technik entsprechenden Einsatzplanung ergibt sich auch direkt aus den Anforderungen der Störfallverordnung StfV. Eine regelmässige Überprüfung und Fortschreibung der Einsatzplanung ist Pflicht.

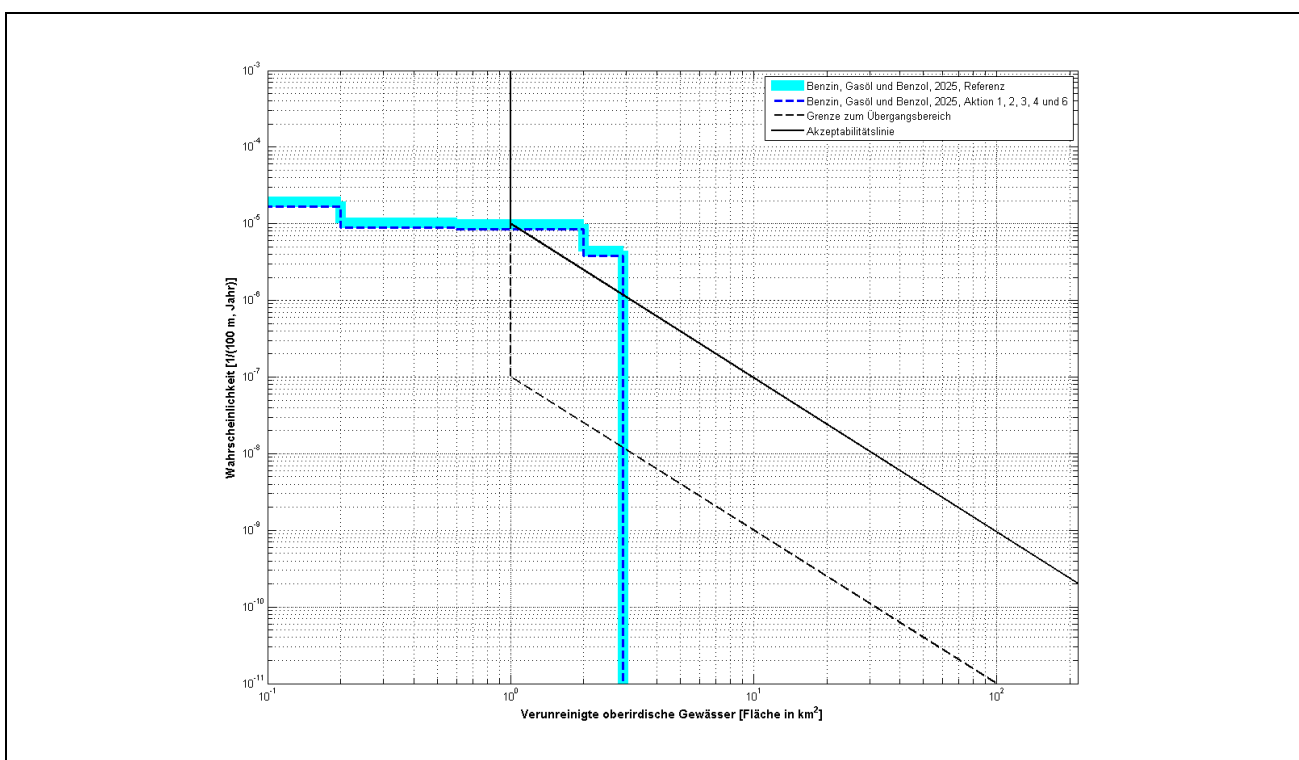


Abbildung 6: Einfluss der SRH Aktionen 1, 2, 3, 4 und 6 auf das Risiko – WIA-Diagramm mit den Summenkurven des Segments 4 der Szenarien "Benzin, Gasöl – Leckage" und "Benzol – Leckage" mit Indikator "verunreinigte oberirdische Gewässer, Fläche in km<sup>2</sup>" für den Zeithorizont 2025 (Unfallrate Kentern um Faktor 10 tiefer angesetzt)

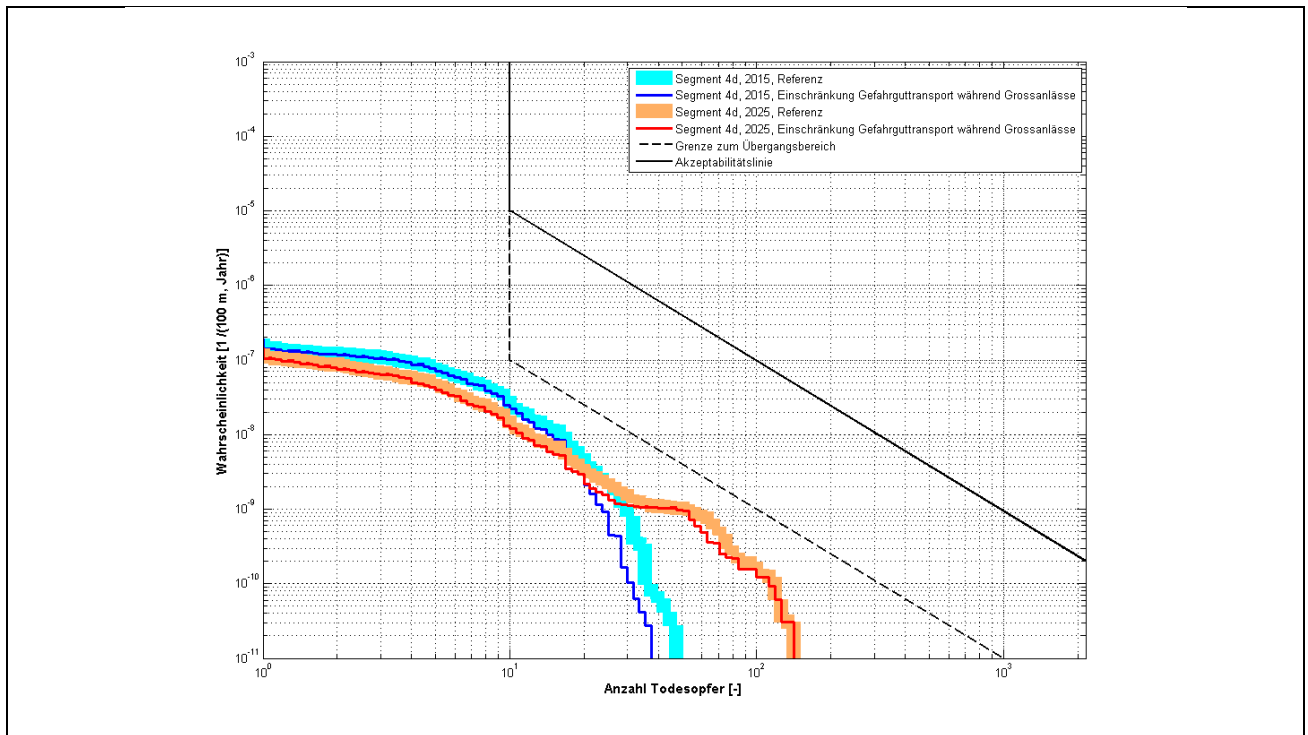


Abbildung 7: Einfluss der Massnahme M1 auf das Risiko – W/A-Diagramm mit den Summenkurven des Segments 4d der Szenarien "Benzin Lachenbrand", "LNG Lachenbrand" und "LNG Gaswolkenbrand" für den Indikator "Todesopfer" für die Zeithorizonte 2015 und 2025 (Unfallrate Kentern um Faktor 10 tiefer angesetzt)

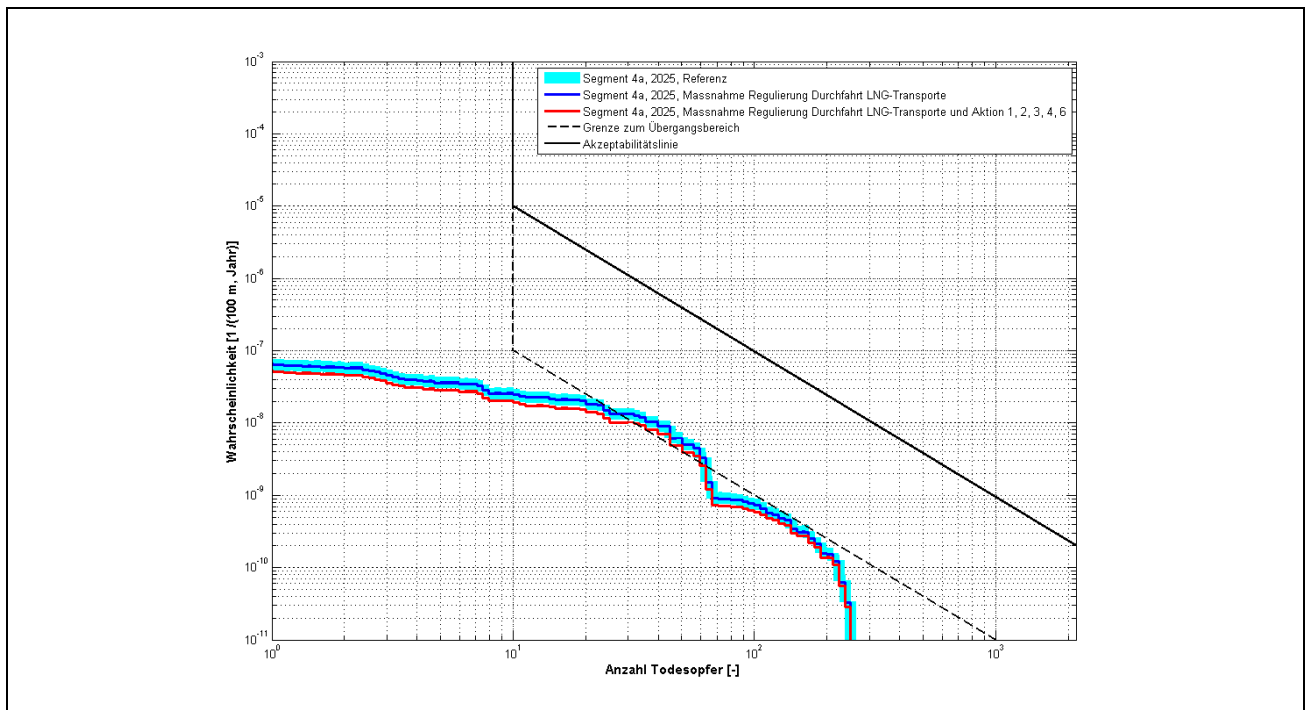


Abbildung 8: Einfluss der Massnahme M2 auf das Risiko und Einfluss aller Massnahmen auf das Risiko – W/A-Diagramm mit den Summenkurven des Segments der Szenarien "Benzin Lachenbrand", "LNG Lachenbrand" und "LNG Gaswolkenbrand" für den Indikator "Todesopfer" für den Zeithorizont 2025 (Unfallrate Kentern um Faktor 10 tiefer angesetzt)

## 6 Schlussfolgerungen

Die Summenkurven aller Segmente und aller Szenarien verlaufen im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm für den Schadenindikator "Todesopfer" und für den Zeithorizont 2025 im akzeptablen Bereich oder im unteren Übergangsbereich gemäss den Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung. Die Risikosituation der Bevölkerung wird unter Berücksichtigung der getroffenen und empfohlenen Massnahmen im Sinne einer Eigenbeurteilung als tragbar beurteilt.

Die Summenkurven der Segmente 1 bis 5 aller Szenarien verlaufen im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm für den Zeithorizont 2025 und für den Schadenindikator "verunreinigte oberirdische Gewässer" im nicht akzeptablen Bereich gemäss den Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung. Diejenige für das Segment 6 im Übergangsbereich. Grundsätzlich ist die Risikosituation somit nicht tragbar. Bei der Interpretation dieses Resultats und bei der Festlegung weitergehender Massnahmen sind folgende Aspekte zu beachten:

- Damit die Summenkurven in den Übergangsbereich zu liegen kommen, müssten die Eintretenswahrscheinlichkeiten um rund den Faktor 10 tiefer liegen. Dieser Faktor liegt insbesondere im Unschärfbereich der bedingten Freisetzungswahrscheinlichkeiten. Eine Reduktion in dieser Grössenordnung ist bei vertiefter Abklärung der Freisetzungsmechanismen unter Berücksichtigung der aktuellen Schiffskonstruktionen per se denkbar.
- Die Grenzwerte für den Schadenindikator "verunreinigte oberirdische Gewässer" der Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung sind noch nicht definitiv und wurden bisher nur für die Erprobung festgelegt.
- Vor der Festlegung von allfälligen Einschränkungen der Schifffahrt sind die Risiken mit den alternativen Transportsystemen (Bahn, Strasse) auf den Alternativrouten zu bestimmen und zu vergleichen. In die Beurteilung sind zudem betriebliche Aspekte und die Umweltverträglichkeit mit zu berücksichtigen.
- Günstig wäre aus risikoanalytischer Sicht bzgl. Schifffahrt, wenn die LNG-Transporte nicht durch ganz Basel zum Terminal fahren müssten. Der Betrieb der LNG-Anlagen ist jedoch auf der Basis einer Gesamtbetrachtung unter Berücksichtigung der Lagerung, des Umschlags und des Transports durchzuführen.

Unter Berücksichtigung der Resultate der Risikoermittlung und der Sensitivitätsanalysen wird die Umsetzung der Massnahmen gemäss dem SRH – Aktionsplan und der weitergehenden Massnahmen gestützt resp. empfohlen.

Die Erstellung der Risikoermittlung 2016 wurde fachlich von der Arbeitsgruppe "Störfallsicherheit auf dem Rhein" begleitet. Die Modellierung, die Resultate sowie die Massnahmen wurden intensiv diskutiert. Die Arbeitsgruppe stützt die Aussagen der Risikoermittlung sowie die Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen.