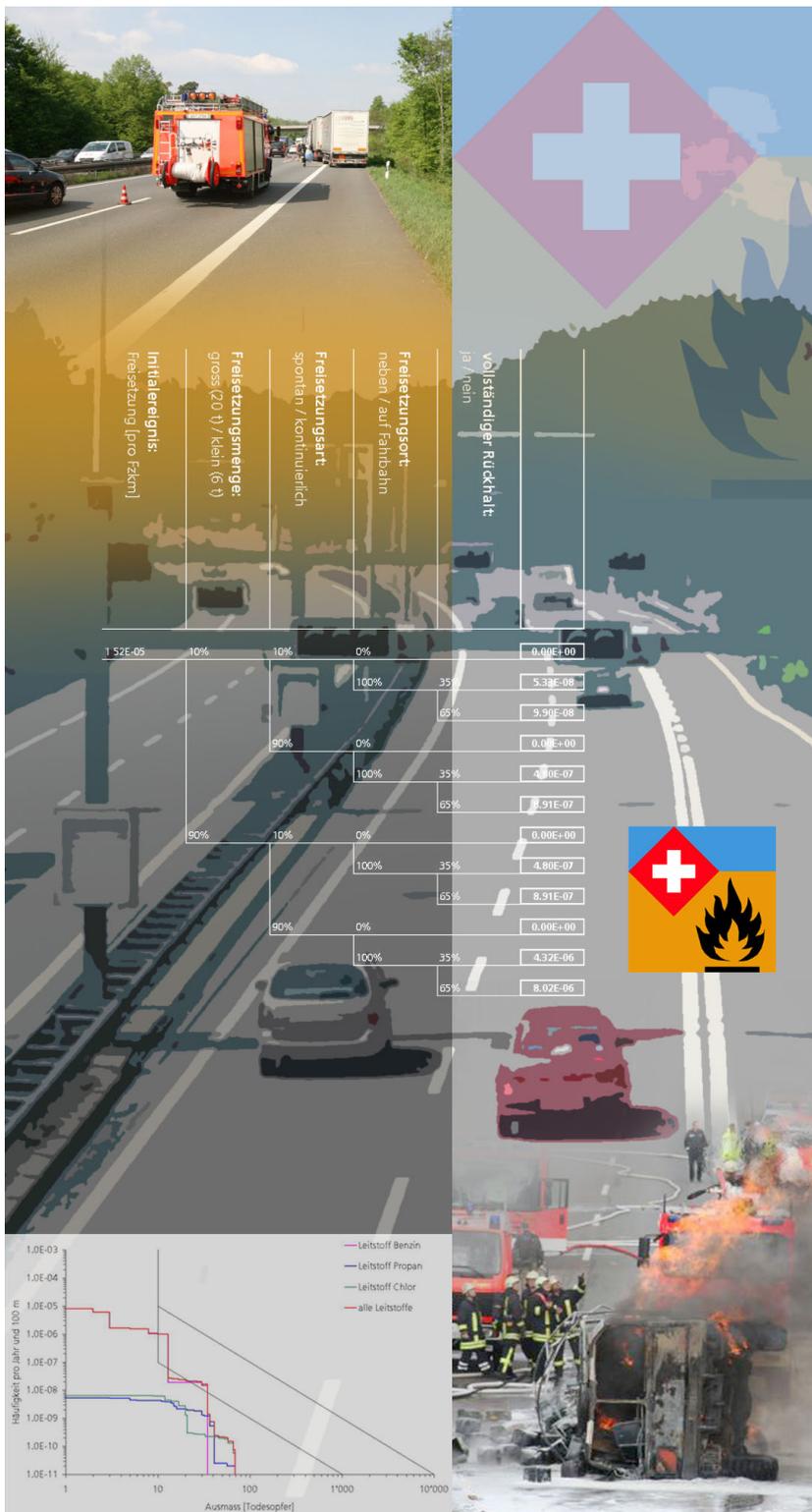


Störfallrisiken auf Durchgangsstrassen

Bericht zur Screening-Methodik
 1. April 2010



Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Zielsetzung.....	1
2	Vorgehen und Abgrenzung	4
3	Strukturierung der Risiken	7
3.1	Leitstoffe	7
3.2	Störfallszenarien.....	8
4	Freisetzungshäufigkeit.....	10
4.1	Freisetzungsraten	10
4.2	Freisetzungshäufigkeit.....	14
5	Quantifizierung der Personenrisiken.....	16
5.1	Überblick über den methodischen Ansatz	16
5.2	Expositionsszenarien	16
5.3	Generelles Vorgehen zur Abschätzung des Schadenausmasses	24
5.4	Schadenausmass Leitstoff Benzin.....	25
5.5	Schadenausmass Leitstoff Propan	31
5.6	Schadenausmass Leitstoff Chlor.....	37
6	Quantifizierung der Umweltrisiken.....	43
6.1	Überblick über den methodischen Ansatz	43
6.2	Schadenausmass Leitstoff Benzin.....	46
6.3	Schadenausmass Leitstoff Epichlorhydrin.....	56
7	Fallbeispiele und Vergleich mit anderen Risikoermittlungen	60
7.1	Einleitung	60
7.2	Fallbeispiel PRA A1 Umfahrung Winterthur	62
7.3	Fallbeispiel A6 Wankdorf – Kiesen	66
8	Ausschlusskriterien.....	70
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	76

Anhänge

A1 Grundlagen

A2 Anwendungsbeispiel

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Durchgangsstrassen, auf denen gefährliche Güter nach SDR/ADR transportiert oder umgeschlagen werden, unterliegen der Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV), welche seit dem 1. April 1991 in Kraft ist. Für den Vollzug der StFV auf den Nationalstrassen ist das Bundesamt für Strassen (ASTRA), für die restlichen Durchgangsstrassen die Kantone zuständig. Als Fachstelle des Bundes im Bereich StFV ist zudem das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in das Beurteilungsverfahren eingebunden. Die StFV hat zum Ziel die Bevölkerung und die Umwelt (Oberflächengewässer sowie Grundwasser) vor schweren Schädigungen infolge von Störfällen zu schützen. Zur Beurteilung der Risiken dienen die Instrumente "Kurzbericht" (KB) und "Risikoermittlung" (RE).

Der Vollzug der StFV auf den Durchgangsstrassen ist heute schweizweit auf unterschiedlichem Stand. Für viele Strecken, insbesondere Autobahnen und stark frequentierte Kantonsstrassen, wurden seit 1993 Kurzberichte erstellt. Aufgrund von Veränderungen beim Gefahrgutverkehr, beim Ausbaustandard der Strasse bzw. an der Umgebung (z.B. Siedlungsdichte) entsprechen sie teilweise aber nicht mehr den heutigen Gegebenheiten. Für einige Durchgangsstrassen liegen bislang noch keine Kurzberichte vor.

Das heute übliche Kurzberichtsverfahren, wie es im Handbuch III für Durchgangsstrassen beschrieben ist, wird von verschiedener Seite als zu schwerfällig und papierlastig angesehen. Zudem wird das im Handbuch III vorgeschlagene Verfahren zur Ermittlung der H_5 -Werte teilweise als zu grob empfunden, insbesondere was den Einfluss der vorhandenen Sicherheitsmassnahmen anbetrifft. Diese könnten zwar im Kurzberichtsverfahren quantitativ berücksichtigt werden; dies geschieht in der Praxis aber kaum, da Vorgaben fehlen, wie dies zu bewerkstelligen ist. Dies führt dazu, dass die H_5 -Werte die Höhe der Risiken nur unzureichend wiedergeben. Es besteht deshalb das Bedürfnis, eine Alternative zum Berechnungsverfahren der H_5 -Werte nach Handbuch III zu haben.

Für den Vollzug der StFV bei den Bahnen wurde bereits Ende der 90er Jahre eine Screening-Methodik entwickelt und in der Folge mehrfach netzweit angewandt. Das Screening hat sich dort als wichtiges Element für die Beurteilung der Risiken auf Stufe Kurzbericht etabliert und soll deshalb in den Beurteilungskriterien zur StFV, die derzeit überarbeitet werden, thematisiert werden.

Um den weiteren Vollzug der StFV auf Durchgangsstrassen voranzutreiben und zu vereinfachen, soll nun auch für Durchgangsstrassen (National- und Kantonsstrassen gemäss Durchgangsstras-

senverordnung) eine Screening-Methodik zur Abschätzung der Personen- und Umweltrisiken aus dem Transport gefährlicher Güter ausgearbeitet werden. Dazu haben verschiedene kantonale Vollzugsstellen der StFV, das Bundesamt für Strassen (ASTRA) sowie das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Arbeitsgruppe gebildet und die Firma Ernst Basler + Partner AG für die Sachbearbeitung beigezogen.

Die zu erarbeitende Screening-Methodik beinhaltet die folgenden Kernelemente:

- Rechenmethodik zur quantitativen, szenariobasierten Ermittlung der Personen- und Umweltrisiken in Form von Summenkurven in Abhängigkeit der massgeblichen ortsspezifischen Einflussgrössen. Im Gegensatz zur Methodik nach Handbuch III sollen dabei auch die vorhandenen Sicherheitsmassnahmen (z.B. Entwässerungs- und Fahrzeugrückhaltesystem) angemessen berücksichtigt werden.
- Definition von Ausschlusskriterien: Anhand einfach verfügbarer Streckendaten soll eine Triage möglich sein zwischen
 - Streckenabschnitten, deren Risiken ohne weitere Analysen als unbedenklich beurteilt werden können, so dass grundsätzlich keine Risikoermittlung verfügt werden muss;
 - Streckenabschnitten, für die dies nicht möglich ist, so dass eine Analyse mittels der Screening-Methodik notwendig ist, um zu entscheiden, ob das Verfahren auf Stufe Kurzbericht abgeschlossen werden kann oder ob eine Risikoermittlung zu erstellen ist.
- Ausarbeitung eines EDV-Tools, mit dem ausgehend von ortsspezifischen Einflussgrössen (Strassen- und Umgebungsmerkmale, vorhandene Sicherheitsmassnahmen) die Summenkurven "auf Knopfdruck" ermittelt und dokumentiert werden können.

Die einheitliche methodische Basis sowie das Vorhandensein einer EDV-Applikation soll die Ausarbeitung von Kurzberichten erleichtern, vergleichende Übersichten über die Gefahrgutrisiken auf Strassennetzen ermöglichen und so den Vollzug der StFV auf eine möglichst effiziente und einheitliche Grundlage stellen. Dies ermöglicht einen rascheren Vollzug, insbesondere bei unkritischen Strecken, auf Stufe Kurzbericht und eine Fokussierung auf die wirklich kritischen Streckenabschnitte.

Die Screening-Methodik soll wie das Handbuch III eine akzeptierte Grundlage für die Beurteilung der Risiken auf Stufe Kurzbericht darstellen. Sie ermöglicht jedoch keine Beurteilung, ob der Stand der Technik hinsichtlich der vorhandenen Sicherheitsmassnahmen eingehalten ist; für eine solche Beurteilung sind zusätzliche Angaben zu berücksichtigen.

Die Entwicklung der Screening-Methodik wurde unter Leitung des Kantons Aargau durch folgende Vertreter eidgenössischer und kantonaler Behörden begleitet:

Adrian Gloor	Bundesamt für Strassen
Richard Bischof	Bundesamt für Umwelt
Raymond Dumont (Projektleiter)	Amt für Verbraucherschutz Kanton Aargau
Hans Bossler	Kantonales Laboratorium Basel-Stadt
Markus Flisch	Kantonales Laboratorium Bern
Jesper Hansen	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich
Adrian Lüscher	Amt für Verbraucherschutz Kanton Aargau
Mirco Moser	Ufficio delle industrie, della sicurezza e della protezione del suolo, Kanton Tessin
Jörg Rickenbacher	Sicherheitsinspektorat Basel-Landschaft
Bernd Weinert	Amt für Umwelt und Energie, Kanton St. Gallen
Hanspeter Willi	Amt für Natur und Umwelt Graubünden

2 Vorgehen und Abgrenzung

Screening-Methodik und Ausschlusskriterien

Die Ausarbeitung der Screening-Methodik beinhaltet dieselben Vorgehensschritte, wie sie auch für die Erstellung einer Risikoermittlung nach StFV etabliert sind (vgl. Abbildung 1). Die einzelnen Schritte inkl. der jeweils verwendeten Daten und Annahmen sind in den nachfolgenden Kapiteln detailliert beschrieben. Sie werden jeweils für die Personenrisiken (Indikator Todesopfer – Fahrzeuginsassen und Personen ausserhalb der Fahrbahn) und für die Umweltrisiken (Indikatoren verschmutzte oberirdische und unterirdische Gewässer) für die gemäss Störfallverordnung massgeblichen Leitstoffe einzeln durchgeführt, damit die jeweiligen Summenkurven in Abhängigkeit der massgeblichen ortsspezifischen Einflussgrössen ermittelt werden können.

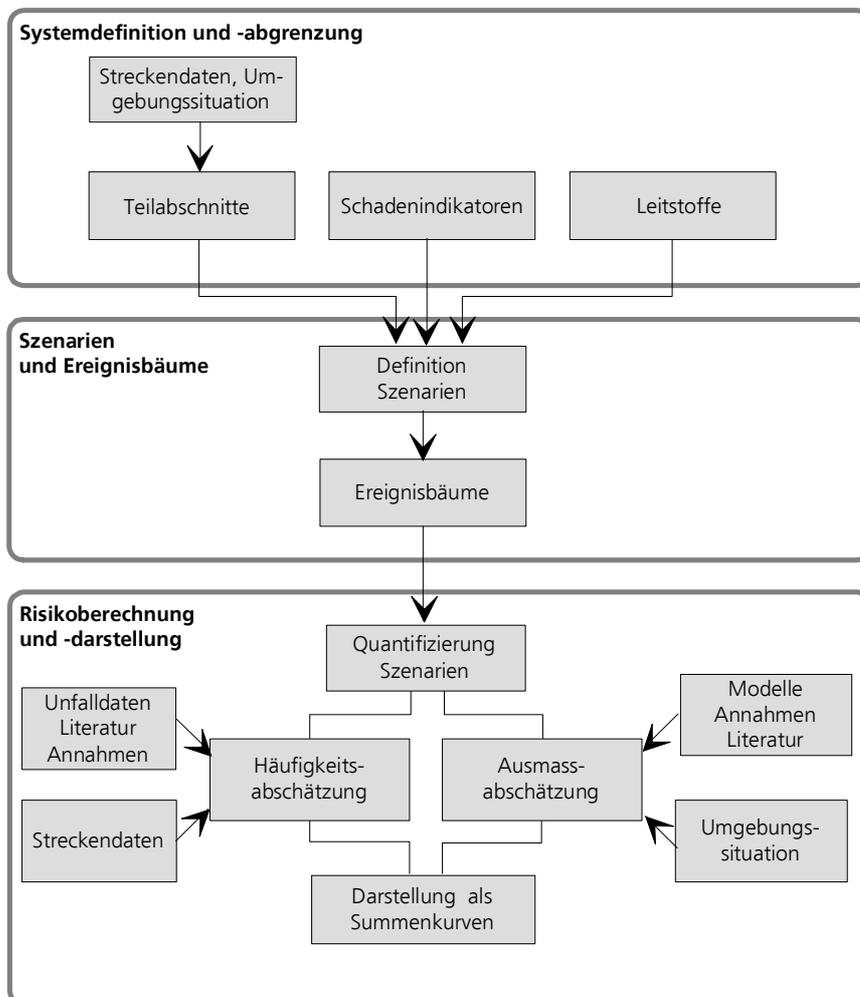


Abbildung 1: Generelle Methodik für die Erstellung einer Risikoermittlung

Für die Ermittlung der Ausschlusskriterien wird folgendes Vorgehen gewählt:

- Im H-A-Diagramm wird eine Grenzlinie festgelegt, unterhalb der die Summenkurve vollständig liegen muss, damit die Ausschlusskriterien als erfüllt gelten.
- Es wird festgelegt, welche einfach zu bestimmenden ortsspezifischen Einflussgrößen für die Ausschlusskriterien herangezogen werden können (z.B. DTV) und welche Größen dazu nicht verwendet werden sollen, da sie nicht ohne Weiteres bekannt sind (z.B. Grösse von Rückhaltebecken im Entwässerungssystem).
- Den Größen, die als Ausschlusskriterien herangezogen werden können, werden durch Anwendung der Screening-Methodik Zahlenwerte zugeordnet, anhand deren man beurteilen kann, ob die Gesamtsummenkurve für einen gegebenen Indikator unterhalb der festgelegten Grenzlinie liegt. Dies soll auch gelten, wenn für die nicht zu verwendenden Einflussgrößen ungünstige Werte zugrunde gelegt werden (z.B. Fehlen eines Rückhaltebeckens im Entwässerungssystem).

Der vorliegende Methodikbericht beschreibt die Screening-Methodik (Kapitel 3 bis 6), erläutert diese an Fallbeispielen (Kapitel 7) und führt die Ausschlusskriterien (Kapitel 8) auf, anhand deren Abschnitte mit unbedenklichen Risiken mittels einfach verfügbaren Daten identifiziert werden können.

EDV-Applikation

Für die effiziente Anwendung der Screening-Methodik wird eine EDV-Applikation erarbeitet, die folgenden Zwecken dient:

- Unterteilung des Untersuchungsperimeters in für die Zwecke der Risikoberechnung homogene Einheiten (nachfolgend als Elemente bezeichnet), die zur eindeutigen Identifikation mit entsprechenden Bezeichnungen versehen werden können.
- Systematische Erfassung der ortsspezifischen Einflussgrößen (Strassen- und Umgebungsmerkmale sowie vorhandene bzw. geplante Sicherheitsmassnahmen) pro Element, von denen die Höhe der Risiken bzw. die Lage der Summenkurven abhängen, in einer Excel-Datei.
- Ermittlung der Summenkurve pro Leitstoff und Schadenindikator für eine beliebige Teilmenge von Elementen (Beurteilungssperimeter) innerhalb des Untersuchungsperimeters und Dokumentation der Ergebnisse mittels Listen und Abbildungen in einer Excel-Datei. Dazu sind

die notwendigen Modellparameter hinterlegt, die vom Benutzer jedoch nicht angepasst werden können.¹⁾

Die Anwendung der EDV-Applikation wird im separaten Dokument "Störfallrisiken auf Durchgangsstrassen - Bedienungsanleitung EDV-Applikation "Screening Durchgangsstrassen" Version 1.0" [Bedienungsanleitung 2010] erläutert.

1) Den Vollzugsstellen der StfV kann bei Bedarf eine Version der EDV-Applikation abgegeben werden, bei der auch die wichtigsten Modellparameter (z.B. Freisetzungsrates pro Fahrzeug-km) angepasst werden können.

3 Strukturierung der Risiken

3.1 Leitstoffe

Die Wirkung von Störfällen hängt massgeblich von den Eigenschaften des freigesetzten Stoffes ab. Stellvertretend für die Gesamtheit aller hinsichtlich Personen- und Umweltschäden im Sinne der StFV relevanten Gefahrgüter werden deshalb spezifische, repräsentative Leitstoffe untersucht. Deren massgebliche Eigenschaften sowie die zugehörigen Gefahrenpotenziale sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 beschrieben. Stoffe mit vergleichbaren Eigenschaften werden unter dem jeweiligen Leitstoff erfasst (vgl. Spalte "Wichtigste Vertreter").

Personenrisiken

Stellvertretend für die Gesamtheit aller hinsichtlich Personenschäden relevanten Gefahrgüter werden die drei Leitstoffe Benzin, Propan und Chlor untersucht (vgl. Tabelle 1).

Leitstoff	Massgebliche Stoffeigenschaften	Wichtigste Vertreter	Gefährdung von Personen durch...
Benzin	Flüssig, leicht brennbar	Benzin und ähnliche Treibstoffe, diverse Lösungsmittel, Kerosin	<ul style="list-style-type: none"> • Hitzeeinwirkung infolge Brand • Druckwirkung und Trümmerwurf infolge Explosion
Propan	Unter Druck verflüssigtes Gas, leicht brennbar	Propan, Butan, andere Kohlenwasserstoffe, Vinylchlorid	<ul style="list-style-type: none"> • Hitzeeinwirkung infolge Brand • Druckwirkung und Trümmerwurf infolge Explosion
Chlor	Unter Druck verflüssigtes Gas, humantoxisch	Chlor, Chlorwasserstoff, Ammoniak	<ul style="list-style-type: none"> • Humantoxische Wirkungen bei Aufnahme über die Atemwege

Tabelle 1: Angaben zu den untersuchten Leitstoffen hinsichtlich Personenschäden

Umweltrisiken

Hinsichtlich der Umweltschäden werden für den Schadenindikator "verunreinigte Oberflächengewässer" die Leitstoffe Benzin und Epichlorhydrin betrachtet, für den Schadenindikator "verunreinigte unterirdische Gewässer" wird auf den massgebenden Leitstoff Benzin abgestützt (vgl. Tabelle 2).

Leitstoff	Massgebliche Stoffeigenschaften	Wichtigste Vertreter	Gefährdung der Umwelt durch...
Benzin	Flüssig, leicht brennbar	Benzin und ähnliche Treibstoffe, diverse Lösungsmittel, Kerosin	<ul style="list-style-type: none"> wassergefährdend bis stark wassergefährdend (WGK 2 bis 3) Giftig für Wasserorganismen
Epichlorhydrin	Flüssig, toxisch, wasserlöslich	Epichlorhydrin, Amine, etc.	<ul style="list-style-type: none"> Stark wassergefährdend (WGK 3)

Tabelle 2: Angaben zu den untersuchten Leitstoffen hinsichtlich Umweltschäden

3.2 Störfallszenarien

Die möglichen Freisetzungs- und Wirkungsarten von Gefahrgutereignissen werden mittels Störfallszenarien beschrieben. Sie sind in der folgenden Tabelle für die Personenrisiken pro Leitstoff dargestellt.

Leitstoff	Freisetzungsarten	Ausbreitungs- und Wirkungsarten
Benzin	<ul style="list-style-type: none"> Spontane Freisetzung von rund 20 t mit 400 kg/s während etwa 50 Sekunden. 	<ul style="list-style-type: none"> Sofortige Zündung und Lachenbrand inner- oder ausserhalb Strassenraum ²⁾
	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Freisetzung von rund 20 t mit 13.3 kg/s während rund 25 Minuten. 	<ul style="list-style-type: none"> Sofortige Zündung und Lachenbrand inner- oder ausserhalb Strassenraum
Propan	<ul style="list-style-type: none"> Behälterversagen mit spontaner Freisetzung von 12 t mit einer Rate von 400 kg/s in 30 Sekunden (in flüssiger Phase). 	<ul style="list-style-type: none"> Sofortige Zündung (BLEVE) Verzögerte Zündung und Gaswolkenbrand
	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Freisetzung von 6 t³⁾ mit einer Rate von 33.3 kg/s während 3 Minuten (in flüssiger Phase). 	<ul style="list-style-type: none"> Sofortige Zündung und Freistrahbrand (Fackelbrand) Verzögerte Zündung und Gaswolkenbrand
Chlor ⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> Transport von vier Rollcontainern zu je 1'000 kg. Davon wird einer beschädigt und vollständig mit 500 kg/s auf einer Höhe von 1 m über Boden, entleert. 	<ul style="list-style-type: none"> Schwergasausbreitung und humantoxische Wirkungen
	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Freisetzung von 500 kg mit 8.3 kg/s während einer Minute auf einer Höhe von 1 m über Boden 	<ul style="list-style-type: none"> Schwergasausbreitung und humantoxische Wirkungen

Tabelle 3: Überblick über die untersuchten Störfallszenarien hinsichtlich Personenrisiken

- 2) Es wird die Annahme getroffen, dass sich bedingt durch die Entwässerungssysteme keine Lache über den Fahrbahnrand hinaus bildet, solange das Unfallfahrzeug die Fahrbahn nicht verlässt. Aufgrund der vergleichsweise geringen Unterschiede der Wirkungen zwischen sofortiger und verzögerter Zündung wird nur der Fall der sofortigen Zündung untersucht. Kanalisationsexplosionen werden nicht betrachtet.
- 3) Dies entspricht einer kontinuierlichen Freisetzung bei einem Leck auf halber Höhe eines vollen 12 t-Tanks bzw. einem halbvollen 12 t-Tank oder einem vollen 6 t-Tank.
- 4) Über die typische Ladungszusammensetzung von Chlor-Transporten sind nur wenige Angaben vorhanden. Bei der Definition der Störfallszenarien ist man deshalb in stärkerem Masse auf Annahmen angewiesen als bei den beiden anderen Leitstoffen. Bekannt ist hingegen, dass im Gegensatz zu Propan in der Schweiz keine Chlor-Tankwagen verkehren (Anhang 3 SDR).

Die Umweltrisiken werden mittels folgender Szenarien pro Leitstoff untersucht:

Leitstoff	Freisetzungsarten	Ausbreitungs- und Wirkungsarten
Benzin	<ul style="list-style-type: none"> Spontane Freisetzung von rund 20 t ⁵⁾ mit 400 kg/s während etwa 50 Sekunden. 	<ul style="list-style-type: none"> Lachenbildung inner- oder ausserhalb Strassenraum und direkter oder indirekter Eintrag ins Oberflächengewässer Versickerung und Eintrag ins Grundwasser bei Freisetzung neben Fahrbahn bzw. bei Entwässerung über die Schulter
	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Freisetzung von rund 20 t mit 13.3 kg/s während rund 25 Minuten. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Spontane Freisetzung von rund 5 t mit 100 kg/s während etwa 50 Sekunden. 	
	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Freisetzung von rund 5 t mit 14 kg/s während rund 6 Minuten. 	
Epichlorhydrin⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> Behälterversagen mit spontaner Freisetzung von 5 t mit 100 kg/s während etwa 50 Sekunden. 	<ul style="list-style-type: none"> Lachenbildung inner- oder ausserhalb Strassenraum Eintrag ins Oberflächengewässer
	<ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Freisetzung von 5 t ⁷⁾ mit 5.6 kg/s während rund 15 Minuten. 	

Tabelle 4: Überblick über die untersuchten Störfallszenarien hinsichtlich Umweltrisiken

-
- 5) Der Wert von 20 t wurde gewählt, da erst ab einer Eintragsmenge von 15 t in ein Oberflächengewässer eine schwere Schädigung möglich ist. Seit Einführung der 40 Töner gibt es auch in der Schweiz Fahrzeuge, die 20 t Benzin befördern können.
- 6) Der Eintrag von Epichlorhydrin ins Grundwasser wird nicht betrachtet. Grund dafür ist, dass die Ereignishäufigkeit und das Schadenausmass (lösliche Stoffe werden in vergleichsweise kurzer Zeit mit dem Grundwasserstrom wegtransportiert) im Vergleich zum Leitstoff Benzin deutlich kleiner ist.
- 7) Die kleinere Freisetzungsmenge von Benzin (5 t) wird betrachtet, da beim Schadenindikator Grundwasser bereits ab deutlich kleineren Freisetzungsmengen als 20 t schwere Schädigungen möglich sind.
-

4 Freisetzungshäufigkeit

4.1 Freisetzungsraten

In einem ersten Schritt wird aufgezeigt, wie auf die Fahrleistung bezogene Unfall- bzw. Freisetzungsraten abgeleitet werden können. Im folgenden Kapitel wird dargestellt, wie daraus die effektive Freisetzungshäufigkeit ermittelt werden kann.

Die Unfallraten beim Schwerverkehr zeigen im Mittel über alle Strassentypen einen leicht sinkenden Trend (vgl. Abbildung 2). Es ist deshalb zweckmässig, die mittleren Unfall- bzw. Freisetzungsraten pro Fahrzeug-km anhand aktueller statistischer Daten zum Unfallgeschehen sowie zu den Transportleistungen zu ermitteln.

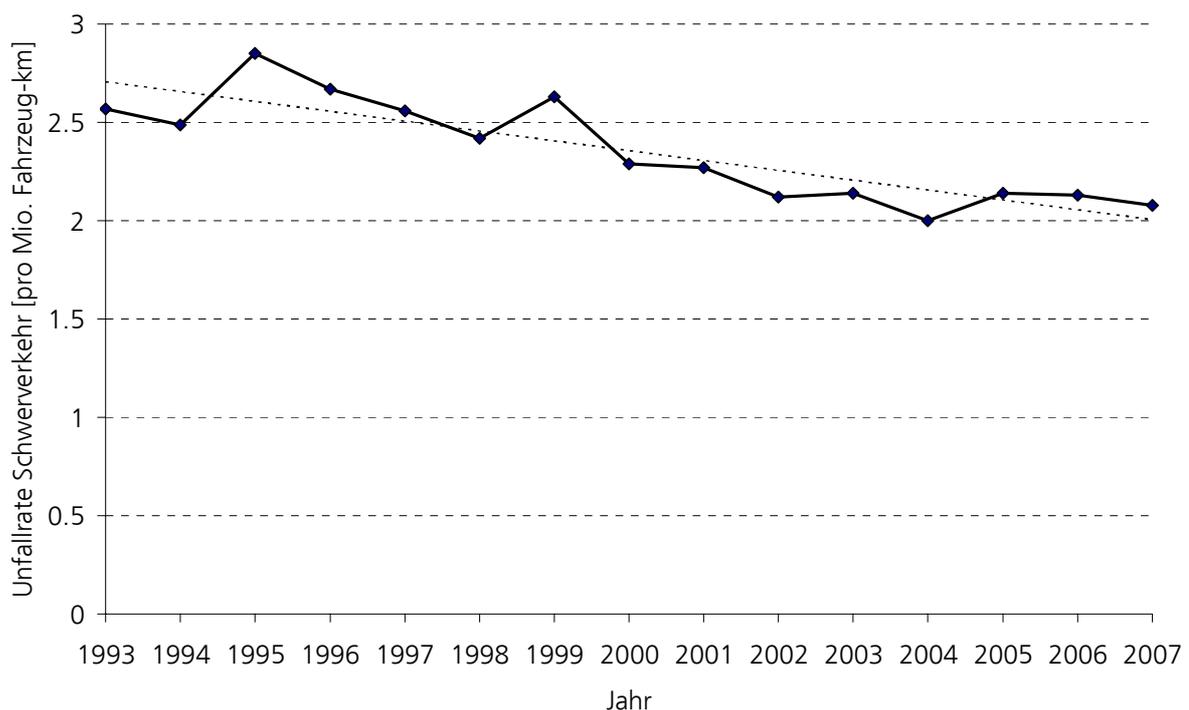


Abbildung 2: Entwicklung der Unfallrate Schwerverkehr (mit linearer Trendkurve) (Mittel über alle Strassenarten) Quelle: Daten BFS bzw. bfu

Folgende Daten stehen für die Analyse zur Verfügung:

- Jährliche Anzahl Unfälle von Fahrzeugen, die für den Gefahrguttransport zugelassen sind (SDR-Fahrzeuge), gegliedert nach Strassentyp und Höhe des Sachschadens.⁸⁾ Der Mittelwert über die acht Jahre zwischen 2000 und 2007 ist in Tabelle 5 dargestellt.

Sachschaden beteiligte Fahrzeuge	jährliche Anzahl Unfälle mit SDR-Fahrzeugen (Mittelwert 2000 - 2007)				
	Autobahn	Autostrasse	Hauptstrasse	restliche Strassen	total CH
<5'000.-	2.4	0.1	7.1	8.3	17.9
5'000.- - 20'000.-	8.8	0.3	9.6	7.6	26.3
20'000.- - 50'000.-	2.0	0.0	3.3	0.8	6.0
>50'000.-	1.5	0.4	2.0	0.5	4.4
alle Klassen	14.6	0.8	22.0	17.1	54.5

Tabelle 5: Mittlere jährliche Anzahl Unfälle von SDR-Fahrzeugen nach Strassentyp und Sachschadenklasse

- Jährliche gesamtschweizerische Fahrleistung aller SDR-Fahrzeuge: $1.9 \cdot 10^8$ Fzg-km (vgl. [SDR Statistik 2007]).

Um die Freisetzungsraten zu ermitteln, sind noch verschiedene Annahmen notwendig:

- Verteilung der Fahrleistung aller SDR-Fahrzeuge nach Strassentyp, vgl. Abbildung 3.⁹⁾

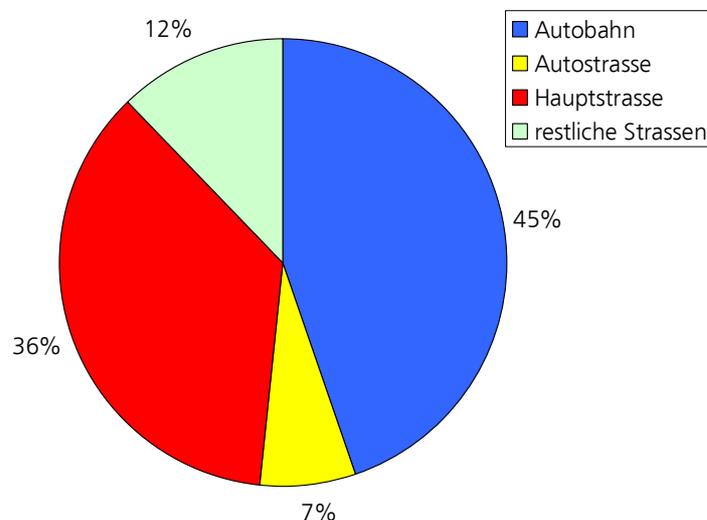


Abbildung 3: Verteilung der Fahrleistung nach Strassentyp

8) Zur Verfügung stehen lediglich Angaben, die in den Unfallprotokollen systematisch erfasst werden. Nicht erfasst wird, ob und in welchen Mengen Gefahrgut infolge des Unfalls freigesetzt wird. Es kann jedoch angenommen werden, dass die Unfallschwere und damit die Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung sowie die Freisetzungsmenge umso grösser ist, je grösser der vom Unfall verursachte Sachschaden ist.

9) Die Werte können relativ zuverlässig abgeschätzt werden aus Angaben zur Fahrleistung im Schwerverkehr gegliedert nach der Art des Transports (Transitverkehr, Import/Export, Binnenverkehr), indem für jede dieser Transportarten der Fahrleistungsanteil auf den verschiedenen Strassentypen abgeschätzt wird (z.B. 98% auf Autobahnen für Transitverkehr).

- Anteil der Leerfahrten: 50%
- Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung bei einer Fahrt mit Gefahrgut (keine Leerfahrt), in Abhängigkeit der Sachschadenkategorie. Es werden die Annahmen gemäss Tabelle 6 getroffen.

	Sachschaden an den am Unfall beteiligten Fahrzeugen [CHF]			
	< 5'000.-	5'000.- - 20'000.-	20'000.- - 50'000.-	>50'000.-
Wahrscheinlichkeit einer massgeblichen Freisetzung	0%	3%	20%	60%

Tabelle 6: Wahrscheinlichkeit einer massgeblichen Freisetzung in Abhängigkeit des Sachschadens für einen vollen SDR-Transport (d.h. keine Leerfahrt). Die Werte beziehen sich auf Freisetzungen von flüssigem Gefahrgut in Mengen von mindestens 1'000 l.

Daraus ergeben sich die Freisetzungsraten pro Fahrzeug-km (als Ausgangsbasis ist auch die Unfallrate im SDR-Verkehr sowie für Vergleichszwecke die mittlere Unfallrate im gesamten Schwerverkehr in kursiver Schrift angegeben) gemäss Tabelle 7:

Ereignisrate [pro Fzg-km]	Autobahn	Autostrasse	Hauptstrasse	restliche Strassen
Freisetzungen SDR-Verkehr	9.0E-09	8.7E-09	1.5E-08	1.4E-08
<i>Unfälle SDR-Verkehr</i>	<i>1.7E-07</i>	<i>5.6E-08</i>	<i>3.1E-07</i>	<i>7.2E-07</i>
<i>Unfälle gesamter Schwerverkehr</i>	<i>1.0E-06</i>	<i>4.7E-07</i>	<i>2.4E-06</i>	<i>8.2E-06</i>

Tabelle 7: Resultierende Freisetzungsraten im SDR-Verkehr nach Strassentyp und Unfallraten im SDR-Verkehr bzw. im gesamten Schwerverkehr als Vergleichswerte

Anhand der Fahrleistungen sowie dem Anteil voller Fahrten kann im Sinne einer Plausibilitätskontrolle aus den obigen Freisetzungsraten die CH-weite Häufigkeit von Freisetzungen ermittelt werden. Es ergeben sich folgende Werte:

	Autobahn	Autostrasse	Hauptstrasse	restliche Strassen	alle Strassen
Häufigkeit von Freisetzungen in der Schweiz [pro Jahr]	0.39	0.06	0.53	0.17	1.15

Tabelle 8: CH-weit hochgerechnete Freisetzungshäufigkeit gegliedert nach Strassentyp

Um die für die Ermittlung der obigen Freisetzungshäufigkeiten notwendigen Abschätzungen zu plausibilisieren, wird aus der Unfallstatistik die CH-weite Häufigkeit von massgeblichen Freisetzungen (Flüssigkeiten in Mengen von mindestens 1'000 l) abgeschätzt. Tabelle 9 zeigt eine Auf-

listung aller den Autoren des vorliegenden Berichts bekannten Ereignisse, die sich zwischen den Jahren 2000 und 2008 auf Schweizer Strassen zugetragen haben.

Datum	Ort	Stoff	Menge freigesetzt [l]	Strasstyp bzw. innerorts / ausserorts
19.05.00	Pratteln	Viscolam PS 166	2'000	ausserorts
02.06.00	Kreuzlingen	Benzin	mehrere 1'000	ausserorts
11.11.00	Frick	Benzin	4'000	ausserorts
23.06.03	Chiasso	Diesel	1'000	Hauptstrasse
27.10.03	Chiasso	Diesel	1'000	Hauptstrasse
24.05.04	Cadenazzo	Heizöl	1'000	Autobahn
17.12.05	Cadenazzo	Diesel	1'500	Autobahn
07.11.07	Aarau	Abfalllösungsmittel	1'500	innerorts

Tabelle 9: Liste aller bekannten Gefahrgutfreisetzung auf Schweizer Strassen seit dem Jahr 2000 mit einer Freisetzungsmenge von mindestens 1'000 l

Ordnet man die drei Ereignisse aus Tabelle 9, die sich ausserorts zugetragen haben, dem Strasstyp "Hauptstrasse" zu, so hat man innerhalb von 9 Jahren 2 Gefahrgutfreisetzung auf Autobahnen, 5 auf Hauptstrassen und 1 auf restlichen Strassen. Dies entspricht einer jährlichen Häufigkeit von 0.22 (Autobahn), 0.56 (Hauptstrassen), 0.11 (restliche Strassen) bzw. einer Gesamthäufigkeit von 0.89 pro Jahr. Obwohl einzelne grössere Ereignisse in Tabelle 9 möglicherweise fehlen, können die aus Tabelle 7 hochgerechneten Freisetzungsraten als plausibel bezeichnet werden.

Für die beiden in druckverflüssigter Form in dickwandigen Druckbehältern transportierten gasförmigen Leitstoffe Propan und Chlor wird jeweils eine zehnfach tiefere Rate angenommen. Für den flüssigen Leitstoff Epichlorhydrin wird dieselbe Rate wie beim Leitstoff Benzin angenommen. Tabelle 10 fasst die verwendeten Werte, diesmal in der Einheit "pro Fahrzeug und 100 m", nochmals zusammen.

mittlere Freisetzungsrate [pro Fzg und 100 m]	Autobahn	Autostrasse	restliche Durchgangsstrassen
Leitstoffe Benzin und Epichlorhydrin	9.0E-10	8.7E-10	1.5E-09
Leitstoffe Propan und Chlor	9.0E-11	8.7E-11	1.5E-10

Tabelle 10: Mittlere Freisetzungsrate pro Fahrzeug und 100 m für die vier untersuchten Leitstoffe gliedert nach Strasstyp

Die ortsspezifische Unfall- und damit Freisetzungsraten kann vom Mittelwert abweichen. In engen Kurven, im Bereich von Ein- bzw. Ausfahrten (Autobahnen) bzw. Kreuzungen (restliche Durchgangsstrassen) können u.U. deutlich höhere Werte auftreten. Dies kann berücksichtigt werden,

indem die mittlere Freisetzungsrates durch einen Korrekturfaktor angepasst wird. Dieser kann vom Anwender der Screening-Methodik nach eigenem Ermessen festgelegt werden, wobei lediglich Werte zwischen 10 (stark überdurchschnittliche Freisetzungsrates) und 0.1 (unterdurchschnittliche Freisetzungsrates) zur Verfügung stehen.¹⁰⁾

4.2 Freisetzungshäufigkeit

Aus den oben dargestellten Freisetzungsrates kann die Freisetzungshäufigkeit H_j für einen bestimmten Leitstoff j wie folgt ermittelt werden:

$$H_j = h_j \cdot f_{\text{Unfall}} \cdot 365 \cdot \text{DTV} \cdot \text{ASV} \cdot \text{AGS} \cdot \text{ARS}_j \quad [\text{pro Jahr und 100 m}] \quad (\text{Formel 1})$$

Dabei ist:

h_j : mittlere Freisetzungsrates des Leitstoffs pro Fahrzeug und 100 m gemäss Tabelle 10

f_{Unfall} : ortsspezifischer Korrekturfaktor zur mittleren Freisetzungsrates (vgl. letzter Absatz in Kapitel 4.1)

DTV: ortsspezifischer DTV-Wert [Fahrzeuge pro Tag]

ASV: ortsspezifischer Anteil des Schwerverkehrs am DTV

AGS: ortsspezifischer Anteil des Gefahrgutverkehrs am Schwerverkehr

ARS_j : ortsspezifischer Anteil des Leitstoffs j am Gefahrgutverkehr

Nachfolgend sind typische Werte der Grössen ASV, AGS und ARS aufgeführt:

- ASV: Gemäss der Auswertung des Bundesamtes für Statistik (BFS) der Fahrzeugbewegungen und Fahrleistungen im Personenverkehr und im Schwerverkehr für das Jahr 2007 ergibt sich ein Anteil des Schwerverkehrs am Gesamtverkehr (ASV) von 3.5%.¹¹⁾ Das Handbuch III StFV geht von einem schweizerischen Mittelwert von 6% aus.
- AGS: Gemäss Handbuch III StFV liegt der Anteil Gefahrgutverkehr am gesamten Schwerverkehr im schweizerischen Mittelwert bei 8%. Gemäss dem Statistischen Bundesamt Wiesbaden [SBW, 2008] liegt der AGS-Wert in Deutschland aufgrund einer Auswertung der Jahre 2001 bis 2006 bei rund 5.5%.

10) Abweichungen von 1 sind zu begründen, z.B. anhand von ortsspezifischen Unfalldaten oder aufgrund des Vorhandenseins von speziellen örtlichen Einflüssen wie Kreuzungen oder Autobahneinfahrten

11) Gemäss Angaben des BFS betrug die Fahrleistung des Gesamtverkehrs im Jahr 2007 62'972 Mio. Fz-km und die Fahrleistung des Schwerverkehrs 2'203 Mio. Fz-km.

- ARS: Die Anteile der verschiedenen Gefahrgutklassen am Gefahrgutverkehr sind im Handbuch III StFV als schweizerische Mittelwerte aufgeführt (ASK-Faktoren). Der Anteil der Gefahrgutklasse 2 der entzündbaren, flüssigen Stoffe (Leitstoff Benzin) wird mit 70 % angegeben. Gemäss dem Statistischen Bundesamt Wiesbaden [SBW, 2008] beträgt der Anteil der entzündbaren, flüssigen Stoffe am Gefahrguttransport in Deutschland rund 68 %. In der Pilotrisikoanalyse wird von einem Wert von 60 % ausgegangen. Aufgrund von statistischen Angaben des Bfs [BFS 2008] zu den Leistungen der Sachtransportfahrzeuge wurde auf Basis von Tonnenkilometern ein ASK-Wert für Mineralölprodukte von rund 52 % berechnet.¹²⁾

Die Werte für f_{Unfall} , DTV, ASV, AGS und ARS_j sind grundsätzlich ortsspezifisch festzulegen. Mit Ausnahme des DTV sowie von Unfalldaten für die Ermittlung von f_{Unfall} stehen allerdings meist keine ortsspezifischen Daten für deren Abschätzung zur Verfügung. Für die praktische Anwendung ist es deshalb zweckmässig, Empfehlungen zu Standardwerten abzugeben. Solche werden in der Bedienungsanleitung zur EDV-Applikation [Bedienungsanleitung 2010] festgehalten.

12) In der Screening-Methodik wird von einem ASK-Wert für den Leitstoff Benzin von 60 % ausgegangen, wobei angenommen wird, dass 2/3 davon Diesel bzw. Heizöl und 1/3 Benzin sind. Es wird dabei weiter angenommen, dass Diesel bzw. Heizöl eine um den Faktor 10 kleinere Zündwahrscheinlichkeit haben als Benzin.

5 Quantifizierung der Personenrisiken

5.1 Überblick über den methodischen Ansatz

Wie in quantitativen Risikoanalysen üblich, werden für jeden der drei betrachteten Leitstoffe Benzin, Propan und Chlor verschiedene Szenarien betrachtet, welche in Form von Ereignisbäumen dargestellt werden. Damit werden zufällige Einflüsse auf das Schadenausmass berücksichtigt. Diese Einflüsse können den drei folgenden Bereichen zugeordnet werden:

- Art der Freisetzung (Freisetzungsszenarien)
- Wirkung und Wirkungsausbreitung (Wirkungsszenarien)
- Personenexposition innerhalb des Wirkbereichs (Expositionsszenarien).

Freisetzungs- und Wirkungsszenarien hängen stark von den Eigenschaften des jeweiligen Leitstoffs ab und werden deshalb beim entsprechenden Leitstoff dokumentiert (vgl. Kapitel 5.4 bis 5.6). Die Expositionsszenarien sind dagegen unabhängig vom betrachteten Leitstoff und werden im folgenden Kapitel beschrieben.

5.2 Expositionsszenarien

Übersicht

Gefahrgutwirkungen nehmen im Allgemeinen mit zunehmendem Abstand vom Ort der Freisetzung ab. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird die Personenexposition für drei unterschiedliche, sich nicht überlappende Abstandsbereiche je beidseits¹³⁾ des untersuchten Streckenelements ermittelt. Diese sind:

- 0 – 50 m (Letalitäten für alle drei Leitstoffe sind > 0)
- 50 – 200 m (Letalitäten für Leitstoff Benzin vernachlässigbar, für die beiden anderen Leitstoffe, zumindest für einzelne Szenarien, > 0)
- 200 – 500 m (Letalitäten für Leitstoffe Benzin und Propan vernachlässigbar, für Chlor > 0)

13) Da keine richtungsabhängigen Risiken ausgewiesen werden (z.B. keine Berücksichtigung von unterschiedlichen Windrichtungen), wird über die beiden Beiträge links bzw. rechts der Strasse gemittelt.

Bei Abständen über 500 m tragen auch die Szenarien mit den grössten Wirkungsdistanzen nicht mehr signifikant zum Schadenausmass bei, so dass die Personenexposition hier nicht mehr betrachtet werden muss.

Bei der Personenexposition werden drei verschiedene Personengruppen unterschieden:

- Wohnbevölkerung und Personen an ihren Arbeitsplätzen. Hier kann auf elektronisch aufbereitete Daten des Bundesamtes für Statistik, die im Hektarraster vorliegen, zurückgegriffen werden. Die verwendeten Werte stellen Mittelwerte dar.
- Regelmässig auftretende Personenansammlungen, welche in den obigen Daten zur Wohnbevölkerung sowie zu Arbeitsplätzen nicht einfließen (z.B. Shopping-Center, Schulen).¹⁴⁾ Diese Daten müssen pro Abstandsbereich "von Hand" erfasst werden. Aus Aufwandgründen ist es zweckmässig, sich dabei auf den Abstandsbereich bis 200 m beidseits der Strasse zu beschränken.
- Personen in Fahrzeugen, welche die untersuchte Strasse befahren. Besonders wichtig ist dabei die Staubildung, da Gefahrgutunfälle häufig dazu führen und die Personendichte auf einem gestauten Fahrstreifen deutlich höhere Werte annehmen kann als beim fließendem Verkehr. Zudem kann die Expositionsdauer in einem Stau wesentlich grösser sein als bei rasch durch eine Zone mit Gefahrgutwirkungen (z.B. toxische Gase) durchfahrenden Fahrzeugen. Da die Zahl der Personen, die sich in einem Stau befinden, vom Verkehrsaufkommen zum Zeitpunkt des Unfalls sowie von der Art der involvierten Fahrzeuge abhängt, werden folgende vier Expositionsszenarien unterschieden:
 - Verkehrsaufkommen durchschnittlich und ein voller Reisebus im Stau¹⁵⁾
 - Verkehrsaufkommen durchschnittlich und kein Reisebus im Stau
 - Verkehrsaufkommen überdurchschnittlich und kein Reisebus im Stau
 - Verkehrsaufkommen unterdurchschnittlich und kein Reisebus im Stau

Bei den ersten beiden der obigen Personengruppen werden zudem jeweils die beiden folgenden Expositionsarten unterschieden, da dies einen Einfluss auf die Letalität der Gefahrgutwirkungen hat:

- Personen im Freien,
- Personen in Gebäuden.

Schliesslich wird die Zeit, während der Gefahrgüter transportiert werden dürfen, in zwei unterschiedliche Zeitperioden aufgeteilt, um Unterschiede in der Personenexposition zu berücksichtigen:

- Während der Arbeitszeit (8 – 17 Uhr an Werktagen, d.h. 45 Std. pro Woche)

14) Zeitlich beschränkt auftretende Personenansammlungen (z.B. in Sportstadien) können hingegen nicht berücksichtigt werden, da lediglich zwischen zwei fest vorgegebenen Zeitperioden differenziert wird (tagsüber, d.h. während den typischen Arbeitszeiten und restliche Zeiten, an denen Fahrten von Schwerverkehrsfahrzeugen zulässig sind).

15) Es wird nur der Fall betrachtet, dass sich ein voller Reisebus in einem Abstandsbereich zwischen 0 und 50 m vom Unfallort befindet.

- Restliche Zeiten ausserhalb des Nachtfahrverbots (5 – 8 Uhr und 17 – 22 Uhr werktags sowie 5 – 22 Uhr am Samstag, d.h. 57 Std. pro Woche), nachfolgend kurz als "Tagesrandzeit bzw. Samstag" bzw. "restliche Transportzeiten" bezeichnet.

Bestimmung der Personenexposition: Wohnbevölkerung und Personen am Arbeitsplatz

Die Basiswerte (Dichte der Wohnbevölkerung sowie Dichte der Arbeitsplätze) sind ortsspezifische Einflussgrössen, die vom Anwender der Screening-Methodik für jeden der drei Abstandsbereiche (0 – 50 m, 50 – 200 m und 200 – 500 m) einzeln als Wert pro km² einzugeben sind. Die Differenzierung nach den beiden Zeitperioden sowie nach der Exposition im Freien bzw. in Gebäuden erfolgt mittels Präsenzfaktoren. Diese charakterisieren, welcher Anteil der Wohnbevölkerung bzw. der Personen am Arbeitsplatz sich im jeweiligen Zeitabschnitt im Mittel im Freien bzw. in einem Gebäude aufhalten. Die Präsenzfaktoren basieren auf den Vorgaben im aktuellen Rahmenbericht "Erdgasanlagen" (Entwurf), wobei leichte Anpassungen vorgenommen werden mussten, da dort andere Zeitperioden (inkl. Nachtstunden, d.h. 24 Std. pro Tag) betrachtet werden.

Personensegment	Zeitperiode	in Gebäuden	im Freien
Wohnbevölkerung	während Arbeitszeit (45 Std.)	22%	3%
	Tagesrandzeit bzw. Samstag (57 Std.)	54%	6%
Personen am Arbeitsplatz	während Arbeitszeit (45 Std.)	81%	9%
	Tagesrandzeit bzw. Samstag (57 Std.)	4.5%	0.5%

Tabelle 11: Präsenzfaktoren Wohn- und Arbeitsplatzbevölkerung (Quelle: aktueller Rahmenbericht Erdgasanlagen (Entwurf), leicht angepasst)

Die absolute Anzahl Personen in Gebäuden bzw. im Freien ergibt sich, indem die Personendichte im jeweiligen Abstandsbereich mit dessen (radialsymmetrischer) Fläche multipliziert wird. Durch Addition der Wohnbevölkerung sowie der Personen am Arbeitsplatz ergeben sich die Gesamtwerte für die beiden Expositionen bzw. Zeitperioden.

Bestimmung der Personenexposition: Fahrzeuginsassen

Die Ermittlung der Anzahl Verkehrsteilnehmer, die innerhalb der drei betrachteten Abstandsbereiche (0 – 50 m, 50 – 200 m und 200 – 500 m) Gefahrgutwirkungen ausgesetzt sind, basiert auf einer Reihe von Annahmen:

- Anzahl gestaute Spuren:
 - Strassen mit 2 Spuren im Gegenverkehr: Komplette Sperrung durch Gefahrgutunfall, d.h. es bildet sich in beiden Fahrtrichtungen ein Stau.
 - Richtungsgetrennte Strassen ab 2 Spuren pro Fahrtrichtung: Komplette Sperrung aller Spuren in Fahrtrichtung des Unfallfahrzeugs, d.h. keine Staubildung in der Gegenfahrtrichtung. Dennoch wird angenommen, dass auch Fahrzeuge in Gegenfahrtrichtung von Gefahrgutwirkungen betroffen sein können (vgl. Annahmen in Tabelle 14).
- Verkehrsaufkommen zum Zeitpunkt des Unfalls: Es wird unterschieden zwischen den Szenarien "überdurchschnittliches" / "durchschnittliches" / "unterdurchschnittliches" Verkehrsaufkommen, entsprechend einem Fahrzeugaufkommen pro Zeiteinheit, das um einen Faktor 2 / 1 / 0.5 vom Mittelwert abweicht.
- Die Staufront beginnt immer am Unfallort, d.h. es wird konservativ angenommen, dass sowohl das erste als auch alle nachfolgenden Fahrzeuge keinen Sicherheitsabstand zum Unfallfahrzeug bzw. zum nächst vorderen Fahrzeug einhalten können. Als mittlerer Abstand zwischen der Front benachbarter Fahrzeuge im Stau wird 6.5 m angenommen (Quelle: PRA). Bei einem Reisebus ist dieser Wert um 10 m grösser. Zudem wird angenommen, dass die Staulänge auf allen gestauten Spuren gleich gross ist.
- Für jedes Szenario wird eine charakteristische Zeitdauer Δt_{Stau} angenommen, während der die Gefahrgutwirkungen zum Tragen kommen und während der sich der Stau bildet (Fahrzeuge, die später in den Staubereich fahren, sind nicht betroffen, da die Wirkungen bereits abgeklungen sind). Folgende Werte für diese Zeitdauer werden angenommen:
 - Spontane Zündung Leitstoffe Benzin und Propan: 20 s
 - Verzögerte Zündung Leitstoffe Benzin und Propan: 60 s
 - Toxische Wirkungen Leitstoff Chlor: 500 s
- Mittlere Anzahl Personen pro Fahrzeug: 1.5 für "normale" Fahrzeuge, 50 für einen vollen Reisebus (Quelle: PRA).

Die Zahl der Fahrzeuginsassen, die sich pro Abstandsbereich im Stau befinden, lässt sich schrittweise wie folgt ermitteln:

1. Bestimmung der Anzahl Fahrzeuge n_{Fzg} , die sich in Abhängigkeit des momentanen Verkehrsaufkommens innerhalb der charakteristischen Zeitdauer für die Staubildung in einem Stau sammeln (alle gestauten Spuren für eine Fahrtrichtung):

$$n_{\text{Fzg}} = \frac{DTV \cdot \alpha_{DTV} \cdot f_{DTV} \cdot \Delta t_{\text{Stau}}}{2 \cdot \Delta t_{\text{Periode}}}$$

Dabei ist:¹⁶⁾

DTV: durchschnittlicher täglicher Verkehr

α_{DTV} : Anteil der Fahrzeuge in der betrachteten Zeitperiode bezogen auf die Gesamtzahl aller Fahrzeuge (ortsspezifischer Eingabewert)

Beispiel: Anhand der Tagesganglinie für den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) bzw. den durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWW) aus dem Jahr 2007 ergibt sich für die Zählstelle MuttENZ auf der A2 (Kt. BL), dass ca. 53 % aller Fahrzeuge tagsüber und rund 38 % zu den restlichen Transportzeiten verkehren.¹⁷⁾ Die restlichen 9% verkehren zu Zeit des Nacht- bzw. Sonntagsfahrverbots.

$\Delta t_{\text{Periode}}$: Dauer der betrachteten Zeitperiode innerhalb eines Tages (tagsüber 9 Std. bzw. 32'400 s, restliche Transportzeit 8 Std. bzw. 28'800 s)

f_{DTV} : Faktor, um den das Verkehrsaufkommen (Anzahl Fahrzeuge, die pro Zeiteinheit den Strassenquerschnitt passieren) zum Zeitpunkt des Gefahrgutunfalls vom Mittelwert abweicht. Für das Szenario "durchschnittliches Verkehrsaufkommen" wird dafür definitionsgemäss der Wert 1 eingesetzt. Für die Szenarien "überdurchschnittliches" bzw. "unterdurchschnittliches" Verkehrsaufkommen wird ein momentanes Verkehrsaufkommen angenommen, das pauschal um einen Faktor 2 über bzw. unter dem Durchschnittswert liegt.

Δt_{Stau} : charakteristische Zeitdauer für Staubildung (vgl. oben)

2. Bestimmen der Staulänge l_{Stau} , den die n_{Fzg} Fahrzeuge auf einer Spur bewirken:

$$l_{\text{Stau}} = \frac{n_{Fzg} \cdot s_{Fzg-Fzg}}{n_{\text{Spur}}}$$

Dabei ist:

$s_{Fzg-Fzg}$: durchschnittlicher Abstand zwischen zwei benachbarten Fahrzeugen im Stau (vgl. Annahmen oben). Für den Fall, dass ein Reisebus im Stau steht, wird ein um 10 m grösserer Fahrzeugabstand eingesetzt.

16) Die Division durch den Faktor 2 ergibt sich aus der Annahme, dass in beiden Fahrtrichtungen im Mittel gleich viele Fahrzeuge verkehren.

17) Für die Daten zur Zählstelle MuttENZ vgl. <http://www.portal-stat.admin.ch/avz/docs/su-b-11.03.01-AVZ08-ZS-081.pdf>. Weitere Daten zum Verkehrsaufkommen finden sich für frühere Jahre auf <http://www.portal-stat.admin.ch/avz/files/de/00.xml> sowie für das laufende Jahr auf <http://www.astra.admin.ch/verkehrsdaten/00299/00301/index.html?lang=de> (automatische Strassenverkehrszählung) bzw. auf http://www.portal-stat.admin.ch/ssvz/files/index_de.html (Schweizerische Strassenverkehrszählung 2005).

n_{Spur} : Anzahl Spuren pro Fahrtrichtung (ortsspezifische Einflussgrösse)

3. Bestimmen der Anzahl Personen $n_{\text{Pers,Stau}}$, die sich bezogen auf eine Fahrtrichtung insgesamt im Stau befinden:

$$n_{\text{Pers,Stau}} = n_{\text{Fzg}} \cdot \rho_{\text{Pers}}$$

Dabei ist:

ρ_{Pers} : Anzahl Personen pro Fahrzeug (vgl. Annahme oben).

4. Bestimmen der resultierenden Anzahl Personen $n_{\text{Pers,Stau},i}$, die sich pro betrachtetem Abstandsreich i im Stau befinden (über alle Spuren einer Fahrtrichtung):

$$n_{\text{Pers,Stau},0-50} = n_{\text{Pers,Stau}} \quad \text{falls } l_{\text{Stau}} \leq 50 \text{ m}$$

$$n_{\text{Pers,Stau},0-50} = n_{\text{Pers,Stau}} \cdot \frac{50 \text{ m}}{l_{\text{Stau}}} \quad \text{falls } l_{\text{Stau}} > 50 \text{ m}$$

$$n_{\text{Pers,Stau},50-200} = n_{\text{Pers,Stau}} - n_{\text{Pers,Stau},0-50} \quad \text{falls } l_{\text{Stau}} \leq 200 \text{ m}$$

$$n_{\text{Pers,Stau},50-200} = n_{\text{Pers,Stau}} \cdot \frac{200 \text{ m}}{l_{\text{Stau}}} - n_{\text{Pers,Stau},0-50} \quad \text{falls } l_{\text{Stau}} > 200 \text{ m}$$

$$n_{\text{Pers,Stau},200-500} = n_{\text{Pers,Stau}} - n_{\text{Pers,Stau},0-50} - n_{\text{Pers,Stau},50-200} \quad \text{falls } l_{\text{Stau}} \leq 500 \text{ m}$$

$$n_{\text{Pers,Stau},200-500} = n_{\text{Pers,Stau}} \cdot \frac{500 \text{ m}}{l_{\text{Stau}}} - n_{\text{Pers,Stau},0-50} - n_{\text{Pers,Stau},50-200} \quad \text{falls } l_{\text{Stau}} > 500 \text{ m}$$

In Tabelle 12 sind die Zwischenergebnisse bzw. Ergebnisse der Exposition von Verkehrsteilnehmern für die 8 untersuchten Szenarien (2 Zeitperioden und 4 Situationen in Bezug auf die Höhe des Verkehrsaufkommens zum Unfallzeitpunkt bzw. das Vorhandensein eines vollen Reisebusses) anhand des folgenden Beispiels dargestellt:

- Autobahn mit 2 Fahrstreifen pro Richtung
- DTV 58'000 Fahrzeuge pro Tag, wobei ein DTV-Anteil während Arbeitszeiten (45 Std./Woche) von 53 %, während der restlichen Transportzeit (57 Std./Woche) von 38 % zugrunde gelegt wird. Die Zahlen entsprechen tagsüber pro Richtung einem Fahrzeug alle 2 Sekunden während der Arbeitszeit, geringfügig weniger für die restlichen Transportzeiten.

Exposition Verkehrsteilnehmer: Reisebus involviert // Verkehrsstärke hoch / mittel / tief	Tageszeit während Arbeitszeit / restliche Zeit mit Transporten	Initialereignis: Freisetzung	Anzahl Personen im Stau pro Fahrtrichtung Dauer 500 s (Chlor)			Anzahl Personen im Stau pro Fahrtrichtung Dauer 60 s (verzögerte Zündung)			Anzahl Personen im Stau pro Fahrtrichtung Dauer 20 s (sofortige Zündung)			Anzahl Personen im Stau pro Fahrtrichtung Dauer 20 s (sofortige Zündung)		
			$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$	$n_{Pers,Stau,x-y}$
während Arbeitszeit / restliche Zeit mit Transporten	Initialereignis: Freisetzung	Anzahl Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	Dauer 20 s (sofortige Zündung)			Dauer 60 s (verzögerte Zündung)			Dauer 500 s (Chlor)			Dauer 20 s (sofortige Zündung)		
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Pers. im Stau (eine Fahrtrichtung)
			l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])	l_{Stau} : Länge Stau (pro Fahrtrichtung und Spur, [m])
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)
			$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)	$n_{Fzg,Stau}$: Anz. Fzg im Stau (eine Fahrtrichtung)

Tabelle 12: Exposition von Verkehrsteilnehmern bei einem Stau über alle Spuren einer Fahrtrichtung für die 8 betrachteten Szenarien in Bezug auf Zeitperiode und Verkehrsstärke / Vorhandensein eines vollen Reisebusses im Stau

Je nach seitlicher Zugänglichkeit der Strecke wird für Szenarien, bei denen für eine Selbstrettung unter Umständen genügend Zeit vorhanden ist (verzögerte Zündung Leitstoff Propan, Freisetzung Chlor), die Zahl der in einem Stau stehenden Verkehrsteilnehmer um denjenigen Anteil reduziert, dem die Flucht seitlich weg von der Strasse gelingen dürfte. Dies wird über einen Korrekturfaktor $f_{Selbstrettung}$ berücksichtigt, der bei beidseitig schlechter Zugänglichkeit definitionsgemäss den Wert 1 annimmt:

$$n_{Pers,Stau,x-y,eff} = n_{Pers,Stau,x-y} \cdot f_{Selbstrettung}$$

Die angenommenen Werte für $f_{Selbstrettung}$ sind in der folgenden Tabelle 13 dargestellt:

seitliche Zugänglichkeit Strasse	Korrekturfaktor $f_{\text{Selbstrettung}}$	
	alle Szenarien mit einer verzögerten Zündung von Propan (Gaswolkenbrand)	alle Chlor-Szenarien
mindestens einseitig gut	0.9	0.8
beidseitig eingeschränkt (z.B. Lärmschutzwände mit Fluchttüren)	0.97	0.95
beidseitig schlecht (z.B. Einschnitt, Lärmschutzwände ohne Fluchttüren)	1	1

Tabelle 13: Korrekturfaktoren $f_{\text{Selbstrettung}}$ zur Berücksichtigung der Flucht von Verkehrsteilnehmern quer zur Strasse in Abhängigkeit der seitlichen Zugänglichkeit (für Szenarien mit verzögerten Wirkungen)

Der gesamte Zahl der exponierten Fahrzeuginsassen $n_{\text{Pers.,Fzg},i}$ ergibt sich, indem die nach den obigen Formeln ermittelten Werte für $n_{\text{Pers.,Stau},i}$ mit einem Skalierungsfaktor gemäss der nachfolgenden Tabelle multipliziert werden. Damit werden die Anzahl der gestauten Fahrrichtungen sowie Fahrzeuge in Gegenfahrtrichtung, die im Fall einer Autobahn gemäss den obigen Annahmen nicht gestaut werden, berücksichtigt. Zudem wird berücksichtigt, ob nicht-radialsymmetrische, d.h. richtungsabhängige Wirkungen zufällig in die Richtung des Staus bzw. davon weg zeigen (vgl. Ereignisbäume pro Leitstoff).

Strassentyp und Art der Wirkungen	Skalierungsfaktor	Bemerkung
Autobahn mit Richtungsverkehr radialsymmetrische Wirkungen	1.4	Beitrag 0.4 von der nicht-gestauten Gegenfahrtrichtung
Autobahn mit Richtungsverkehr nicht radialsymmetrische Wirkungen Wirkung in Richtung Stau	1	Referenzfall eines Staus in einer Fahrtrichtung mit Wirkungsausbreitung in Richtung Stau
Autobahn mit Richtungsverkehr nicht radialsymmetrische Wirkungen Wirkung nicht in Richtung Stau	0.1	Annahme: dank der günstigen Richtung der Wirkungsausbreitung sind zehnmal weniger Fahrzeuginsassen exponiert als im Referenzfall
Hauptstrasse im Gegenverkehr radialsymmetrische Wirkungen	2	Annahme: je gleich viele Fahrzeuginsassen im Stau, der beide Fahrtrichtungen umfasst, exponiert
Hauptstrasse im Gegenverkehr nicht radialsymmetrische Wirkungen Wirkung in Richtung eines der beiden Staus	1	(Referenzfall, vgl. oben)
Hauptstrasse im Gegenverkehr nicht radialsymmetrische Wirkungen Wirkung nicht in Richtung Stau	0.1	Annahme: dank der günstigen Richtung der Wirkungsausbreitung sind zehnmal weniger Fahrzeuginsassen exponiert als im Referenzfall

Tabelle 14: Skalierungsfaktoren in Bezug auf die Zahl der in einem Stau exponierten Personen in Abhängigkeit von Strassenart und Ausrichtung der Gefahrgutwirkungen

5.3 Generelles Vorgehen zur Abschätzung des Schadenausmasses

Die Ermittlung des Schadenausmasses pro Szenario basiert neben einer Analyse der Personenexposition gemäss dem vorherigen Kapitel auf einer Reihe von Modellparametern, um die mittlere effektive Letalität $\lambda_{\text{eff},i}$ für eine Abstandsklasse i zu bestimmen:

- Grundletalitäten $\lambda_{i,\text{Freifeld}}$ gemäss Wirkungsmodell für Exposition im Freien differenziert nach Abstandsklasse i (0 – 50 / 50 – 200 / 200 – 500 m)
- Korrekturfaktor $f_{\text{Strassenquerschnitt}}$ bzw. $f_{\text{Strassenquerschnitt},\text{Fzg}}$ zur Berücksichtigung von Hindernissen (Lärmschutzwand, Einschnitt) beidseits der Strasse (im Folgenden unter dem Stichwort "Strassenquerschnitt" referenziert). Solche Hindernisse bewirken erhöhte Letalitäten für Verkehrsteilnehmer ($f_{\text{Strassenquerschnitt},\text{Fzg}} \geq 1$) und verminderte Letalitäten für Personen ausserhalb des Strassenbereichs ($f_{\text{Strassenquerschnitt}} \leq 1$).¹⁸⁾ Bei Strassen, die mindestens einseitig offen sind (ungehinderte Wirkungsausbreitung) gilt $f_{\text{Strassenquerschnitt},\text{Fzg}} = f_{\text{Strassenquerschnitt}} = 1$.
- Anteil des entsprechend der Grundletalität $\lambda_{i,\text{Freifeld}}$ betroffenen Segments an der Gesamtfläche im jeweiligen Abstandsbereich (geometrischer Korrekturfaktor bei nicht radialsymmetrischen Wirkungen) $f_{\text{Geo},i}$
- Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Selbst- bzw. Fremdrettung (0: Rettung nie möglich, 1: Rettung immer möglich) $f_{\text{Rett},i}$
- Zusätzlicher Schutzfaktor für Personen in Gebäuden bzw. Fahrzeugen (1: totaler Schutz, 0: Freifeldletalitäten gelten analog in Gebäuden bzw. in Fahrzeugen) $f_{\text{Gebäude},i}$ bzw. $f_{\text{Fzg},i}$

Aus der Anzahl Personen n_i im Freien / in Gebäuden / in Fahrzeugen kann pro Abstandsbereich die erwartete Anzahl Todesopfer wie folgt ermittelt werden:

$$\lambda_{\text{eff},\text{Freifeld},i} = \lambda_{i,\text{Freifeld}} \cdot f_{\text{Strassenquerschnitt}} \cdot f_{\text{Geo},i} \cdot (1 - f_{\text{Rett},i})$$

$$\lambda_{\text{eff},\text{Gebäude},i} = \lambda_{i,\text{Freifeld}} \cdot f_{\text{Strassenquerschnitt}} \cdot f_{\text{Geo},i} \cdot (1 - f_{\text{Rett},i}) \cdot (1 - f_{\text{Gebäude},i})$$

$$\lambda_{\text{eff},\text{Fzg},i} = \lambda_{i,\text{Freifeld}} \cdot f_{\text{Strassenquerschnitt},\text{Fzg}} \cdot f_{\text{Geo},i} \cdot (1 - f_{\text{Rett},i}) \cdot (1 - f_{\text{Fzg},i})$$

Durch Multiplikation der Anzahl exponierter Personen gemäss Kapitel 5.2 sowie der effektiven Letalität gemäss obiger Formeln sowie nach Addition über die drei Abstandsbereiche i sowie die drei Expositionen (Freifeld, Gebäude und Fahrzeuginneres) ergibt sich das gesamte Schadenausmass pro Szenario. Rechnerisch ermittelte Schadenausmasswerte (Anzahl Todesopfer) werden jeweils auf ganze Zahlen gerundet.

18) Lediglich einseitig vorhandene Hindernisse werden der Einfachheit halber nicht berücksichtigt, d.h. eine Strasse, die auf einer Seite offen ist (ungehinderte Wirkungsausbreitung), auf der anderen aber in einem Einschnitt liegt, wird analog zu einer auf beiden Seiten offenen Strasse behandelt. Ebenfalls nicht berücksichtigt werden Dammlagen.

In den drei folgenden Kapiteln werden die vom Leitstoff abhängigen Aspekte der Schadenausmassermittlung dokumentiert. Dabei handelt es sich einerseits um die Parameter zur Ermittlung der effektiven Letalitäten und andererseits um die Eintretenswahrscheinlichkeiten für die betrachteten Szenarien. Die Parameter zur Ermittlung der effektiven Letalitäten basieren dabei auf folgenden Quellen:

- Leitstoff Chlor: Ausbreitungs- und Wirkungsberechnungen mit Programm "Effects", Version 7.4, verschiedene Annahmen (z.B. Gebäudeschutz in Analogie zur Pilotrisikoanalyse (PRA) Strasse)
- Leitstoff Propan: "Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen" und PRA Strasse
- Leitstoff Benzin: "Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe" und PRA Strasse.

5.4 Schadenausmass Leitstoff Benzin

5.4.1 Wirkungsbaum und zugehörige Letalitäten

Für die Dokumentation der Parameter zur Ermittlung der effektiven Letalitäten kann man sich auf die Wirkungsszenarien beschränken; Szenarien, die sich lediglich in Bezug auf die Personexposition unterscheiden, sind dieselben Letalitäten zuzuordnen. In Abbildung 4 sind die konstanten Parameter für die Ermittlung der effektiven Letalitäten sowie die resultierenden Ergebnisse für die vier Wirkungsszenarien als Wirkungsbaum dargestellt. Die vom Strassentyp abhängigen Korrekturfaktoren $f_{\text{Strassenquerschnitt, Fzg}}$ (für Verkehrsteilnehmer) bzw. $f_{\text{Strassenquerschnitt}}$ (für Personen ausserhalb des Strassenraums) sind in Abbildung 5 aufgelistet.

resultierende effektive Letalität in Fahrzeugen $\lambda_{\text{eff,Fz},i}$	200-500 m	0	0	0	0	0	0	0	0
	50-200 m	0	0	0	0	0	0	0	0
	0-50 m	0	0.320	0	0.090	0	0.200	0	0.045
resultierende effektive Letalität in Gebäuden $\lambda_{\text{eff,Gebäude},i}$	200-500 m	0	0	0	0	0	0	0	0
	50-200 m	0	0.120	0	0.015	0	0.280	0	0.075
	0-50 m	0	0.400	0	0.150	0	0.400	0	0.150
resultierende effektive Letalität im Freien $\lambda_{\text{eff,Freifeld},i}$	200-500 m	0	0	0	0	0	0	0	0
	50-200 m	0	0	0	0	0	0	0	0
	0-50 m	0	0.400	0	0.150	0	0.400	0	0.150
Schutzfaktor Fahrzeug $f_{\text{Fz},i}$	200-500 m								
	50-200 m								
	0-50 m	0.20		0.40		0.50		0.70	
Schutzfaktor Gebäude $f_{\text{Gebäude},i}$	200-500 m								
	50-200 m								
	0-50 m	0.70		0.90		0.30		0.50	
Wahrscheinlichkeit erfolgreiche Selbst- bzw. Fremddrettung $f_{\text{Rett},i}$	200-500 m								
	50-200 m								
	0-50 m	0.20		0.40		0.20		0.40	
Anteil des betroffenen Segments an der Gesamtfläche im jeweiligen Abstandsbereich $f_{\text{Geo},i}$	200-500 m								
	50-200 m								
	0-50 m	1		1		1		1	
mittlere Grundletalität im betroffenen Segment (im Freien, ohne Selbstrettung) $\lambda_{i,\text{Freifeld}}$	200-500 m	0	0	0	0	0	0	0	0
	50-200 m	0	0	0	0	0	0	0	0
	0-50 m	0.50	0	0.25	0	0.50	0	0.25	0
Freisetzungsort: spontan / kontinuierlich									
Freisetzungsort: auf Fahrbahn / neben Fahrbahn									
Initialereignis: Freisetzung Benzin [pro Fz und 100m]									

Abbildung 4: Parameter zur Ermittlung der effektiven Letalität für die vier zum Leitstoff Benzin gehörenden Wirkungsszenarien. Die Letalitäten für Abstände > 50 m sind alle 0.

		Korrekturfaktor Verkehrsteilnehmer $f_{\text{Strassenquerschnitt, Fzg}}$			Korrekturfaktor Personen ausserhalb Strasse $f_{\text{Strassenquerschnitt}}$		
Freisetzungsort: auf Fahrbahn / neben Fahrbahn	Freisetzungsort: spontan / kontinuierlich	mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitiger Einschnitt	mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitiger Einschnitt
		1	1	1	1	1	0.3
		1	1	1	1	0.3	0.1
		1	0.3	0.3	1	1	1
		1	0.3	0.3	1	1	1

Abbildung 5: Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Einflusses des Strassenquerschnitts für die vier Wirkszenarien beim Leitstoff Benzin

5.4.2 Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien im Ereignisbaum

In Abbildung 6 ist der Ereignisbaum (Kombination von Expositions- und Wirkungsszenarien) für den Leitstoff Benzin dargestellt (obere Hälfte). Farbig dargestellt sind die bedingten Wahrscheinlichkeiten, die nachfolgend kurz beschrieben sind.

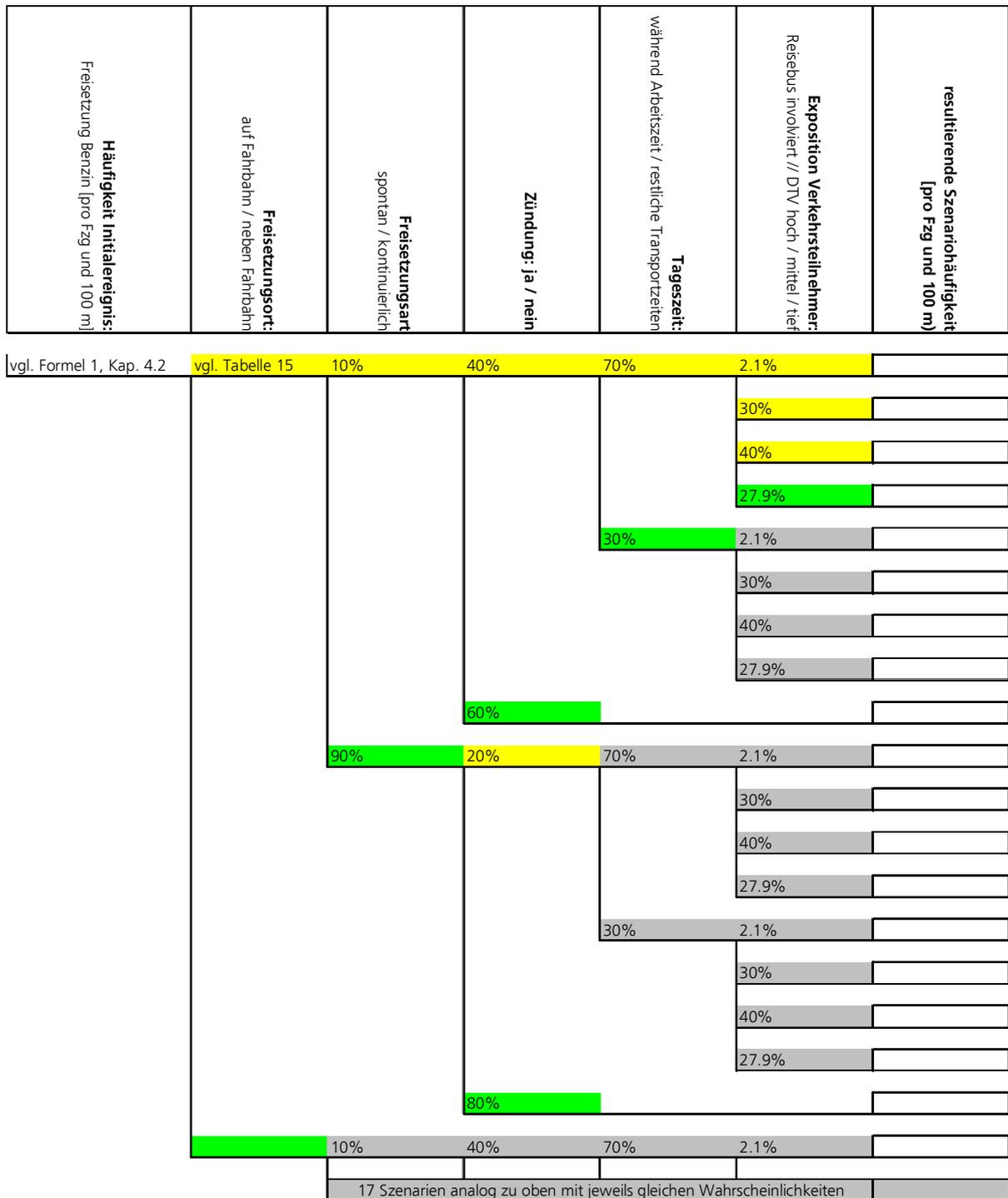


Abbildung 6: Ereignisbaum für den Leitstoff Benzin mit Freisetzungshäufigkeit und bedingten Wahrscheinlichkeiten der betrachteten Expositions- bzw. Wirkungsszenarien (die lediglich angedeutete untere Hälfte des Baumes ist strukturell identisch und basiert auf denselben Wahrscheinlichkeiten). Farbcodes: gelb: Basiswerte, grün: Komplement zu 1, grau: Wiederholung identischer Werte

Freisetzungsort

Betrachtet werden Freisetzungen, die vollständig auf der Fahrbahn oder vollständig daneben stattfinden – Mischformen (z.B. je 50% der Menge auf/neben der Strasse) werden nicht betrachtet. Es werden somit die beiden Freisetzungsorte "auf der Fahrbahn" und "neben der Fahrbahn" unterschieden. Der Freisetzungsort ist abhängig vom vorhandenen Fahrzeugrückhaltesystem, vgl. Tabelle 15.

Fahrzeugrückhaltesystem	Wahrscheinlichkeit für eine Freisetzung	
	auf der Fahrbahn	neben der Fahrbahn
kein Fahrzeugrückhaltesystem	0.80	0.20
H1 ("normale Leitplanken")	0.92	0.08
H2 ("starke Leitplanken")	0.96	0.04
Böschung	0.97	0.03
New Jersey-Profil / Leitmauer	0.99	0.01
(steiler und hoher) Einschnitt	1	0

Tabelle 15: Wahrscheinlichkeit für eine Freisetzung auf bzw. neben der Fahrbahn

Freisetzungsort

Nachfolgend sind die Wahrscheinlichkeiten für die beiden betrachteten Freisetzungsorten beim Leitstoff Benzin, welche der PRA Strasse entnommen wurden, aufgeführt:

- spontane Freisetzung: 0.1
- kontinuierliche Freisetzung: 0.9

Zündwahrscheinlichkeit

Die Zündwahrscheinlichkeit ist abhängig von der Freisetzungsort (spontan / kontinuierlich) und wird analog zur PRA Strasse wie folgt festgelegt:

Art der Freisetzung	Wahrscheinlichkeit für	
	Zündung	keine Zündung
spontane Freisetzung	0.4	0.6
kontinuierliche Freisetzung	0.2	0.8

Tabelle 16: Zündwahrscheinlichkeiten für den Leitstoff Benzin¹⁹⁾

19) Es wird für die Berechnungen angenommen, dass sich der Leitstoff Benzin aus 2/3 Diesel/Heizöl und aus 1/3 Benzin zusammensetzt. Die Zündwahrscheinlichkeit für Diesel/Heizöl wird um einen Faktor 10 kleiner angenommen als bei Benzin.

Tageszeit

Mit dem Ast "Tageszeit" wird berücksichtigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich der Gefahrgutunfall während der Arbeitszeit (Montag bis Freitag von 8 – 17 Uhr) bzw. zu den restlichen Zeiten, an denen schwere Fahrzeuge verkehren dürfen, ereignet. Diese Wahrscheinlichkeit ist in guter Näherung gleich wie der Gefahrgutanteil, der während der entsprechenden Zeitperiode befördert wird. Dabei handelt es sich grundsätzlich um eine ortsspezifische Einflussgrösse, die vom Anwender des Modells festgelegt werden muss. Liegen keine ortsspezifischen Werte vor, so können folgende Standardwerte verwendet werden:

- Transportanteil während der Arbeitszeit: 0.7 ²⁰
- Transportanteil während der restlichen Transportzeiten: 0.3

Expositionen Verkehrsteilnehmer

In Bezug auf die Zahl der exponierten Verkehrsteilnehmer im Nachgang zu einer Gefahrgutfreisetzung werden die vier folgenden Situationen unterschieden:

- Voller Reisebus im Nahbereich (d.h. innerhalb von 50 m vom Unfallort) bei mittlerer Verkehrsstärke
- Verkehrsstärke überdurchschnittlich / durchschnittlich / unterdurchschnittlich (und kein voller Reisebus im Nahbereich) ²¹⁾

Um die Anwendung der Screening-Methodik zu vereinfachen, wird vorgeschlagen, anstelle von ortsabhängigen Wahrscheinlichkeiten folgende Standard-Wahrscheinlichkeiten für die obigen vier Szenarien zu verwenden (bei den beiden Werten, die nicht durch Fussnoten erläutert sind, handelt es sich um Annahmen):

- Voller Reisebus im Nahbereich (bei durchschnittlicher Anzahl Fahrzeuge pro s): 0.021 ²²⁾
- Verkehrsstärke überdurchschnittlich (doppelte Anzahl Fahrzeuge/s): 0.3
- Verkehrsstärke durchschnittlich (durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge/s): 0.4
- Verkehrsstärke unterdurchschnittlich (halbe Anzahl Fahrzeuge/s): 0.279 ²³⁾

20) An einer Zählstelle der A2 wurde im Jahr 2007 ein mittlerer DTV des Schwerverkehrs von rund 8'000 Fahrzeugen registriert. Der Transportanteil während der Arbeitszeit von 8 bis 17 Uhr (Montag bis Freitag) wurde anhand der Tagesganglinien des Schwerverkehrs dieser Zählstelle bestimmt.

21) Für die Definition der Szenarien "durchschnittliche", "überdurchschnittliche" und "unterdurchschnittliche" Verkehrsstärke vgl. Erläuterung auf Seite 20.

22) An einer Zählstelle an der A2 wurden bei einem DTV von 119'000 Fahrzeugen 460 Busse registriert. Unter der Annahme, dass davon 80 mehrheitlich mit Fahrgästen besetzt sind, entspricht dies rund 0.3 % aller Fahrzeuge. Berücksichtigt man, dass sich in einem Stau von 50 m Länge durchschnittlich 7 Fahrzeuge befinden, so beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass sich darunter ein besetzter Bus befindet, $7 \cdot 0.3 \% = 2.1 \%$.

23) Komplement zu 1.

5.5 Schadenausmass Leitstoff Propan

5.5.1 Wirkungsbaum und zugehörige Letalitäten

In Abbildung 8 sind die konstanten Parameter für die Ermittlung der effektiven Letalitäten sowie die resultierenden Ergebnisse für die sechs Wirkungsszenarien beim Leitstoff Propan als Wirkungsbaum dargestellt. Die vom Strassentyp abhängigen Korrekturfaktoren $f_{\text{Strassenquerschnitt,Fzg}}$ (für Verkehrsteilnehmer) bzw. $f_{\text{Strassenquerschnitt}}$ (für Personen ausserhalb des Strassenraums) sind in Abbildung 7 aufgelistet.

Art der Freisetzung: spontan (12 t) / kontinuierlich (30 kg/s)	Zündung: sofort / verzögert	Windstärke: Schwachwind / mit Wind	Korrekturfaktor Verkehrsteilnehmer $f_{\text{Strassenquerschnitt,Fzg}}$			Korrekturfaktor Personen ausserhalb Strasse $f_{\text{Strassenquerschnitt}}$			
			mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitiger Einschnitt	mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitiger Einschnitt	
			1	1.00	1.00	1	1.00	0.90	
				1	1.30	2.00	1	0.90	0.50
				1	1.20	1.60	1	0.95	0.70
			1	1.00	1.00	1	0.80	0.30	
				1	1.10	1.40	1	0.85	0.40
				1	1.05	1.20	1	0.90	0.50

Abbildung 7: Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Einflusses des Strassenquerschnitts für die sechs Wirkszenarien beim Leitstoff Propan

		resultierende Letalität in Fahrzeugen			resultierende Letalität in Gebäuden			resultierende Letalität im Freien			Schutzfaktor Fahrzeug			Schutzfaktor Gebäude			Wahrscheinlichkeit erfolgreiche Selbst- bzw. Fremdrehtung			Anteil des betroffenen Segments an der Gesamtfläche im jeweiligen Abstandsbereich			mittlere Grundletalität im betroffenen Segment (im Freien, ohne Selbstrettung)			Windstärke: Schwachwind / mit Wind	Zündung: sofort / verzögert	Art der Freisetzung: spontan (12 t) / kontinuierlich (30 kg/s)	Initialereignis: Freisetzung Propan [pro Fz und 100m]	
		200-500 m	50-200 m	0-50 m	200-500 m	50-200 m	0-50 m	200-500 m	50-200 m	0-50 m	200-500 m	50-200 m	0-50 m	200-500 m	50-200 m	0-50 m	200-500 m	50-200 m	0-50 m	200-500 m	50-200 m	0-50 m								
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.1	0.4	0.7	0.4	0	0	0	1	1	1	0.15	0	0				BLEVE	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0.1	0	0				Gaswolkenbrand gross	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0				Gaswolkenbrand gross	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0	0	0				Freistrahbrand	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.64	0.64	0.64	0.1	0	0				Gaswolkenbrand klein mit Freistrahbrand	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.24	0.24	0.24	0.1	0	0				Gaswolkenbrand klein mit Freistrahbrand	

Abbildung 8: Parameter zur Ermittlung der effektiven Letalität für die sechs zum Leitstoff Propan gehörenden Wirkungsszenarien. Die Letalitäten für Abstände > 200 m sind alle 0.

5.5.2 Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien im Ereignisbaum

In Abbildung 9 (obere Hälfte) bzw. Abbildung 10 (untere Hälfte) ist der Ereignisbaum (Kombination der Expositions- und Wirkungsszenarien) für den Leitstoff Propan dargestellt. Farblich dargestellt sind die bedingten Wahrscheinlichkeiten, die nachfolgend kurz beschrieben werden.

Freisetzungsart

Nachfolgend sind die Wahrscheinlichkeiten für die beiden betrachteten Freisetzungsarten beim Leitstoff Propan, welche der PRA Strasse entnommen wurden, aufgeführt:

- spontane Freisetzung: 0.05
- kontinuierliche Freisetzung: 0.95

Zündwahrscheinlichkeit

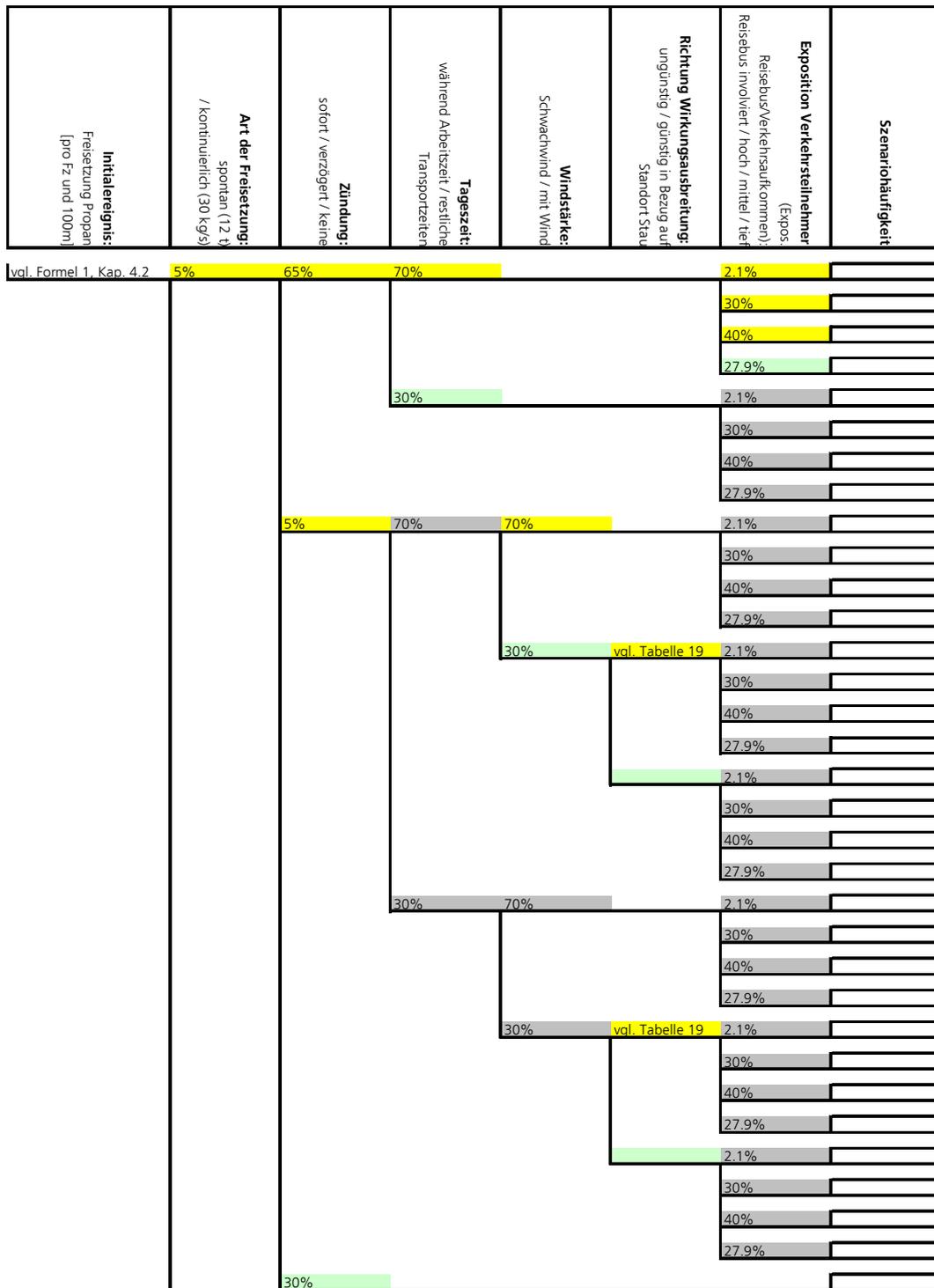
Die Zündwahrscheinlichkeit ist abhängig von der Freisetzungsart (spontan / kontinuierlich) und wird analog zur PRA Strasse wie folgt festgelegt:

Art der Freisetzung	Wahrscheinlichkeit für		
	sofortige Zündung	verzögerte Zündung	keine Zündung
spontane Freisetzung	0.65	0.05	0.3
kontinuierliche Freisetzung	0.25	0.05	0.7

Tabelle 17: Zündwahrscheinlichkeiten für den Leitstoff Propan

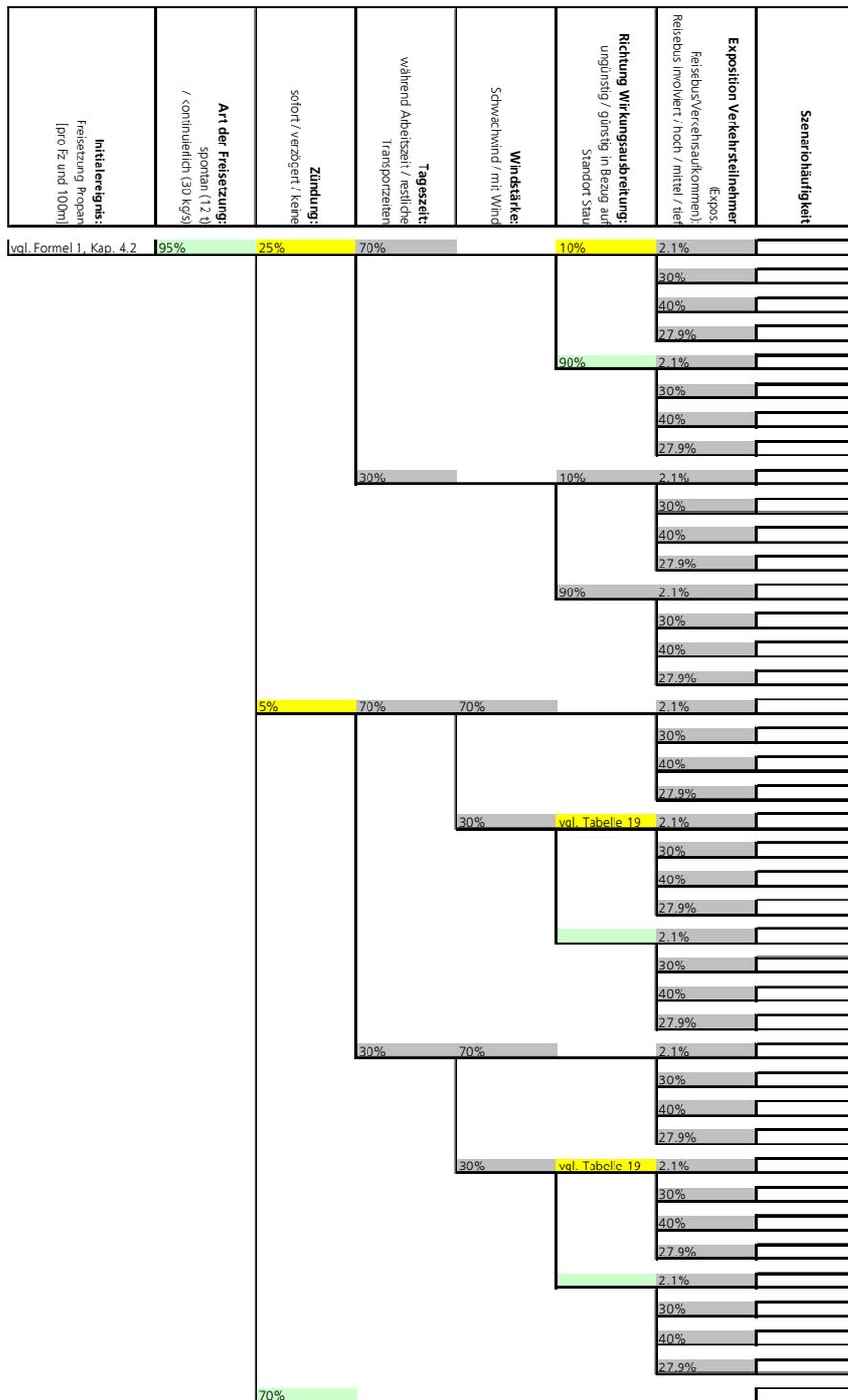
Tageszeit und Expositionen Verkehrsteilnehmer

Die Werte sind unabhängig vom Leitstoff (vgl. Angaben beim Leitstoff Benzin).



2. Hälfte des Baumes (kontinuierliche Freisetzung) vgl. nachfolgende Abb.

Abbildung 9: Ereignisbaum für den Leitstoff Propan mit bedingten Wahrscheinlichkeiten der betrachteten Expositions- bzw. Wirkungsszenarien (oberer Teil). Farbcodes: gelb: Basiswert; grün: Komplement zu 1; grau: Wiederholung identischer Werte.



1. Hälfte des Baumes (spontane Freisetzung) vgl. vorangehende Abb.

Abbildung 10: Ereignisbaum für den Leitstoff Propan mit bedingten Wahrscheinlichkeiten der betrachteten Expositions- bzw. Wirkungsszenarien (unterer Teil). Farbcodes: gelb: Basiswerte; grün: Komplement zu 1; grau: Wiederholung identischer Werte.

Windstärke

Bei gasförmigen Stoffen haben die Windverhältnisse einen massgeblichen Einfluss auf das Ausbreitungsverhalten. Mit dem Ast "Windstärke" wird zwischen Schwachwindsituationen (Windstärke < 1.5 m/s entsprechend Beaufort 1 oder 2) und Situationen mit Wind unterschieden. Die Werte basieren auf statistischen Angaben aus den Jahren 2006 – 2009, wonach an den beiden Stationen Berneck (Rheintal) und Döttingen der zeitliche Anteil mit Schwachwind im Mittel 80% betrug. Da während der Tagesstunden die Windstärke im Mittel höher ist als während der Nacht, wird ein geringfügig tieferer Wert von 70% für beide betrachteten Zeitperioden angenommen.

Art der Freisetzung	Wahrscheinlichkeit für	
	Schwachwind	mit Wind
während der Arbeitszeit	0.7	0.3
während den restlichen Transportzeiten	0.7	0.3

Tabelle 18: Wahrscheinlichkeit der Windverhältnisse für den Leitstoff Propan

Richtung Wirkungsausbreitung

Bei richtungsabhängigen Wirkungen (infolge Wind bzw. infolge der Art der Freisetzung) wird zwischen "ungünstiger" (in Richtung Stau) und "günstiger" Richtung der Wirkungsausbreitung unterschieden. Dieser Parameter ist abhängig von der Freisetzungsart des Propans sowie vom Zeitpunkt der Zündung. Bei den beiden Gaswolkenbrandszenarien ergibt sich zusätzlich eine Abhängigkeit vom Strassenquerschnitt, für den die drei folgenden Fälle unterschieden werden:

- mindestens einseitig offen,
- beidseitig Lärmschutzwände,
- beidseitig im Einschnitt.

Beim Vorhandensein beidseitiger Lärmschutzwände bzw. - noch ausgeprägter - bei einer Strasse, die beidseitig in einem Einschnitt liegt, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich Propangas vor dessen Zündung in Richtung der Strasse ausbreitet, was wieder die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass Verkehrsteilnehmer in einem Stau von einem Gaswolkenbrand betroffen sind.

Die abgeschätzten Wahrscheinlichkeiten für eine Ausbreitung der Wirkung in eine für die Verkehrsteilnehmer ungünstige Richtung sind in der folgenden Tabelle 19 zusammengestellt.

Art der Freisetzung und Zündung	Wahrscheinlichkeit für Wirkungsrichtung "ungünstig" (d.h. in Richtung Stau) bei Strassenquerschnitt		
	mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitiger Einschnitt
kontinuierliche Freisetzung mit sofortiger Zündung (Freistrahbrand)	0.1		
spontane Freisetzung mit verzögerter Zündung (Gaswolkenbrand gross)	0.5	0.6	0.9
kontinuierliche Freisetzung mit verzögerter Zündung (Gaswolkenbrand klein mit Freistrahbrand)	0.3	0.4	0.7

Tabelle 19: Wahrscheinlichkeit einer ungünstigen Wirkungsausbreitung (relativ zu einem Stau) für Leitstoff Propan

5.6 Schadenausmass Leitstoff Chlor

5.6.1 Wirkungsbaum und zugehörige Letalitäten

Die vom Strassentyp abhängigen Korrekturfaktoren $f_{\text{Strassenquerschnitt, Fzg}}$ (für Verkehrsteilnehmer) bzw. $f_{\text{Strassenquerschnitt}}$ (für Personen ausserhalb des Strassenraums) sind in Abbildung 11 aufgelistet. In Abbildung 12 sind die konstanten Parameter für die Ermittlung der effektiven Letalitäten sowie die resultierenden Ergebnisse für die vier Wirkungsszenarien beim Leitstoff Chlor als Wirkungsbaum dargestellt.

		Korrekturfaktor Verkehrsteilnehmer $f_{\text{Strassenquerschnitt, Fzg}}$			Korrekturfaktor Personen ausserhalb Strasse $f_{\text{Strassenquerschnitt}}$		
		mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitiger Einschnitt	mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitiger Einschnitt
Freisetzungsmenge und -art: spontan 1'000 kg / kontinuierlich 500 kg	Windstärke: Schwachwind / mit Wind	1	2.0	3.0	1	0.7	0.3
		1	1.5	2.0	1	0.8	0.5
		1	1.5	2.0	1	0.5	0.2
		1	1.2	1.5	1	0.6	0.3

Abbildung 11: Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des Einflusses des Strassenquerschnitts für die vier Wirkzenarien beim Leitstoff Chlor

resultierende Letalität in Fahrzeugen	200-500 m	0.9	0.5	0.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.15	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.630	0.128	0.016	0.378	0.077	0.010	0.504	0.102	0.013
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
resultierende Letalität in Gebäuden	200-500 m	0.9	0.5	0.15	0.15	0.1	0.05	0	0.15	0.2	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.135	0.043	0.006	0.054	0.017	0.002	0.095	0.030	0.004
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
resultierende Letalität im Freien	200-500 m	0.9	0.5	0.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.15	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.630	0.128	0.016	0.378	0.077	0.010	0.504	0.102	0.013
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
Schutzfaktor Fahrzeug	200-500 m	0.9	0.5	0.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.15	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.630	0.128	0.016	0.378	0.077	0.010	0.504	0.102	0.013
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
Schutzfaktor Gebäude	200-500 m	0.9	0.5	0.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.15	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.630	0.128	0.016	0.378	0.077	0.010	0.504	0.102	0.013
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
Wahrscheinlichkeit erfolgreiche Selbst- bzw. Fremdrettung	200-500 m	0.9	0.5	0.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.15	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.630	0.128	0.016	0.378	0.077	0.010	0.504	0.102	0.013
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
Anteil des betroffenen Segments an der Gesamtfläche im jeweiligen Abstandsbereich	200-500 m	0.9	0.5	0.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.15	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.630	0.128	0.016	0.378	0.077	0.010	0.504	0.102	0.013
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
mittlere Grundletalität im betroffenen Segment (im Freien, ohne Selbstrettung)	200-500 m	0.9	0.5	0.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.15	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.630	0.128	0.016	0.378	0.077	0.010	0.504	0.102	0.013
	50-200 m	0.95	0.6	0.2	0.25	0.15	0.05	0.1	0.1	0.15	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.238	0.081	0.009	0.095	0.032	0.003	0.166	0.057	0.006
	0-50 m	0.8	0.3	0.02	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.25	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.240	0.048	0.002	0.144	0.029	0.001	0.192	0.038	0.001
Windstärke: Schwachwind / mit Wind																										
Freisetzungsmenge und -art: spontan 1'000 kg / kontinuierlich 500 kg																										
Initialereignis: Freisetzung Chlor [pro Fz und 100m]																										

Abbildung 12: Parameter zur Ermittlung der effektiven Letalität für die vier zum Leitstoff Chlor gehörenden Wirkungsszenarien. Die Letalitäten sind für alle Abstandsbereiche > 0.

5.6.2 Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien im Ereignisbaum

In Abbildung 13 (obere Hälfte) bzw. Abbildung 14 (untere Hälfte) ist der Ereignisbaum (Kombination der Expositions- und Wirkungsszenarien) für den Leitstoff Chlor dargestellt. Farblich dargestellt sind die bedingten Wahrscheinlichkeiten, die nachfolgend kurz beschrieben werden.

Freisetzungsmenge und -art

Nachfolgend sind die Wahrscheinlichkeiten für die beiden betrachteten Freisetzungsarten beim Leitstoff Chlor, welche in Analogie zur PRA Strasse festgelegt werden, aufgeführt:

- spontane Freisetzung von 1'000 kg: 0.05
- kontinuierliche Freisetzung von 500 kg: 0.95

Tageszeit, Windstärke und Expositionen der Verkehrsteilnehmer

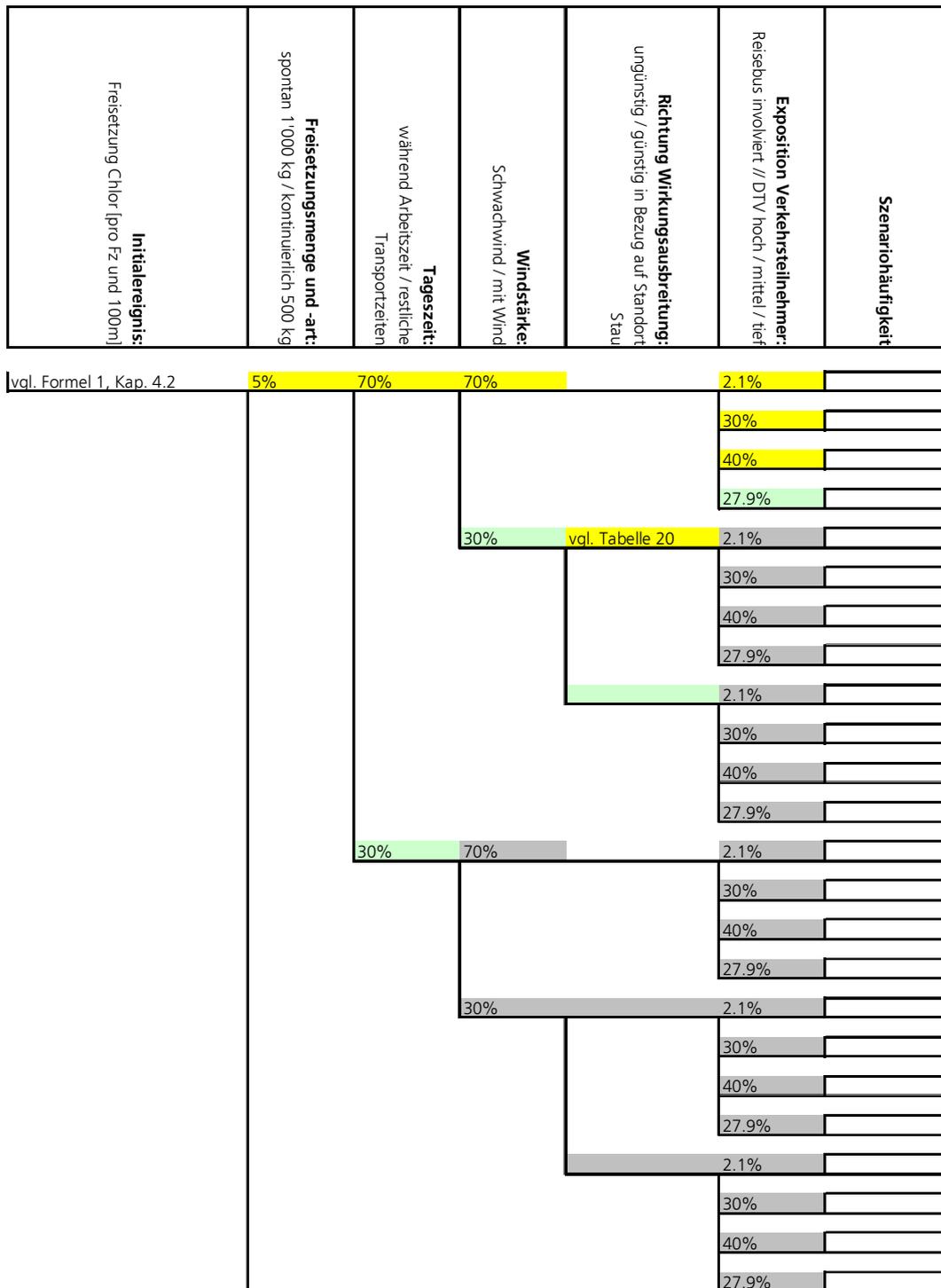
Die Werte sind gleich wie beim Leitstoff Propan, vgl. Angaben in Kapitel 5.5.2.

Richtung der Wirkungsausbreitung

Bei richtungsabhängigen Wirkungen (infolge Wind bzw. infolge der Art der Freisetzung) wird zwischen "ungünstiger" (in Richtung Stau) und "günstiger" Richtung der Wirkungsausbreitung unterschieden. Dieser Parameter ist abhängig von der Freisetzungsart sowie vom Strassenquerschnitt, da analog zum Fall eines Gaswolkenbrandes von Propan bei einer Kanalisierung durch seitliche Hindernisse (Lärmschutzwand bzw. Einschnitt) die Ausbreitung mit grösserer Wahrscheinlichkeit entlang der Strasse erfolgt, vgl. Tabelle 20.

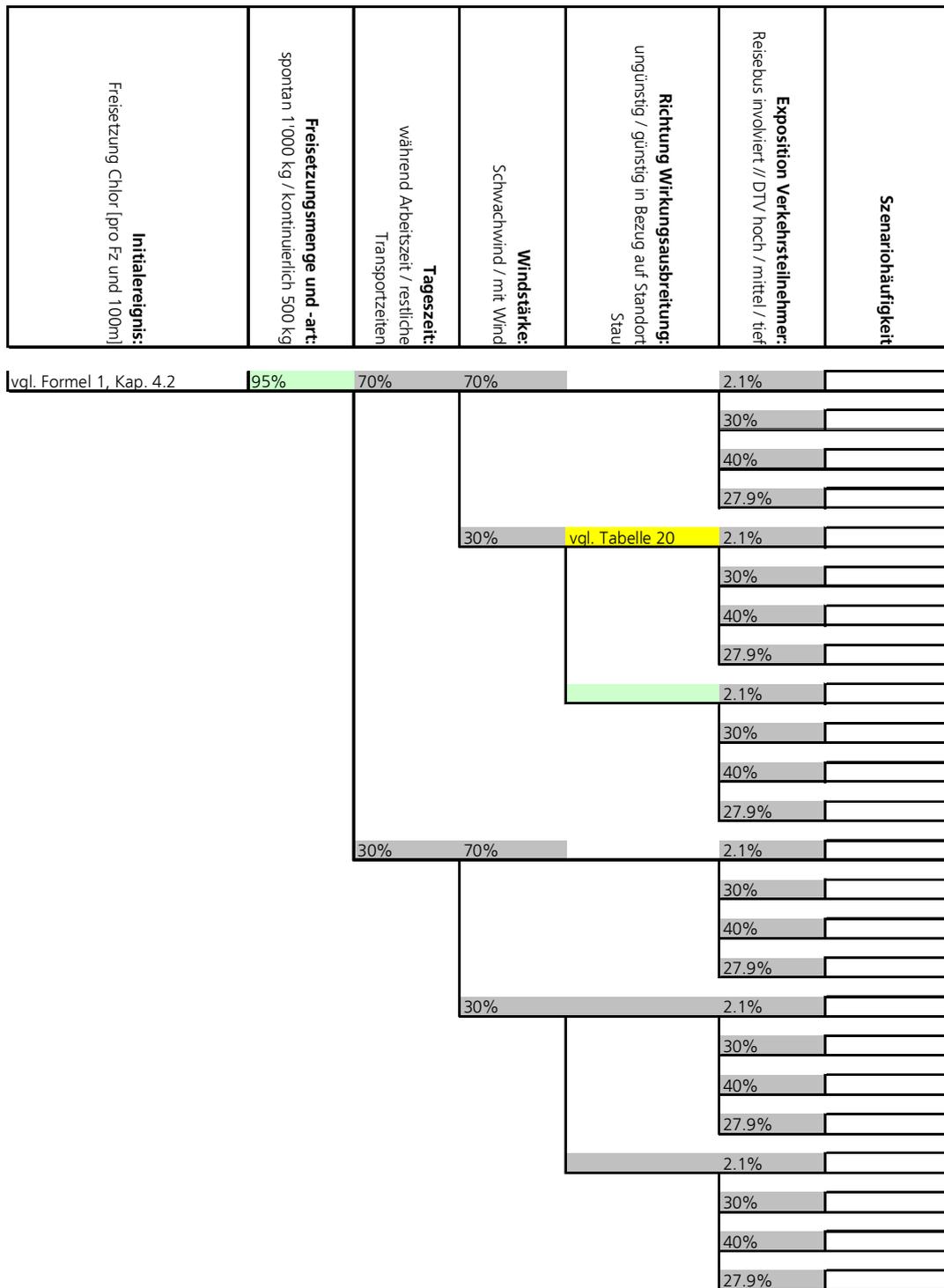
Art der Freisetzung und Zündung	Wahrscheinlichkeit für Wirkungsrichtung "ungünstig" (d.h. in Richtung Stau) bei Strassenquerschnitt		
	mindestens einseitig offen	beidseitig Lärmschutzwände	beidseitig im Einschnitt
spontane Freisetzung 1'000 kg	0.3	0.4	0.7
kontinuierliche Freisetzung 500 kg	0.1	0.2	0.5

Tabelle 20: Wahrscheinlichkeit einer ungünstigen Wirkungsausbreitung (relativ zu einem Stau) für den Leitstoff Chlor



2. Hälfte des Baumes (kontinuierliche Freisetzung) vgl. nachfolgende Abb.

Abbildung 13: Ereignisbaum für den Leitstoff Chlor mit bedingten Wahrscheinlichkeiten der betrachteten Expositions- bzw. Wirkungsszenarien (oberer Teil). Farbcodes: gelb: Basiswerte, grün: Komplement zu 1, grau: Wiederholung identischer Werte



1. Hälfte des Baumes (spontane Freisetzung) vgl. vorangehende Abb.

Abbildung 14: Ereignisbaum für den Leitstoff Chlor mit bedingten Wahrscheinlichkeiten der betrachteten Expositions- bzw. Wirkungsszenarien (unterer Teil). Farbcodes: gelb: Basiswerte, grün: Komplement zu 1, grau: Wiederholung identischer Werte

6 Quantifizierung der Umweltrisiken

6.1 Überblick über den methodischen Ansatz

Die möglichen Freisetzungen von Gefahrgut werden mittels Szenarien beschrieben. Für jedes dieser Freisetzungsszenarien werden die Ereignishäufigkeit bzw. die Wahrscheinlichkeit des Szenarios sowie das Schadenausmass als Störfallwert gemäss den Beurteilungskriterien II ermittelt.

Das grundsätzliche Vorgehen kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Basis bilden die freigesetzten Mengen an flüssigen Gefahrgütern gemäss den definierten Freisetzungsszenarien (vgl. Kapitel 3.2).
- Es werden zwei grundsätzlich verschiedene Abflusswege für freigesetztes Gefahrgut berücksichtigt:
 - Abfluss von Gefahrgut, das im Strassenbereich freigesetzt wird, über Entwässerungsrohre in das Entwässerungssystem (falls ein solches vorhanden ist), welches letztlich in einen Vorfluter bzw. in ein Versickerungsbauwerk mündet.
 - Oberflächlicher Abfluss von Gefahrgut, das ausserhalb des Strassenbereichs freigesetzt wird (bzw. bei einer Entwässerung über die Schulter von diesem seitwärts abfließt), und Versickerung im Boden bzw. oberflächlicher Eintrag in ein Oberflächengewässer.

Für die beiden Abflusswege wird abgeschätzt, wie gross die Gefahrgutmengen sind, die im Entwässerungssystem zurückgehalten werden bzw. im Boden versickern. Für den Ausbreitungspfad "Entwässerung" werden dessen Fähigkeit, Gefahrgut zurückzuhalten, berücksichtigt. Für den Fall einer Versickerung im Boden wird eine typische Rückhaltekapazität in der ungesättigten Zone angenommen; auf eine Unterscheidung unterschiedlicher Bodentypen wird hingegen verzichtet.

- Im Sinne einer Mengenbilanz wird ermittelt, wie gross die Eintragsmenge in ein Oberflächengewässer bzw. in die gesättigte Zone eines Grundwasserträgers ist. Daraus wird das Schadenausmass ermittelt.

Generelle Annahmen für die Ermittlung der Umweltrisiken sind:

- Die im Fahrbahnbereich, d.h. vor dem Eintritt in die Entwässerung zurückbleibenden Gefahrgutmengen sind vernachlässigbar. D.h. das gesamte freigesetzte Gefahrgut gelangt in die Entwässerung bzw. fliesst seitlich weg (bei Entwässerung über die Schulter).

- Eine mögliche Reduktion der Gefahrgutmenge durch Abbrand (Leitstoff Benzin) wird vernachlässigt.
- Die Aufnahme- und Rückhaltekapazität des Bodens hängt grundsätzlich von dessen Sättigungsgrad mit Wasser ab. Der Einfachheit halber wird diesbezüglich eine Durchschnittssituation betrachtet, d.h. mögliche Szenarien mit deutlich höherem oberflächlichem Abfluss, wie sie nach einem Starkniederschlag zu erwarten sind, werden nicht betrachtet.²⁴⁾
- Eine Infiltration von verschmutztem Grundwasser in ein Oberflächengewässer bzw. die Exfiltration von verschmutztem Wasser aus einem Oberflächengewässer in einen Grundwasserträger wird der Einfachheit halber nicht betrachtet.

Entwässerung

Je nach Strassenentwässerung ist bei einer Freisetzung im Strassenraum der Eintrag in ein Oberflächengewässer bzw. in den Boden unterschiedlich. Es ist deshalb wichtig, die wesentlichen Merkmale der Strassenentwässerung bei der Quantifizierung der Umweltrisiken zu berücksichtigen. Folgende Arten von Entwässerungen werden berücksichtigt:

- Entwässerung über die Schulter: Das Gefahrgut wird nicht zurückgehalten und fliesst oberflächlich ab oder versickert. Dieser Fall wird analog wie eine Freisetzung neben der Strasse behandelt.
- Kontrollierte Versickerung in den Boden (z. B. Versickerungsmulde): Die Gefahrgutmenge versickert vollständig im Boden (oder teilweise, wenn Retentionsmassnahmen vorhanden sind). Da davon auszugehen ist, dass der Ort der Versickerung (bzw. des Versickerungsbauwerks) für das als Trinkwasser genutzte Grundwasser unkritisch ist, wird angenommen, dass kein Ausfall der Trinkwasserversorgung resultiert. Da zudem eine Infiltration in ein Oberflächengewässer generell nicht betrachtet wird, bedeutet dies, dass bei dieser Art der Entwässerung nie ein Schaden entsteht (aus der Sicht der beiden betrachteten Indikatoren).
- Einleitung in Vorfluter: Dabei wird unterschieden zwischen:
 - Systemen, bei denen infrastrukturseitig Massnahmen (z.B. Vorhandensein eines Schiebers, mit dem das weitere Abfließen von Flüssigkeiten in Richtung Vorfluter verhindert werden kann) vorhanden sind, die nach Aktivierung (z.B. Schliessen eines Schiebers) die Retention von Gefahrgut erhöhen.
 - Systeme, wo infrastrukturseitig keine solchen aktiven Massnahmen vorhanden sind.

24) Bei der Berücksichtigung einer ARA (Wahrscheinlichkeit einer Retention des Gefahrguts in der ARA) wird hingegen der Fall eines Starkniederschlags berücksichtigt (Aktivierung Regenüberlauf).

In beiden Fällen werden Retentionsvolumina, die ohne aktive Massnahmen zur Verfügung stehen (z.B. Becken in einer ARA oder Rückhaltebecken mit Ölabscheider), berücksichtigt. Ebenfalls pauschal berücksichtigt werden aktive Massnahmen der Interventionskräfte wie das Dichtblasen von Entwässerungsleitungen, die nicht an konkrete, im Rahmen der vorliegenden Methodik explizit berücksichtigte Voraussetzungen beim Entwässerungssystem gekoppelt sind.

Oberflächengewässer

Für den Fall eines oberflächlichen Eintrags sind folgende Oberflächengewässer (OG) zu berücksichtigen: ²⁵⁾

- OG, die aufgrund ihrer Grösse in der Landeskarte 1:200'000 dargestellt sind.²⁶⁾
- OG, die über eine Länge von mindestens 100 m parallel zur Strasse verlaufen (Ausnahme: Querung grösserer Flüsse).

OG, die als Vorfluter für die Entwässerung dienen, werden ungeachtet ihrer Lage relativ zur Strasse und ihrer Grösse berücksichtigt. Es wird vorausgesetzt, dass Gefahrgut, welches nicht im Entwässerungssystem zurückgehalten wird, zwingend in ein Oberflächengewässer eintritt.

Grundwasser

Für die Berücksichtigung von unterirdischen Gewässern im Sinne der Beurteilungskriterien II wird auf folgende Punkte hingewiesen:

- Es werden nur Trinkwasserfassungen für die öffentliche Nutzung und mit rechtskräftig ausgedehnten Schutzzonen innerhalb eines vorgegebenen maximalen Abstandsbereichs von maximal je 500 m beidseits der Strasse betrachtet.
- Die Infiltration von Wasser aus verschmutzten Oberflächengewässern ins Grundwasser stellt einen Spezialfall dar und kann im Modell nicht berücksichtigt werden, da dazu eine grosse Zahl von Grundwasserfassungen flussabwärts berücksichtigt werden müssten, was nicht mit vertretbarem Aufwand möglich ist.

25) Es handelt sich hier um Empfehlungen. Grundsätzlich ist es Sache des Anwenders zu entscheiden, ob im Zweifelsfall ein Oberflächengewässer berücksichtigt werden soll.

26) Es sind dies Gewässer mit einer GEWISS-Nr. (Nummer des Gewässers im Gewässerinformationssystem der Schweiz) > 0.

6.2 Schadenausmass Leitstoff Benzin

6.2.1 Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien im Ereignisbaum

Die Szenarien zur Ermittlung der Umweltrisiken durch den Leitstoff Benzin werden durch die Freisetzungsmenge, die Freisetzungsart, den Freisetzungsort (auf bzw. neben der Strasse) sowie durch allfällige vom Entwässerungssystem abhängige Interventions- bzw. Rückhaltmassnahmen bestimmt, vgl. die Darstellung als Ereignisbaum in Abbildung 15.

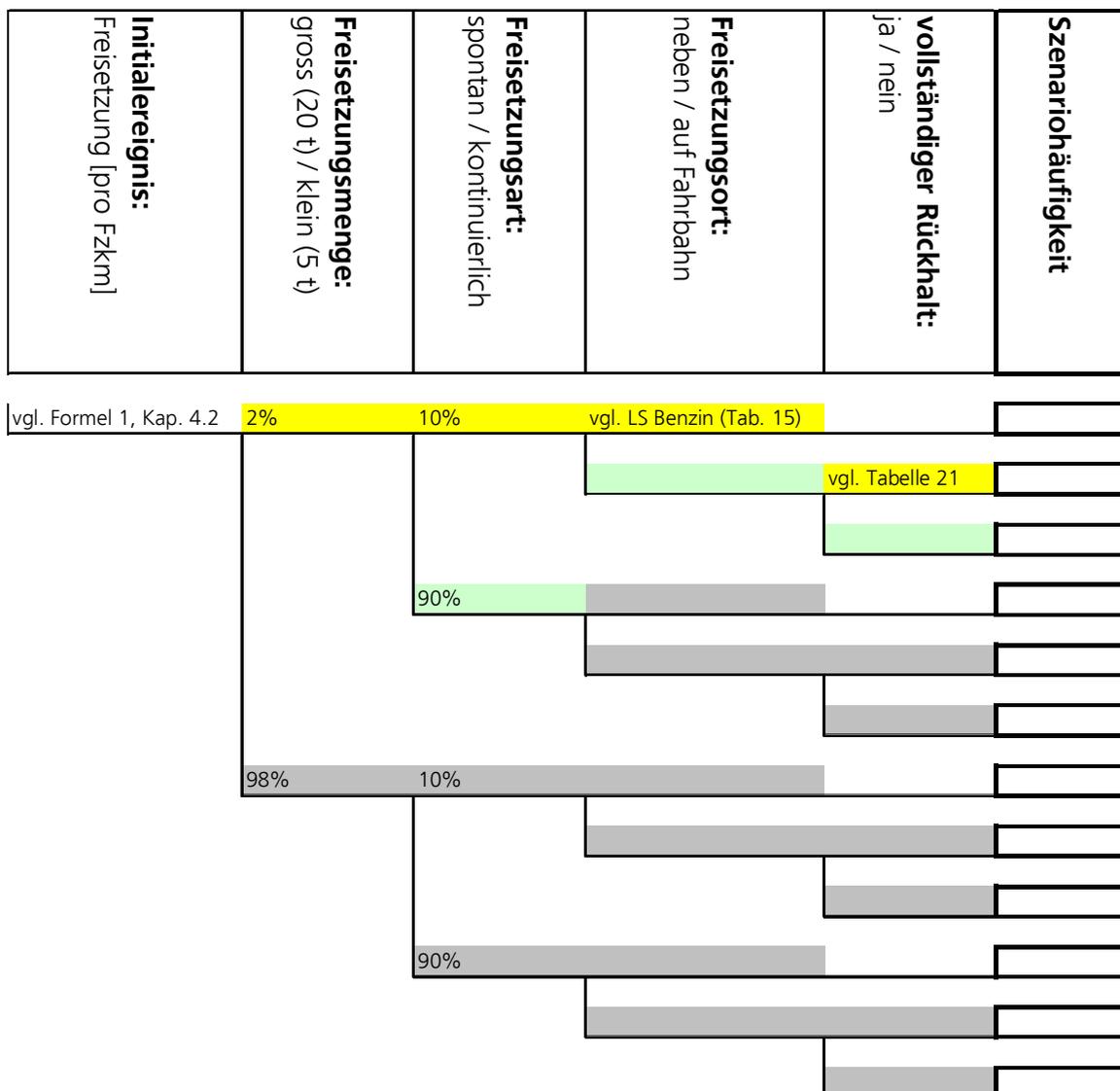


Abbildung 15: Ereignisbaum für den Leitstoff Benzin mit bedingten Wahrscheinlichkeiten für die betrachteten Szenarien. Farbcodes: gelb: Basiswerte; grün: Komplement zu 1; grau: Wiederholung identischer Werte.

Nachfolgend sind die Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Szenarien festgehalten.

Freisetzungsmenge

Die angenommenen Wahrscheinlichkeiten für die zwei betrachteten Freisetzungsmengen betragen:

- grosse Freisetzung (20 t): 0.02
- kleine Freisetzung (5 t): 0.98

Freisetzungsart

Die Wahrscheinlichkeiten für eine spontane bzw. kontinuierliche Freisetzung beim Leitstoff Benzin sind die gleichen wie bei der Beurteilung der Personenrisiken (vgl. Kapitel 5.4.1.).

Freisetzungsort

Es gelten dieselben Abhängigkeiten und Werte wie bei den Personenrisiken (Leitstoff Benzin, vgl. Kapitel 5.4.2.).

Vollständiger Rückhalt

Bei einer Freisetzung im Fahrbahnbereich mit einer Entwässerung vom Typ "Einleitung in einen Vorfluter" besteht die Möglichkeit, dass ein Grossteil des Gefahrguts zurückgehalten werden kann, bevor es in ein Oberflächengewässer gelangt. Dies wird über den Ast "vollständiger Rückhalt" des Ereignisbaumes berücksichtigt. Damit werden folgende Fälle bzw. Massnahmen berücksichtigt:

- Bei einer Entwässerung mit langsam durchflossenen Rückhaltevolumina (z.B. ARA) kann normalerweise alles Gefahrgut zurückgehalten werden. Sofern ein Regenüberlauf existiert, wird dieser bei einem grossen Wasseranfall (starker Regen) jedoch automatisch aktiviert, so dass freigesetztes Gefahrgut z.B. nicht vollständig in die Becken der ARA gelangt, sondern teilweise direkt in den Vorfluter (d.h. keine vollständige Retention durch ARA). Existiert kein Regenüberlauf, so ist in jedem Fall ein vollständiger Rückhalt gewährleistet (z.B. Öko-SABA mit Einleitung zwecks Filterung in Bodenschichten).²⁷⁾
- Bei einer Entwässerung mit schnell durchflossenen Rückhaltevolumina (z.B. Rückhaltebecken mit oder ohne Ölabscheider) kann ein vollständiger Rückhalt unabhängig von der freigesetzten Gefahrgutmenge nur dann gewährleistet werden, wenn der normale Abflusspfad zum

27) Dasselbe gilt für einen Regenüberlauf, der nicht direkt in den Vorfluter führt, sondern in ein anderes System mit Retention. Wenn z.B. bei aktiviertem Regenüberlauf in einer Öko-SABA ein erstes Absetzbecken umflossen, die Retention aber in einem zweiten Reinigungsbecken noch sichergestellt wird, so ist das Gesamtsystem als "ohne Regenüberlauf" zu klassifizieren.

Vorfluter mittels aktiver, durch die Ereignisdienste betätigter Massnahmen unterbrochen wird. Hier wird unterschieden

- ob ein Schieber vorhanden ist, der geschlossen werden kann und
 - wie rasch die Einsatzdienste in der Lage sind, Massnahmen wie das Schliessen eines allfälligen Schiebers oder das Dichtblasen der Leitung durchzuführen.
- Ist kein Rückhaltevolumen vorhanden (d.h. nur Leitung als möglicher Stauraum), so gilt das gleiche wie im Falle eines schnell durchflossenen Rückhaltevolumens. Die Wahrscheinlichkeit für aktive Massnahmen (Schliessen des Schiebers, Dichtblasen) ist jedoch kleiner, da die verzögernde Wirkung des Rückhaltevolumens wegfällt.

Zur Vereinfachung wird angenommen, dass beim Pfad "vollständiger Rückhalt funktioniert" im Ereignisbaum durch die oben beschriebenen Fälle bzw. Massnahmen alles Gefahrgut zurückgehalten werden kann. Wie gross ein allfälliger Rückhalt beim Pfad "vollständiger Rückhalt funktioniert nicht" ist, wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

Folgende geschätzte Wahrscheinlichkeiten eines vollständigen Rückhalts werden der Entwässerungsart "Einleitung in Vorfluter" zugrunde gelegt:²⁸⁾

Art der vorhandenen Retentionsvolumina im Entwässerungssystem	Schieber vorhanden	Dauer bis Einsatz Ereignisdienste	Wahrscheinlichkeit für vollständigen Rückhalt
langsam durchflossen mit Regenüberlauf (z.B. ARA)	(irrelevant)	(irrelevant)	0.98
langsam durchflossen ohne Regenüberlauf (z.B. Öko-SABA)	(irrelevant)	(irrelevant)	1
schnell durchflossen (z.B. Rückhaltebecken mit oder ohne Ölabscheider)	ja	< 20 Min.	0.35
		20 - 40 Min.	0.20
		> 40 Min.	0.10
	nein	< 20 Min.	0.10
		20 - 40 Min.	0.05
		> 40 Min.	0
keines (ausser Leitungssystem)	ja	< 20 Min.	0.10
		20 - 40 Min.	0.05
		> 40 Min.	0
	nein	< 20 Min.	0.05
		20 - 40 Min.	0.02
		> 40 Min.	0

Tabelle 21: Wahrscheinlichkeit eines vollständigen Rückhalts des freigesetzten Gefahrguts für eine Entwässerung des Typs "Einleitung in Vorfluter"

28) Die typische Regenwahrscheinlichkeit beträgt 10% (Station Luzern Allmend: 827 Std. im Jahresmittel). Weiter wird angenommen, dass der Regenwasseranfall in 80% aller Fälle so gering ist, dass der Regenüberlauf nicht aktiviert wird.

Bei einer Entwässerung über die Schulter kann nicht von einem vollständigen Rückhalt gesprochen werden; die entsprechende Wahrscheinlichkeit im Ereignisbaum ist deshalb 0.²⁹⁾

6.2.2 Ermittlung des Schadenausmasses für den Indikator "verschmutzte oberirdische Gewässer"

Fall 1: Freisetzung im Strassenbereich bei Entwässerung mit Einleitung in Vorfluter

Bei einer Freisetzung auf der Fahrbahn mit Einleitung via Entwässerung in den Vorfluter wird im Folgenden für die Fälle, bei denen die Wahrscheinlichkeit eines vollständigen Rückhalts gemäss Tabelle 21 < 1 ist, dargestellt, wie über eine Mengenbilanz die Menge an Gefahrgut ermittelt werden kann, die im Ereignisfall in den Vorfluter gelangt. Folgende Fälle sind zu unterscheiden:

- Falls (mit Ausnahme des Leitungssystems) keine Retentionsvolumina vorhanden sind, so wird konservativ angenommen, dass die gesamte freigesetzte Gefahrgutmenge in den Vorfluter gelangt.
- Wird der Regenüberlauf bei einem langsam durchflossenen Retentionsvolumen (z.B. ARA) aktiviert, so wird angenommen, dass 50% der freigesetzten Gefahrgüter des Leitstoffs Benzin in den Vorfluter gelangen.³⁰⁾
- Bei einem schnell durchflossenen Rückhaltebecken bestimmt dessen Ölrückhaltekapazität $V_{\text{Ölrückhalt}}$ die Menge, die in den Vorfluter gelangt. Es kann angenommen werden, dass Stoffe, die dem Leitstoff Benzin zuzuordnen sind, bis zu diesem Volumen zurückgehalten werden können.³¹⁾ Das Gefahrgutvolumen V_{OG} [m³], das in den Vorfluter gelangt, kann somit aus der Freisetzungsmenge $m_{\text{Freisetzung}}$ [t] und der Dichte ρ von Benzin (0.75 t/m³) mit folgender Formel berechnet werden:

$$V_{\text{Benzin,OG}} = \frac{m_{\text{Benzin,Freisetzung}}}{\rho_{\text{Benzin}}} - V_{\text{Ölrückhalt}}$$

29) Bei einer Entwässerung vom Typ "kontrollierte Versickerung" erübrigt sich eine Aussage, da die Schäden a priori 0 sind (vgl. Kapitel 6.1).

30) Üblicherweise sind Regenüberläufe bei einer ARA so konstruiert, dass aufschwimmende Flüssigkeiten auch bei hohem Wasseranfall nicht über den Regenüberlauf abgeleitet werden, sondern der ARA zugeführt werden.

31) Bei einem Schwall von Gefahrgut kann die Rückhaltekapazität etwas geringer sein. Da allerdings die Rückhaltekapazität des restlichen Entwässerungssystems (Rohre, Abflussschächte etc.) vernachlässigt wird, darf angenommen werden, dass auch in diesem Fall insgesamt ein Volumen entsprechend dem Ölrückhaltevolumen für die Retention zur Verfügung steht. Eine signifikant geringere Rückhaltekapazität ist möglich, wenn das Gefahrgut zusammen mit grossen Mengen Regenwasser in das Rückhaltebecken gelangt, da dann die Tauchwand des Ölabscheiders infolge Turbulenz unterspült werden kann. Der Fall eines Starkregens während einer Havarie wird in der vorliegenden Methodik jedoch nicht berücksichtigt (Eintretenswahrscheinlichkeit ist lediglich ca. 1%).

Fall 2: Freisetzung im Strassenbereich bei Entwässerung über die Schulter bzw. Freisetzung ausserhalb des Strassenbereichs mit oberflächlichem Eintrag ins Oberflächengewässer

Bei einer Freisetzung neben der Fahrbahn hat die Entwässerung keinen Einfluss auf einen allfälligen Eintrag in ein Oberflächengewässer. Es wird angenommen, dass keine Interventionsmöglichkeiten bestehen, um die Eintragsmenge rechtzeitig zu beeinflussen.

Der Eintrag ins Oberflächengewässer wird aufgrund der Erfahrungen mit Abflussberechnungen aus dem Projekt "Umweltscreening Bahnen" in Prozent der Freisetzungsmenge bestimmt. Diese Prozentwerte sind in Tabelle 22 (grosse Freisetzung) und in Tabelle 23 (kleine Freisetzung) dargestellt.

Der oberflächliche Eintrag ins OG [% der Freisetzungsmenge] ist abhängig von:

- Geländecharakteristik: Es wird angenommen, dass bei flachem bzw. ansteigendem Gelände kein Eintrag ins OG stattfindet. Nur bei einem Gelände, dessen Steigung zwischen Freisetzungsort und Eintrittsort ins OG immer grösser als 2° beträgt, ist ein Eintrag ins OG möglich
- Abstand vom Unfallort zum nächsten OG (in Klassen, in der folgenden Abbildung als "Längenklasse" bezeichnet) (in m)
- Steigungsklasse (in Grad)
- Freisetzungsort

Eintrag OG in Prozent der Freisetzungsmenge einer grossen Freisetzung (20 t)				
Geländecharakteristik	Längenklasse [m]	Steigungsklasse [°]	Spontane Freisetzung [%]	Kontinuierliche Freisetzung [%]
flach / ansteigend			0	0
abfallend	0 – 10	2 – 5	96	50
		5 – 10	97	55
		10 – 20	98	63
		>20	99	76
	10 – 30	2 – 5	90	25
		5 – 10	92	34
		10 – 20	94	47
		>20	97	65
	30 – 100	2 – 5	75	7
		5 – 10	78	15
		10 – 20	82	26
		>20	87	43
	100 – 200	2 – 5	45	2
		5 – 10	50	5
		10 – 20	55	10
		>20	75	30
>200			0	0

Tabelle 22: Oberflächlicher Eintrag in das nächste Oberflächengewässer in Prozent der Freisetzungsmenge für eine grosse Freisetzung (20 t)

Eintrag OG in Prozent der Freisetzungsmenge einer kleinen Freisetzung (5 t)				
Geländecharakteristik	Längenklasse [m]	Steigungsklasse [°]	Spontane Freisetzung [%]	Kontinuierliche Freisetzung [%]
flach / ansteigend			0	0
abfallend	0 – 10	2 – 5	90	40
		5 – 10	92	45
		10 – 20	94	53
		>20	96	65
	10 – 30	2 – 5	66	20
		5 – 10	70	26
		10 – 20	77	36
		>20	88	52
	30 – 100	2 – 5	42	3
		5 – 10	46	7
		10 – 20	52	13
		>20	62	22
	100 – 200	2 – 5	9	0
		5 – 10	15	0
		10 – 20	25	0
		>20	45	1
>200			0	0

Tabelle 23: Oberflächlicher Eintrag in das nächste Oberflächengewässer in Prozent der Freisetzungsmenge für eine kleine Freisetzung (5 t)

Durch Multiplikation der Freisetzungsmenge in m³ mit den tabellierten Prozentwerten ergibt sich die Eintragsmenge ins Oberflächengewässer in m³.

Abschätzung des Schadenausmasses gemäss den Beurteilungskriterien (BK)

Die verschmutzte Fläche $F_{\text{verschmutzt}}$ kann aus der Eintragsmenge des Leitstoffs Benzin in das Oberflächengewässer m_{OG} gemäss den BK II mit folgender Formel ermittelt werden:

$$F_{\text{verschmutzt}} = \frac{m_{\text{OG}}}{15} \quad \text{wobei}$$

$F_{\text{verschmutzt}}$: verschmutzte Fläche des Oberflächengewässers in km²

m_{OG} : Eintragsmenge Gefahrgut in das OG in t

Sofern mittels Interventionsmassnahmen (z.B. Anbringen von Ölsperren auf einem Gewässer mit geringer Strömung) oder infolge entsprechender infrastruktureller Voraussetzungen (z.B. Stauwehr, welches aufschwimmende Flüssigkeiten zurückhalten kann) mit grosser Wahrscheinlichkeit sichergestellt werden kann, dass die verschmutzte Fläche kleiner ist als mit obiger Formel berechnet, so kann diese auf den maximal möglichen Wert beschränkt werden, indem die maximale verschmutzte Fläche eingegeben wird.

Aus der verschmutzten Fläche des Oberflächengewässers $F_{verschmutzt}$ in km² wird der Störfallwert a gemäss den BK II wie folgt berechnet:

$$a = 0.3 \cdot \log_{10} F_{verschmutzt} + 0.3 = 0.3 \cdot \log_{10} \frac{m_{OG}}{15} + 0.3$$

Der Zusammenhang zwischen Eintragsmenge in ein OG und dem Störfallwert ist nachfolgend für beide betrachteten Leitstoffe graphisch dargestellt (die Formel für den Leitstoff Epichlorhydrin ist im Kapitel 6.3.2 festgehalten).

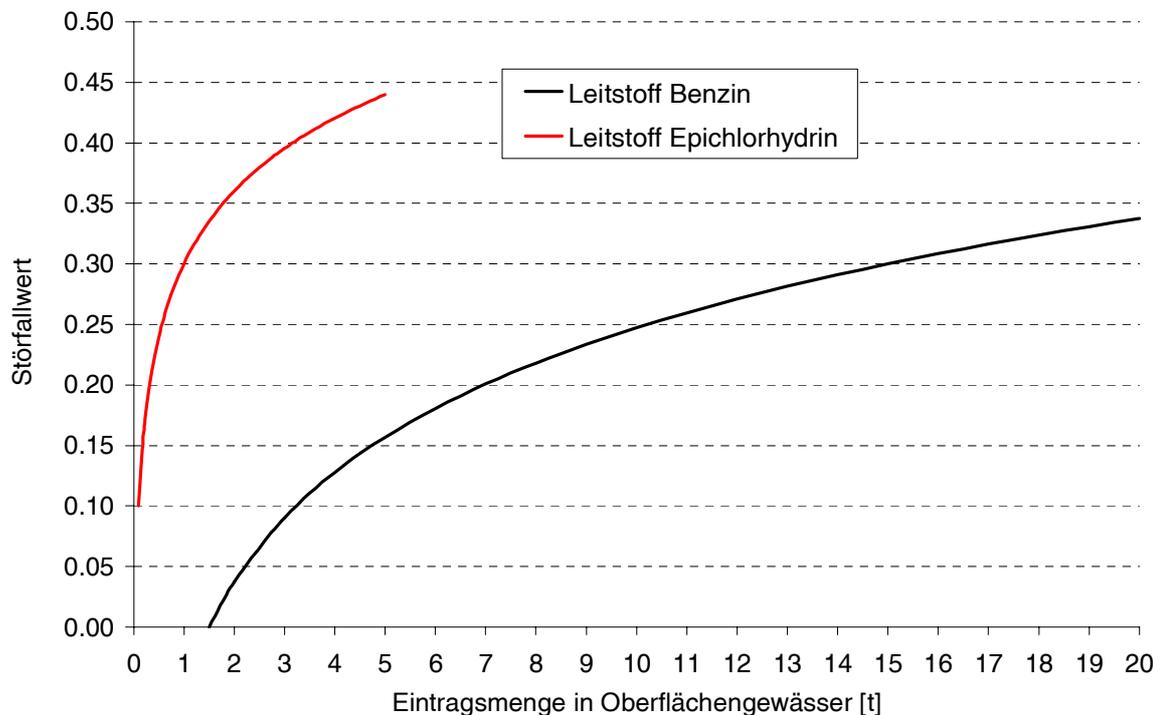


Abbildung 16: Zusammenhang der Eintragsmenge OG und dem Störfallwert für die Leitstoffe Benzin und Epichlorhydrin

6.2.3 Ermittlung des Schadenausmasses für den Indikator "verschmutzte unterirdische Gewässer"

Bei der Freisetzung auf einer Fahrbahn mit vorhandenem Entwässerungssystem vom Typ "Einleitung in Vorfluter" (Fall 1) findet kein Eintrag ins GW statt, da alles Gefahrgut, welches nicht zurückgehalten werden kann, in ein OG gelangt und eine Exfiltration vom OG in einen Grundwasserträger nicht betrachtet wird. Es ist somit lediglich der Fall 2 "Freisetzungen ausserhalb des Strassenraums" bzw. "Entwässerung über die Schulter" zu betrachten.

Der Eintrag ins Grundwasser "Eintrag GW" (gesättigte Zone) wird wie folgt ermittelt:

Eintrag GW = Versickerungsmenge Boden – Retention ungesättigte Zone

wobei:

- Versickerungsmenge Boden [m³] =
Freisetzungsmenge [t] / Dichte Leitstoff [t/m³] – Eintrag OG [m³]
- Retention ungesättigte Zone [m³] =
Lachenfläche [m²] * Flurabstand [m]* Rückhaltekapazität Boden [m³/m³]

Dabei werden folgende Parameter verwendet:

- Lachenfläche Benzin:
 - bei grosser Freisetzungsmenge: 50 m²
 - bei kleiner Freisetzungsmenge: 15 m²
- Rückhaltekapazität Boden: 0.02 m³/m³

Der Flurabstand ist als ortsspezifische Einflussgrösse anzugeben.

Die Ermittlung des Schadenausmasses basiert auf der kumulierten Fördermenge [l/min] der verschmutzten und damit für die Trinkwasserversorgung nicht mehr nutzbaren Trinkwasserfassungen. Der Abstand, innerhalb dem Fassungen betroffen sind, hängt von der Fliessrichtung des Grundwasserträgers ab:

- Bei Fliessrichtung von der Strasse zum Fassungsbereich: 0 - 500 m
- Bei Fliessrichtung parallel zur Strasse: 0 - 200 m
- Bei Fliessrichtung vom Fassungsbereich zur Strasse: 0 - 100 m

In Abhängigkeit der Fliessrichtung ist die kumulative Fördermenge innerhalb des obigen, von der Fliessrichtung abhängigen Abstandsbereichs als ortsspezifische Einflussgrösse einzugeben.

Wenn ein Eintrag ins Grundwasser (gesättigte Zone) erfolgt sowie innerhalb des obigen Abstandsreichs relevante Trinkwasserfassungen vorhanden sind, wird die Ausfalldauer der Trinkwasserfassung(en) in Personen-Monaten wie folgt bestimmt:

- Anzahl betroffene Personen = kumulierte Fördermenge / 400 Liter (Auf der Grundlage der BK II wird mit einem pro Kopf-Verbrauch von 400 l pro Tag gerechnet.)
- Dauer der Verschmutzung bzw. des Ausfalls des Fassungsreichs für die Trinkwasserversorgung:

$$t_{\text{Ausfall}} = 19 \cdot m_{\text{GW}}^{0.3} \quad \text{bzw. 6 Monate als Obergrenze, wobei}$$

t_{Ausfall} : Ausfalldauer des Fassungsreichs für die Trinkwasserversorgung in Monaten

m_{GW} : Eintragsmenge ins Grundwasser (gesättigte Zone) in m^3

Basis für diesen Ansatz bildet das Umweltscreening Bahnen [Umweltscreening 2008], wobei folgende Modellbetrachtungen die Grundlage darstellen:

- Das Gefahrgut (Leitstoff Benzin), welches die gesättigte Zone erreicht (Eintrag GW), löst sich im Grundwasserstrom langsam auf (die Sättigungskonzentration liegt mit 100 g/m^3 deutlich über dem Grenzwert von 0.02 g/m^3 , ab dem Trinkwasser als verschmutzt gilt und damit nicht mehr genutzt werden kann).
- Die Verschmutzung dauert so lange, bis alles Gefahrgut in Lösung übergegangen ist. Diese Zeitdauer hängt von der Gefahrgutmenge in der gesättigten Zone, der Löslichkeit in Wasser, der Fläche der Gefahrgutlinse, der Geschwindigkeit des Grundwasserstroms sowie der Mächtigkeit des Grundwasserträgers (bzw. der Dicke der Schicht, innerhalb der sich das Gefahrgut löst) ab. Es ergibt sich das Bild gemäss der nachfolgenden Abbildung.
- Um die Störfallwerte nach oben zu begrenzen, wird eine maximale Ausfalldauer von 6 Monaten zugrunde gelegt (vgl. Abbildung 17). Diese wird schon bei geringen Benzinnmengen erreicht, die in die gesättigte Zone gelangen. Der Grund dafür liegt in der langen Dauer des Lösungsprozess, da die Löslichkeit von Benzin in Wasser sehr gering ist.

Folgende Modellparameter werden zugrunde gelegt:

- Durchlässigkeit des Grundwasserleiters: $k = 0.001$
- Schichtdicke der ungelösten Schadstoffphase auf der Grundwasseroberfläche: 1 cm
- Grundwassermächtigkeit: 10 m
- Anteil der versickerten Gefahrgutmenge, die mittels Interventionsmassnahmen abgesaugt werden kann: 60%

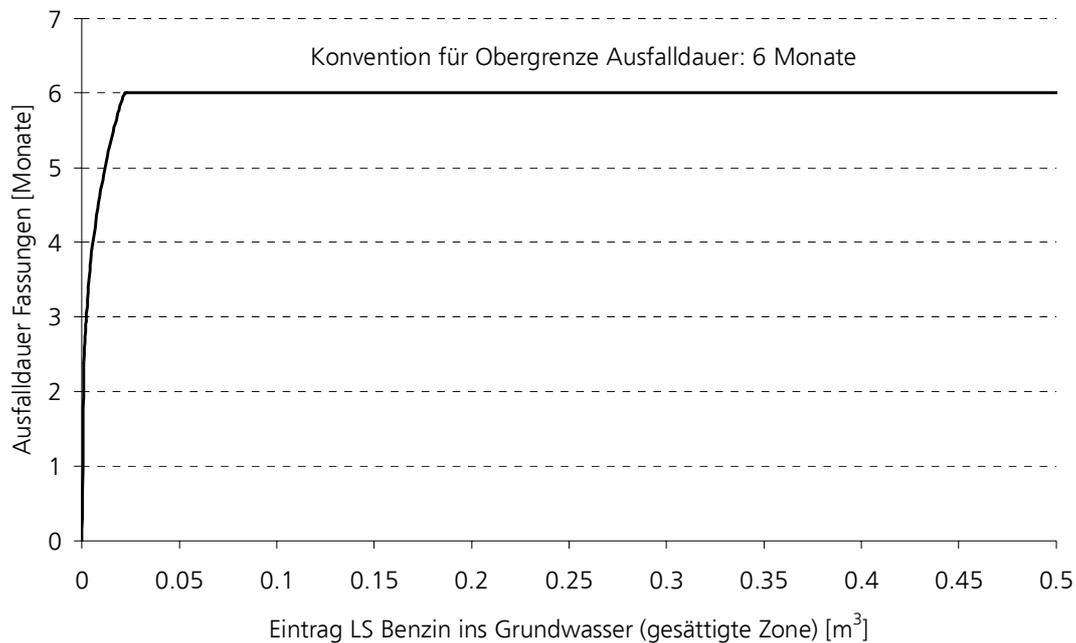


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen der Benzin-Menge, die in die gesättigte Zone gelangt und der Dauer der Verschmutzung

Der Störfallwert a wird schliesslich wie folgt ermittelt:

$$a = 0.3 \cdot \log_{10} \frac{t_{\text{Ausfall}} \cdot M}{400} - 3 \quad \text{wobei}$$

t_{Ausfall} : Ausfalldauer des Fassungsbereichs für die Trinkwasserversorgung in Monaten

M : kumulierte Fördermenge der betroffenen Trinkwasserfassungen in Liter/Minute

6.3 Schadenausmass Leitstoff Epichlorhydrin

6.3.1 Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien im Ereignisbaum

Die Szenarien zur Ermittlung der Umweltrisiken durch den Leitstoff Epichlorhydrin werden durch dieselben Einflussgrössen bestimmt wie beim Leitstoff Benzin, vgl. die Darstellung als Ereignisbaum in Abbildung 15. Im Unterschied zum Leitstoff Benzin wird jedoch nur eine Freisetzungsmenge von 5 t betrachtet.

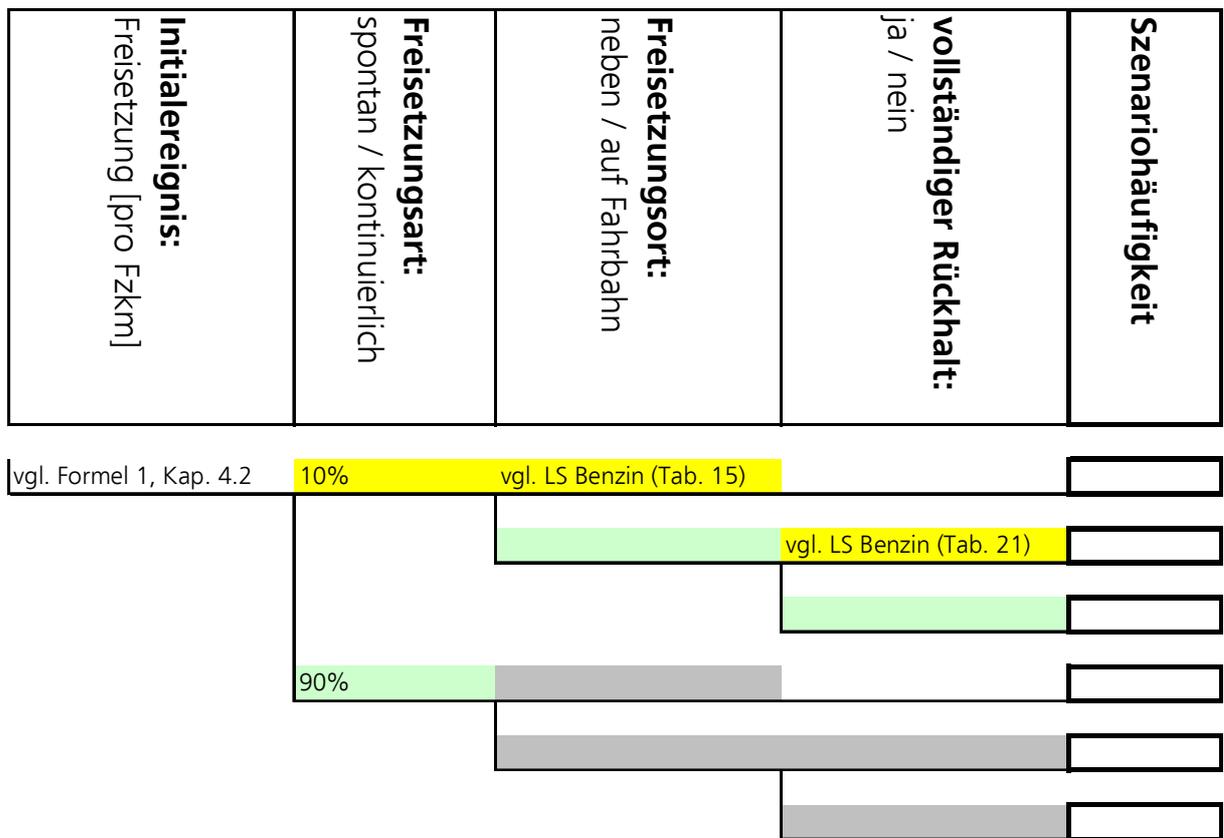


Abbildung 18: Ereignisbaum für den Leitstoff Epichlorhydrin mit bedingten Wahrscheinlichkeiten der betrachteten Szenarien. Farbcodes: gelb: Basiswerte, grün: Komplement zu 1, grau: Wiederholung identischer Werte

Nachfolgend sind die Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Szenarien festgehalten.

Freisetzungsort

Es werden dieselben Wahrscheinlichkeiten wie beim Leitstoff Benzin zugrunde gelegt:

- spontane Freisetzung: 0.1
- kontinuierliche Freisetzung: 0.9

Freisetzungsort

Es gelten dieselben Abhängigkeiten und Werte wie bei den Personenrisiken (Leitstoff Benzin), vgl. Kapitel 5.4.2.

Vollständiger Rückhalt

Ob ungeachtet der Freisetzungsmenge ein vollständiger Rückhalt sichergestellt werden kann, hängt in erster Linie vom Entwässerungssystem ab und nicht von den Eigenschaften des freigesetzten Gefahrguts. Es gelten deshalb dieselben Abhängigkeiten und Werte wie beim Leitstoff Benzin, vgl. Kapitel 6.2.1.

6.3.2 Ermittlung des Schadenausmasses für den Indikator "verschmutzte oberirdische Gewässer"

Fall 1: Freisetzung im Strassenbereich bei Entwässerung mit Einleitung in Vorfluter

Das Vorgehen ist analog wie beim Leitstoff Benzin. Der Unterschied liegt darin, dass wegen der Wasserlöslichkeit von Epichlorhydrin die Retention im Entwässerungssystem (z.B. Rückhaltebecken) kleiner ist als beim Leitstoff Benzin, da sich der Leitstoff Epichlorhydrin im Wasser löst und damit nur beschränkt zurückgehalten werden kann.

Die Rückhaltekapazität eines Rückhaltebeckens wird vereinfacht wie folgt bestimmt:

- Es wird angenommen, dass die 5 t freigesetztes Epichlorhydrin (entspricht 4.2 m^3)³²⁾ vollständig in das Rückhaltebecken gelangen und sich dort mit dem vorhandenen Wasser mischen. Dadurch wird dasselbe Volumen an verschmutztem Wasser verdrängt, welches in den Vorfluter gelangt.³³⁾
- Massgeblich für die Eintragsmenge von Epichlorhydrin in den Vorfluter $V_{\text{Epi,OG}}$ ist somit das Gesamtvolumen des Rückhaltebeckens $V_{\text{Rückhaltebecken}}$. Es gilt:

$$V_{\text{Epi,OG}} = V_{\text{Epi, Freisetzung}} \cdot \frac{V_{\text{Epi, Freisetzung}}}{V_{\text{Epi, Freisetzung}} + V_{\text{Rückhaltebecken}}}, \text{ wobei } V_{\text{Epi, Freisetzung}} = 4.2 \text{ m}^3$$

Für den Fall eines aktivierten Regenüberlaufs bei einem langsam durchflossenen Retentionsvolumen (z.B. ARA, Öko-SABA) wird angenommen, dass 90% des freigesetzten Epichlorhydrins in den Vorfluter gelangen.

32) Die Dichte von Epichlorhydrin beträgt 1.18 t/m^3 .

33) Der Fall eines starken Regens, für den das Rückhaltevermögen tiefer ist, wird hier ebenfalls nicht betrachtet (vgl. Fussnote 31).

Fall 2: Freisetzung im Strassenbereich bei Entwässerung über die Schulter bzw. Freisetzung ausserhalb des Strassenbereichs mit oberflächlichem Eintrag ins Oberflächengewässer

Der Eintrag ins Oberflächengewässer wird analog dem Leitstoff Benzin aufgrund der Daten aus dem Projekt Umweltscreening Bahnen in Prozent der Freisetzungsmenge bestimmt. Es werden ebenfalls die Werte aus Tabelle 23 verwendet. Die Eintragsmenge in das Oberflächengewässer wird analog zum Leitstoff Benzin berechnet.

Bei einer Grenzkonzentration von 1 g/m³ (Konzentration, oberhalb der von einer Verschmutzung gesprochen wird) gilt folgende Formel zur Ermittlung der verschmutzten Menge Wasser:

$$F_{\text{verschmutzt}} = \frac{m_{OG}}{10^{-6}} \quad \text{wobei}$$

$F_{\text{verschmutzt}}$: verschmutzte Fläche des OG in km²

m_{OG} : Eintragsmenge Epichlorhydrin in das OG in t

Für die Abschätzung des Schadenausmasses müssen die BK I herangezogen werden, da die BK II zu wasserlöslichen Stoffen bzw. zur Umrechnung eines verschmutzten Wasservolumens in einen Störfallwert keine Aussage machen. Danach gilt folgende Formel für die Ermittlung des Störfallwerts a:

$$a = -0.9 + 0.2 \cdot \log_{10} F_{\text{verschmutzt}} = 0.3 + 0.2 \cdot \log_{10} m_{OG}$$

Der Zusammenhang zwischen der Epichlorhydrin-Eintragsmenge in ein OG und dem Störfallwert ist im Kapitel 6.2.2, Abbildung 16 graphisch dargestellt.

7 Fallbeispiele und Vergleich mit anderen Risikoermittlungen

7.1 Einleitung

Nachfolgend wird die im vorliegenden Bericht dargestellte Screening-Methodik an den beiden folgenden Fallbeispielen angewendet:

- Autobahn A1 Umfahrung Winterthur gemäss Pilotrisikoanalyse (PRA) Strasse von EBP aus dem Jahr 1999,
- Abschnitt Wankdorf – Kiesen der A6 gemäss Risikoermittlung der Firma Gruner aus dem Jahr 2001.

Das Ziel besteht darin, die Ergebnisse der vorliegenden Screening-Methodik im Bereich der Personenrisiken mit den folgenden anderen Methoden zu vergleichen, um Unterschiede bei den resultierenden Summenkurven grob einordnen zu können:

- Methodik PRA Strasse von EBP aus dem Jahr 1999
- "Risikoanalyse Chlortransporte auf Durchgangsstrassen" von EBP (Arbeitshilfsmittel Version 1.0) aus dem Jahr 2008
- Methodik der Firma Gruner AG, auf der die Risikoermittlung des Abschnittes Wankdorf – Kiesen auf der A6 basiert

Dabei geht es primär um einen Vergleich der Schadenausmasse, da hier bei der Modellierung die grössten Unschärfen vorhanden sind. Es ist jedoch nicht das Ziel, die Gründe für allfällige Unterschiede detailliert auszuwerten, da dies bei der Komplexität der verwendeten Modelle eine aufwändige Analyse voraussetzt und die notwendigen Informationen teilweise nicht zur Verfügung stehen bzw. nicht hinreichend genau dokumentiert sind (Modell von Gruner).

Hinsichtlich der berücksichtigten Szenarien sind die drei betrachteten Modelle weitgehend vergleichbar. Der einzige Unterschied besteht darin, dass beim Leitstoff Chlor in der Screening-Methodik eine maximale Freisetzungsmenge von 1 t zugrunde gelegt, während in den beiden anderen Analysen jeweils die doppelte Menge angenommen wurde. Die Chlor-Summenkurven für die Screening-Methodik weisen dadurch ein tieferes Schadenausmass auf und liegen entsprechend tiefer.

Damit die Ergebnisse aus den drei betrachteten Modellen verglichen werden können, wird bei der Anwendung der Screening-Methodik wie folgt vorgegangen:

- Durch geeignete Wahl der Parameter werden dieselben Gefahrgutmengen (Anzahl Transporte pro Jahr) zugrunde gelegt wie in den obigen Fallbeispielen.
- Die Summe aus der Dichte der Arbeitsplätze sowie der Wohnbevölkerung wird gleich gewählt wie in den obigen Fallbeispielen.
- Es werden dieselben Freisetzungsraten pro Fahrzeug-km eingesetzt wie im jeweiligen Fallbeispiel (Grund: Vergleich der Schadenausmasse bei gleicher Freisetzungshäufigkeit).

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Modellierung der Personenexposition je nach Methodik unterschiedlich erfolgt. In der PRA wird vereinfachend angenommen, dass die Personendichte zeitlich konstant ist, und es wird nicht zwischen Wohn- und Arbeitsplatzbevölkerung unterschieden. Dagegen werden in der Screening-Methodik die beiden Personengruppen unterschieden und zeitabhängige Präsenzfaktoren in Anlehnung an den aktuellen Rahmenbericht "Erdgasanlagen" verwendet. Die unterschiedlichen Präsenzfaktoren sind in Tabelle 24 dargestellt.

Personensegment	Zeitperiode	in Gebäuden (PRA, angepasst)	in Gebäuden (Screening- Methodik)	im Freien (PRA, angepasst)	im Freien (Screening- Methodik)
Wohnbevölkerung	während Arbeitszeit (45 Std.)	80%	22%	10%	4%
	Tagesrandzeit bzw. Samstag (57 Std.)	85%	54%	5%	6%
Personen am Arbeitsplatz	während Arbeitszeit (45 Std.)	90%	81%	2%	9%
	Tagesrandzeit bzw. Samstag (57 Std.)	2%	4.5%	0.5%	0.5%

Tabelle 24: Präsenzfaktoren Personen

Für die Vergleichsrechnung wurden die Präsenzfaktoren in der Screening-Methodik soweit als möglich an die PRA bzw. an die Gruner-Methodik angepasst. Allerdings ist auch dadurch nicht sichergestellt, dass für alle Zeitabschnitte und Expositionen (im Freien bzw. in Gebäuden) die exakt gleiche Personenexposition zugrunde gelegt wird; sie dürfte jedoch zumindest ähnlich sein.

7.2 Fallbeispiel PRA A1 Umfahrung Winterthur

Modellierung als offene Strecke³⁴⁾

In Abbildung 19 ist die Summenkurve gemäss PRA für den Streckentyp "offene Strecke" dargestellt. Abbildung 20 zeigt die Summenkurven gemäss Screening-Methodik, Abbildung 21 diejenige für Chlor gemäss der Methode "Risikoanalyse Chlortransporte Durchgangsstrassen".

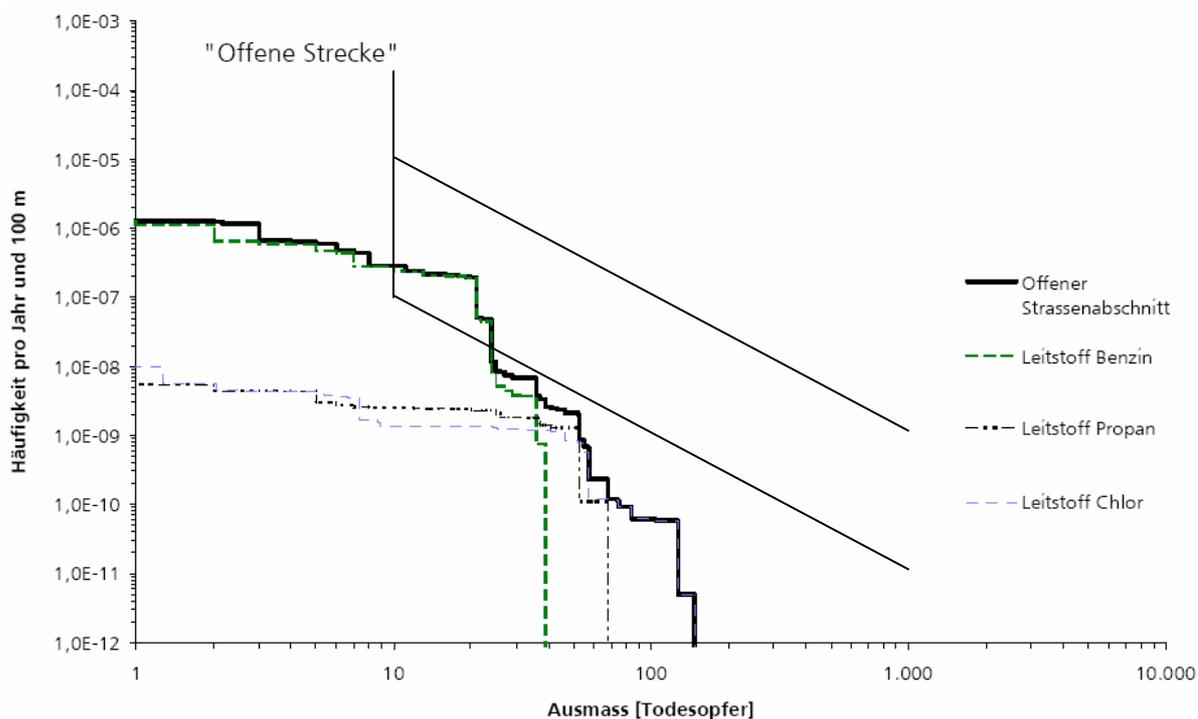


Abbildung 19: Summenkurven A1 Umfahrung Winterthur, Methodik PRA, offene Strecke

34) Strassenquerschnitt "mindestens einseitig offen".

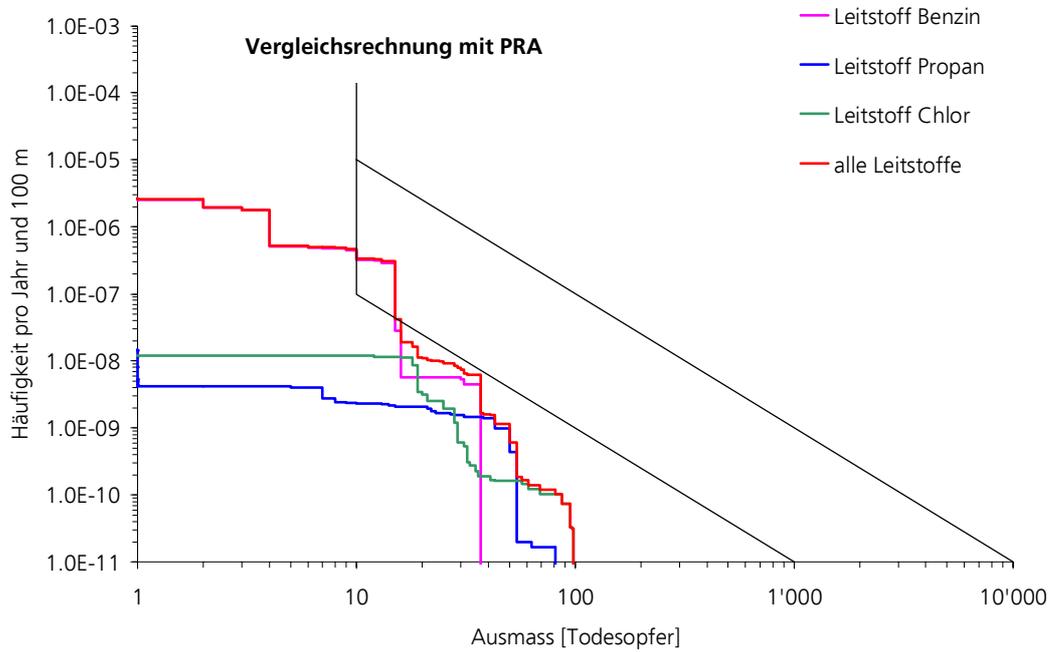


Abbildung 20: Summenkurven A1 Umfahrung Winterthur, Screening-Methodik, offene Strecke

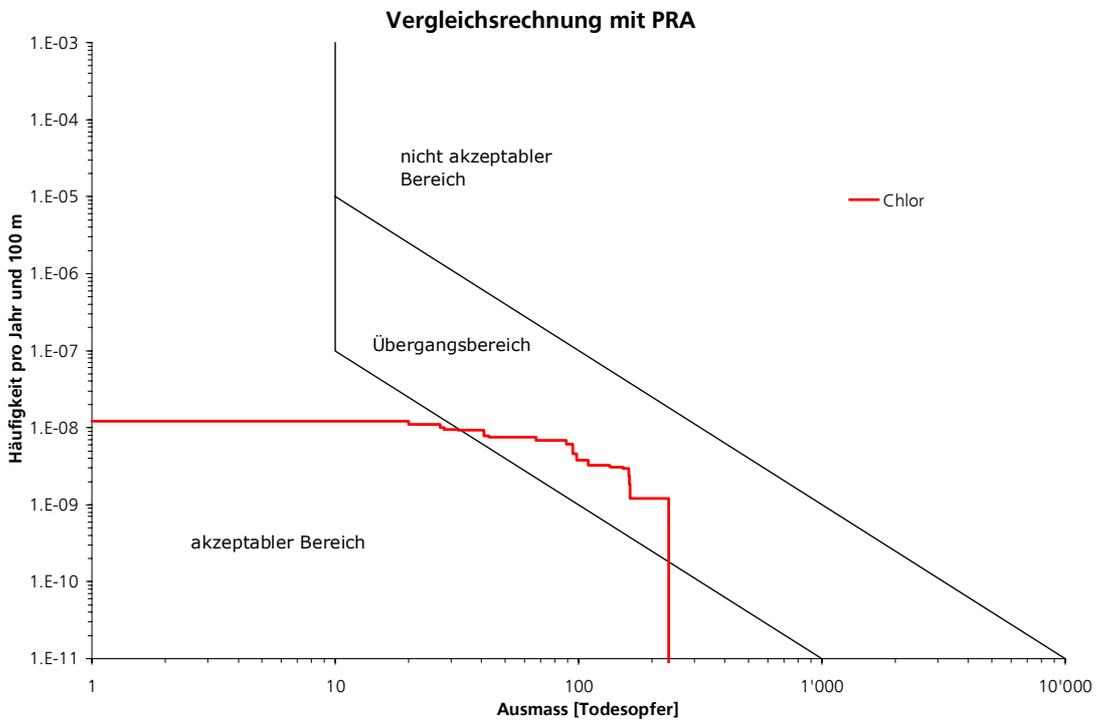


Abbildung 21: Summenkurven A1 Umfahrung Winterthur, Methodik "Risikoanalyse Chlortransporte Durchgangsstrassen", offene Strecke

Die Screening-Methodik liefert im Vergleich zur PRA für den Streckentyp "offene Strasse" für alle drei Leitstoffe ähnliche Summenkurven. Die Methodik "Risikoanalyse Chlortransporte Durchgangsstrassen" weist dagegen für den Leitstoff Chlor deutlich höhere Risiken aus. Dies ist vor allem auf konservativere Annahmen bei den Letalitäten zurückzuführen, was sich auch in einem ausgesprochen flachen Verlauf der Chlor-Summenkurve niederschlägt.

Modellierung als Strecke im Einschnitt

Nachfolgend sind die Summenkurven für den Streckentyp "Einschnitt" dargestellt:

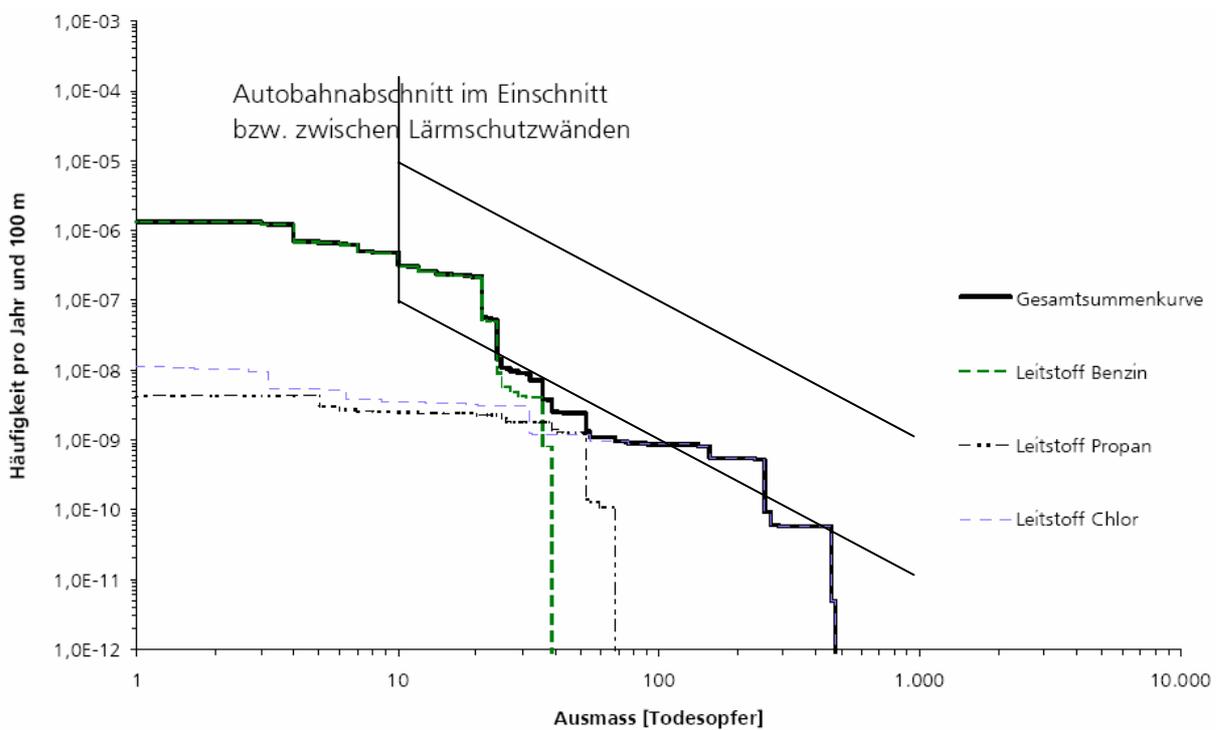


Abbildung 22: Summenkurven A1 Umfahrung Winterthur, Methodik PRA, Einschnitt

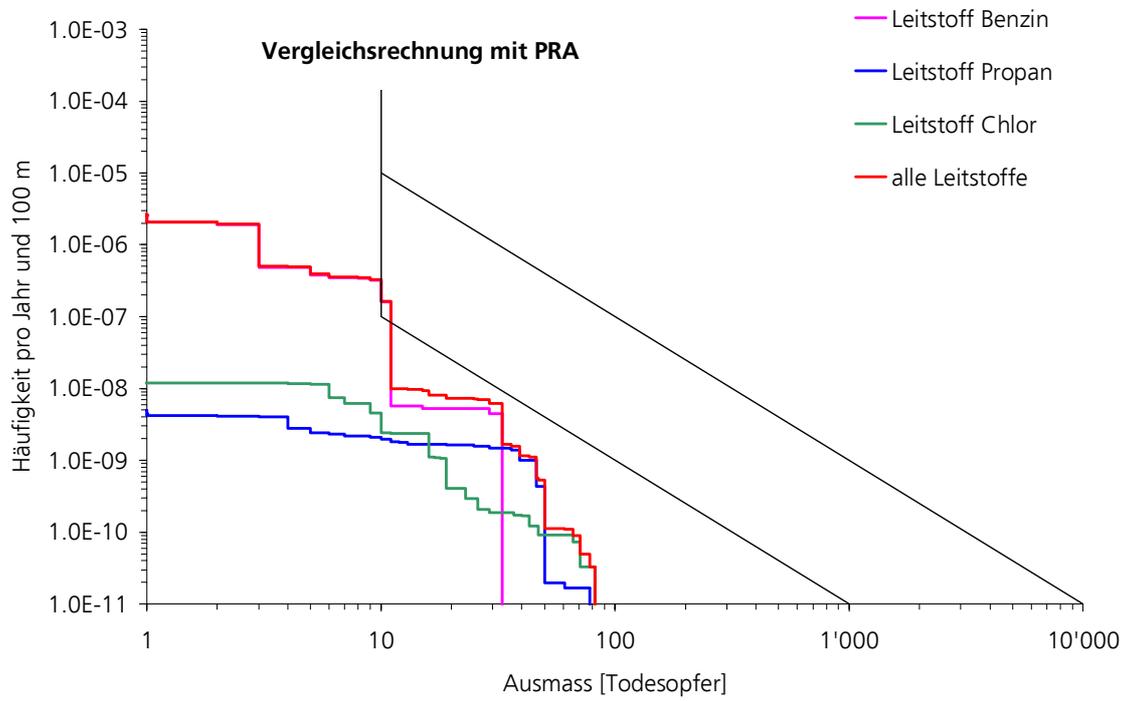


Abbildung 23: Summenkurven A1 Umfahrung Winterthur, Screening-Methodik, Einschnitt

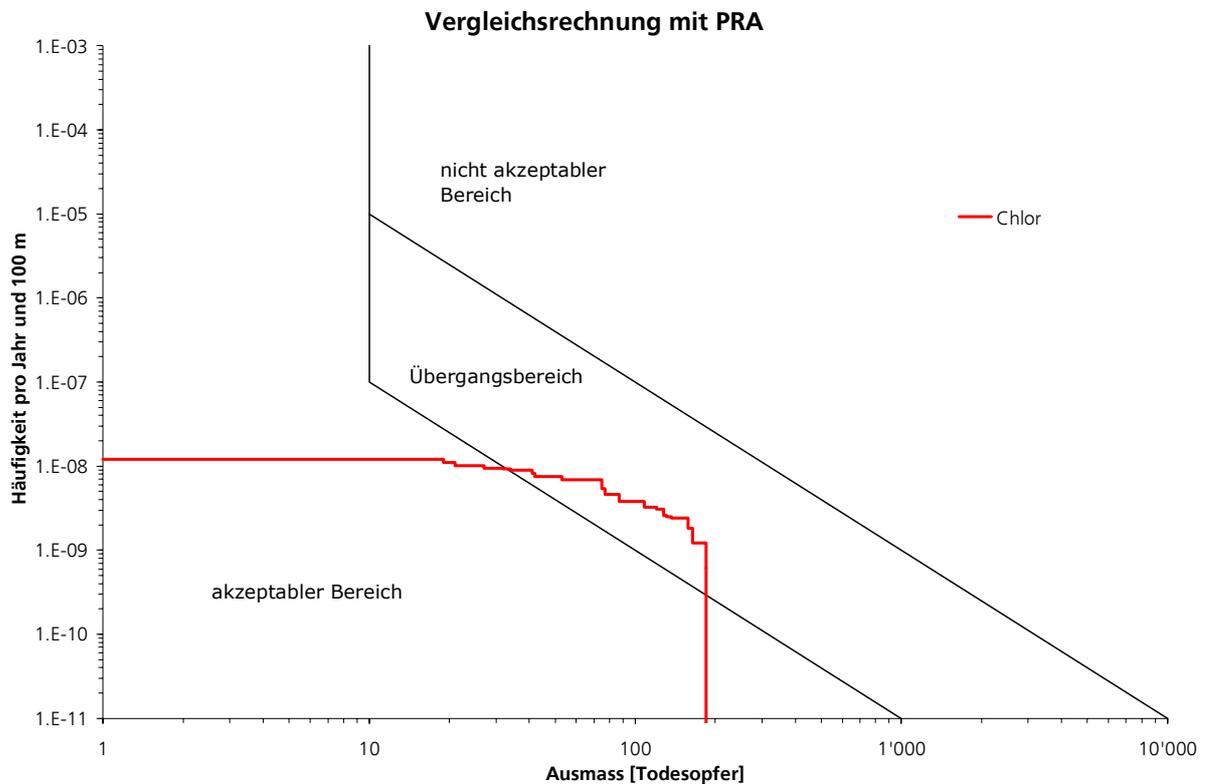


Abbildung 24: Summenkurve A1 Umfahrung Winterthur, Methodik "Risikoanalyse Chlortransporte Durchgangsstrassen", Einschnitt

Die Wirkung des Einschnitts äussert sich bei der PRA-Methodik in einer deutlichen Erhöhung des Schadenausmasses, da mit einem langen Einschnitt gerechnet wurde und die Distanz, über die Fahrzeuginsassen betroffen sind, deshalb deutlich höher angenommen wurde. Dies ist bei den beiden anderen Methodiken nicht der Fall, da nicht von einer gleich ausgeprägten Kanalisierung der Chlorausbreitung entlang der Strasse über längere Distanzen ausgegangen wird (da z.B. nur ein kurzer Einschnitt vorliegt).

7.3 Fallbeispiel A6 Wankdorf – Kiesen

Als zweites Fallbeispiel wurde der Streckenabschnitt Wankdorf – Kiesen der A6 mit der Screening Methodik Durchgangsstrassen durchgerechnet und mit den Ergebnissen der vorliegenden Risikoermittlung verglichen. Bezüglich der Präsenzfaktoren und der Szenarienbildung des Leitstoffs Chlor gelten dieselben Bemerkungen wie beim vorherigen Fallbeispiel.

Nachfolgend sind die Summenkurven gemäss der vorhandenen Risikoermittlung dargestellt:

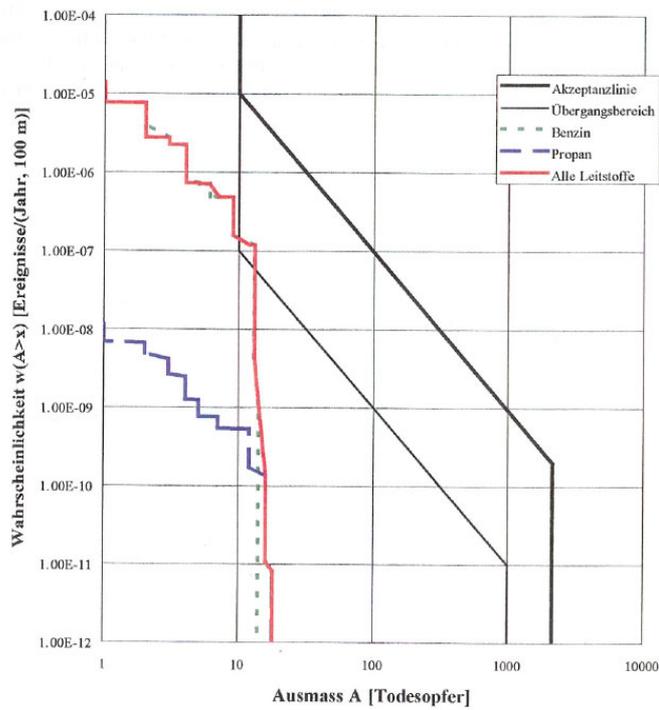


Abbildung 25: A6 Wankdorf – Kiesen, Summenkurve Brand (Gruner)

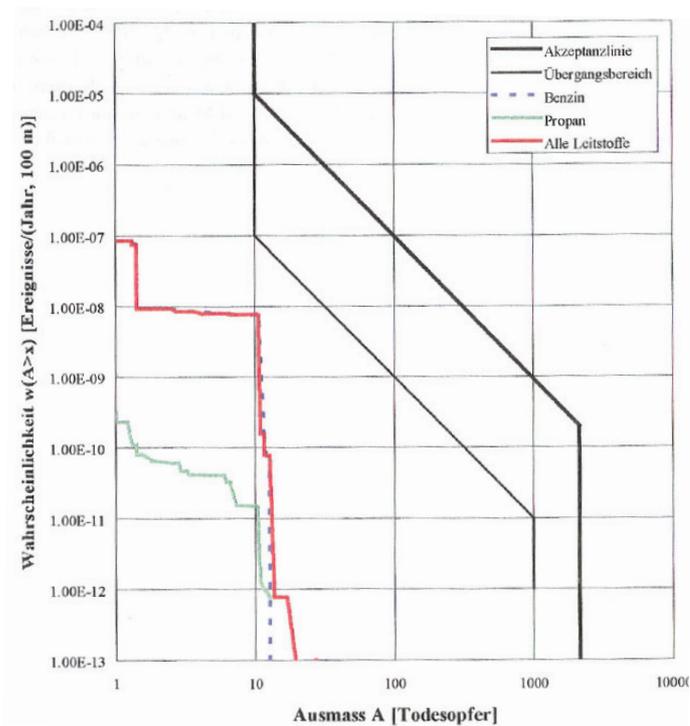


Abbildung 26: A6 Wankdorf – Kiesen, Summenkurve Explosion (Gruner)

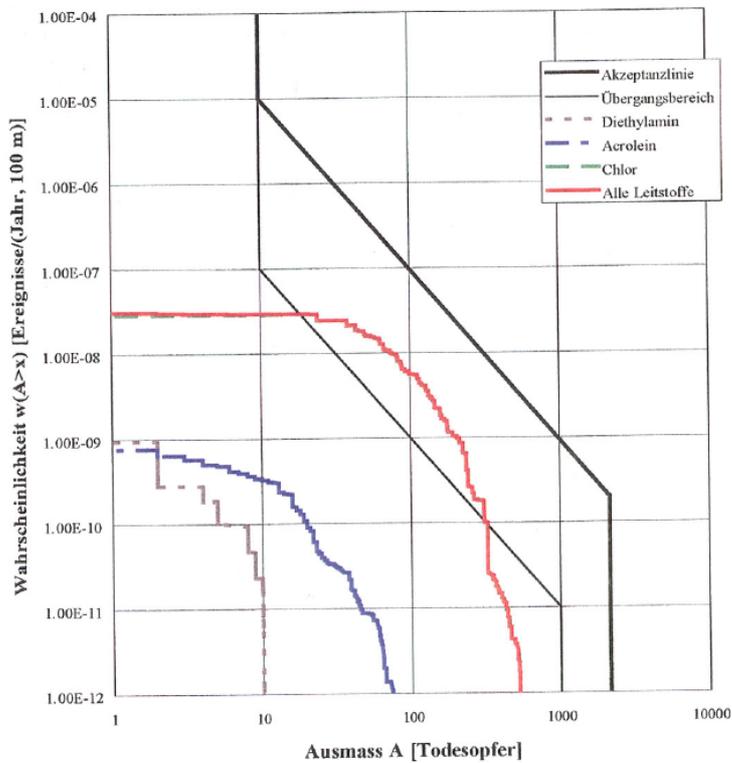


Abbildung 27: A6 Wankdorf – Kiesen, Summenkurve Toxizität (Gruner)
Die grüne Linie (Chlor) befindet sich unter der roten Linie.

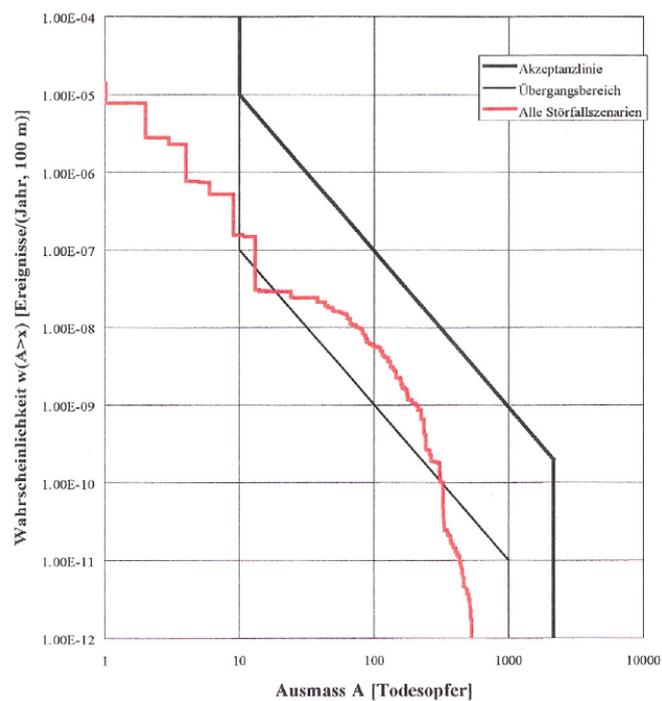


Abbildung 28: A6 Wankdorf – Kiesen, Gesamtsummenkurve (Gruner)

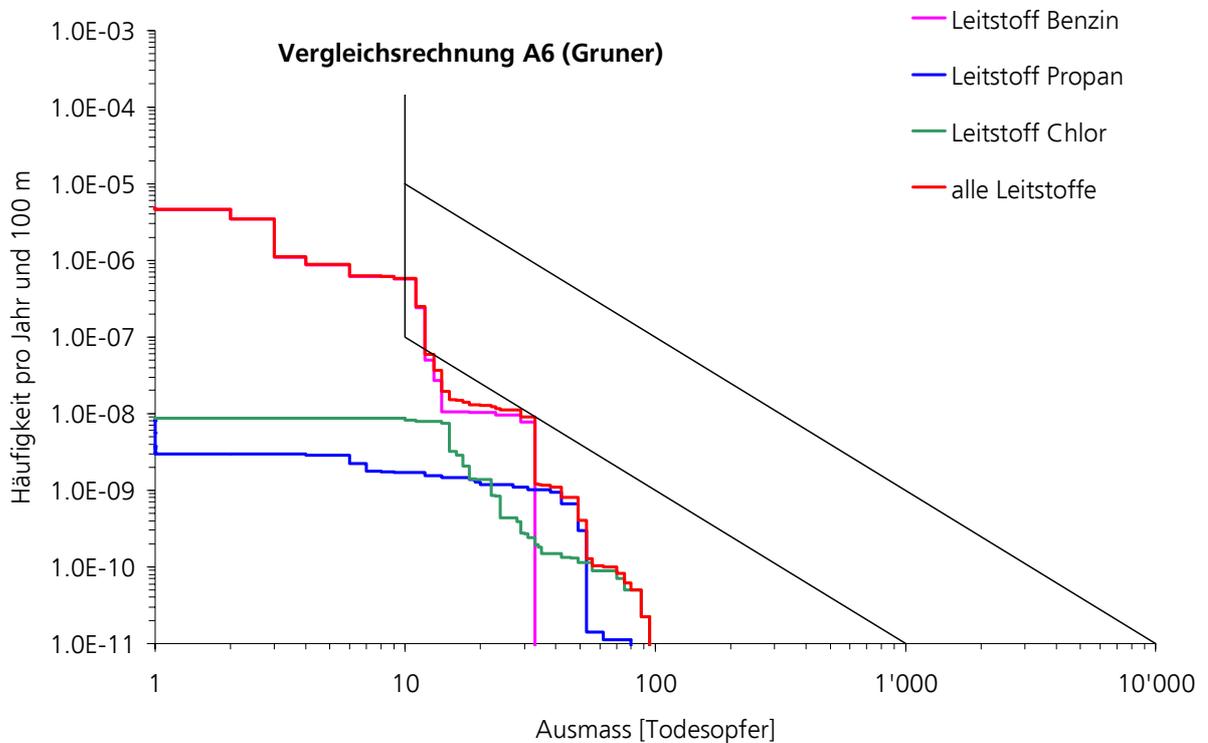


Abbildung 29: A6 Wankdorf – Kiesen, Screening-Methodik, offene Strecke

Die Übereinstimmung beim Leitstoff Benzin ist verhältnismässig gut. Die Propan-Summenkurve liegt gemäss Risikoermittlung Gruner deutlich tiefer. Die Chlor-Summenkurve wiederum liegt gemäss Risikoermittlung Gruner deutlich höher.

8 Ausschlusskriterien

Die Grundidee bei der Ausarbeitung und Anwendung von Ausschlusskriterien liegt darin, anhand einfach verfügbarer Daten pro Schadenindikator zwischen den folgenden zwei Arten von Streckenabschnitten eine Triage vorzunehmen:

- Risikomässig unbedenkliche Streckenabschnitte, für die keine weitergehenden Risikobetrachtungen notwendig sind (diese erfüllen die Ausschlusskriterien definitionsgemäss). In Bezug auf den entsprechenden Schadenindikator ist somit auch keine Risikoermittlung notwendig, so dass das Beurteilungsverfahren nach StFV auf Stufe KB abgeschlossen werden kann.
- Streckenabschnitte, für die eine genauere Betrachtung anhand der Screening-Methodik notwendig ist (diese erfüllen die Ausschlusskriterien nicht).

Solche Ausschlusskriterien helfen, den Vollzug der StFV effizient zu gestalten, indem unkritische Strecken mit wenig Bearbeitungsaufwand ausgeschieden und der Fokus auf problematischere Strecken gelenkt wird.

Ausschlusskriterien sollen verschärft oder grundsätzlich nicht angewendet werden, wenn unübliche Verhältnisse vorliegen (z.B. stark überdurchschnittliche Werte für den Schwerverkehrsanteil und / oder die ortsspezifische Unfallrate, Vorhandensein eines Sportstadions in unmittelbarer Strassennähe). Dies bedeutet, dass in solchen Fällen die Screening-Methodik anzuwenden ist, bevor auf Stufe KB ein Entscheid über die Notwendigkeit der Ausarbeitung einer Risikoermittlung gefällt wird.

Als Orientierung für die Ableitung von Ausschlusskriterien ist es zweckmässig, eine Grenzlinie zu definieren, unterhalb der die Summenkurve³⁵⁾ für den jeweiligen Indikator bei den Verhältnissen auf den schweizerischen Strassennetz liegt, wenn die entsprechenden Ausschlusskriterien eingehalten sind. In Abbildung 30 ist die Grenzlinie dargestellt, auf der sich die nachfolgend dargestellten Ausschlusskriterien orientieren. Die Grenzlinie verläuft bei einem Störfallwert von 0.3 (z.B. 10 Todesopfer) in der Mitte des Übergangsbereichs, verläuft dann bis zu einem Störfallwert von 0.5 (z.B. 46 Todesopfer) linear und verläuft von diesem Punkt an entlang der unteren Grenze des Übergangsbereichs. Würde man die rot dargestellte Grenzlinie entlang der unteren Grenze des Übergangsbereichs wählen, so fielen deutlich weniger Strassenabschnitte unter die Aus-

35) Gemeint ist die Gesamtsummenkurve pro Schadenindikator (aggregiert über die einzelnen Leitstoffe).

schlusskriterien.³⁶⁾ Nach Meinung der Begleitgruppe, welche die Grenzlinie und die resultierenden Ausschlusskriterien abgesegnet hat, ist es im Sinne eines effizienten Vollzugs der StfV - insbesondere in Bezug auf die kantonalen Durchgangsstrassen - zulässig, dass Streckenabschnitte unter die Ausschlusskriterien fallen, auch wenn eine genauere Betrachtung zeigen würde, dass die Summenkurve im Bereiche der Störfallwerte zwischen 0.3 und 0.5 noch leicht in den Übergangsbereich zu liegen kommt.

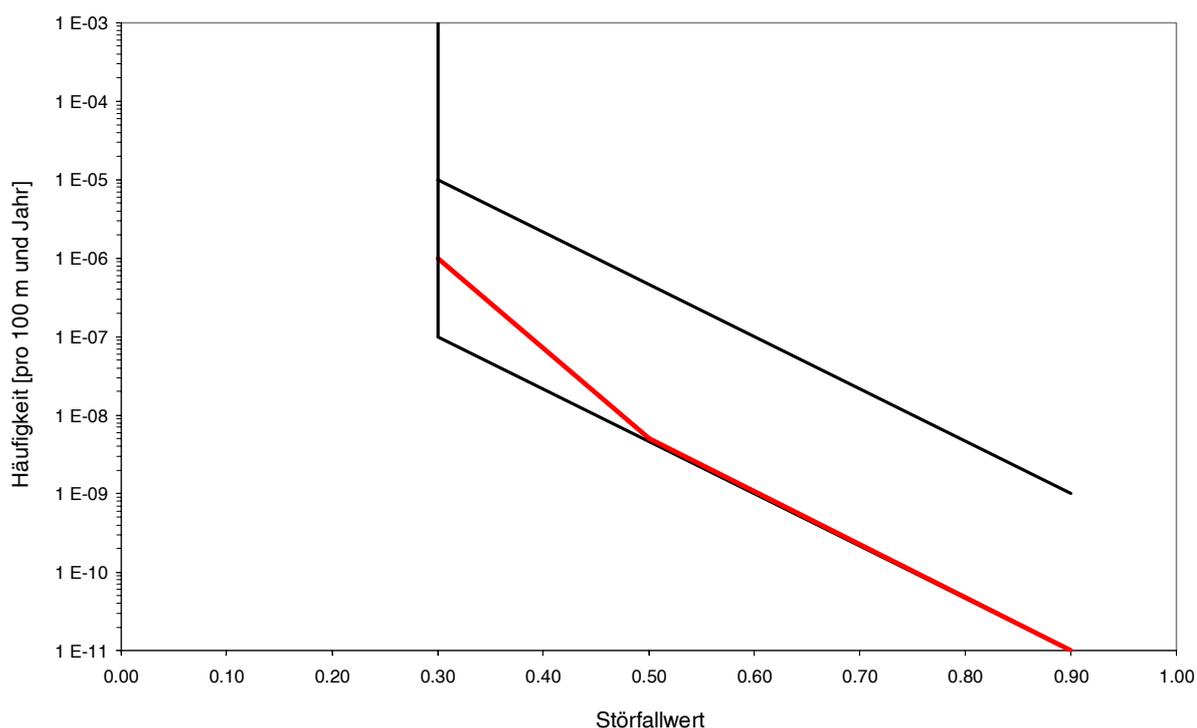


Abbildung 30: Lage der Grenzlinie, auf welcher die abgeleiteten Ausschlusskriterien basieren (rote Linie)

Da sich die Beurteilungskriterien für den Indikator "verschmutzte unterirdische Gewässer" zum Zeitpunkt der Ausarbeitung des vorliegenden Berichts noch in Überarbeitung befanden, können für diesen Indikator derzeit noch keine Ausschlusskriterien in Bezug auf Grösse bzw. Bedeutung der Trinkwasserfassungen (z.B. Fördermenge, Vorhandensein von Ersatzmassnahmen) angegeben werden. Die für diesen Schadenindikator angegebenen Ausschlusskriterien sind deshalb noch unvollständig und werden nach Vorliegen der definitiven Beurteilungskriterien ergänzt.

36) Es handelt sich dabei primär um Strecken ausserhalb des Nationalstrassennetzes, deren Summenkurve für den Indikator "Todesopfer" infolge von Ereignissen mit dem Leitstoff Benzin wegen betroffenen Fahrzeuginsassen noch in den Übergangsbereich zu liegen kommt. Die Anwendung der Screening-Methodik würde in diesen Fällen kaum zusätzliche Erkenntnisse liefern, und auch in der Praxis umsetzbare risikomindernde Massnahmen dürften daraus kaum resultieren.

Als Ausschlusskriterien werden im Folgenden nur ortsspezifische Einflussgrössen in Betracht gezogen, die im Rahmen der Screening-Methodik berücksichtigt werden und die im Allgemeinen mit vergleichsweise wenig Aufwand bestimmt werden können. Folgende Grössen werden herangezogen:

- Für alle Indikatoren: DTV³⁷⁾.
- Für Indikator "Todesopfer": Personendichte (als Anwohner bzw. Arbeitsplätze) innerhalb eines Abstands von 500 m von der Strasse.
- Für Indikator "verschmutzte oberirdische Gewässer":
 - Lage und Grösse des nächsten Oberflächengewässers (insbes. dessen Distanz von der Strasse).
 - Art der Entwässerung (über Schulter, Einleitung in Vorfluter bzw. in Versickerungsbauwerke); bei einer Einleitung in den Vorfluter zudem die Grösse allfälliger Retentionsbecken.
- Für Indikator "verschmutzte unterirdische Gewässer": Distanz zur nächstgelegenen Trinkwasserfassung sowie Höhenlage relativ zur Strasse.

Das Vorgehen für die Festlegung der Ausschlusskriterien kann wie folgt zusammengefasst werden:

- In einem ersten Schritt werden Konventionen angewendet, die sich im praktischen Vollzug der StfV eingebürgert haben (z.B. Mindestwert für den DTV von 5'000), bzw. die bereits Teil der Screening-Methodik sind (z.B. Grösse eines Fließgewässers, maximaler Abstand zu Trinkwasserfassungen, für die noch eine Verschmutzung als möglich erachtet wird).
- In einem zweiten Schritt werden anhand der Screening-Methodik weitere Ausschlusskriterien pro Schadenindikator rechnerisch so ermittelt, dass die Summenkurve gerade unterhalb der Grenzlinie gemäss Abbildung 30 zu liegen kommt.³⁸⁾ Die ermittelten Werte werden im Hinblick auf die praktische Anwendung vereinfacht (z.B. Rundung, Verwendung einheitlicher DTV-Klassen für alle Indikatoren).

Nachfolgend werden die ermittelten Kombinationen von Ausschlusskriterien in Form von je einem Flussdiagramm für jeden Schadenindikatoren dargestellt.

37) Auf die Berücksichtigung des Strassentyps wird dagegen verzichtet, da gemäss Screening-Methodik dessen Einfluss auf die Lage der Summenkurve eher bescheiden ist.

38) Dies soll auch gelten, wenn für die in der Screening-Methodik verwendeten Einflussgrössen zur Charakterisierung der Umgebung, die nicht als Ausschlusskriterien herangezogen werden, ungünstige Werte zugrunde gelegt werden (z.B. steiles Gelände zwischen Strasse und Oberflächengewässer). In Bezug auf das Gefahrgutaufkommen wird von vorsichtig gewählten Durchschnittswerten ausgegangen.

Indikator "Todesopfer"

Die Ausschlusskriterien für den Indikator "Todesopfer" sind in der folgenden Abbildung Abbildung 31 dargestellt.

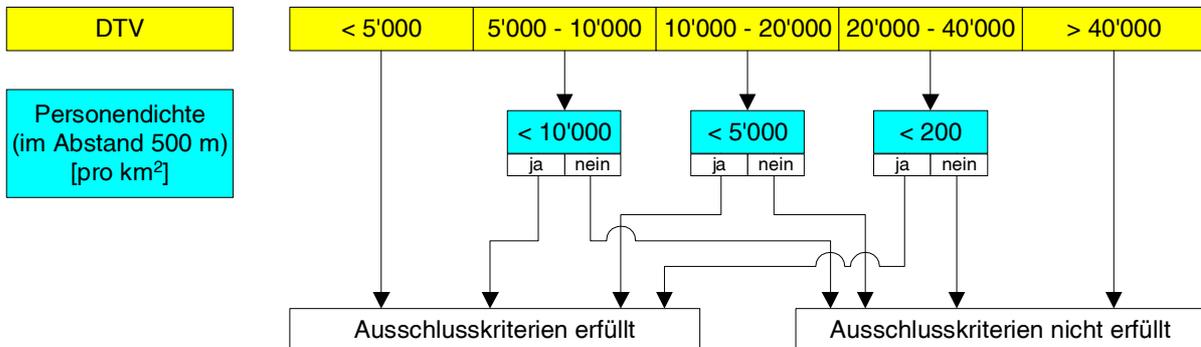


Abbildung 31: Ausschlusskriterien für den Indikator "Todesopfer"

Indikator "verschmutzte oberirdische Gewässer"

In Bezug auf eine mögliche Verschmutzung von Oberflächengewässern (OG) müssen zwei unterschiedliche Ausbreitungspfade von Gefahrutflüssigkeiten betrachtet werden:

- Direkter Eintrag in ein nahe gelegenes Oberflächengewässer.
- Einleitung via Entwässerung in ein Oberflächengewässer, das als Vorfluter dient.
Dieser Pfad ist bei einer Entwässerung über die Schulter bzw. bei der Entwässerung in ein Versickerungsbauwerk, das den Umweltschutzanforderungen entspricht, nicht massgeblich.

Es gelten die in der folgenden Abbildung 32 dargestellten Ausschlusskriterien. Bei einem DTV über 5'000 müssen beide oben beschriebenen Ausbreitungspfade die angegebenen Kriterien erfüllen (d.h. "unkritisch" sein), damit die Ausschlusskriterien erfüllt sind.

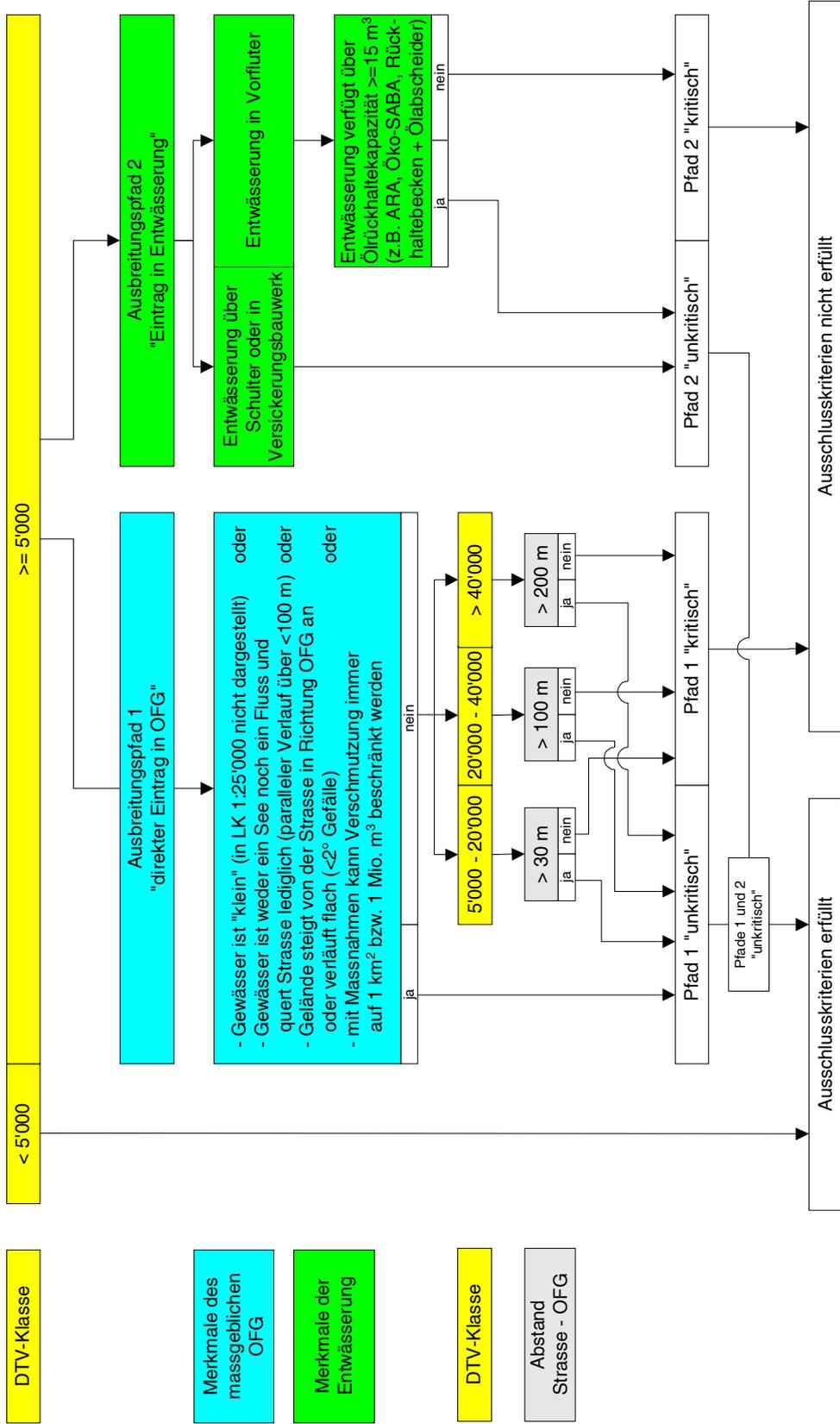


Abbildung 32: Ausschlusskriterien für den Indikator "verschmutzte oberirdische Gewässer" (OFG bedeutet Oberflächengewässer)

Indikator "verschmutzte unterirdische Gewässer"

Ist eine Entwässerung vorhanden und mündet diese in eine Versickerungsanlage, so muss diese gemäss den Umweltschutzbestimmungen so platziert sein, dass eine Gefährdung von Trinkwasserfassungen ausgeschlossen werden kann. Da zudem eine Exfiltration von Wasser aus einem verschmutztem Oberflächengewässer in einen Grundwasserträger nicht betrachtet wird, verbleibt als einziger zu betrachtender Ausbreitungspfad für den Indikator "verschmutzte unterirdische Gewässer" der direkte Eintrag von Gefahrgutflüssigkeiten in den Boden.

Die derzeit noch unvollständigen, nach Vorliegen der bereinigten Beurteilungskriterien zu ergänzenden Ausschlusskriterien sind in der folgenden Abbildung 33 dargestellt.

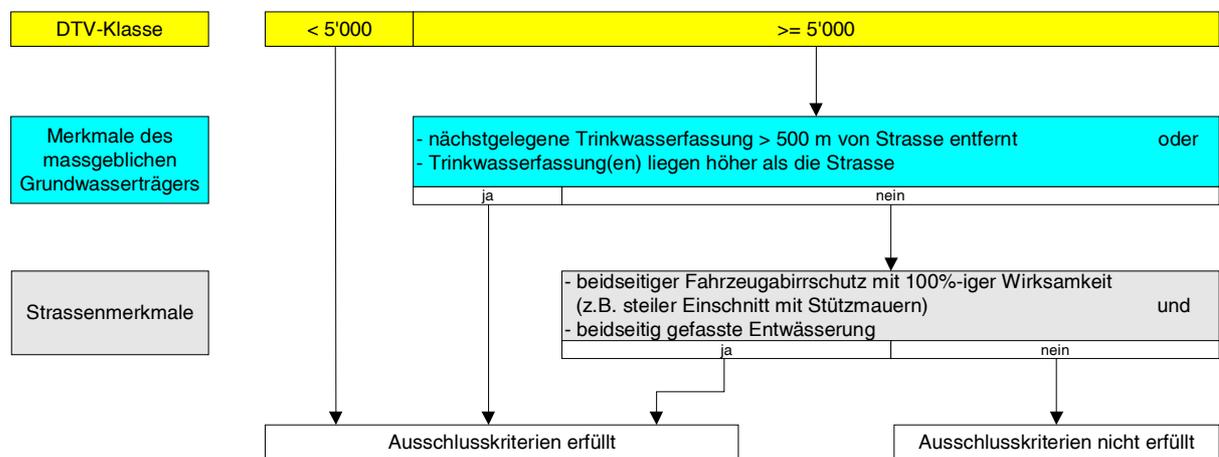


Abbildung 33: Ausschlusskriterien für den Indikator "verschmutzte unterirdische Gewässer"

Ist die Fliessrichtung des Grundwasserträgers bekannt, so kann das obige Abstandskriterium für die nächstgelegene Trinkwasserfassung noch verschärft werden. Bei einer Fliessrichtung von der (den) Fassung(en) in Richtungen Strasse kann der obige Abstandsbereich von 500 m auf 100 m reduziert werden; bei einer Fliessrichtung parallel zur Strasse auf 200 m.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Das heute übliche Kurzberichtsverfahren, wie es sich auf Basis der Vorgaben im Handbuch III zur StfV für Durchgangsstrassen etabliert hat, wird von verschiedener Seite als verbesserungswürdig angesehen. Insbesondere wird das vorgeschlagene Verfahren zur Ermittlung der H_5 -Werte teilweise als zu grob empfunden, insbesondere was den Einfluss der vorhandenen Sicherheitsmassnahmen anbetrifft. Dies führt dazu, dass die H_5 -Werte die Höhe der Risiken teilweise nur unzureichend wiedergeben. Es besteht deshalb das Bedürfnis, eine Alternative zum Beurteilungsverfahren anhand der H_5 -Werte zu haben.

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit Screening-Verfahren bei der Bahn wurde durch eine Begleitgruppe mit Vertretern von Störfallfachstellen des Bundes und der Kantone mit Unterstützung der Ernst Basler + Partner AG eine Screening-Methodik für Durchgangsstrasse ausgearbeitet, welche im vorliegenden Bericht dokumentiert ist. Für die einfache Anwendung der Screening-Methodik wurde zudem eine EDV-Applikation entwickelt.

Mit der dargelegten Screening-Methodik ist es möglich, in Abhängigkeit der wichtigsten ortsspezifischen Einflussgrössen die Summenkurven für die drei Schadenindikatoren "Todesopfer", "verschmutzte oberirdische Gewässer" und "verschmutzte unterirdische Gewässer" für beliebige Durchgangsstrassenabschnitte nach einer einheitliche Methodik zu ermitteln. Diese Summenkurven stellen eine gute Näherung an die Ergebnisse dar, die von einer ortsspezifischen Risikoermittlung zu erwarten sind. Einzig in sehr speziellen Fällen, beispielsweise bei stark karstigem Untergrund, ist die Methodik für die entsprechenden Indikatoren unter Umständen nicht sinnvoll anwendbar. Die Screening-Methodik stellt eine vom BAFU akzeptierte Alternative zum Verfahren nach Handbuch III dar.

Im Vergleich zum Verfahren nach Handbuch III werden bei der Screening-Methodik die örtlichen Gegebenheiten für die Ermittlung der Risiken wesentlich genauer erfasst. Mit der Screening-Methodik ist es auch möglich, die wichtigsten in der Praxis vorkommenden Sicherheitsmassnahmen bei der Ermittlung der Risiken zu berücksichtigen (z.B. Entwässerungssystem mit den vorhandenen Retentionsmassnahmen, Fahrzeugrückhaltesystem). Die Berechnungsmethodik wird dadurch komplexer als das Verfahren nach Handbuch III. Dank der EDV-Applikation "Screening Durchgangsstrassen", welche in der Version 1.0 vorliegt und allen interessierten Stellen abgegeben werden soll, ist die Anwendung der Screening-Methodik dennoch sehr einfach, da der Anwender die Methodik nicht im Einzelnen kennen muss.

Für eine möglichst einfache Beurteilung von unkritischen Strecken wurden Ausschlusskriterien entwickelt anhand von Daten, die im Allgemeinen zur Verfügung stehen bzw. einfach beschafft werden können. Sind diese Ausschlusskriterien erfüllt, so kann ohne Anwendung der Screening-Methodik entschieden werden, dass auf eine Risikoermittlung verzichtet werden kann, so dass das Beurteilungsverfahren auf Stufe Kurzbericht abgeschlossen werden kann.

Damit mit Hilfe der Screening-Methodik das Beurteilungsverfahren für Durchgangsstrassen in der Praxis vereinfacht werden kann, wird empfohlen, folgende zusätzlichen Arbeiten auszulösen:

- Erarbeiten von Vorgaben, wie ein Kurzbericht unter Verwendung der Ergebnisse aus der Screening-Methodik aufgebaut werden soll. Ziel ist es, dass zukünftige Kurzberichte kürzer und prägnanter sind als herkömmliche Kurzberichte und möglichst effizient erstellt werden können, aber dennoch alle für die Beurteilung notwendigen Angaben enthalten. Zudem ist zu prüfen, wie eine Aktualisierung eines Kurzberichts möglichst einfach vorgenommen werden kann.
- Ausarbeitung von Ausbildungsunterlagen zuhanden der Stellen, welche Kurzberichte ausarbeiten bzw. in Auftrag geben (kantonale Tiefbauämter, ASTRA-Filialen). Mit diesen Unterlagen sollen bei Bedarf Ausbildungsveranstaltungen durchgeführt werden können mit dem Ziel, die Erstellung von Kurzberichten mittels der Screening-Methodik schweizweit bekannt zu machen und zu fördern.

A1 Grundlagen

Bedienungsanleitung 2010	Bundesamt für Strassen, Bundesamt für Umwelt, Amt für Verbraucherschutz Kanton Aargau Störfallrisiken auf Durchgangsstrassen Bedienungsanleitung EDV-Applikation "Screening Durchgangsstrassen" Version 1.0 Ernst Basler + Partner AG, 1. April 2010
BFS 2008	Bundesamt für Statistik, BFS Aktuell, 11 Mobilität und Verkehr Leistungen der Sachtransportfahrzeuge Aktualisierte Zeitreihen bis 2007, Dezember 2008
BFS / BFU	Zahlreiche Verkehrs- und Unfallstatistiken der Schweiz www.bfs.admin.ch und www.bfu.ch
BUWAL 2001	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) Beurteilungskriterien II zur Störfallverordnung (StFV) vom August 2001 August 2001
Handbuch III	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) Handbuch III zur Störfallverordnung (StFV) Richtlinien für Verkehrswege, Dezember 1992
PRA 1999	Unterarbeitsgruppe "Beurteilungskriterien Verkehrswege" Pilotrisikoanalyse für den Transport gefährlicher Güter - Fallbeispiel Autobahn Ernst Basler + Partner AG, August 1999
SBW 2008	Statistisches Bundesamt Wiesbaden[Hrsg.], Uwe Reim Gefahrguttransporte 2006 In: Wirtschaft und Statistik, 5/2008
Umweltscreening 2008	Bundesamt für Verkehr, Abteilung Sicherheitstechnologie Umwelt Screening der Umweltrisiken - Bericht zur Methodik und Ergebnisse Ernst Basler + Partner AG, Stand: 28. April 2008
SDR Statistik 2007	Bundesamt für Statistik Schweizerische Verkehrsstatistik, Leistungen der Sachtransportfahrzeuge, aktualisierte Zeitreihen (Anhangtabelle) T7 Transportgut und Transportleistung der schweren inländischen Fahrzeuge nach Warenart Stand November 2007

A2 Anwendungsbeispiel

Nachfolgend wird an einem fiktiven Anwendungsbeispiel Folgendes dargestellt:

- Eingabemaske in Excel mit der Liste aller ortsspezifischen Einflussgrößen (vgl. Tabelle auf der folgenden Seite)
- Ergebnisdokumentation bei Anwendung der EDV-Applikation Version 1.0 (HARechner) mit Dokumentation von Eingabewerten, Stützstellen der Summenkurven und Darstellung der Summenkurven in zwei H-A-Diagrammen (vgl. nachfolgende Seiten).

Thema	Grösse	Einheit	Eingabewerte Element 1	
Bearbeitungsangaben	Bearbeiter	-	EBP	
	Bearbeitungsdatum	-	01.04.10	
Elementidentifikation	Kurzbezeichnung (z.B. Elementnummer)	-	Illustration Ausschlusskriterien	
	Bezeichnung Strasse	-	Musterstrasse	
	Ortsangabe (z.B. Kilometrierung)	-	Musterort	
	Kanton	-	BE	
	Zusatzangabe	-	-	
Segmentbezeichnung	-	Mustersegment		
Ausschlusskriterien	Beurteilung Ausschlusskriterien	-	nicht erfüllt	
Strassenmerkmale und Verkehrsaufkommen				
Elementlänge	Elementlänge	km	1	
Strassenmerkmale	Strasstyp	-	Autobahn mit Richtungsverkehr	
	Anzahl Fahrspuren pro Richtung	-	2	
Verkehrsaufkommen <i>(LS: Leitstoff)</i>	DTV (Summe über beide Fahrtrichtungen)	Fzg/Tag	20'000	
	Anteil Schwerverkehr (SV)	% des DTV	10.0%	
	Anteil Gefahrguttransporte (Ggt) am Schwerverkehr	% des SV	8%	
	Anteil LS Benzin an Gefahrguttransporten	% der Ggt	60%	
	Anteil LS Propan an Gefahrguttransporten	% der Ggt	1.0%	
	Anteil LS Chlor an Gefahrguttransporten	% der Ggt	0.05%	
	Anteil LS Epichlorhydrin an Gefahrguttransporten	% der Ggt	1.5%	
	Korrekturfaktor lokale Unfallrate	-	1	
Transportanteil während Arbeitszeit (0800-1700 Uhr Mo-Fr)	-	70%		
Personenrisiken				
Personendichten	<i>Wohnbevölkerung</i>	0 - 50 m	Pers./km ²	5'000
		50 - 200 m	Pers./km ²	5'000
		200 - 500 m	Pers./km ²	5'000
	<i>Anzahl Arbeitsplätze (Vollzeit-Äquivalent)</i>	0 - 50 m	Pers./km ²	5'000
		50 - 200 m	Pers./km ²	5'000
		200 - 500 m	Pers./km ²	5'000
	<i>zusätzliche Personen Nahbereich</i>	0 - 50 m im Freien, während Arbeitszeit	Pers./km ²	0
		50 - 200 m im Freien, während Arbeitszeit	Pers./km ²	0
		0 - 50 m in Gebäuden, während Arbeitszeit	Pers./km ²	0
		50 - 200 m in Gebäuden, während Arbeitszeit	Pers./km ²	0
		0 - 50 m im Freien, restliche Transportzeiten	Pers./km ²	0
		50 - 200 m im Freien, restliche Transportzeiten	Pers./km ²	0
		0 - 50 m in Gebäuden, restliche Transportzeiten	Pers./km ²	0
	50 - 200 m in Gebäuden, restliche Transportzeiten	Pers./km ²	0	
Anzahl Fahrzeuge (für Berechnung Staubildung)	DTV-Anteil während Arbeitszeit (45 Std./Woche)	% des DTV	53%	
	DTV-Anteil während restlicher Transportzeit (57 Std./Woche)	% des DTV	38%	
Abirren von Strasse	Fahrzeugrückhaltesystem	-	H1 ("normale Leitplanken")	
Lage Strasse	Strassenquerschnitt	-	beidseitig Lärmschutzwände	
Selbstrettung	seitliche Zugänglichkeit Strasse	-	beidseitig eingeschränkt	
Umweltrisiken				
Situation Oberflächengewässer <i>(OG: Oberflächengewässer)</i>	Geländecharakteristik zw. Strasse und OG	-	abfallend	
	Distanz zum nächsten OG	m	100 - 200	
	Durchschnittliche Steigung zw. Strasse und OG	°	>20	
Situation Grundwasser	Trinkwasserfassungen innhalb 500 m zur Strasse vorhanden?	-	ja	
	Fließrichtung Grundwasser	-	von Grundwasserfassung zur Fahrbahn	
	Kumulierte Fördermenge innerhalb 0 - 100 m	l/min.	450	
	Kumulierte Fördermenge innerhalb 100 - 200 m	l/min.		
Entwässerung	Kumulierte Fördermenge innerhalb 200 - 500 m	l/min.		
	Flurabstand	m	5	
	Art Entwässerungssystem	-	Einleitung in Vorfluter	
	Retentionsbecken	-	langsam durchflossen	
	Retentionsvolumen total	m ³		
Intervention (Umwelt)	Retentionsvolumen LS Benzin	m ³		
	Schieber	-		
	Regenüberlauf	-	ja	
Massnahmen OG (LS Benzin)	Dauer bis Einsatz Ereignisdienste	-		
	Möglichkeit Begrenzung verschmutzte Fläche OG maximal verschmutzte Fläche	-	nein	
		km ²		

Ergebnisse: Stützstellen Summenkurve Segment

Segmentbezeichnung: Mustersegment
Anzahl Elemente: 1
Bezeichnung Elemente: Illustration Ausschlusskriterien

Bearbeiter: EBP
Bearbeitungsdatum: 01.04.10

Achtung: Angaben zur Segmentbezeichnung sowie zur Bearbeitung stammen vom 1. Element
(sie sollten für alle Elemente des Segments grundsätzlich gleich gewählt werden)

Benzin (Personen)		Propan (Personen)		Chlor (Personen)		alle Leitstoffe (Personen)		Benzin (Oberflächengewässer)		Epiclorydrin (Oberflächengewässer)		alle Leitstoffe (Oberflächengewässer)		Benzin (Grundwasser)	
Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert
27	1.0E-20	96	1.0E-20	198	1.0E-20	198	1.0E-20	0.300	1.0E-20	0.431	1.0E-20	0.431	1.0E-20	0.296	1.0E-20
27	6.8E-09	96	2.5E-11	198	1.4E-12	198	1.4E-12	0.300	5.0E-09	0.431	1.3E-08	0.431	1.3E-08	0.296	4.5E-08
27	6.8E-09	96	2.5E-11	198	1.4E-12	198	1.4E-12	0.300	5.0E-09	0.431	1.3E-08	0.431	1.3E-08	0.296	2.5E-06
25	6.8E-09	69	2.5E-11	161	1.4E-12	161	1.4E-12	0.247	5.0E-09	0.370	1.5E-08	0.370	1.5E-08	0.000	2.5E-06
25	9.7E-09	69	3.8E-10	161	1.9E-12	161	1.9E-12	0.247	1.7E-08	0.370	2.1E-08	0.370	2.1E-08	0.000	3.2E-05
18	9.7E-09	67	3.8E-10	133	1.9E-12	133	1.9E-12	0.181	1.7E-08	0.040	2.1E-08	0.040	2.1E-08		
18	1.0E-08	67	3.9E-10	133	2.1E-11	133	2.1E-11	0.181	6.2E-08	0.040	7.8E-08	0.300	2.6E-08		
14	1.0E-08	65	3.9E-10	131	2.1E-11	131	2.1E-11	0.090	6.2E-08	0.000	7.8E-08	0.247	3.7E-08		
14	3.0E-08	59	8.7E-10	131	4.7E-11	131	4.7E-11	0.090	6.3E-07	0.000	7.9E-07	0.247	3.7E-08		
13	3.0E-08	59	8.7E-10	127	4.7E-11	127	4.7E-11	0.077	6.3E-07	0.000	7.9E-07	0.247	3.7E-08		
13	3.8E-08	59	1.2E-09	127	6.5E-11	127	6.5E-11	0.077	8.8E-07	0.000	8.9E-07	0.181	8.9E-07		
12	3.8E-08	44	1.2E-09	98	6.5E-11	98	6.5E-11	0.000	8.8E-07	0.000	8.9E-07	0.090	8.9E-07		
12	3.8E-08	44	1.4E-09	98	7.3E-11	98	7.3E-11	0.000	3.2E-05			0.090	6.5E-07		
8	3.8E-08	37	1.4E-09	94	7.3E-11	94	7.3E-11	0.000				0.077	6.5E-07		
8	1.8E-07	37	1.6E-09	94	8.4E-11	94	8.4E-11	0.000				0.077	9.0E-07		
7	1.8E-07	35	1.6E-09	82	8.4E-11	82	8.4E-11	0.000				0.040	9.0E-07		
7	1.9E-07	35	1.6E-09	82	9.2E-11	82	9.2E-11	0.000				0.040	9.8E-07		
5	1.9E-07	33	1.6E-09	60	9.2E-11	60	9.2E-11	0.000				0.000	9.8E-07		
5	3.6E-07	33	1.8E-09	60	9.2E-11	60	9.2E-11	0.000				0.000	9.8E-07		
4	3.6E-07	32	1.8E-09	49	9.2E-11	49	9.2E-11	0.000							
4	5.8E-07	32	1.8E-09	49	1.2E-10	49	1.2E-10	0.000							
3	5.8E-07	29	1.8E-09	48	1.2E-10	48	1.2E-10	0.000							
3	6.3E-07	29	1.3E-10	48	1.3E-10	48	1.3E-10	0.000							
2	6.3E-07	27	1.3E-10	47	1.3E-10	47	1.3E-10	0.000							
2	1.2E-06	27	2.2E-09	47	1.3E-10	47	1.3E-10	0.000							
1	1.2E-06	26	2.2E-09	43	1.3E-10	43	1.3E-10	0.000							
1	2.6E-06	26	2.7E-09	43	1.3E-10	43	1.3E-10	0.000							
0	2.6E-06	25	2.7E-09	42	1.3E-10	42	1.3E-10	0.000							
0	1.3E-05	25	3.0E-09	42	1.4E-10	42	1.4E-10	0.000							
22	3.0E-09	22	3.0E-09	49	1.4E-10	49	1.4E-10	0.000							
22	3.0E-09	22	3.0E-09	39	1.4E-10	39	1.4E-10	0.000							
21	3.0E-09	21	3.0E-09	37	1.4E-10	37	1.4E-10	0.000							
21	3.0E-09	21	3.0E-09	37	1.6E-10	37	1.6E-10	0.000							
20	3.0E-09	20	3.0E-09	32	1.6E-10	32	1.6E-10	0.000							
20	3.0E-09	20	3.0E-09	32	1.6E-10	32	1.6E-10	0.000							
19	3.0E-09	19	3.0E-09	31	1.6E-10	31	1.6E-10	0.000							
19	3.0E-09	19	3.0E-09	31	1.6E-10	31	1.6E-10	0.000							
16	3.0E-09	16	3.0E-09	30	1.6E-10	30	1.6E-10	0.000							
16	3.2E-09	16	3.2E-09	30	1.6E-10	30	1.6E-10	0.000							
15	3.2E-09	15	3.2E-09	29	1.6E-10	29	1.6E-10	0.000							
15	3.4E-09	15	3.4E-09	29	1.4E-09	29	1.4E-09	0.000							
14	3.4E-09	14	3.4E-09	28	1.4E-09	28	1.4E-09	0.000							
14	3.5E-09	14	3.5E-09	28	1.4E-09	28	1.4E-09	0.000							
13	3.5E-09	13	3.5E-09	27	1.4E-09	27	1.4E-09	0.000							
13	3.6E-09	13	3.6E-09	27	1.4E-09	27	1.4E-09	0.000							
12	3.6E-09	12	3.6E-09	23	1.4E-09	23	1.4E-09	0.000							
12	3.6E-09	12	3.6E-09	23	1.7E-09	23	1.7E-09	0.000							
11	3.6E-09	11	3.6E-09	22	1.7E-09	22	1.7E-09	0.000							
11	3.6E-09	11	3.6E-09	22	1.7E-09	22	1.7E-09	0.000							
10	3.6E-09	10	3.6E-09	21	1.7E-09	21	1.7E-09	0.000							
10	3.7E-09	10	3.7E-09	21	1.8E-09	21	1.8E-09	0.000							
9	3.7E-09	9	3.7E-09	20	1.8E-09	20	1.8E-09	0.000							
9	4.1E-09	9	4.1E-09	20	2.0E-09	20	2.0E-09	0.000							
8	4.1E-09	8	4.1E-09	19	2.0E-09	19	2.0E-09	0.000							
8	4.1E-09	8	4.1E-09	19	2.0E-09	19	2.0E-09	0.000							
7	4.1E-09	7	4.1E-09	17	2.0E-09	17	2.0E-09	0.000							
7	4.1E-09	7	4.1E-09	17	2.3E-09	17	2.3E-09	0.000							
6	4.1E-09	6	4.1E-09	16	2.3E-09	16	2.3E-09	0.000							
6	4.1E-09	6	4.1E-09	16	2.4E-09	16	2.4E-09	0.000							
5	4.1E-09	5	4.1E-09	14	2.4E-09	14	2.4E-09	0.000							
5	4.3E-09	5	4.3E-09	14	2.4E-09	14	2.4E-09	0.000							
2	4.3E-09	2	4.3E-09	12	2.4E-09	12	2.4E-09	0.000							
2	4.4E-09	2	4.4E-09	12	2.4E-09	12	2.4E-09	0.000							
1	4.4E-09	1	4.4E-09	10	2.4E-09	10	2.4E-09	0.000							
1	4.4E-09	1	4.4E-09	10	2.5E-09	10	2.5E-09	0.000							
0	1.4E-08	0	1.4E-08	9	2.5E-09	9	2.5E-09	0.000							

Ergebnisse: Stützstellen Summenkurve Segment

Segmentbezeichnung: Mustersegment

Anzahl Elemente: 1

Bezeichnung Elemente: Illustration Ausschlusskriterien

Bearbeiter: EBP

Bearbeitungsdatum: 01.04.10

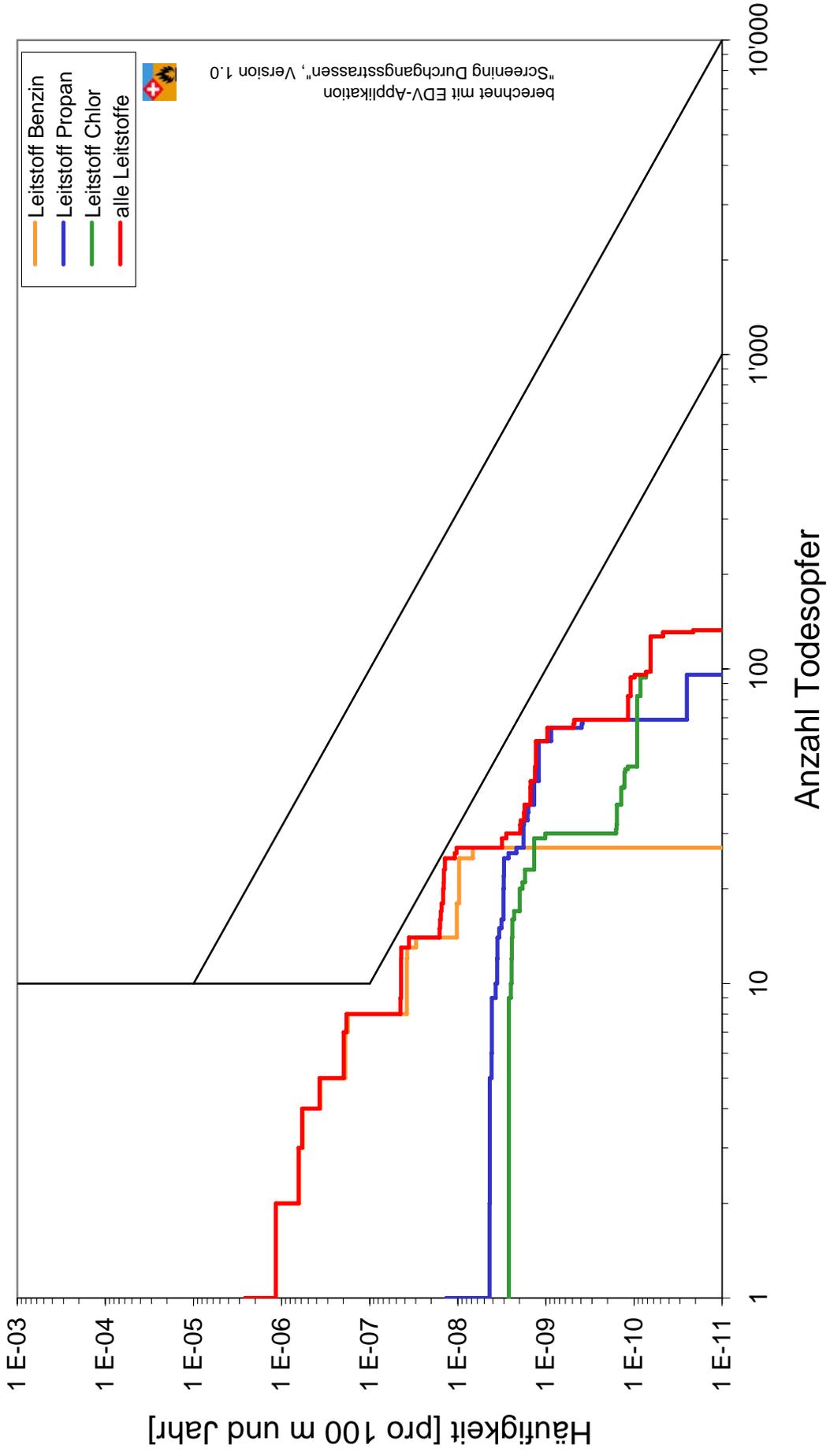
Achtung: Angaben zur Segmentbezeichnung sowie zur Bearbeitung stammen vom 1. Element
 (sie sollten für alle Elemente des Segments grundsätzlich gleich gewählt werden)

Benzin (Personen)		Propan (Personen)		Chlor (Personen)		alle Leitstoffe (Personen)		Benzin (Oberflächengewässer)		Epichlorhydrin (Oberflächengewässer)		alle Leitstoffe (Oberflächengewässer)		Benzin (Grundwasser)	
Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert	Ausmasswert	Häufigkeitswert
		0	5.3E-08	9	2.6E-09	23	1.4E-08								
				0	2.6E-09	22	1.4E-08								
						22	1.4E-08								
						21	1.4E-08								
						21	1.5E-08								
						20	1.5E-08								
						20	1.5E-08								
						19	1.5E-08								
						19	1.5E-08								
						18	1.5E-08								
						18	1.5E-08								
						17	1.5E-08								
						17	1.6E-08								
						16	1.6E-08								
						16	1.6E-08								
						16	1.6E-08								
						15	1.6E-08								
						15	1.6E-08								
						14	1.6E-08								
						14	3.6E-08								
						13	3.6E-08								
						13	4.4E-08								
						12	4.4E-08								
						12	4.4E-08								
						11	4.4E-08								
						11	4.4E-08								
						11	4.4E-08								
						10	4.4E-08								
						10	4.4E-08								
						9	4.4E-08								
						9	4.5E-08								
						8	4.5E-08								
						8	1.8E-07								
						7	1.8E-07								
						7	2.0E-07								
						6	2.0E-07								
						6	2.0E-07								
						5	2.0E-07								
						5	3.7E-07								
						4	3.7E-07								
						4	5.8E-07								
						3	5.8E-07								
						3	6.4E-07								
						2	6.4E-07								
						2	1.2E-06								
						1	1.2E-06								
						1	2.6E-06								
						0	2.6E-06								
						0	1.3E-05								

H/A-Diagramm: Personenrisiken

Segmentbezeichnung: Mustersegment
 Anzahl Elemente: 1
 Bezeichnung Elemente: Illustration Ausschlusskriterien

Bearbeiter: EBP
 Bearbeitungsdatum: 01.04.10



H/A-Diagramm: Umweltrisiken

Bearbeiter: EBP
 Bearbeitungsdatum: 01.04.10

Segmentbezeichnung: Mustersegment
 Anzahl Elemente: 1
 Bezeichnung Elemente: Illustration Ausschlusskriterien

