

**Methodikbeispiel für  
eine Risikoermittlung  
einer Flüssiggas-  
Tankanlage**

**Störfallverordnung**

**Stand: Mai 1996**



**Bundesamt für Umwelt, Wald und  
Landschaft (BUWAL)**

---

## Impressum

An diesem Bericht haben im Rahmen der Arbeitsgruppe Methodikbeispiel Risikoermittlung von Flüssiggas-Tankanlagen mitgewirkt:

Bund	Dr. M. Schiess	BUWAL, Bern (Vorsitz)
	Dr. R. Bischof	BUWAL, Bern
Kantonale Behörden	G. Fiolka	Amt für Umweltschutz, St. Gallen
	Dr. F. Berdat	Kant. Amt für Gewerbe, Industrie und Arbeit, Bern
	Dr. R. Dumont	Kant. Laboratorium, Sekt. Chemiesicherheit, Aarau
	Dr. J. Hansen	Koordinationsstelle für Störfallvorsorge, Zürich
	Dr. A. Stampfli	Amt für Umweltschutz, St. Gallen
Prüfstellen und Experten	H.J. Lüscher	Techn. Inspektorat des Schweiz. Gasfaches, Zürich
	P. Scholten	Holinger AG, Baden
Flüssiggasbranche	C. Dallenbach	elf-oil (switzerland) SA, Péry
	P. Heusi	ESSO (Schweiz), Zürich
	J. Ruckstuhl	SHELL (Switzerland), Zürich
Verfasser	Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich	
	Dr. M. Wolfer, Dipl. Chem. ETH (Projektleitung)	
	Dr. F. Gmünder, Dipl. Natw. ETH	
	Dr. A. Eckhardt, Dipl. Biol.	

Herrn Dr. R. Mock, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Sicherheitstechnik der ETH Zürich, sei für seinen Kommentar betreffend den Bereich der Zuverlässigkeitsanalyse gedankt.

Download PDF: [www.umwelt-schweiz.ch/publikationen](http://www.umwelt-schweiz.ch/publikationen)  
(eine gedruckte Fassung ist nicht mehr erhältlich)  
Code: VU-3815-D

Bezugsquelle: Dokumentationsdienst  
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft  
3003 Bern

---

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

## Abkürzungsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Grunddaten</b>	<b>2</b>
2.1	Betrieb und Umgebung	2
2.2	Inventar der vorhandenen Stoffe	4
2.3	Beschreibung der Anlage	4
2.4	Sicherheitsmassnahmen	6
<b>3.</b>	<b>Analyse</b>	<b>9</b>
3.1	Methoden	9
3.2	Gefahrenpotentiale	9
3.3	Wesentliche Störfallszenarien	9
<b>4.</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>31</b>
4.1	Relevante Szenarien	31
4.2	Risikosummenkurve	31
4.3	Kommentar zur Summenkurve und zu den Unsicherheiten	33
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>37</b>

→

---

<b>Verzeichnis der Beilagen</b>	<b>39</b>
<b>Beilage 1</b> Situationsplan des Betriebsareals (Im vorliegenden Dokument nicht enthalten)	
<b>Beilage 2</b> Übersichtsplan zur Umgebung	<b>41</b>
<b>Beilage 3</b> Zusammenstellung der Fehler- und Ereignisbäume	<b>45</b>
<b>Beilage 4</b> Zusammenstellung der Schadenereignisse	<b>59</b>
<b>Beilage 5</b> Alarmierungs- und Einsatzplan für den Ereignisfall (Im vorliegenden Dokument nicht enthalten)	

---

## Vorwort

Im Dezember 1992 erschien der "Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen" zum Kurzbericht und zur Risikoermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge. Er hat zum Ziel, die für den Kurzbericht und die allfällige Risikoermittlung notwendigen Berechnungsgrundlagen und Modelle zur Verfügung zu stellen.

Für die konkrete Anwendung an einem Fallbeispiel wurde unter Federführung des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) im Rahmen einer Arbeitsgruppe ein "Methodikbeispiel für eine Risikoermittlung einer Flüssiggas-Tankanlage gemäss Störfallverordnung (StFV)" ausgearbeitet. In die Arbeitsgruppe einbezogen wurden Vertreter der Flüssiggasbranche und der Kantone sowie weitere Experten.

Das Methodikbeispiel zeigt eine quantifizierte Risikoermittlung für eine Flüssiggas-Tankanlage gemäss Anhang 4.1 StFV. Es basiert auf dem Stand des Wissens vom Dezember 1995. Die Inhaber von Betrieben mit Flüssiggas-Tankanlagen und die Vollzugsbehörden verfügen damit über ein Beispiel, wie mit vernünftigem Aufwand aussagekräftige Angaben zur Grösse des Risikos einer solchen Anlage erarbeitet werden können. Im Einzelfall muss das Vorgehen jedoch den konkreten Gegebenheiten angepasst werden.

*Quantifizierung begründet keine Wahrheit, aber wer auf sie verzichtet, schreckt davor zurück, sich einer immerhin kritisierbaren 'Wahrheit' überhaupt zu stellen.*

*Robert Fogel, Nobelpreisträger Ökonomie 1993*

## Abkürzungsverzeichnis

<b>BLEVE</b>	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion. Aufsteigender Feuerball nach Behälterversagen
<b>EKAS</b>	Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit
<b>FF</b>	Gaswolkenbrand
<b>FS</b>	Feuerstrahl
<b>HB-StfV</b>	Handbuch I zur Störfallverordnung vom Juni 1991
<b>LPG</b>	Liquified Petroleum Gases, Synonym für Flüssiggas
<b>NO</b>	Nord-Ost
<b>NW</b>	Nord-West
<b>SO</b>	Süd-Ost
<b>StfV</b>	Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung) vom 27. Februar 1991
<b>SUVA</b>	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
<b>SVTI</b>	Schweizerischer Verein für technische Inspektionen
<b>SW</b>	Süd-West
<b>TNO</b>	Institute for Environmental and Energy Technology, Voorburg
<b>UEG</b>	Untere Explosionsgrenze
<b>VCE</b>	Gaswolkenexplosion
<b>W/A</b>	Wahrscheinlichkeit/Ausmass (in W/A-Diagramm)
<b>WR</b>	Windrichtung
<b>xE-y</b>	$x \cdot 10^{-y}$

---

## 1. Einleitung

Das Methodikbeispiel soll das Vorgehen bei der Erstellung einer Risikoermittlung nach StFV für eine Flüssiggas-Tankanlage erläutern. Dazu werden die Vorgaben des Rahmenberichts<sup>1</sup> anhand eines Propantanks in einer fiktiven Umgebung beispielhaft umgesetzt. Es wird aufgezeigt, welche Arbeitsschritte im einzelnen durchgeführt werden müssen und wie deren Darstellung im Bericht dokumentiert werden kann. Es werden nur jene Abschnitte detailliert ausgeführt, die zum Verständnis und zur Nachvollziehbarkeit der nachfolgenden Überlegungen und Berechnungen notwendig sind.

Behördlich verfügte  
Risikoermittlung

Aufgrund des firmeneigenen Propantanks mit einer maximalen Füllmenge von 63'000 kg (Mengenschwelle für Propan gemäss StFV: 20'000 kg) reichte die Firma XXX am 1. April 1993 einen Kurzbericht ein. Dieser wurde von der zuständigen Vollzugsbehörde geprüft. Sie kam zum Schluss, dass die Annahme nicht zulässig ist, dass schwere Schädigungen für die Bevölkerung infolge von Störfällen nicht zu erwarten sind. Gestützt auf Art. 6 StFV verfügte sie daher die Erstellung einer Risikoermittlung.

---

<sup>1</sup> Arbeitsgruppe Flüssiggas-Tankanlagen, "Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen zum Kurzbericht und zur Risikoermittlung im Hinblick auf die Störfallvorsorge", Basler&Hofmann, 1. Ausgabe vom 11.12.92

---

## 2. Grunddaten

### 2.1 Betrieb und Umgebung

#### Systemabgrenzung

Da der Flüssiggastank in unserem Beispiel das einzige relevante Gefahrenpotential auf dem Betriebsareal darstellt, beschränkt sich die Risikoeermittlung auf eine Betrachtung des Tanks entsprechend der Systemabgrenzung im Rahmenbericht.

#### Situations- und Übersichtsplan

Der Standort des Tanks innerhalb des Betriebsareals ist dem Situationsplan in Beilage 1 zu entnehmen, ein Übersichtsplan<sup>2</sup> mit Bezeichnung der risikorelevanten Objekte in der Umgebung ist in Beilage 2 enthalten.

#### 2.1.1 Charakterisierung des Betriebs<sup>3</sup>

#### 2.1.2 Bewilligungen, Genehmigungen und Konzessionen<sup>4</sup>

#### 2.1.3 Mögliche Auslöser von Störfällen

#### Strassenverkehr

Da sich im Bereich des Tanks keine öffentlichen Strassen befinden, kann eine Beschädigung des Tanks durch Fahrzeuge auf öffentlichen Strassen ausgeschlossen werden.

Der Umschlag findet vom betriebseigenen Werkareal aus statt. Dieses wird durchschnittlich zweimal pro Stunde durch einen firmeneigenen Lastwagen befahren. Die bauliche Situation erlaubt nur Geschwindigkeiten von weniger als  $30 \text{ km h}^{-1}$ , so dass eine direkte Beschädigung des Lager- oder Fahrzeugtanks durch Fahrzeugkollision mit Austritt von Flüssiggas praktisch ausgeschlossen werden kann. Eine mechanische Beschädigung exponierter Leitungen oder des Füllschlauchs während des Umschlags wird in Betracht gezogen.

---

<sup>2</sup> Über den notwendigen Inhalt von Situations- und Übersichtsplan gibt Anhang E, Abschn. 2.1, HB-StFV (Handbuch I zur Storfalloverordnung; siehe Abkürzungsverzeichnis) Auskunft.

<sup>3</sup> Siehe Anhang E, Abschn. 2.1 HB-StFV

<sup>4</sup> Die durchgeführten behördlichen Verfahren wie Bewilligungen, Plangenehmigungen oder Konzessionen sind anzugeben.



Gemäss Studie des BAZL<sup>5</sup> besteht für den Tankstandort kein speziell erhöhtes Absturzrisiko. Es wird deshalb auf die in der Studie ausgewiesenen Absturzhäufigkeiten en-route zurückgegriffen.

#### **2.1.4 Objekte in der Umgebung**

Für die Analyse der möglichen Auswirkungen infolge von Störfällen wird zwischen folgenden Örtlichkeiten und Objekten unterschieden (s. Beilage 2):

Örtlichkeiten mit Personen im Freien

- Industrie und Wohnzone im Bereich der Objekte 1 bis 5
- Bahnhof, Bahnhofplatz, Bahnsteig
- Dorf

Objekte und Örtlichkeiten mit Personen in Gebäuden und Fahrzeugen

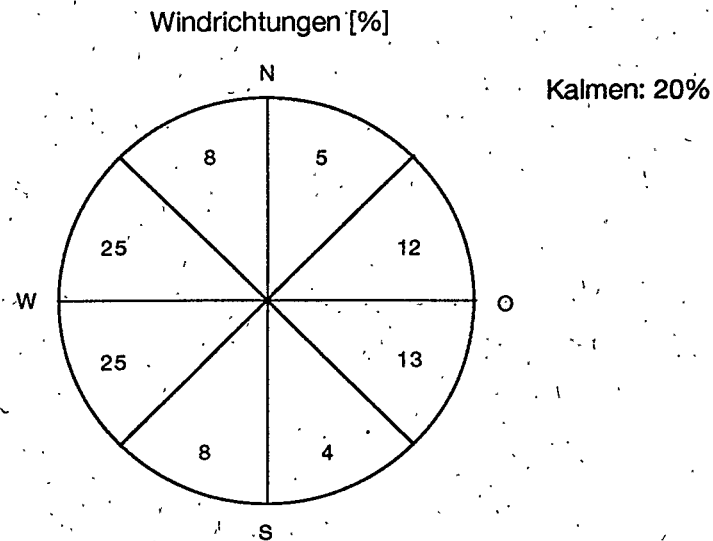
- Firma 1 und Firma 2 (Objekte 1 und 2)
- 7 Einfamilienhäuser (Objekte 3)
- Mehrfamilienhäuser 4 und 5 (Objekte 4 und 5)
- Dorf
- Eisenbahnlinie
- Hauptstrasse

#### **2.1.5 Windrose**

Die Windverhältnisse haben einen entscheidenden Einfluss auf die möglichen Auswirkungen bestimmter Störfallszenarien. Sie werden deshalb mitberücksichtigt.

---

<sup>5</sup> BAZL, Bundesamt für Zivilluftfahrt, "Die Auswirkungen der Luftfahrt auf die Umwelt", Technischer Bericht F: Teilbereich Absturzrisiken, 1993



Figur 1: Windrose am Ort der Flüssiggas-Tankanlage (Kalmen = Windstille)

## 2.2 Inventar der vorhandenen Stoffe

Das Volumen des zylindrischen Tanks beträgt  $150 \text{ m}^3$ . Bei einem zulässigen Füllgrad von höchstens 85% entspricht dies einem Inhalt von 63.8 Tonnen. Bei  $20^\circ\text{C}$  beträgt der Überdruck 7.3 bar; der maximale Betriebsüberdruck liegt bei 15.5 bar. Über die Stoffeigenschaften gibt der Rahmenbericht, Seite 98, Auskunft. Die Mengenschwelle nach StFV beträgt 20 Tonnen.

## 2.3 Beschreibung der Anlage

Der generelle Anlagenbeschrieb ist im Aufstellungsgesuch bzw. im Kurzbericht vom 1.4.1993, Seite 5, enthalten. An dieser Stelle sollen deshalb nur Angaben zu sicherheitsrelevanten Anlageteilen wiederholt werden, die für die nachfolgenden Analyseschritte wichtig sind. Das Prinzipschema des Tanks entspricht demjenigen von Figur 2 im Rahmenbericht. Die für die Risikoermittlung massgebenden Systemelemente sind im Rahmenbericht, Figur 8, dargestellt.

Entnahme aus der Gasphase

Die Propanentnahme erfolgt ausschliesslich aus der Gasphase. Es ist vorgesehen, 2 Anschlüsse zu 1 1/4 Zoll (lichter Querschnitt  $10.1 \text{ cm}^2$ ) auf je 2 Reduzierventile zu führen (Durchgang 1 Zoll, Querschnitt  $5.8 \text{ cm}^2$ ). Die

---

Ausgänge werden anschliessend in einem 3-Zoll Rohr (Querschnitt 51.3 cm<sup>2</sup>) zusammengeführt.

Sicherheitsventile

Der Tank ist mit zwei Blocks mit je 4 Sicherheitsventilen ausgerüstet, die einen Ansprechüberdruck von 17.1 bar aufweisen. Drei geöffnete Ventile je Block erreichen beim Abblaseüberdruck von 20.5 bar eine Leistung von  $2 \times 450 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$  Luft, was bei einer Dichte von  $2 \text{ kg m}^{-3}$  einem Massenstrom von  $2 \times 900 \text{ kg min}^{-1}$  Propan entspricht. Damit sind die sicherheitstechnischen Anforderungen des SVTI, der eine Leistung von  $620 \times A^{0.82} \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  Luft (entspricht für diesen Tank  $800 \text{ kg min}^{-1}$  Luft bzw.  $1600 \text{ kg min}^{-1}$  Propan, Oberfläche =  $200 \text{ m}^2$ ) verlangt (s. Rahmenbericht, Abschnitt 3.3.2) erfüllt<sup>6</sup>.

Tankbewirtschaftung

Aufgrund der saisonalen Preisschwankungen für Propan wird der Tank in der Zeit vom Frühling bis Herbst nur minimal gefüllt (durchschnittlicher Inhalt = 15 Tonnen). Zum Winter hin wird der Tank dann fast ganz gefüllt und bis zum Frühling wieder auf den Minimalstand entleert.

Der Tankinhalt beträgt somit:

Während 9 Monaten: 10 - 20 Tonnen (durchschnittlich 15 Tonnen)

Während 3 Monaten: 50 - 60 Tonnen (durchschnittlich 55 Tonnen)

Tankbefüllung

Der Tank wird 50 mal pro Jahr von einem Strassentankfahrzeug mit 10 Tonnen Propan befüllt. Der Tankwagen hält sich ca. 100 Min. auf dem Betriebsareal auf. Es wird angenommen, dass der Füllvorgang ebenso lange dauert: Während 50 Min. enthält das Fahrzeug mehr als 5 Tonnen ("voll") und während weiteren 50 Min. weniger als 5 Tonnen ("fast leer").

Gelandeneigung

Das Gelände unter dem Tank ist geneigt (5%). Eine Ansammlung von Propan, gasförmig oder flüssig, kann daher in diesem Fall ausgeschlossen werden.

---

<sup>6</sup> Nach SVTI-Vorschrift 705 berechnet sich die relevante Behälteroberfläche A eines zylindrischen Tanks gemäss

$$A = (L + 0.3 D_a) \cdot D_a \cdot \pi \quad (\text{in m}^2)$$

L = Gesamtlänge über Boden in m

D<sub>a</sub> = Aussendurchmesser in m

---

## **2.4 Sicherheitsmassnahmen**

### **2.4.1 Berücksichtigte Regelwerke**

Die Tankanlage entspricht den Regeln der Technik. Insbesondere sind die Richtlinien und Vorschriften EKAS 1941, Teil 1 (Ausgabe 1.90) und die Vorschrift 705 des SVTI berücksichtigt:

### **2.4.2 Massnahmen zur Herabsetzung des Gefahrenpotentials**

Während 9 Monaten im Jahr ist der Tank nur minimal gefüllt.

### **2.4.3 Massnahmen zur Verhinderung von Störfällen**

- Die letzte äussere Kontrolle durch den SVTI fand im November 1993 statt. Die Kontrolldokumente liegen vor. Die nächste innere Kontrolle ist gemäss Vorschrift 705 des SVTI im Jahr 2000 fällig.
- Die Sicherheitsventile werden alle 4 Jahre ausgewechselt. Gemäss Angaben auf den Plomben der Ventile war dies letztmals 1992 der Fall.
- Abblaserohre mit Sollbruchstellen, Füllstandsanzeiger, Peilrohr, Druckanzeiger, Entleerungseinrichtung und Hinweise auf Explosions- und Brandgefahr sind vorhanden. Rohrbruchsicherungen sind gemäss Anlageplan an allen notwendigen Stellen installiert.
- Die exponierten Armaturen sind mit einer abschliessbaren Schutzhaube geschützt. Zudem ist das Lager umzäunt und abgeschlossen.
- Der Tank verfügt über die vorgeschriebene Berieselungseinrichtung. Die Leistung beträgt  $1400 \text{ l min}^{-1}$  bei 8 bar. Gemäss EKAS-Richtlinie ist eine Leistung von  $600 \text{ l min}^{-1}$  gefordert. Die Anlage ist über eine Ringwasserleitung an die örtliche Wasserversorgung angeschlossen. Der Wasserdruck beträgt normalerweise 6 bis 9 bar. Bei einem Druck von 3 bar werden immer noch  $800 \text{ l min}^{-1}$  erreicht.

---

Die Berieselung kann aus einem Abstand von 40 m eingeschaltet werden; eine Betätigung im Brandfall ist somit gewährleistet. Im Herbst wird die Wasserleitung geleert, um ein Zufrieren zu verhindern, im Frühling wieder gefüllt. Entsprechende Anweisungen sind im Arbeitsplan-Verzeichnis enthalten. Vor dem herbstlichen Leeren der Leitung wird jeweils die Funktionstüchtigkeit der Anlage geprüft.

- Der Verkehr auf dem Betriebsareal wird so geführt, dass eine mechanische Beschädigung der Tankanlage durch Fahrzeuge vernünftigerweise ausgeschlossen werden kann.
- Die Ex-Zonen gemäss SUVA-Merkblatt 2153.d - 1992 (im wesentlichen 3 m Abstand von Abblaseöffnung und Umschlagstutzen) sind eingehalten.
- Die Schutzabstände gemäss EKAS 1941, Teil 1, sind eingehalten.
- Der Zustand der Leitungen wird einmal jährlich durch die Firma Y kontrolliert. Es besteht ein entsprechender Wartungsvertrag.
- Der für die betriebliche Sicherheit zuständige Mitarbeiter ist mit den speziellen Eigenschaften und Gefahren von Propan vertraut. Er ist mit schaubildenden Mitteln ausgerüstet, und führt regelmässig Dichtheitskontrollen durch. Teil seiner Aufgabe ist es, die Umgebung des Tanks vor unzulässiger Nutzung zu schützen und erforderlichenfalls die nötigen Massnahmen einzuleiten.
- Die Anleitung zur sicheren Bedienung der Anlage ist im Betriebsbuch festgehalten.
- Pro Nacht finden im Betrieb 2 Rundgänge durch einen Nachtwächter statt.

---

#### **2.4.4 Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen von Störfällen**

- Im Nahbereich der Anlage befinden sich keine Keller, Kanäle, Schächte und Gruben, wo es zu einer Gasansammlung kommen könnte. Der nächste Regenwasserablauf im Abstand von 50 m ist mit einem Tauchrohr versehen.
- Ein leichtes, hindernisfreies Gefälle unter dem Tank verhindert die Ansammlung von Flüssiggas. Der Untergrund ist verdichtet.
- Für den Ereignisfall existiert ein Alarmierungs und Einsatzplan (siehe Beilage 5), der mit der Ortsfeuerwehr abgesprochen ist. Im Brandfall stehen diverse Hydranten zu Löschzwecken zur Verfügung (siehe Situationsplan, Beilage 1).
- Es besteht ein 24 h Notfallservice durch den Gaslieferanten.

---

## **3. Analyse**

### **3.1 Methoden**

Die verwendeten Methoden, Rechenmodelle und weiteren Hilfsmittel sind im Rahmenbericht, Anhänge A - D, beschrieben.

### **3.2 Gefahrenpotentiale**

Das Gefahrenpotential des untersuchten Objekts ist durch die gelagerte Menge an Propan bestimmt (maximal 63.8 Tonnen). Für die Charakterisierung des Gefahrenpotentials "druckverflüssigtes Propangas in Tankanlagen" wird auf den Rahmenbericht, Abschn. 2.2, verwiesen.

### **3.3 Wesentliche Störfallszenarien**

Folgende Ereignisse werden im Zusammenhang mit der Lagerung von druckverflüssigtem Propan grundsätzlich als wesentlich erachtet:

- BLEVE: Durch Hitzeeinwirkung oder grosse mechanische Einwirkungen kommt es zu einem Behälterbersten; das Flüssiggas wird schlagartig freigesetzt und gezündet. Bei Lagerbehältern treten derartige Ereignisse z.B., als Folge von Bränden auf, in deren Verlauf der Inhalt über den Berstdruck des Tanks hinaus erhitzt wird. Durch das bereits vorhandene Feuer entzündet sich das freigesetzte Flüssiggas sofort, und es entsteht ein aufsteigender Feuerball.
- Gaswolkenbrand (FF): Nach einer kontinuierlichen Gasfreisetzung (vgl. Abschnitt 3.3.1) bildet sich wegen der Schwere des Gases eine bodennahe Wolke; eine Verdünnung mit Luft findet dort nur langsam statt. Entsprechend kann noch in grösserem Abstand vom Freisetzungsort ein brennbares Gemisch vorliegen. Wird die Wolke gezündet, so brennt sie je nach Grösse und Lufteinmischung mit einer Ge-

---

schwindigkeit von einigen  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  bis  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  ab. Freifeldversuche haben bestätigt, dass in Abwesenheit von Hindernissen die Druckwirkung bescheiden bleibt (s. Rahmenbericht, Anhang C2.5).

- Gaswolkenexplosion (VCE): Im Gegensatz zum Gaswolkenbrand kommt es bei einer grossen spontanen Gasfreisetzung nach Zündung einer bodennahen Wolke aufgrund von Hindernissen im Verbrennungspfad zu partiellen Verdämmungen und damit verbunden zu Druckwirkungen von maximal etwa 0.3 bis 0.5 bar. Aufgrund der offenen Umgebung werden im vorliegenden Fall keine Explosionen mit relevanten Druckwirkungen erwartet.
- Freistrahbrand (FS): Das unter Druck stehende Flüssiggas tritt als kontinuierlicher Strom aus einer Öffnung aus und bildet nach Zündung eine brennende Fackel. Wegen der hohen Ausströmgeschwindigkeiten sind Flammenlängen von mehreren 10 Metern denkbar. Diese Stichflammen gefährden primär benachbarte Anlagenteile. Der Freistrahbrand ist insbesondere als Auslöser eines Umgebungsbrandes oder eines BLEVE von Bedeutung.
- Trümmerwurf: Als Sekundärfolgen eines BLEVE können Schäden durch Trümmerwurf entstehen. Die Wahrscheinlichkeit des Trümmerflugs ist dabei in Längsrichtung der zylindrischen Tanks mit jeweils 0.3 grösser als in Querrichtung mit je 0.2. Reichweiten von mehr als 250 m sind kaum zu erwarten. Aufgrund der vorliegenden Situation wären von den Folgen eines Trümmerwurfs vor allem Bereiche mit kleiner Personendichte betroffen. Da mögliche Schäden in der Regel deutlich geringer als die unmittelbaren Folgen eines BLEVE ausfallen, werden sie nicht weiter untersucht.

### **3.3.1 Freisetzungsvorgänge und Eintretenswahrscheinlichkeiten**

#### ***Relevante Freisetzungsvorgänge und Methodik***

Als relevante Freisetzungsvorgänge werden die grosse, spontane Freisetzung (Behälterbersten) und die kontinuierliche Freisetzung aus einem vollen Leitungsquerschnitt betrachtet (s. auch Rahmenbericht S. 38). Kleinere Freisetzungsraten wie Dichtungslecks haben keine direkten Auswir-



---

kungen auf die Umgebung, können jedoch grössere Freisetzungen induzieren.

Fehler- und Ereignisbaume

Wie im Rahmenbericht beschrieben, wird zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten die Methode der Fehler- und Ereignisbäume angewendet. Die Fehlerbäume zum vorliegenden Bericht sind in Beilage 3 enthalten.

Da sowohl die Wahrscheinlichkeiten einer Freisetzung als auch die Expositionen der Bevölkerung von der Tageszeit abhängen, werden im Fall der untersuchten Anlage für Tag und Nacht separate Bäume verwendet. Die Aufteilung der Wahrscheinlichkeiten für Tag und Nacht erfolgt hälftig, was zur Folge hat, dass die Jahreswahrscheinlichkeiten für Auslöser, die sowohl am Tag wie auch in der Nacht auftreten können, im jeweiligen Fehlerbaum mit 0.5 multipliziert werden müssen.

Auch beim Tankfahrzeug besteht die Möglichkeit, dass es zu einer grossen spontanen Gasfreisetzung kommt. Die zugehörigen Fehler- und Ereignisbäume sind ebenfalls in Beilage 3 zu finden.

Die Zahlen in Klammern in den einzelnen Kästchen der Fehlerbäume weisen auf ein Teilereignis hin, welches bereits im Rahmenbericht, Anhang B, unter der gleichen Nummer beschrieben wurde<sup>7</sup>. Im folgenden werden die endständigen Einzelereignisse der Fehlerbäume kommentiert.

#### ***Fehlerbäume "Kontinuierliche Freisetzung"***

Rohrbruchsicherung  
schliesst nicht (3)

Der im Rahmenbericht empfohlene Wert (0.05 pro Anforderung) wird übernommen<sup>8</sup>.

Sabotage (13)

Sabotage passt wegen ihrer nicht-stochastischen Natur (Sabotageakte werden gezielt gegen bestimmte Einrichtungen verübt) nicht in die Logik der Fehlerbaumanalyse. Eine explizite Quantifizierung wird deshalb in

---

<sup>7</sup> Die in den Fehler- und Ereignisbaumen angegebenen Wahrscheinlichkeiten, Ausfallwahrscheinlichkeiten etc. basieren auf dem Stand des Wissens von 1992 (Rahmenbericht). Es handelt sich zwangsläufig nicht um anlagenspezifische Werte, die als einzige zweifelsfrei wären. In den meisten Fällen handelt es sich um generische Werte für Anlagen gleichen oder ähnlichen Typs (Flussiggas-Tankanlagen) oder aus der Verfahrenstechnik (Literaturdaten). Wenn gar keine Informationen greifbar waren, müsste eine Expertenmeinung abgegeben werden. Falls bessere Daten verfügbar sind, können diese mit Quellenangabe verwendet werden.

<sup>8</sup> Bei diesem Wert handelt es sich um eine konservative Schätzung durch Experten. Er beinhaltet nebst eindeutigen Versagen auch jene Fälle, bei denen unklar ist, ob aufgrund des Massenstromes die Sicherung überhaupt anspricht.

	diesem Methodikbeispiel nicht durchgeführt. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass die allgemeinen Ereignisse "Tankleckage und Dichtungslecks" und "andere Versagen" Sabotageakte miteinschliessen.
Tankleckage und Dichtungslecks (4)	Der im Rahmenbericht empfohlene Wert ( $10^{-5}$ ) wird übernommen. Für die Fehlerbäume Tag und Nacht wird der Wert je mit 0.5 multipliziert.
Sicherheitsventil öffnet spontan (1)	Der im Rahmenbericht empfohlene Wert wird übernommen. Da der Tank 8 Ventile besitzt, wird der Wert von $2 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr mit dem Faktor 8 und für die Fehlerbäume Tag und Nacht nochmals je mit 0.5 multipliziert. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Gasfreisetzung durch das Sicherheitsventil nicht risikorelevant ist, da durch die hohe Austrittsgeschwindigkeit eine sofortige Durchmischung und Verdünnung mit Luft unter die untere Explosionsgrenze erfolgt. Der Wert wird im Fehlerbaum zwar ausgewiesen, jedoch nicht in die weiteren Berechnungen miteinbezogen.
Überfüllen mit Austritt aus Sicherheitsventil (8)	Der im Rahmenbericht empfohlene Wert ( $6.7 \cdot 10^{-6}$ pro Befüllung) wird übernommen. Aufgrund der Tankbewirtschaftung ist ein Überfüllen des Tanks nur während 3 Wintermonaten, d.h. bei ca. 13 Befüllungen, denkbar. Dieses Ereignis ist nur tagsüber möglich. Die austretende Menge ist in jedem Fall gering: Die Pumpenleistung des Camions reicht nicht aus, den Ansprechüberdruck der Sicherheitsventile von 17.1 bar zu überwinden. Ein Austritt kommt deshalb nur im Zusammenhang mit einer Temperaturerhöhung in Frage, die aufgrund der grossen Flüssigkeitsmenge jedoch äusserst langsam erfolgt. Der Wert wird daher im Fehlerbaum zwar ausgewiesen, jedoch nicht in die weiteren Berechnungen miteinbezogen.
Brandeinwirkung	Brandeinwirkungen auf eine Leitung im Nahbereich des Tanks werden in diesem Beispiel mangels in Frage kommender Auslöser als nicht relevant betrachtet und nicht weiter verfolgt.
Aussere, mechanische Einwirkung (12)	Ein Leitungsbruch durch eine äussere, mechanische Einwirkung kann eintreten, falls durch ein Fahrzeug eine der Produkteleitungen beschädigt wird. Der eingesetzte Wert beruht auf der Wahrscheinlichkeit für das Abkommen eines schweren Motorfahrzeugs von einer Nebenstrasse ( $1.5 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr, s. Rahmenbericht). Da das Werkareal mit 2 Fahrzeugen pro Stunde deutlich schwächer befahren ist als eine durchschnittliche Nebenstrasse, liegt der Wert bei ca. $10^{-6}$ pro Jahr. Nicht bei jedem Anprall

---

ist mit einer Freisetzung zu rechnen. Im Fehlerbaum wird daher im Sinne einer konservativen Annahme ein Wert von  $10^{-6}$  pro Jahr eingesetzt. Da in der Nacht kein Werkverkehr stattfindet, wird die Wahrscheinlichkeit hier um einen Faktor 100 reduziert.

Menschliches Versagen  
(bei Revisionen) (15)

Eine Freisetzung über den gesamten Rohrleitungsquerschnitt ist im Rahmen von Revisionsarbeiten denkbar. Damit eine relevante Wirkung eintritt, muss die Freisetzung während längerer Zeit unbemerkt bzw. nicht unterbunden bleiben. Für dieses grobe, menschliche Versagen wird auf der Basis der SUVA-Statistik für Flüssiggasunfälle ein Wert von  $5 \cdot 10^{-5}$  pro Jahr eingesetzt.

Andere Versagen (5)

Der im Rahmenbericht empfohlene Wert von  $10^{-6}$  pro Jahr, in dem u.a. auch Leitungsbrüche infolge Erdbeben berücksichtigt sind, wird übernommen. Für die Fehlerbaume Tag und Nacht wird der Wert je mit 0.5 multipliziert.<sup>9</sup>

Schlauchversagen beim  
Füllvorgang (7)

Der im Rahmenbericht empfohlene Wert ( $8 \cdot 10^{-7}$ ) wird übernommen. Er wird entsprechend der Anzahl Befüllungen pro Jahr mit dem Faktor 50 multipliziert. Dieses Ereignis ist nur tagsüber möglich.

Bodenventil defekt oder  
nicht ausgelöst (3)

Der im Rahmenbericht empfohlene Wert (0.05) wird übernommen.

Menschliches Versagen  
(beim Füllvorgang) (10)

Als menschliches Versagen wird das vorzeitige Abfahren mit Abriss des Füllschlauchs bezeichnet. Der im Rahmenbericht empfohlene Wert ( $4 \cdot 10^{-6}$  pro Füllvorgang) wird übernommen. Er wird entsprechend der Anzahl Befüllungen pro Jahr mit dem Faktor 50 multipliziert. Dieses Ereignis ist nur tagsüber möglich.

Aussere Einwirkung auf das  
Tankfahrzeug (12)

Während des Füllvorgangs kann ein Fahrzeug auf den stehenden Tankwagen auffahren. Da dieser auf werkseigenem Gelände steht, wo nur zweimal stündlich ein Lastwagen passiert, wird der im Rahmenbericht vorgeschlagene Wert ( $8 \cdot 10^{-6}$ ) um den Faktor 10 reduziert und mit der Anzahl Befüllungen pro Jahr (50) multipliziert. Dieses Ereignis ist umschlaggebunden und deshalb nur tagsüber möglich.

---

<sup>9</sup> Dem Berichtsverfasser sind keine Fälle bekannt, bei denen es infolge Erdbebens zu einer Gasfreisetzung kam. Es muss jedoch angenommen werden, dass Erdbeben der Intensität IX zu Rohrbrüchen führen können. Die Häufigkeiten von Erdbeben dieser Intensität liegen für weite Teile des Schweizerischen Mittellandes unter  $10^{-5}$  pro Jahr. Für stärker gefährdete Gebiete wie das Wallis, die Regionen Genf und Basel und das Engadin werden jährliche Häufigkeiten bis zu etwa  $5 \cdot 10^{-4}$  erwartet.

## **Fehlerbäume "Grosse, spontane Freisetzung"**

Hitzeeinwirkung seitlich

Da sich im Nahbereich des Tanks keine Brandlast befindet, wird dieses Ereignis nicht in die Analyse miteinbezogen. Ein Transportunfall mit Freisetzung einer leichtentzündlichen Flüssigkeit auf dem Werkareal muss ebenfalls nicht berücksichtigt werden: Zum einen findet kein signifikanter Werkverkehr auf dem Betriebsareal statt, zum andern kann sich lokal nicht genügend Treibstoff ansammeln, dass eine Gefährdung des Tanks in Betracht gezogen werden müsste.

Brand in 10 Min. nicht unter Kontrolle

Die Erfahrung aus Übungen zeigt, dass die lokale Feuerwehr durchschnittlich in 8 Minuten am Ort einsatzbereit ist. Kleinere Brände können so sofort unter Kontrolle gebracht werden. Bei grösseren Bränden wird davon ausgegangen, dass die Feuerwehr tagsüber in 20% der Fälle den Brand nach 10 Minuten nicht derart unter Kontrolle hat, dass eine Überhitzung des Tanks ausgeschlossen werden kann. Für die Nacht wird der entsprechende Wert auf 60% gesetzt.

Brand in 15 Min. nicht unter Kontrolle

Die entsprechenden Werte werden in Absprache mit der Feuerwehr auf 10% (Tag) und 30% (Nacht) geschätzt.

Tank bei Brandausbruch voll

Falls die Sicherheitsventile funktionstüchtig sind, kann es nur zu einem BLEVE kommen, wenn der Tank bei Brandausbruch weitgehend gefüllt ist. In den anderen Fällen bläst der Inhalt vollständig ab, bevor der Behälter versagt. Entsprechend der Tankbewirtschaftung ist der Tank während einem Viertel des Jahres ganz gefüllt.

Naturgewalten

Ein Behälterbersten aufgrund von Naturgewalten wird im vorliegenden Fall aufgrund des Standorts nicht erwartet. Insbesondere können Felssturz und Steinschlag, Hangrutschungen und Überschwemmungen ausgeschlossen werden. Ein Erdbeben führt schlimmstenfalls zu einem Leitungsversagen (siehe oben).

Flugzeug (12)

*Grossraumflugzeuge:* Der Absturz eines Grossraumflugzeugs wird nicht berücksichtigt, da im Rahmen der Risikoermittlung vor allem Gefährdungen interessieren, die spezifisch von der Tankanlage ausgehen. Der Absturz eines grossen Flugzeugs auf den Dorfkern wäre jedoch mit Schäden in der gleichen Grössenordnung verbunden, wie sie durch Absturz auf den Propantank entstehen. Das kollektive Risiko für die Bevölkerung durch Absturz

---

eines Grossraumflugzeugs wird deshalb durch die Tankanlage nur unwesentlich vergrössert. Die Absturzwahrscheinlichkeit ist mit  $3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$  vergleichsweise gering (siehe folgende Absätze).

*Kleinflugzeuge:* Anders muss die Situation im Falle eines Absturzes eines Kleinflugzeugs gewertet werden. Dieser Auslöser wird daher in die Analyse miteinbezogen. Ein Behälterbersten ist jedoch nur bei einem Direkttreffer zu erwarten. Deshalb wird die Absturzwahrscheinlichkeit auf eine Fläche von  $24 \text{ m} \times 7 \text{ m} = 168 \text{ m}^2$  (entsprechend einem Rechteck mit einem allseitigen Abstand von 2 m vom Propantank) berücksichtigt.

Die Absturzwahrscheinlichkeit<sup>10</sup> eines kleinen Flugzeugs beträgt für das betrachtete Gebiet  $6 \cdot 10^{-11} \text{ m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ . Daraus errechnet sich eine Wahrscheinlichkeit von  $1 \cdot 10^{-8}$  pro Jahr für ein durch einen Flugzeugabsturz ausgelöstes Behälterbersten. Die Wahrscheinlichkeit für einen Kleinflugzeugabsturz in der Nacht wird um einen Faktor 100 tiefer angesetzt.

Andere mechanische Einwirkungen

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten können Fahrzeuge Geschwindigkeiten, die beim stationären Tank oder beim Tankfahrzeug zu einer grossen spontanen Gasfreisetzung führen könnten, nicht erreichen. Andere massive Einwirkungen werden nach Untersuchung der Umgebung als nicht relevant betrachtet.

Sabotage (13)

Wird in dieser Risikoermittlung nicht quantifiziert (s. Kommentar S. 11).

Brennendes LPG

Der entsprechende Wert wird aus dem Ereignisbaum "kontinuierliche Freisetzung am Tag" übernommen. Er entspricht der Summe der Wahrscheinlichkeiten aller Ereignisse, die zu einer direkten Befeuerng des Tanks führen.

Brand ausgelaufener Brenn- und Treibstoffe

Ein-Brand unter dem Tank oder dem Tankfahrzeug ist nur durch Entzündung ausgelaufener leicht brennbarer Flüssigkeiten möglich. Ein Transportunfall mit Freisetzung einer leichtentzündlichen Flüssigkeit auf dem Betriebsareal muss jedoch nicht berücksichtigt werden: Zum einen findet im vorliegenden Beispiel kein signifikanter Werkverkehr statt, zum anderen kann sich lokal nicht genügend Treibstoff ansammeln, dass eine Gefährdung des Tanks in Betracht gezogen werden müsste.

---

<sup>10</sup> Bundesamt für Zivilluftfahrt, "Die Auswirkungen der Luftfahrt auf die Umwelt", 1993

Sicherheitsventile öffnen nicht (2)	Der im Rahmenbericht vorgeschlagene Wert wird übernommen ( $10^{-11}$ ).
Tankkuhlung ungenügend (6)	Der im Rahmenbericht empfohlene Wert wird eingesetzt (0.5).
Zuviel LPG eingefüllt (8)	Der im Rahmenbericht empfohlene Wert ( $6.7 \cdot 10^{-6}$ pro Befüllung) wird übernommen. Aufgrund der Tankbewirtschaftung ist ein Überfüllen des Tanks nur während 3 Wintermonaten, d.h. bei 13 Befüllungen, denkbar. Dieses Ereignis ist nur tagsüber zu erwarten.
Temperaturanstieg	Aufgrund des jahreszeitlich abhängigen Füllstands ist ein Überfüllen des Tanks nur im Winter möglich. Es wird angenommen, dass in dieser Jahreszeit durchschnittlich nur an einem Tag im Monat die Voraussetzungen für einen Temperaturanstieg gegeben sind, der genügend gross ist, um bei einem Versagen der Sicherheitsventile ein Behälterbersten zu verursachen.
Fahrzeug nicht aus Gefahrenbereich entfernt	Im Falle eines Feuers wird der Camionfahrer versuchen, das Fahrzeug aus dem Gefahrenbereich zu bringen. Es wird davon ausgegangen, dass dies in der Hälfte der Fälle nicht möglich ist.

### 3.3.2 Wirkung der Freisetzung

#### *Wirkungsmuster*

Die Freisetzung von Flüssiggas bleibt für die Umgebung ohne Folgen, wenn es nicht zu einer Zündung kommt. Die für die Wirkungsanalyse relevanten Szenarien sind (s. auch Abschn. 3.3):

- Freistrahbrand (FS)
- Gaswolkenbrand (FF)
- BLEVE

Welche Ereignisse eintreten müssen, damit es nach einer Freisetzung zu einer Schadenwirkung kommt, wird im folgenden mittels der Ereignisbäume dargestellt.

---

### *Freistrahbrand (FS)*

Wirkungsmuster	Gefährdet sind Personen, die sich direkt im oder beim Freistrahbrand befinden. Andere Personen in unmittelbarer Umgebung der Tankanlage können sich schon durch Flucht von wenigen Metern in Sicherheit bringen. Zur Berechnung der maximalen Fackellänge muss zuerst abgeschätzt werden, wie hoch die zu berücksichtigende Freisetzungsrate ist.
Freisetzung aus Rohrleitung	Für die Berechnung wird angenommen, dass bei beiden direkt nebeneinander liegenden Gasanschlüssen am Tank der volle Querschnitt (10 cm <sup>2</sup> ) freigegeben wird. Der Innendruck betrage 8.3 bar entsprechend einer Flüssigkeitstemperatur von 20°C. Die austretende Gasmenge berechnet sich gemäss Anhang C2.1.1 des Rahmenberichts zu 3.8 kg s <sup>-1</sup> .
Freisetzung der Pumpleistung	Die Pumpleistung des Tankfahrzeugs beträgt etwa 1.7 kg s <sup>-1</sup> . Die Rohrbruchsicherung ist auf das 1 1/2-fache dieses Werts, also auf etwa 2.5 kg s <sup>-1</sup> eingestellt. Die Pumpe selbst ist aufgrund ihrer Konstruktion nicht in der Lage, auch bei einem Schlauchabriss und einem Versagen der Rohrbruchsicherung wesentlich mehr als 2.5 kg s <sup>-1</sup> zu fördern.
Freisetzung aus Fullschlauch,	Erfolgt ein Schlauchabriss und versagt die Rohrbruchsicherung auf Seiten des Tanks, so werden ungefähr 2 kg s <sup>-1</sup> (offener Querschnitt ca. 10 cm <sup>2</sup> ) Propan aus der Gasphase freigesetzt.
Andere Freisetzungsorte	Allgemeine Tankleckagen und Dichtungslecks mit der ausgewiesenen Wahrscheinlichkeit von 10 <sup>-5</sup> pro Jahr weisen Freisetzungsraten von weniger als 1 kg s <sup>-1</sup> auf.
Zusammenfassung	Die betrachteten Freisetzungsraten liegen somit einheitlich unterhalb von 3.8 kg s <sup>-1</sup> . Im Sinne eines einfachen Vorgehens wird für alle kontinuierlichen Freisetzungen dieser Wert verwendet. Dies entspricht einem konservativen Ansatz.
Länge des Freistrahbrands	Die Länge des Freistrahbrands erreicht bei einer Freisetzungsrate von 3.8 kg s <sup>-1</sup> eine Länge von ca. 18 m (s. Rahmenbericht Anhang C2.4.2).

## Gaswolkenbrand (FF)

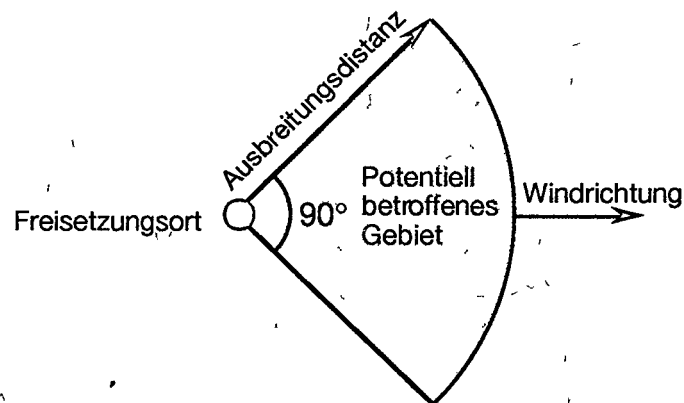
### Wirkungsmuster

Es wird angenommen, dass 50% der Personen, die sich im betrachteten Gebiet im Freien befinden, getötet werden. Personen in Gebäuden sind von der Primärwirkung geschützt, 10% sterben jedoch infolge von Sekundärbränden.<sup>11</sup>

### Ausdehnung der Gaswolke nach kontinuierlicher Freisetzung

Für die Abschätzung der Auswirkungen wird auf das Diagramm in Figur 15 auf Seite 72 des Rahmenberichts zurückgegriffen. Für eine Freisetzungsrate von  $3.8 \text{ kg s}^{-1}$  wird ein mittlerer Abstand der unteren Zündgrenze von 110 m vom Freisetzungsort ermittelt.<sup>12</sup>

Das Gebiet, das in Abhängigkeit von der Windrichtung von einer brennbaren Gaswolke betroffen sein kann, wird wie folgt definiert:



Figur 2: Definition des von einer Gaswolke potentiell betroffenen Gebiets bei Wind

Bei Windstille wird das betroffene Gebiet durch einen Kreis mit dem Freisetzungsort als Mittelpunkt und der Distanz zur unteren Explosionsgrenze (UEG) als Radius definiert.

<sup>11</sup> Personen, die sich direkt in der brennenden Gaswolke befinden, erleiden erfahrungsgemäss nicht unbedingt todliche Verletzungen. Die ungeschützten Körperstellen (z.B. Gesicht) werden jedoch derart versengt, dass sie möglicherweise trotzdem mit dem Schadenindikator  $n_1$  (Tote und Schwerinvalide) erfasst werden müssen (siehe auch TNO, "Green Book", 1992). Da die Ausdehnung der Gaswolke (siehe folgende Absätze) im vorliegenden Fall grosszügig abgeschätzt wird, darf angenommen werden, dass in der Realität die brennende Gaswolke nicht den *ganzen möglichen* Bereich erfassen würde und somit eine Mortalität von 50% adäquat erscheint. Werden andere Ausbreitungsmodelle eingesetzt, die die Ausdehnung der Gaswolke präziser definieren, so muss von einer grösseren Mortalität ausgegangen werden.

<sup>12</sup> Die Annahme, dass sich die Gaswolke vor der Zündung maximal ausdehnt, ist konservativ. Befinden sich im Ausbreitungsgebiet Zündquellen (Menschen, Häuser, Fahrzeuge etc.), so wird die Gaswolke mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eher gezündet, wodurch das vom Brand betroffene Gebiet kleiner wird. Da das mit dem verwendeten Modell ausgewiesene Risiko jedoch als nicht-kritisch erachtet wird (siehe Figur 4), wird hier auf eine weitere, aufwendige Differenzierung verzichtet.



Im Falle eines Freistrahls aus einem Rohr würde die Zünddistanz nur 14 m betragen. Die errechneten Distanzen sind deshalb als konservativ zu betrachten.<sup>13</sup>

Ausdehnung der Gaswolke nach grosser, spontaner Freisetzung

Die Ausdehnung der Gaswolke nach grosser spontaner Freisetzung lässt sich mit Hilfe des Diagramms in Figur 14, Seite 71 des Rahmenberichts bestimmen. Die Ausbreitungsdistanz beträgt:

Freigesetzte Menge	Distanz <sup>14</sup>
15 Tonnen	450 m
55 Tonnen	700 m

Im Falle eines Behälterberstens wird durch die turbulente Ausdehnung des Gases viel Luft zugemischt, was schon nach kurzer Zeit zu einer grossen Verdünnung führt. Die Berechnung nach einem Literaturmodell<sup>15</sup>, das diesem Umstand Rechnung trägt, ergäbe bei einer Freisetzung von 55 Tonnen für das zündfähige Gemisch einen maximalen Radius von 68.5 m. Die zur Anwendung kommenden Distanzen werden jedoch nur bei druckloser Freisetzung mit entsprechend langsamer Luftdurchmischung erreicht. Sie sind in diesem Sinne als konservativ zu betrachten.<sup>16</sup>

<sup>13</sup>Häufig wird bei einer kontinuierlichen Freisetzung in der betrachteten Grössenordnung weder ein reiner Freistrahls noch eine drucklose Freisetzung (entspr. Figur 15, Rahmenbericht) vorliegen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, kann z.B. das geometrische Mittel aus den beiden Distanzwerten eingesetzt werden.

Zum Vergleich: Mit dem Schwergasausbreitungsmodell DEGADIS wurde für die Parameter Quellstärke =  $7 \text{ kg s}^{-1}$

Stabilität der atmosph. Schichtung: neutral

Rauhigkeitsparameter:  $z_0 = 0.45 \text{ m}$

Lufttemperatur:  $t = 15^\circ\text{C}$

Luftfeuchte:  $r = 70\%$

Windgeschwindigkeit:  $u_{10\text{m}} = 4 \text{ m s}^{-1}$

eine Distanz zur unteren Zündgrenze von etwa 33 m, für eine Rauigkeit von  $z_0 = 0.05 \text{ m}$  eine Distanz von 62 m, gefunden (s. Rahmenbericht, Ref. 9) Das geometrische Mittel aus den Distanzwerten für Freistrahls und druckloser Freisetzung beträgt bei gleicher Freisetzungsrates 54 m.

<sup>14</sup>Die Annahme, dass sich die Gaswolke vor der Zündung maximal ausdehnt, ist konservativ. Befinden sich im Ausbreitungsgebiet Zündquellen (Menschen, Häuser, Fahrzeuge etc.), so wird die Gaswolke mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eher gezündet, wodurch das vom Brand betroffene Gebiet kleiner wird. Da das mit dem verwendeten Modell ausgewiesene Risiko jedoch als nicht-kritisch erachtet wird (siehe Figur 4), wird hier auf eine weitere, aufwendige Differenzierung verzichtet.

<sup>15</sup>TNO: Methods for the determination of possible damage (Green Book), Voorburg 1989 (Englische Ausgabe: First edition 1992)

<sup>16</sup>Die Situation, dass zwei Modelle (unter Annahme unterschiedlicher Ausgangszustände) um eine 10-er Potenz differierende Zünddistanzen ergeben, ist sehr unbefriedigend. Als Ausweg kann – wie schon im Fall der kontinuierlichen Freisetzung – das geometrische Mittel aus beiden Distanzwerten verwendet werden. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass einerseits die Freisetzung nicht drucklos erfolgt, andererseits die idealen Bedingungen der Modellannahmen in der Wirklichkeit nicht erreicht werden müssen. Für eine

## BLEVE

### Wirkungsmuster

Für eine Beschreibung des BLEVEs und der dadurch erzeugten Wirkungen wird auf den Rahmenbericht verwiesen. Sie werden im vorliegenden Bericht folgendermassen berücksichtigt:

#### Wirkung auf Personen

im Freien:

$$F = 0.003 \cdot P_D \cdot M^{0.666}$$

(F = Tote,  $M_j$  in [t],  $P_D$  im 3-fachen Feuerballradius (s. Rahmenbericht S. 20) in [Personen  $\text{km}^{-2}$ ])

in Gebäuden:

F = 50 - 90% der betroffenen Personen innerhalb des Feuerballradius

in Autos:

Es wird nur mit Verletzten gerechnet.

im Bahnwagen:

Die Reisenden in den Bahnwagen werden für die Berechnung der Personendichten in den 3-fachen Feuerballradien der 15- und 55-Tonnen BLEVEs mitberücksichtigt (s. unten). Die Wirkung der 5- und 10-Tonnen BLEVEs wird als nicht ausreichend erachtet, um Reisende in den Wagen zu schädigen.

### Betroffenes Gebiet

Aufgrund der Tankbewirtschaftung wird zwischen einem vollen (55 Tonnen Inhalt) und einem fast leeren (15 Tonnen) Tank unterschieden<sup>17</sup>.

Radius Feuerball:

$$R = 2.75 \cdot M^{0.333}$$

(R in [m], M in [kg])

Freisetzung von 55 Tonnen würde so eine Distanz zur unteren Zündgrenze von 220 m, bei 15 Tonnen eine Distanz von 140 m, ermitteln.

<sup>17</sup> Bei einem Brand unter einem vollen Tank (55 Tonnen) wären 40 t des Inhalts nach ca. 17 Minuten über die Sicherheitsventile abgeblasen. Falls pro Block nur 3 Sicherheitsventile öffnen, dauert es ca. 22 Minuten. Entsprechend wird ein Inhalt von 15 Tonnen nach 6 bzw. 8 Minuten vollständig abgeblasen. Aus diesem Grunde wird für den Fall eines Behälterberstens nach über 15-minütiger Befeuern und normal funktionierenden Sicherheitsventilen mit Freisetzungsmengen von 15 resp. 0 Tonnen gerechnet.

Freigesetzte Menge	Feuerballradius	3-facher Feuerballradius
15 Tonnen	68 Meter	203 Meter
55 Tonnen	104 Meter	313 Meter

BLEVE des Tankfahrzeugs

Das Tankfahrzeug ist mit maximal 10 Tonnen Flüssiggas beladen. Der Entladevorgang dauert vom Zeitpunkt des Einfahrens auf das Areal bis zur vollständigen Entleerung 100 Min. Aufgrund des Befüllungsvorganges wird zwischen einem vollen (>5 Tonnen Inhalt) und einem fast leeren (< 5 Tonnen Inhalt) Tankfahrzeug unterschieden. Für die Berechnung der Feuerballradien werden freigesetzte Mengen von 10 und 5 Tonnen eingesetzt.

Radius Feuerball:  $R = 2.75 \cdot M^{0.333}$   
(R in [m], M in [kg])

Freigesetzte Menge	Feuerballradius	3-facher Feuerballradius
5 Tonnen	47 Meter	141 Meter
10 Tonnen	59 Meter	178 Meter

### **Eintretenswahrscheinlichkeiten**

Die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten der verschiedenen Wirkungen werden mit Hilfe von Ereignisbäumen errechnet. Die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Bäume sind in Beilage 3 zu finden. Im folgenden werden die einzelnen Ereignisschritte kommentiert.

### **Ereignisbäume "Kontinuierliche Freisetzung"**

Ungehinderter Freistrahl

Ein ungehinderter Freistrahl wird wegen seiner hohen kinetischen Energie sofort mit genügend Luft durchmischt, was das Entstehen einer zündfähigen Gaswolke verhindert. Konservativerweise wird angenommen, dass dies nur in 20% der kontinuierlichen Freisetzungen der Fall ist.

Gas zundet sofort Da es sich bei der Umgebung der Tankanlage um ein besiedeltes Gebiet handelt, muss mit einer überdurchschnittlichen Dichte von Zündquellen gerechnet werden. Der im Rahmenbericht empfohlene Wert wird deshalb verdoppelt (0.1).

Gas zundet später Gleiche Argumentation wie im Fall der Sofortzündung. Verwendeter Wert = 0.1.

Wind aus Die Wahrscheinlichkeiten für Wind aus einer bestimmten Windrichtung betragen gemäss Windrose (s. Figur 1):

Südostwind	14%
Nordwestwind	26%
übrige Richtungen	40%
Kalmen	20%

LPG-Tank im Feuer Die Wahrscheinlichkeit, dass der Feuerstrahl aus einer Leitung den Tank trifft, wird auf 50% geschätzt. Dies basiert auf der Annahme, dass die Richtung des Feuerstrahls zufallsverteilt ist.

Evakuierung erfolgreich In jenen Fällen, in denen sich eine Gaswolke bildet, kann die vor einer Zündung zur Verfügung stehende Zeit für die Evakuierung der bedrohten Bevölkerung genutzt werden. Es wird geschätzt, dass tagsüber in 10% der Fälle die Personen im betroffenen Gebiet evakuiert werden können.

### **Ereignisbäume "Grosse, spontane Freisetzung"**

Tank voll Drei Pfade führen zur Freisetzung des gesamten Tankinhalts ohne vorangehendes Abblasen über die Sicherheitsventile:

1. Eine massive mechanische Einwirkung (z.B. Direkttreffer durch ein abstürzendes Flugzeug); Wahrscheinlichkeit =  $p(\text{mech. Einw.})$
2. Eine Befuerung des Tanks mit ungenügender Druckentlastung durch die Sicherheitsventile; Wahrscheinlichkeit =  $p(\text{Brand mit ung. Druckentl.})$
3. Starke Erwärmung eines überfüllten Tanks, ohne dass die Sicherheitsventile ansprechen; Wahrscheinlichkeit =  $p(\text{Tank überfüllt})$

Die freigesetzte Menge ist abhängig vom Füllgrad (s. Abschn. 2.3 unter "Tankbewirtschaftung"). Die Wahrscheinlichkeit für den Füllgrad "voll" beträgt:

$$0.25 \times \frac{P(\text{mech. Einw.}) + P(\text{Brand mit ung. Druckentl.}) + P(\text{Tank überfüllt})}{P(\text{Grosse spontane Gasfreisetzung})}$$

Kommentar:

Bedingt durch die Tankbewirtschaftung ist der Tank während 3 von 12 Monaten weitgehend voll, was einer Wahrscheinlichkeit von 0.25 für "voller Tank" entspricht. Dieser Wert muss gemäss obenstehender Formel mit dem Anteil grosser spontaner Gasfreisetzungen multipliziert werden, die zu einer Freisetzung des gesamten Tankinhalts (ohne vorangehendes Abblasen über die Sicherheitsventile) führen.

Tankfahrzeug voll oder fast leer

Das Tankfahrzeug enthält auf dem Betriebsgelände während 100 Min. Flüssiggas. Es wird angenommen, dass es während 50 Min. "voll" (über 5 Tonnen), und während 50 Min. "fast leer" ist (weniger als 5 Tonnen). Die Wahrscheinlichkeit der Füllgrade voll und fast leer beträgt demzufolge je 0.5.

Sofortzündung

Der im Rahmenbericht vorgeschlagene Wert (0.9) wird übernommen.

Verzögerte Zündung

Der im Rahmenbericht vorgeschlagene Wert (0.5) wird übernommen.

Wind aus

Die Wahrscheinlichkeiten für Wind aus einer bestimmten Windrichtung betragen gemäss Windrose (s. Figur 1):

Nordwestwind	26%
Südwestwind	26%
Südostwind	14%
Nordostwind	14%
Kalmen	20%

Evakuierung erfolgreich

Es gelten die gleichen Überlegungen wie im Falle einer kontinuierlichen Freisetzung. (Erfolgreiche Evakuierung am Tag in 10% der Fälle, in der Nacht keine Evakuierung.)

### 3.3.3 Folgen für die Bevölkerung

In der vorliegenden Analyse werden nur Todesopfer und Schwerinvalide berücksichtigt, da sich gezeigt hat, dass dieser Schadenindikator von do-

minierender Bedeutung ist. Die Darstellung des Schadenausmasses beschränkt sich hier somit auf Indikator n<sub>1</sub> gemäss HB-StFV<sup>18</sup>.

### Exposition<sup>19</sup>

#### Anzahl Personen im Freien

Ort	Tag	Nacht
Industrie und Wohnzone im Bereich der Objekte 1 bis 5	10	2
Nähere Umgebung des Bahnhofs, Bahnhofplatz	10	1
Dorf	300/km <sup>2</sup>	60/km <sup>2</sup>
Bahnsteig, zur vollen Stunde, während 5 Min.	30	--

Tabelle 1: Anzahl Personen im Freien

#### Personen in Gebäuden

Objekt-nummer	Beschreibung	Tag	Nacht
1	Firma 1	10	0
2	Firma 2	10	0
3	7 Einfamilienhäuser mit je 3 Personen am Tag und 5 Personen nachts	21	35
4	Mehrfamilienhaus 4	25	50
5	Mehrfamilienhaus 5	25	50
	Dorf: Bevölkerungsdichte =	2'500/km <sup>2</sup>	2'500/km <sup>2</sup>

Tabelle 2: Anzahl Personen in Gebäuden

#### Personen in Autos

Auf der Hauptstrasse befinden sich tagsüber etwa 4 Autos, nachts 1 Auto je 100m Strassenlänge. Die durchschnittliche Belegungszahl beträgt 1.5

<sup>18</sup>Je nach Situation müssen auch andere Indikatoren berücksichtigt werden. Für Risikoeermittlungen im Bereich "Flussiggas" stehen vor allem Verletzte und Sachschaden zur Diskussion.

<sup>19</sup>Die Zahlen wurden anhand des Hektarrasters der Wohnbevölkerung, der Resultate von Verkehrszählungen, von SBB-Angaben und von eigenen Beobachtungen ermittelt.

---

Personen pro Auto. Die Anzahl der Fahrzeuge auf den übrigen Strassen ist vernachlässigbar und wird in der Analyse nicht berücksichtigt.

#### *Personen in Zügen*

Tagsüber hält jeweils zur vollen Stunde ein Personenzug am Bahnhof. Die Züge sind durchschnittlich jeweils mit etwa 200 Personen belegt.

### **Abschätzung der möglichen Personenschäden**

#### *Freistrahbrand*

Aufgrund der geringen Reichweite des Freistrahbrandes werden keine Personenschäden erwartet.

#### *Gaswolkenbrand*

##### Nahbereich

Zur Berechnung der Personenschäden im Nahbereich des Tanks werden die Flächen der Gaswolken ins Verhältnis zur Gesamtfläche des Bereichs um die Objekte 1 - 5 (= ca. 60'000 m<sup>2</sup>) gesetzt. Die kontinuierlichen Freisetzungsbereiche betreffen bei Wind ein Gebiet von 9'500 m<sup>2</sup> = 110<sup>2</sup> · π/4 m<sup>2</sup>, ohne Wind ein Gebiet von 38'000 m<sup>2</sup>. Bei grossen spontanen Freisetzungsbereichen wird entsprechend 1/4 (mit Wind) bzw. 1/1 (ohne Wind) des Bereichs betroffen.

##### Gebäude und Fahrzeuge

Die Gebäude, die sich innerhalb des Gaswolkenbrandes befinden, sind nicht besonders brandgefährdet. Es wird dennoch angenommen, dass von den Personen in den betroffenen Gebäuden 10% infolge sekundärer Brände sterben. Passagiere in Bahnwagen und Autofahrer werden wie Personen in Gebäuden behandelt. Tabelle 3 gibt an, welche Fläche des Dorfs bzw. Länge der Strasse durch eine Gaswolke in Abhängigkeit von der Freisetzungsgrosse betroffen ist. Tabellen 4-6 weisen die zu erwartenden Personenschäden aus.

Freisetzung	Wind	Betr. Fläche Dorf	Betr. Länge Strasse
3.8 kg s <sup>-1</sup>	Wind/Kalmen	—	—
15'000 kg	NO oder NW-Wind	0.072 km <sup>2</sup>	400 m
15'000 kg	Kalmen	0.144 km <sup>2</sup>	800 m
55'000 kg	NO oder NW-Wind	0.247 km <sup>2</sup>	670 m
55'000 kg	Kalmen	0.494 km <sup>2</sup>	1340 m

Tabella 3: Von Gaswolkenbränden betroffene Gebiete im Dorf und auf der Hauptstrasse

Kontinuierliche Freisetzung

Wind	betroffene Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tote (Tag)	Tote (Nacht)
Südostwind	9'500	1	0
Nordwestwind	9'500	1	0
andere Windrichtung	9'500	1	0
Kalmen	38'000	3	1

Tabella 4: Zusammenfassung der Personenschäden im Freien durch Gaswolkenbrand nach kontinuierlicher Freisetzung

Wind	betroffene Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tote (Tag)	Tote (Nacht)
Südostwind	9'500	2	0
Nordwestwind	9'500	3	6
andere Windrichtung	9'500	0	0
Kalmen	38'000	5	6

Tabella 5: Personenschäden in Gebäuden durch Gaswolkenbrand nach kontinuierlicher Freisetzung

Gesamthaft ist infolge Gaswolkenbrand nach kontinuierlicher Freisetzung mit folgenden Personenschäden zu rechnen:

Wind	betroffene Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tote (Tag)	Tote (Nacht)
Südostwind	9'500	3	0
Nordwestwind	9'500	4	6
andere Windrichtung	9'500	1	0
Kalmen	38'000	8	7

Tabella 6: Zusammenfassung der Personenschäden durch Gaswolkenbrand nach kontinuierlicher Freisetzung



Grosse spontane Gasfreisetzung

Die aufgrund von Gaswolkenbrand nach grosser spontaner Freisetzung ermittelten Personenschäden sind in Tabelle 7 wiedergegeben. Die Anzahl der betroffenen Personen wird zwecks Nachvollziehbarkeit in der Reihenfolge:

Umgebung Objekte 1 - 5 zusammen; Umgebung Bahnhof; Dorf (im Freien); Objekt 1; Objekt 2; Objekt 3, Objekt 4, Objekt 5, Dorf (in Gebäuden); Autos aufgeführt und zusammengezählt.

Menge, Windrichtung	Tote (Tag)	Tote (Nacht)	Tote (Tag, inkl. Bahnsteig)	Tote (Tag, inkl. Bahnsteig und Zug)
15 t, Nordwest	1+0+11+0+0+ 2+3+3+18+2 =40	0+0+2+0+0+ 4+5+5+18+1= 35	40	40
15 t, Südwest	1+0+0+0+ 0+0+0+0+0+0 =1	0	1	1
15 t, Südost	1+1+0+1+1+0+ 0+0+0+0 =4	0	12	22
15 t, Nordost	1+1+11+0+0+0+ +0+0+18+2 =33	0+0+2+0+0+ 0+0+0+18+1 =21	41	51
15 t, Kalmen	5+5+22+1+1+ 2+3+3+36+5 =83	1+1+4+0+0+ 4+5+5+36+1 =57	98	118
55 t, Nordwest	1+0+37+0+0+ 2+3+3+62+4 =112	0+0+7+0+0+ 4+5+5+62+1 =84	112	112
55 t, Südwest	1+0+0+0+0+0+ 0+0+0+0 =1	0	1	1
55 t, Südost	1+1+0+1+1+0+ 0+0+0+0 =4	0	12	22
55 t, Nordost	1+1+37+0+0+ 0+0+0+62+4 =105	0+0+7+0+0+ 0+0+0+62+1 =70	113	123
55 t, Kalmen	5+5+74+1+1+ 2+3+3+123+8 =225	1+1+14+0+0+ 4+5+5+123+2 =155	240	260

Tabelle 7: Personenschäden infolge Gaswolkenbrand nach grosser spontaner Gasfreisetzung

---

## BLEVE

### Personen im Freien

Zur Bestimmung der Personenschäden infolge eines BLEVEs muss die Personendichte im Umkreis von 140, 180, 200 und 310 m entsprechend den 3-fachen Feuerballradien für 5, 10, 15 und 55 Tonnen bestimmt werden. Die entsprechenden Personenschäden sind in Tabelle 8 aufgeführt. Zwecks Nachvollziehbarkeit werden in den Kolonnen "Anzahl betroffene Personen" die verschiedenen Personengruppen in der Reihenfolge

Umgebung Objekte 1 - 5 zusammen, Umgebung Bahnhof, Dorf einzeln ausgewiesen und zusammengezählt.

### Personen auf dem Bahnsteig

Das Tankfahrzeug befindet sich in Sichtweite vom Bahnsteig, eine intensive Befuerung des Tanks kann den Wartenden nicht entgehen. Deshalb wird ein Evakuierungsversuch sehr wahrscheinlich erfolgreich sein (z.B. Aufruf durch Feuerwehr oder Bahnpersonal über Lautsprecher). Im Falle eines plötzlichen Tankversagens wäre das Ereignis hingegen überraschend. Für die Analyse wird konservativerweise angenommen, dass die Reisenden gleich erfolgreich wie die übrige Bevölkerung evakuiert werden können. Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass Reisende auf dem Bahnsteig im Ereignisfall mitbetroffen sind, wird deren Aufenthaltsdauer (5 Minuten) mitberücksichtigt.

### Personen in Autos

Die Strasse liegt deutlich ausserhalb der möglichen Feuerballradien. Es werden keine Toten erwartet.

### Personen im Zug

Tagsüber hält jede Stunde ein Zug am Bahnhof. Es wird angenommen, dass sich der Zug während 2 Min. im Bahnhofbereich aufhält. Die Passagiere sind nur im Falle eines BLEVEs des Lagertanks gefährdet. In den anderen Fällen ist die Distanz zum Feuerball ausreichend, damit die Abschirmung durch die Eisenbahnwagen genügt. Die Passagiere werden für den Fall eines BLEVEs gleich wie Personen im Freien behandelt. Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass Reisende im Zug im Ereignisfall mitbetroffen sind, wird die Aufenthaltsdauer im Bahnhof (2 Minuten) mitberücksichtigt.

Menge	Anzahl betroff. Personen		Personen-dichte (km <sup>-2</sup> )		Tote		Tag (inkl. Bahnsteig)		Tag (inkl. Bahnsteig und Zug)	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Dichte	Tote	Dichte	Tote
5 t	10+5+0=15	—	244	—	2	—	487	4	487	4
10 t	10+10+0=20	—	196	—	3	—	491	7	491	7
15 t	10+10+0=20	2+1+0=3	1,59	24	3	0	398	7	1989	36
55 t	10+10+11=31	2+1+2=5	103	17	4	1	202	9	865	37

Tabella 8: Personenschäden im Freien und in Zügen durch BLEVE

Personen in Gebäuden

Es werden nur jene Gebäude betrachtet, die im Feuerballradius liegen. Wenn sich das Gebäude teilweise im Feuerballradius befindet, wird eine Mortalität von 50% der Bewohner angenommen; wenn sich das gesamte Gebäude innerhalb des Radius befindet, wird der Anteil der Todesfälle auf 90% gesetzt. Die Feuerballradien betragen 50, 60, 70 und 105 m.

Menge	Gebäude	Anteil Tote	Personen		Tote	
			Tag	Nacht	Tag	Nacht
5 t	keine	0	0	-	0	-
10 t	Firma 2	0.5	10	-	5	-
15 t	Firma 2	0.5	10	0	5	0
	1 EFH	0.5	3	5	2	3
55 t	Firma 1	0.9	10	0	9	0
	Firma 2	0.9	10	0	9	0
	2 EFH	0.9	6	10	5	9
	1 EFH	0.5	3	5	2	3
	Mehrfamilienhaus 4	0.5	25	50	13	25
	Mehrfamilienhaus 5	0.9	25	50	23	45

Tabella 9: Personenschäden in Gebäuden durch BLEVE

---

Dies ergibt total:

Menge	Tote (Tag)	Tote (Nacht)	Tote (Tag, inkl. Bahnsteig)	Tote (Tag, inkl. Bahnsteig und Zug)
5 t	2	0	4	4
10 t	8	0	12	12
15 t	10	3	14	43
55 t	65	83	70	98

*Tabelle 10 Zusammenfassung der Personenschäden durch BLEVE*

## 4. Schlussfolgerungen

### 4.1 Relevante Szenarien

Die wichtigsten Störfallszenarien sind in Tabelle 11 aufgelistet. Eine komplette Übersicht über alle Szenarien, zugehörige Schadenausmasse und Wahrscheinlichkeiten sowie eine Tabelle mit den kumulierten Wahrscheinlichkeiten für die Risikosummenkurve findet sich in Beilage 4.

Situation	Ereignis	W (pro Jahr)	A (Tote)
Tag, Kalmen	Gaswolkenbrand, grosse spontane Freisetzung (55 t)	$2 \times 10^{-11}$	225
Tag, Kalmen	Gaswolkenbrand, grosse spontane Freisetzung (15 t)	$4 \times 10^{-10}$	83
Tag	BLEVE voller Tank	$2 \times 10^{-9}$	65
Tag	BLEVE halbvoller Tank, inkl. Bahnsteig und Zug	$1 \times 10^{-9}$	43
Tag	BLEVE halbvoller Tank	$4 \times 10^{-8}$	10
Tag	BLEVE voller Camion	$6 \times 10^{-8}$	8
Tag, Kalmen	Gaswolkenbrand, kontinuierliche Freisetzung	$3 \times 10^{-7}$	8
Nacht, Kalmen	Gaswolkenbrand, kontinuierliche Freisetzung	$7 \times 10^{-8}$	7
Nacht, NW-Wind	Gaswolkenbrand, kontinuierliche Freisetzung	$9 \times 10^{-8}$	6
Tag, NW-Wind	Gaswolkenbrand, kontinuierliche Freisetzung	$4 \times 10^{-7}$	4

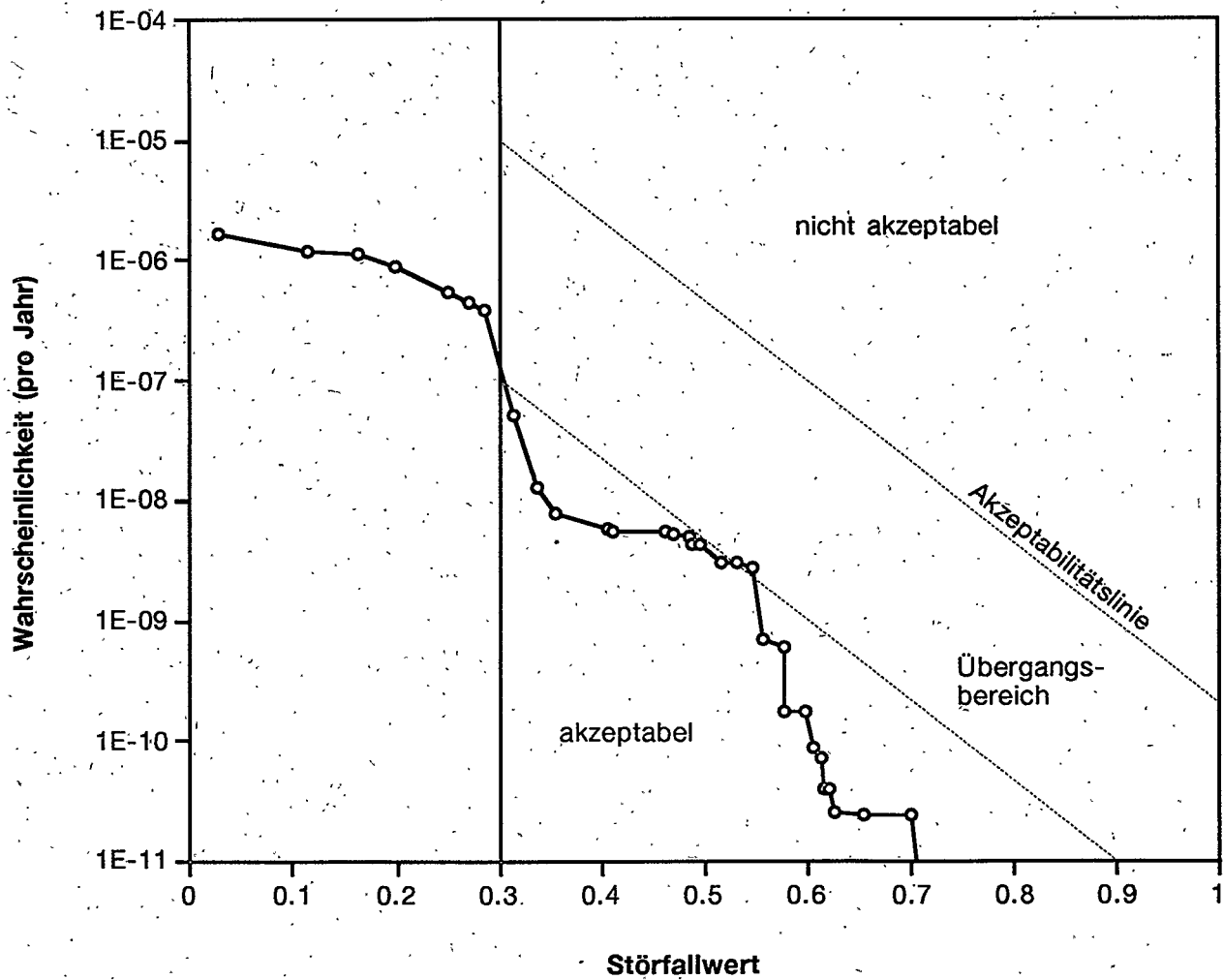
Tabelle 11: Übersicht über ausgewählte wesentliche Störfallszenarien. Die Reihenfolge der Auflistung der Szenarien erfolgte aufgrund der Personenschäden. Detaillierte Zahlenwerte befinden sich in den Berechnungsblättern in Beilage 4.

### 4.2 Risikosummenkurve

Das von der geplanten Anlage für die Bevölkerung ausgehende Risiko wird gemäss den Richtlinien des BUWAL "Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung StFV, Beurteilung der Schwere von Schädigungen, Beurteilung der Tragbarkeit des Risikos" beurteilt. Eine komplette Übersicht aller Szenarien mit den zugehörigen Schadenausmassen und Wahrscheinlichkeiten befindet sich in Beilage 4.

Die Darstellung im W/A-Diagramm (vgl. Figur 3) liefert im wesentlichen folgende Ergebnisse:

- Die Risikosummenkurve schneidet die im HB-StfV, Anhang G, definierte Akzeptabilitätslinie nicht.
- Die Kurve berührt beim Störfallwert 0.55 die untere Begrenzungslinie des Übergangsbereichs.

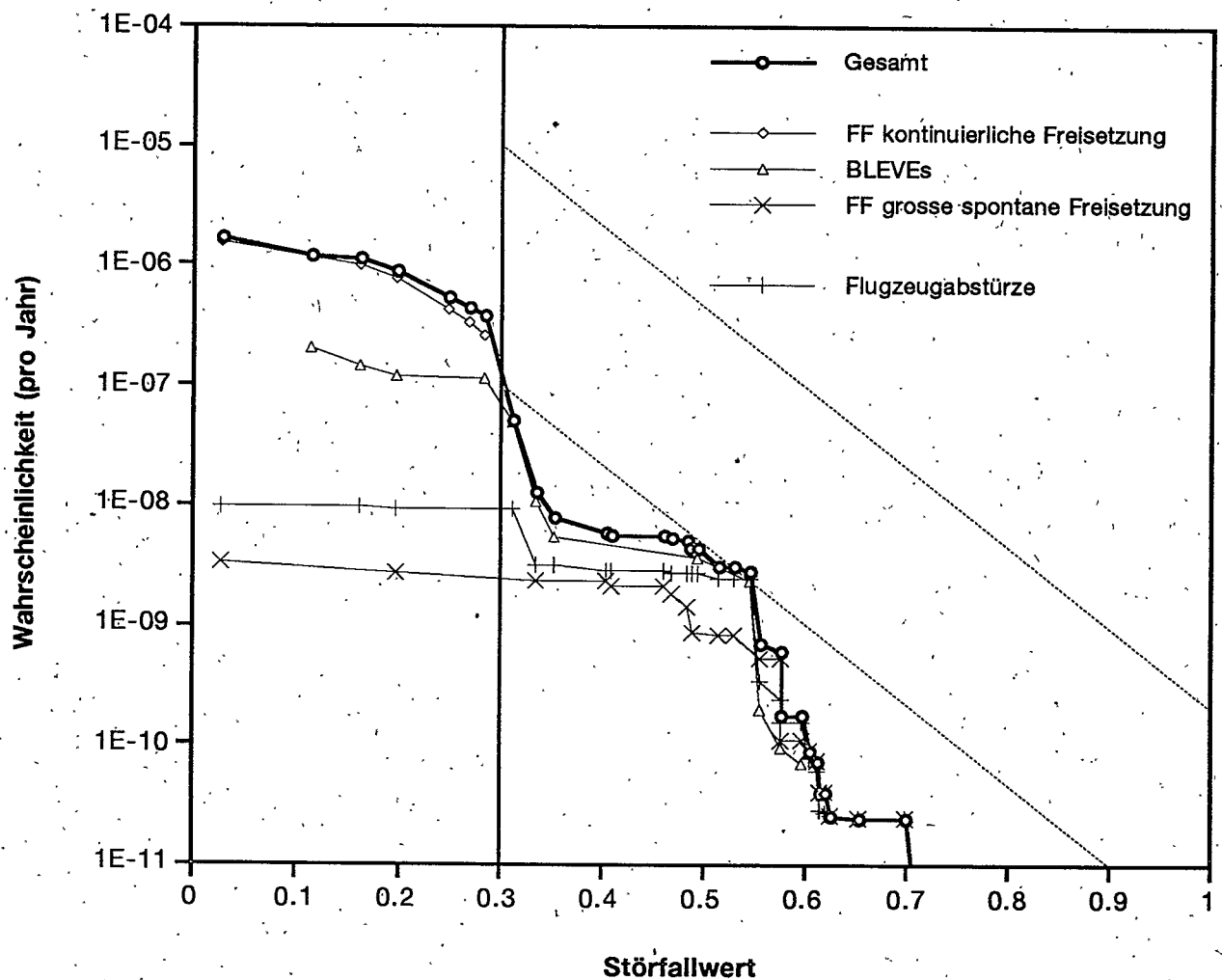


Figur 3: W/A-Diagramm mit Summenkurve

### 4.3 Kommentar zur Summenkurve und zu den Unsicherheiten

#### 4.3.1 Kommentar zur Risikosummenkurve

Der Verlauf der Risikosummenkurve wird wie folgt beeinflusst (siehe Figur 4)<sup>20</sup>:



Figur 4: Beiträge der Ereignisse "Gaswolkenbrand" (nach kontinuierlicher bzw. grosser spontaner Freisetzung), "BLEVE" sowie des Auslösers "Flugzeugabstürze" zur Risikosummenkurve

<sup>20</sup>Eine mögliche Aufgliederung in Ereignisgruppen ist hier beispielhaft wiedergegeben. Die zugehörigen Werte werden für dieses Dokument nicht ausgewiesen. Die Wahrscheinlichkeiten lassen sich durch ein selektives Einsetzen der entsprechenden Werte in die Fehler- und Ereignisbäume bestimmen. Die Ausmasswerte bleiben unverändert.

- Der Bereich der tiefen Störfallwerte (0 - 0,3) ist der Verlauf durch die Risiken infolge Gaswolkenbränden nach kontinuierlichen Freisetzungen bestimmt.
- Zwischen den Störfallwerten 0,3 und 0,55 bilden BLEVEs die Hauptkomponente der Kurve.
- Die höchsten Schäden werden für Gaswolkenbrände nach grosser, spontaner Freisetzung ausgewiesen. Diese werden durch Flugzeugabstürze ausgelöst, welche hier stellvertretend für alle jene Auslöser stehen, die eine grosse spontane Freisetzung ohne sofortige Zündung verursachen.

Der Verlauf der Risikosummenkurve im Übergangsbereich ist vor allem durch folgende Einflüsse bedingt:

- Im Bereich der Störfallwerte 0,1 - 0,3 sind Gaswolkenbrände nach Freisetzung beim Umschlag risikodominant. Insbesondere fallen Freisetzungen aus dem Lagerbehälter nach Schlauchplatzer oder Schlauchabriss ins Gewicht.
- Das dominante Szenario beim Störfallwert 0,55 ist der BLEVE eines vollen Tanks am Tag.

#### 4.3.2 Unsicherheiten und Sensitivität<sup>21</sup>

Modelle und Verfahren

Bei der Erstellung der Risikoermittlung wurde grundsätzlich auf Erfahrungswerte und die Methodik des Rahmenberichts zurückgegriffen. Die mit den darin beschriebenen Daten und Modelle erzielten Ergebnisse erscheinen plausibel<sup>22</sup>.

Eintretenswahrscheinlichkeiten

Die Summenkurve wird im Bereich tiefer Störfallwerte durch Gaswolkenbrände nach kontinuierlicher Freisetzung, hauptsächlich beim Umschlag, dominiert. Für die Auslöser dieser Störfälle liegt vergleichsweise gutes sta-

<sup>21</sup>Sensitivität = Empfindlichkeit des Analyseresultats auf Änderungen in den Ausgangswerten

<sup>22</sup>Teilweise ungenügende statistische Daten wie auch der vereinfachende Charakter der Modelle führen zwangsweise dazu, dass die durchgeführten Berechnungen mit Unsicherheiten behaftet sind. Die konsequente Anwendung der vorgeschlagenen Verfahren erlaubt jedoch, Risikoermittlungen für verschiedene Flüssiggas-Tankanlagen unmittelbar zu vergleichen. Damit ist eine einheitliche Grundlage für behördliche Entscheide geschaffen. Zudem wäre eine eingehende Berücksichtigung der spezifischen lokalen Verhältnisse (Topographie, Windgeschwindigkeiten etc.) mit erheblichem Aufwand und ihrerseits mit grossen Unsicherheiten verbunden.



---

tistisches Material vor. Entscheidend für die Wahrscheinlichkeit einer Gasfreisetzung ist die Ausfallhäufigkeit der Rohrbruchsicherung. Da der eingesetzte Wert für den Fall "Schlauchabriss" eher konservativ ist (bei einem Schlauchabriss wird der ganze Querschnitt freigelegt, weshalb die Rohrbruchsicherung mit grosser Wahrscheinlichkeit anspricht), dürfte die Gesamtwahrscheinlichkeit einer kontinuierlichen Freisetzung eher zu hoch sein. Da die anderen Auslöser jedoch Beiträge in vergleichbarer Grösse liefern, ist der Einfluss auf die Summenkurve vergleichsweise gering.

Als Auslöser einer grossen spontanen Freisetzung, die nachfolgend zu einem Gaswolkenbrand führen kann, kommen vor allem Flugzeugabstürze in Frage. Hierfür existiert vergleichsweise verlässliches statistisches Material.

BLEVEs werden hauptsächlich durch Brände nach kontinuierlicher Freisetzung ausgelöst. Die Unsicherheiten in den Wahrscheinlichkeiten dieser Ereignisse wirken sich somit auch auf die berechneten Werte für die Behälterbersten aus. Damit es überhaupt zu einem BLEVE kommt, muss

1. der Brand genügend gross sein, so dass die Kühlung nicht ausreicht, und
2. der Behälter schon nach kurzer Zeit bersten, bevor der gesamte Behälterinhalt abgeblasen ist.

Die Annahme, dass dies nach 15 Minuten der Fall sein wird, muss als realistisch konservativ eingeschätzt werden.

#### Schadenausmass

Die Anzahl der bei Störfällen exponierten Personen weist eine Bandbreite auf, die sich im Rahmen der Risikoermittlung nicht genau erfassen lässt. Beispielsweise muss an einem schönen Tag in den Sommermonaten von einer grösseren Anzahl von Personen im Freien (Spaziergänger, Einwohner in Gärten etc.) ausgegangen werden. Durch Unterscheidung der Expositionzeiten Tag und Nacht wie auch durch Einbezug der Zugpassagiere wird die mögliche Bandbreite der Expositionen bereits weitgehend erfasst.

Die verwendeten Modelle zur Schadenabschätzung bei BLEVEs basieren auf einer Auswertung von stattgefundenen Ereignissen. Die erhaltenen Resultate werden deshalb als vergleichsweise zuverlässig betrachtet. Das Schadenausmass von BLEVEs hängt in hohem Masse von der Vorwarnzeit ab. Da die überwiegende Zahl der Behälterbersten durch (längerdauernde)

---

Hitzeeinwirkungen verursacht wird, ist eine effektivere Evakuierung möglich als dies in der Rechnung postuliert wird.

Für die grössten Schäden werden Gaswolkenbrände nach grosser, spontaner Freisetzung verantwortlich gemacht. Der abgeschätzte Wirkungsbereich der Brände hängt jedoch direkt von den Ausbreitungsrechnungen ab, die immer mit grösseren Unsicherheiten behaftet sind. Die verwendeten Modelle sind für Freisetzungen aus Drucklagerung als konservativ zu betrachten. Entsprechend weisen die durch Gaswolkenbrände dominierten Bereiche der Summenkurve eher zu grosse Schäden aus.

#### Vergleich mit der Realität

Ein Vergleich der im Methodikbeispiel ermittelten Wahrscheinlichkeiten für den BLEVE und die kontinuierliche Freisetzung mit der schweizerischen und weltweiten Unfallstatistik zeigt, dass die Werte in der gleichen Grössenordnung liegen.

---

## 5. Zusammenfassung

Eine ausführliche Beschreibung des Inhalts einer Zusammenfassung findet sich im HB-StfV, Anhang G, Abschnitt 5.

Zdorf, den .....

Firma XXX

Der Inhaber

---

## Verzeichnis der Beilagen

- Beilage 1\* Situationsplan des Betriebsareals
- Beilage 2 Übersichtsplan zur Umgebung
- Beilage 3 Fehler- und Ereignisbäume
- Beilage 4 Detaillierte Zusammenstellung der gemäss Fehler- und Ereignisbäumen möglichen Schadenereignisse
- Beilage 5\* Alarmierungs- und Einsatzplan für den Ereignisfall

\* Diese Beilagen sind im vorliegenden Dokument nicht enthalten.

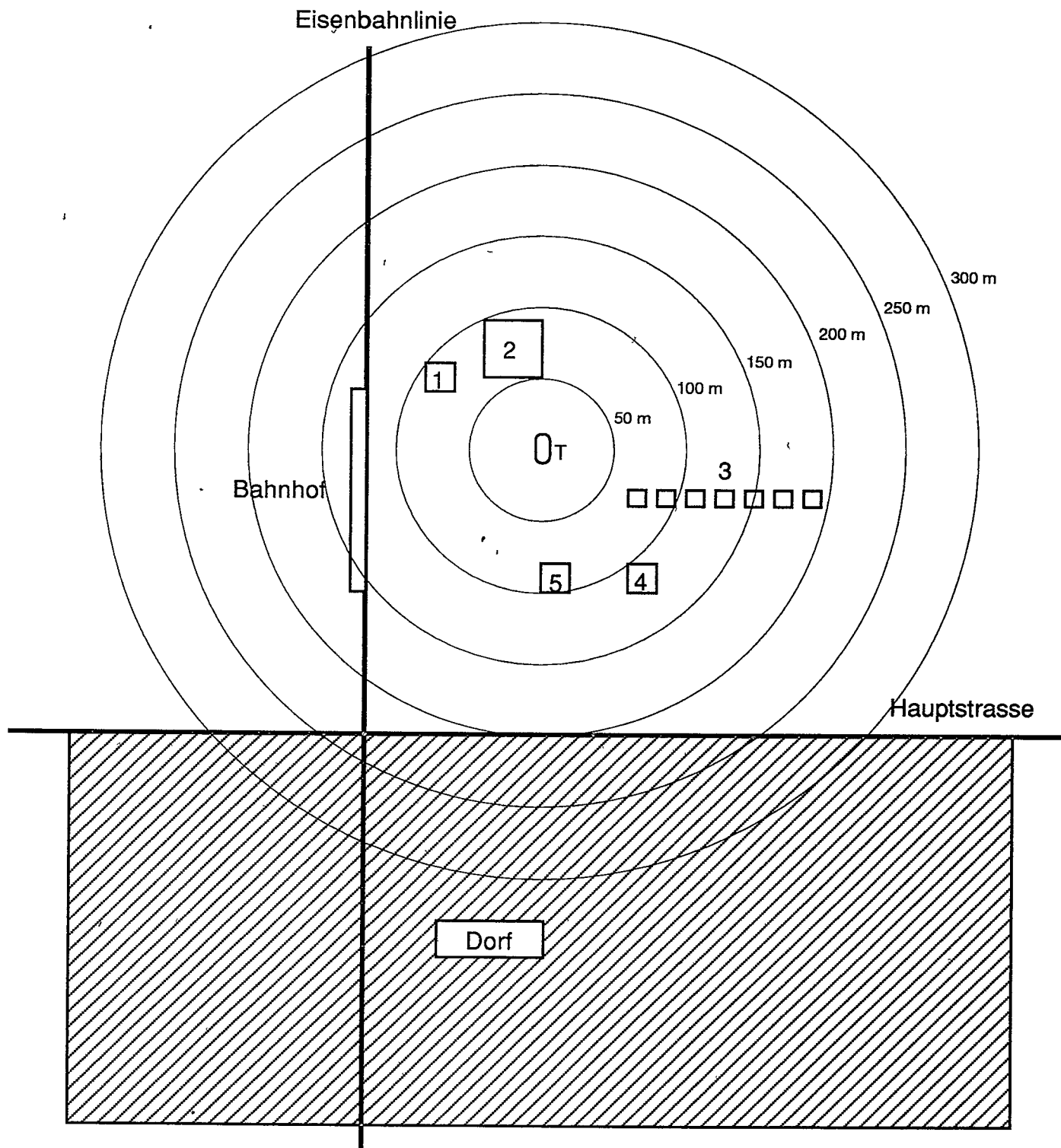
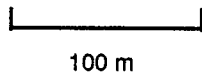
---

## **Beilage 2**

### **Übersichtsplan zur Umgebung**

## Beilage 2

Übersichtsplan\* Massstab 1:4'000



### Legende

- T Propantank
- 1 Firma 1
- 2 Firma 2
- 3 7 Einfamilienhäuser
- 4 5-stöckiges Mehrfamilienhaus mit 10 Wohnungen
- 5 5-stöckiges Mehrfamilienhaus mit 10 Wohnungen

\* Da es sich um ein fiktives Beispiel handelt, konnte hier kein eigentlicher Planausschnitt verwendet werden.

---

## **Beilage 3**

### **Zusammenstellung der Fehler- und Ereignisbäume**

***Fehlerbaum "Kontinuierliche Gasfreisetzung am Tag"***

***Ereignisbaum "Kontinuierliche Gasfreisetzung am Tag"***

***Fehlerbaum "Grosse spontane Gasfreisetzung am Tag"***

***Ereignisbaum "Grosse spontane Gasfreisetzung am Tag"***

***Fehlerbaum "Kontinuierliche Gasfreisetzung in der Nacht"***

***Ereignisbaum "Kontinuierliche Gasfreisetzung in der Nacht"***

***Fehlerbaum "Grosse spontane Gasfreisetzung in der Nacht"***

***Ereignisbaum "Grosse spontane Gasfreisetzung in der Nacht"***

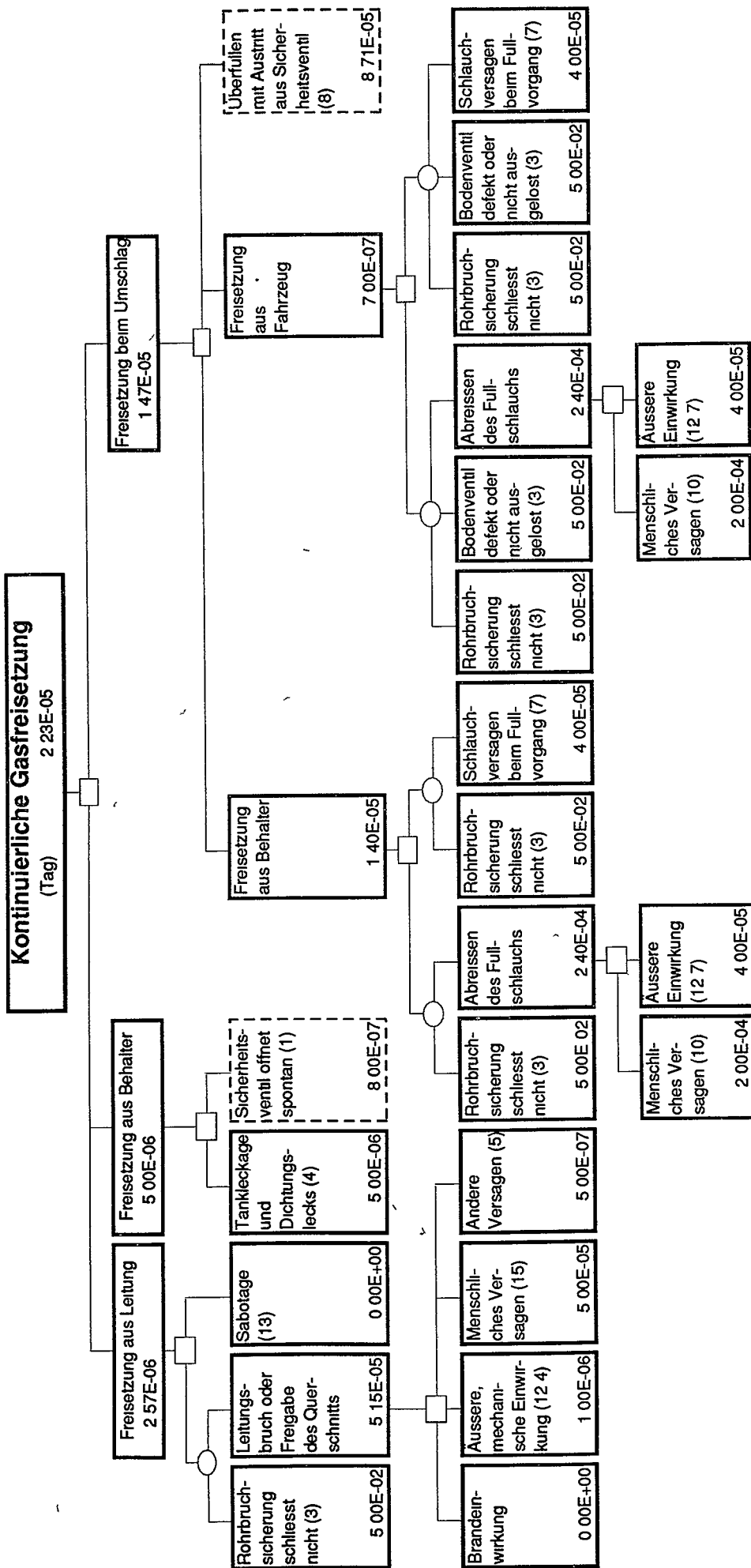
***Fehlerbaum "Kontinuierliche Gasfreisetzung Camion"***

***Ereignisbaum "Kontinuierliche Gasfreisetzung Camion"***

***Fehlerbaum "Grosse spontane Gasfreisetzung Camion"***

***Ereignisbaum "Grosse spontane Gasfreisetzung Camion"***

# Kontinuierliche Gasfreisetzung am Tag



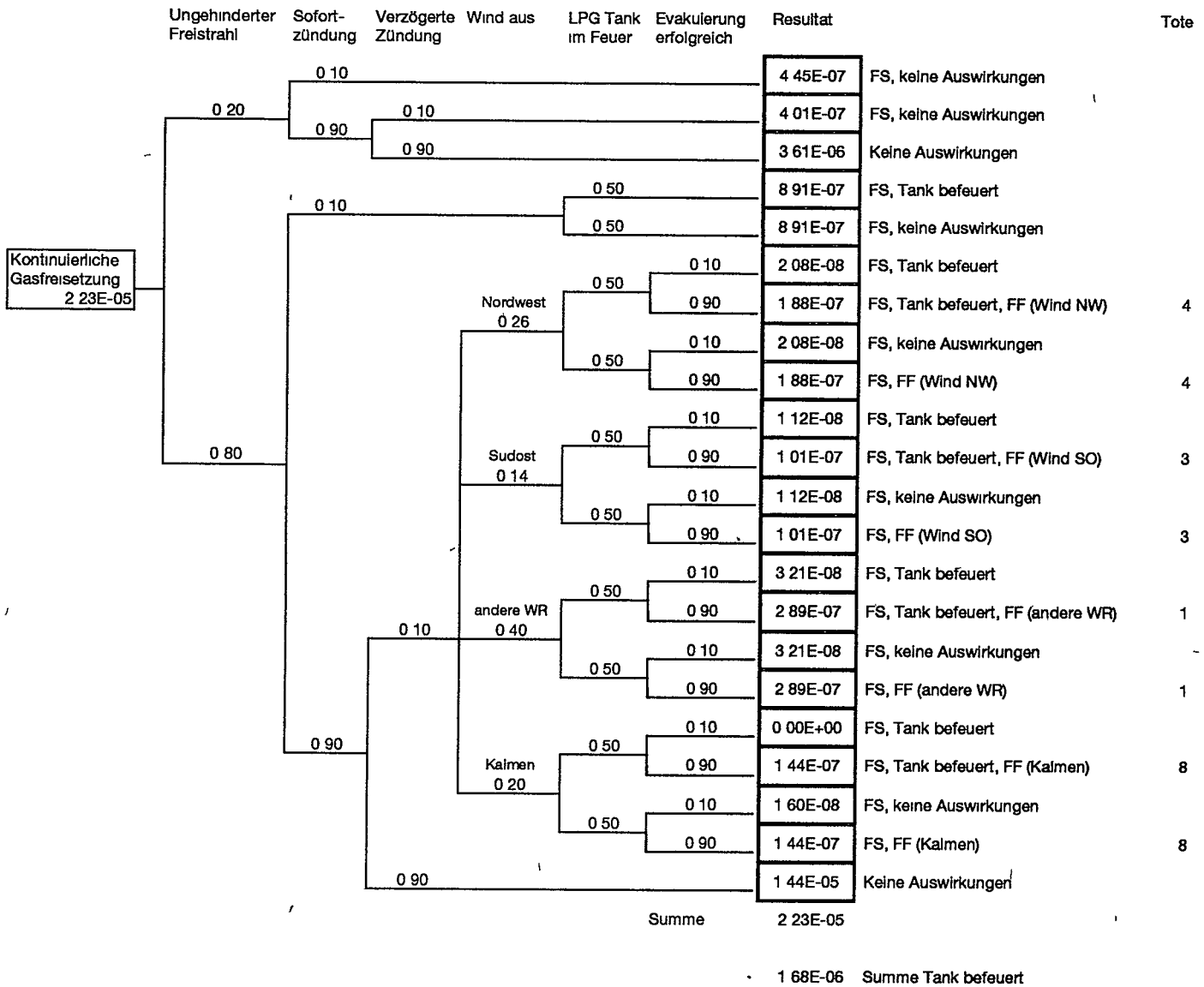
◻ Oder-Verknüpfung Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand

○ Und-Verknüpfung Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen

- - - - - Freisetzungen aus dem Sicherheitsventil werden als nicht-risikorelevant betrachtet Die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten werden nicht verrechnet

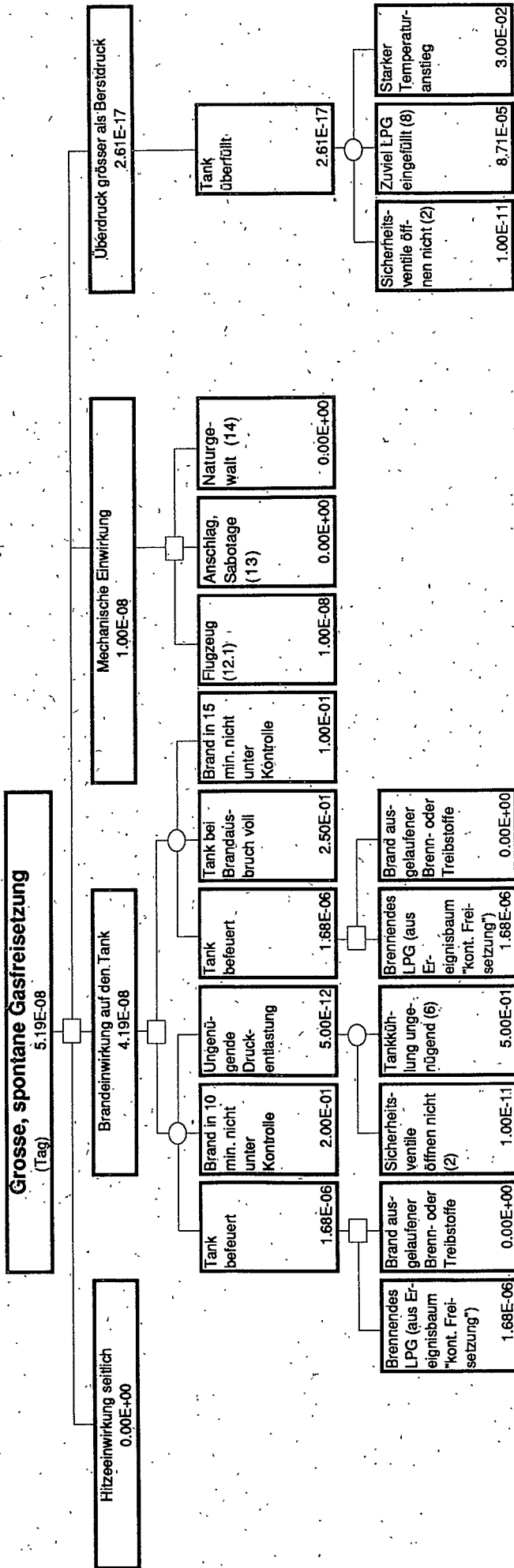


# Kontinuierliche Gasfreisetzung am Tag



FS = Feuerstrahl  
 FF = Gaswolkenbrand (Flash-Fire)

# Grosse spontane Gasfreisetzung am Tag



□ Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand

○ Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen.

# Grosse spontane Gasfreisetzung am Tag

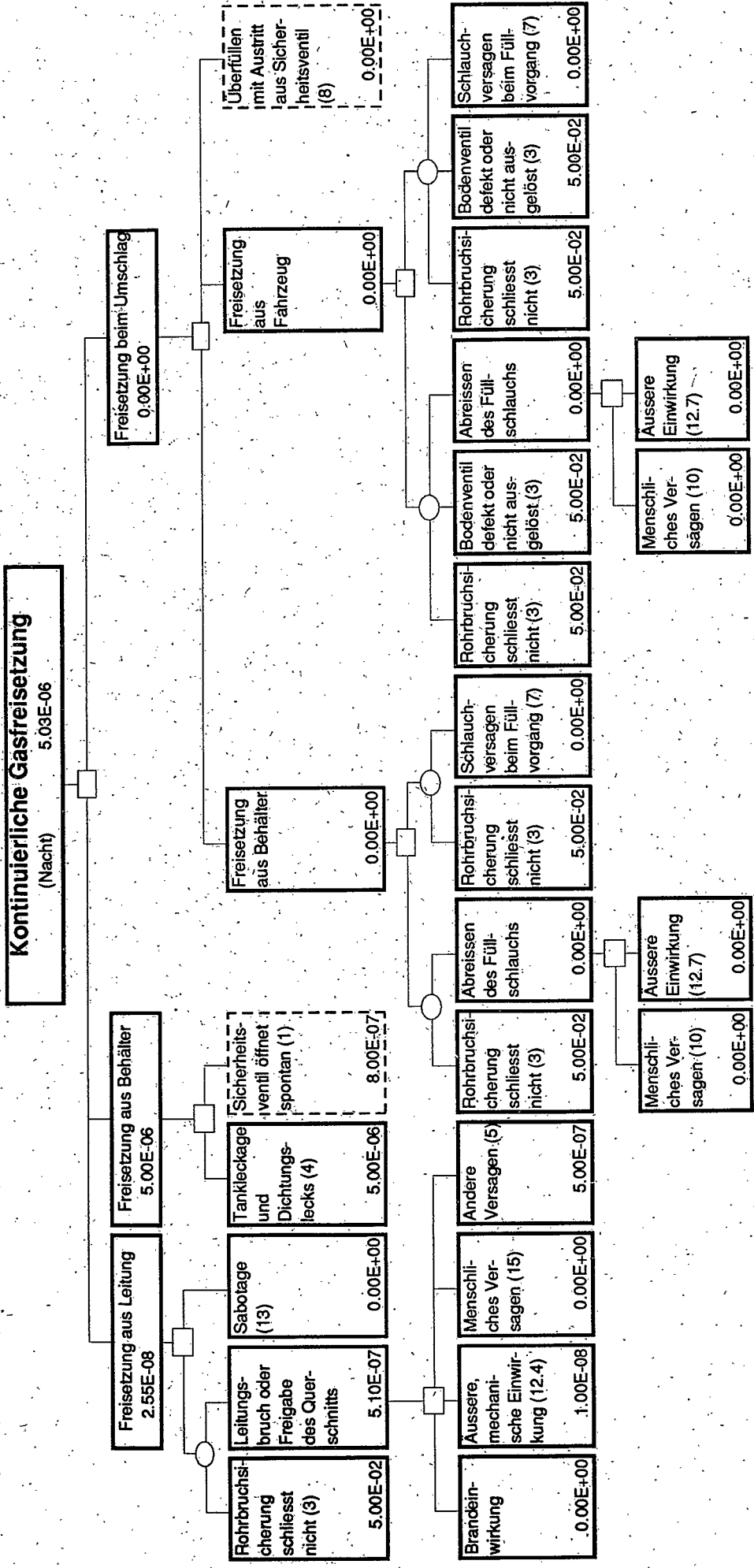
Tank voll (55 Tonnen)	Sofort- zündung	Verzögerte Zündung	Wind aus	Evakuierung erfolgreich	Resultat	Tote							
Spontane Gasfreisetzung 5.19E-08	0.048	0.90*	Nordwest 0.26	0.1	2.25E-10	Evakuierung erfolgreich							
				0.90	2.03E-09	BLEVE voller Tank	65						
				0.10	0.50	Nordwest 0.26	0.10	3.25E-12	Evakuierung erfolgreich				
							0.90	2.93E-11	FF voller Tank, Nordwestwind	112			
				0.10	0.50	Südwest 0.26	0.10	3.25E-12	Evakuierung erfolgreich				
							0.90	2.93E-11	FF voller Tank, Südwestwind	1			
				0.10	0.50	Südost 0.14	0.10	1.75E-12	Evakuierung erfolgreich				
							0.90	1.58E-11	FF voller Tank, Südostwind	4			
				0.10	0.50	Nordost 0.14	0.10	1.75E-12	Evakuierung erfolgreich				
							0.90	1.58E-11	FF voller Tank, Nordostwind	105			
				0.10	0.50	Kalmen 0.20	0.10	2.50E-12	Evakuierung erfolgreich				
							0.90	2.25E-11	FF voller Tank, Kalmen	225			
				0.10	0.50		0.10	1.25E-10	Keine Zündung				
							0.90	4.45E-09	Evakuierung erfolgreich				
				0.952	0.90*		Nordwest 0.26	0.10	4.45E-09	Evakuierung erfolgreich			
								0.90	4.00E-08	BLEVE halbvoller Tank	10		
								0.10	0.50	Nordwest 0.26	0.10	6.42E-11	Evakuierung erfolgreich
											0.90	5.78E-10	FF halbvoller Tank, Nordwestwind
								0.10	0.50	Südwest 0.26	0.10	6.42E-11	Evakuierung erfolgreich
											0.90	5.78E-10	FF halbvoller Tank, Südwestwind
								0.10	0.50	Südost 0.14	0.10	3.46E-11	Evakuierung erfolgreich
											0.90	3.11E-10	FF halbvoller Tank, Südostwind
								0.10	0.50	Nordost 0.14	0.10	3.46E-11	Evakuierung erfolgreich
											0.90	3.11E-10	FF halbvoller Tank, Nordostwind
								0.10	0.50	Kalmen 0.20	0.10	4.94E-11	Evakuierung erfolgreich
0.90	4.45E-10	FF halbvoller Tank, Kalmen	83										
0.10	0.50		0.10					2.47E-09	Keine Zündung				
			0.90										
Summe								5.19E-08					

FF = Gaswolkenbrand (Flash-Fire)

\*Es wird der im Rahmenbericht, Anhang C1.1.2 empfohlene Wert eingesetzt, obwohl der relative Anteil der Sofortzündungen nach Tankbersten infolge Befeuerung oder Flugzeugabsturz grösser als 90% ist. Dies aus zwei Gründen:

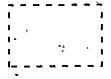
1. Die betrachteten Freisetzungsszenarien haben immer auch stellvertretenden Charakter für andere, aus Gründen des Aufwandes und der Übersichtlichkeit nicht berücksichtigte Szenarien.
2. Die Auswirkungen (erhöhter Anteil an Gaswolkenbränden) auf die Risikosummenkurve sind nicht relevant, weshalb in diesem Fall auf eine weitere Detaillierung verzichtet werden kann.

# Kontinuierliche Gasfreisetzung in der Nacht



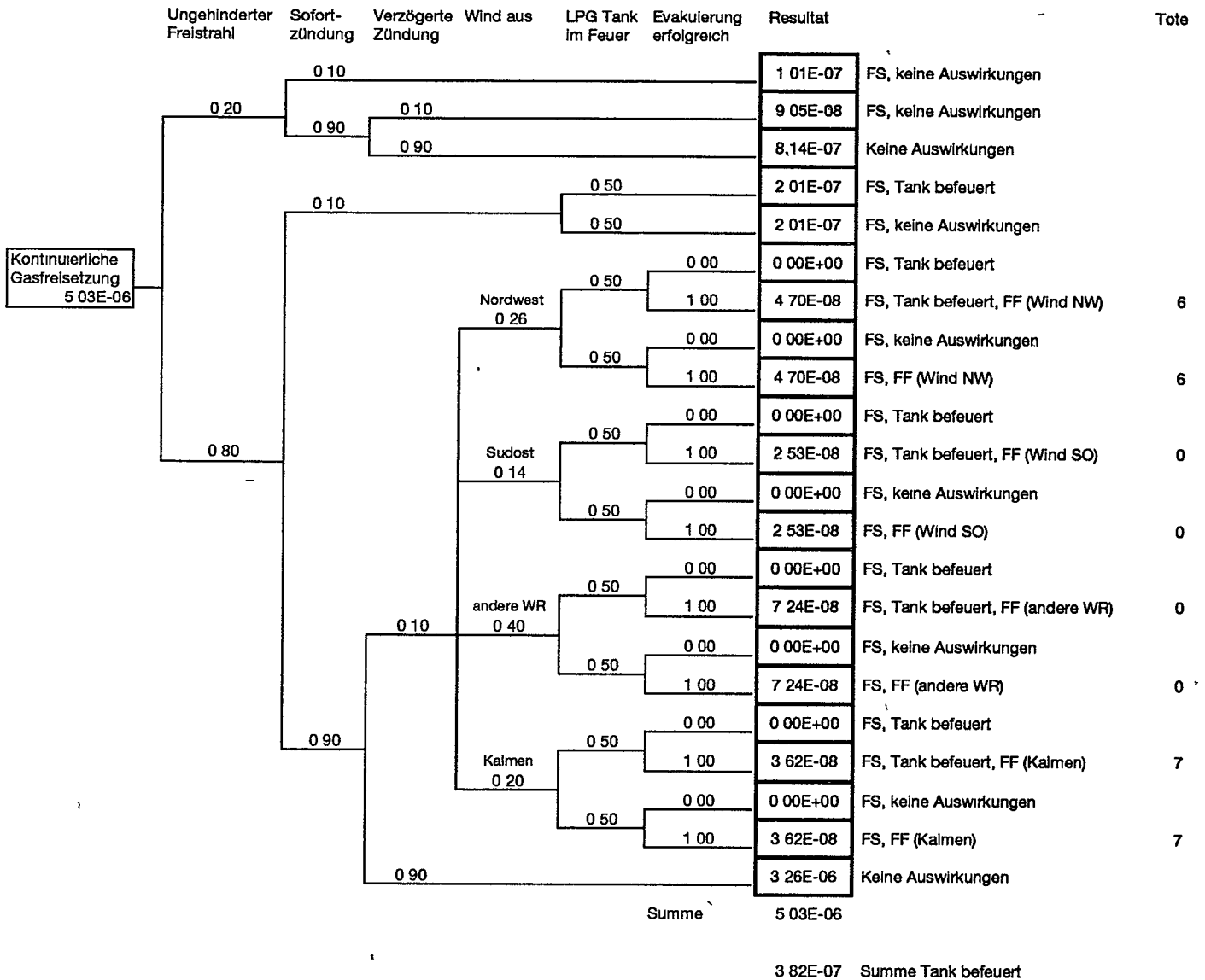
□ Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand

○ Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen.



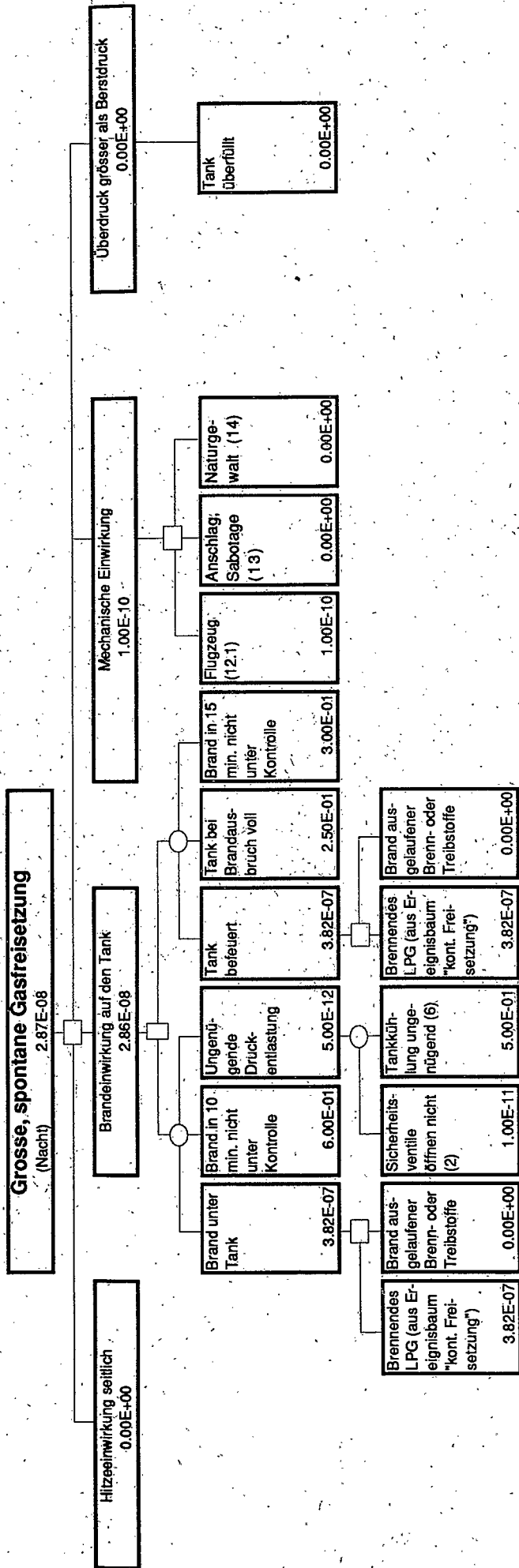
Freisetzungen aus dem Sicherheitsventil werden als nicht-risikorelevant betrachtet. Die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten werden nicht verrechnet.

# Kontinuierliche Gasfreisetzung in der Nacht



FS = Feuerstrahl  
 FF = Flash-Fire (Gaswolkenbrand)

# Grosse spontane Gasfreisetzung in der Nacht



□ Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand.

○ Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen.

# Grosse spontane Gasfreisetzung in der Nacht

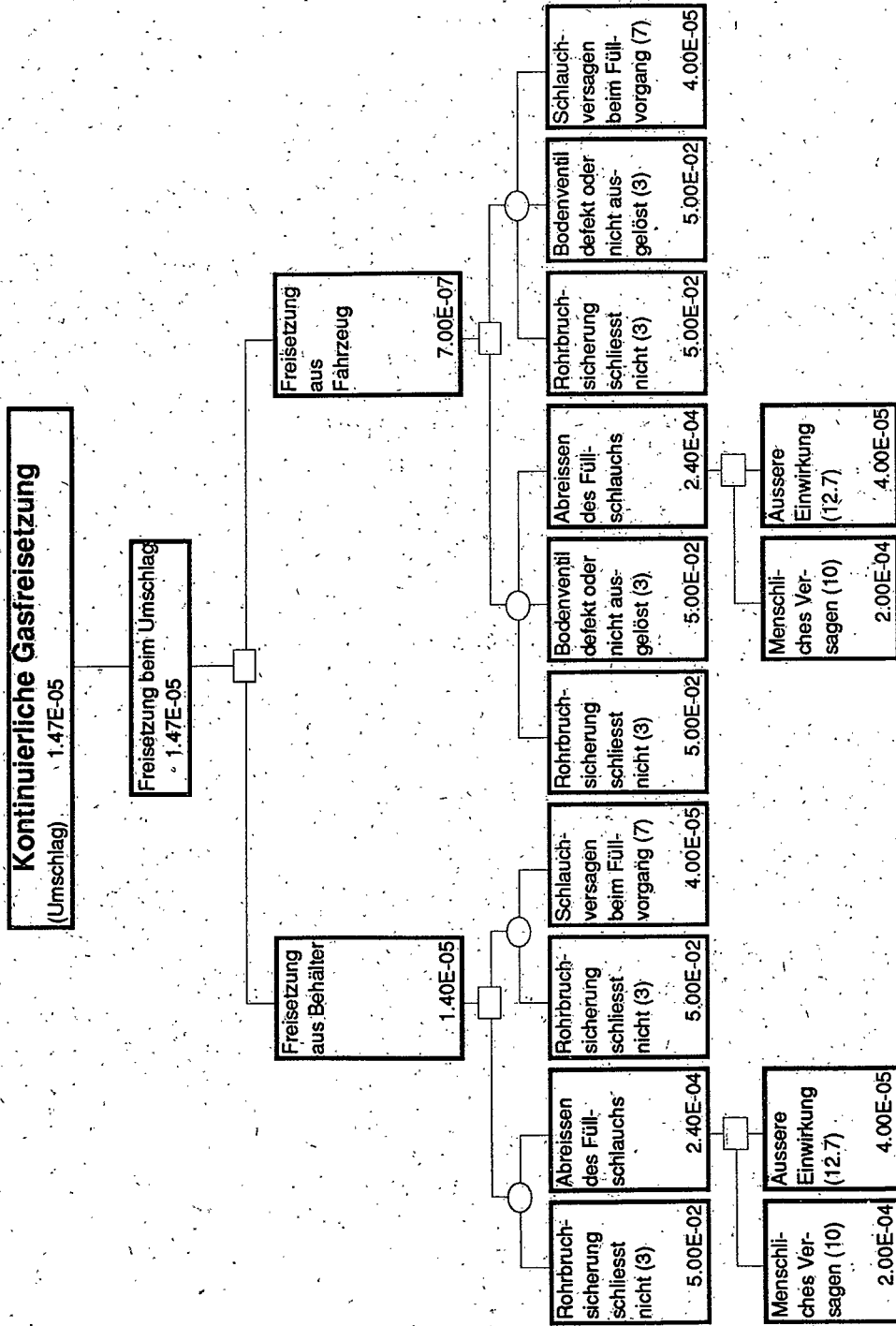
Tank voll (55 Tonnen)	Sofort- zündung	Verzögerte Zündung	Wind aus	Evakuierung erfolgreich	Resultat	Tote					
Spontane Gasfreisetzung 2.87E-08	8.70E-04	0.90*	Nordwest 0.26	0	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	83				
				1.00	2.25E-11	BLEVE voller Tank					
				0.10	0.50	Nordwest 0.26		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	84
								1.00	3.25E-13	FF voller Tank, Nordwestwind	
				0.10	0.50	Südwest 0.26		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	0
								1.00	3.25E-13	FF voller Tank, Südwestwind	
				0.10	0.50	Südost 0.14		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	0
								1.00	1.75E-13	FF voller Tank, Südostwind	
				0.10	0.50	Nordost 0.14		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	70
								1.00	1.75E-13	FF voller Tank, Nordostwind	
				0.10	0.50	Kalmen 0.20		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	155
								1.00	2.50E-13	FF voller Tank, Kalmen	
				1.00	0.90*	Nordwest 0.26		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	3
								1.00	2.58E-08	BLEVE halbvoller Tank	
				1.00	0.90*	Nordwest 0.26		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	35
								1.00	3.73E-10	FF halbvoller Tank, Nordwestwind	
				1.00	0.90*	Südwest 0.26		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	0
								1.00	3.73E-10	FF halbvoller Tank, Südwestwind	
				1.00	0.90*	Südost 0.14		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	0
								1.00	2.01E-10	FF halbvoller Tank, Südostwind	
				1.00	0.90*	Nordost 0.14		0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	21
1.00	2.01E-10	FF halbvoller Tank, Nordostwind									
1.00	0.90*	Kalmen 0.20	0.00	0.00E+00	Evakuierung erfolgreich	57					
			1.00	2.87E-10	FF halbvoller Tank, Kalmen						
				1.00	1.44E-09	Keine Zündung					
Summe					2.87E-08						

FF = Gaswolkenbrand (Flash-Fire)

\*Es wird der im Rahmenbericht, Anhang C1.1.2 empfohlene Wert eingesetzt, obwohl der relative Anteil der Sofortzündungen nach Tankbersten infolge Befuerung oder Flugzeugabsturz grösser als 90% ist. Dies aus zwei Gründen:

1. Die betrachteten Freisetzungsszenarien haben immer auch stellvertretenden Charakter für andere, aus Gründen des Aufwandes und der Übersichtlichkeit nicht berücksichtigte Szenarien.
2. Die Auswirkungen (erhöhter Anteil an Gaswolkenbränden) auf die Risikosummenkurve sind nicht relevant, weshalb in diesem Fall auf eine weitere Detaillierung verzichtet werden kann.

# Kontinuierliche Gasfreisetzung Camion

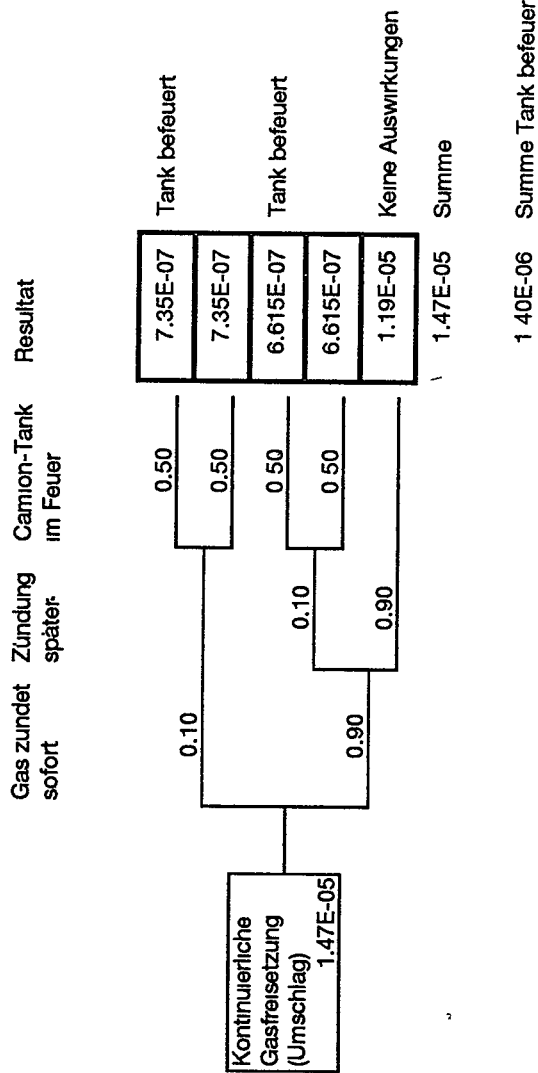


□ Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand

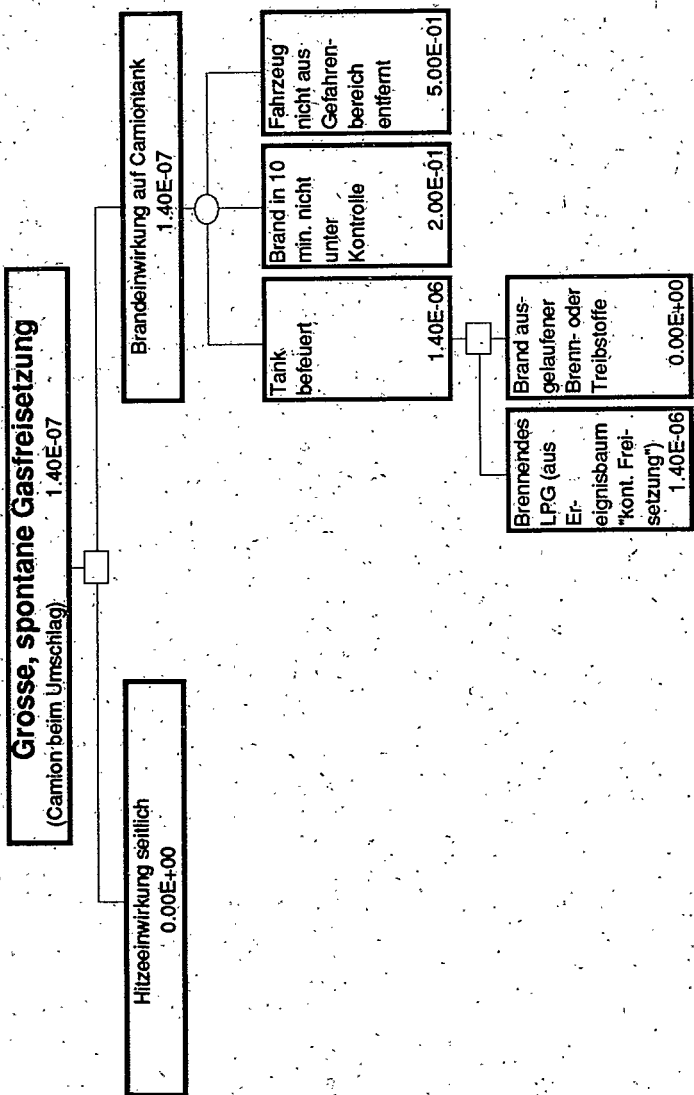
○ Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen.



# Kontinuierliche Gasfreisetzung Camion



# Grosse spontane Gasfreisetzung Camion



Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand

Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen.

# Grosse spontane Gasfreisetzung Camion

Tank voll (10 Tonnen)	Evakuierung erfolgreich	Resultat	Tote
Grosse, spontane Gasfreisetzung (Camion) 1.40E-07	0.50	6.98E-09	8
		6.28E-08	
	0.50	6.98E-09	2
		6.28E-08	
Summe			1.40E-07

BLEVE voller Tank, keine Auswirkungen

BLEVE voller Tank

BLEVE halbvoller Tank, keine Auswirkungen

BLEVE halbvoller Tank

---

## **Beilage 4**

### **Zusammenstellung der Schadenereignisse**

- *Detaillierte Zusammenstellung der gemäss Fehler- und Ereignisbäumen möglichen Schadenereignisse*
- *Liste der kumulierten Wahrscheinlichkeiten und zugehörigen Schadenausmasse.*
- *Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm*

## Resultate

Situation	Ereignis	A (Tote)	W (pro Jahr)
Tag	FS, Tank befeuert, FF (Wind NW)	4	1.88E-07
kontinuierliche	FS, FF (Wind NW)	4	1.88E-07
Freisetzung	FS, Tank befeuert, FF (Wind SO)	3	1.01E-07
	FS, FF (Wind SO)	3	1.01E-07
	FS, Tank befeuert, FF (andere WR)	1	2.89E-07
	FS, FF (andere WR)	1	2.89E-07
	FS, Tank befeuert, FF (Kalmen)	8	1.44E-07
	FS, FF (Kalmen)	8	1.44E-07
Nacht	FS, Tank befeuert, FF (Wind NW)	6	4.70E-08
kontinuierliche	FS, FF (Wind NW)	6	4.70E-08
Freisetzung	FS, Tank befeuert, FF (Wind SO)	0	2.53E-08
	FS, FF (Wind SO)	0	2.53E-08
	FS, Tank befeuert, FF (andere WR)	0	7.24E-08
	FS, FF (andere WR)	0	7.24E-08
	FS, Tank befeuert, FF (Kalmen)	7	3.62E-08
	FS, FF (Kalmen)	7	3.62E-08
Tag	BLEVE voller Tank	65	2.03E-09
grosse spontane	FF voller Tank, Nordwestwind	112	2.93E-11
Freisetzung	FF voller Tank, Südwestwind	1	2.93E-11
	FF voller Tank, Südostwind	4	1.58E-11
	FF voller Tank, Nordostwind	105	1.58E-11
	FF voller Tank, Kalmen	225	2.25E-11
	BLEVE halbvoller Tank	10	4.00E-08
	FF halbvoller Tank, Nordwestwind	40	5.78E-10
	FF halbvoller Tank, Südwestwind	1	5.78E-10
	FF halbvoller Tank, Südostwind	4	3.11E-10
	FF halbvoller Tank, Nordostwind	33	3.11E-10
	FF halbvoller Tank, Kalmen	83	4.45E-10
Nacht	BLEVE voller Tank	83	2.25E-11
grosse spontane	FF voller Tank, Nordwestwind	84	3.25E-13
Freisetzung	FF voller Tank, Südwestwind	0	3.25E-13
	FF voller Tank, Südostwind	0	1.75E-13
	FF voller Tank, Nordostwind	70	1.75E-13
	FF voller Tank, Kalmen	155	2.50E-13
	BLEVE halbvoller Tank	3	2.58E-08
	FF halbvoller Tank, Nordwestwind	35	3.73E-10
	FF halbvoller Tank, Südwestwind	0	3.73E-10
	FF halbvoller Tank, Südostwind	0	2.01E-10
	FF halbvoller Tank, Nordostwind	21	2.01E-10
	FF halbvoller Tank, Kalmen	57	2.87E-10
Tag, Camion	BLEVE voller Tank	8	6.28E-08
	BLEVE halbvoller Tank	2	6.28E-08

FS = Feuerstrahl  
FF = Gaswolkenbrand

## Resultate

Situation	Ereignis	A (Tote)	W (pro Jahr)
Tag,	BLEVE voller Tank	70	1.01E-10 *
inkl. Bahnsteig	FF voller Tank, Nordwestwind	112	1.46E-12
	FF voller Tank, Südwestwind	1	1.46E-12
	FF voller Tank, Südostwind	12	7.88E-13
	FF voller Tank, Nordostwind	113	7.88E-13
	FF voller Tank, Kalmen	240	1.13E-12
	BLEVE halbvoller Tank	14	2.00E-09
	FF halbvoller Tank, Nordwestwind	40	2.89E-11
	FF halbvoller Tank, Südwestwind	1	2.89E-11
	FF halbvoller Tank, Südostwind	12	1.56E-11
	FF halbvoller Tank, Nordostwind	41	1.56E-11
	FF halbvoller Tank, Kalmen	98	2.22E-11
(Camion)	BLEVE voller Tank	12	5.24E-09
	BLEVE halbvoller Tank	4	5.24E-09
Situation	Ereignis	A (Tote)	W (pro Jahr)
Tag,	BLEVE voller Tank	98	6.75E-11 **
inkl. Bahnsteig	FF voller Tank, Nordwestwind	112	9.75E-13
	und Zug	FF voller Tank, Südwestwind	1
	FF voller Tank, Südostwind	22	5.25E-13
	FF voller Tank, Nordostwind	123	5.25E-13
	FF voller Tank, Kalmen	260	7.50E-13
	BLEVE halbvoller Tank	43	1.33E-09
	FF halbvoller Tank, Nordwestwind	40	1.93E-11
	FF halbvoller Tank, Südwestwind	1	1.93E-11
	FF halbvoller Tank, Südostwind	22	1.04E-11
	FF halbvoller Tank, Nordostwind	51	1.04E-11
	FF halbvoller Tank, Kalmen	118	1.48E-11
* Die Wahrscheinlichkeiten werden wie folgt berechnet:			
Bsp. $W(\text{BLEVE voller Tank, Tag}) = 2.03\text{E-}09$ (siehe vorangegangene Seite)			
Während 5 Minuten pro Stunde halten sich Personen auf dem Bahnsteig auf,			
3 Minuten davon ohne dass ein Zug anwesend ist: $p = 3/60$			
Entsprechend berechnet sich $W = 2.03\text{E-}09 \times 3/60 = 1.01\text{E-}10$			
Das zugehörige Schadenausmass kann den Tabellen 7 bis 10 im Bericht entnommen werden.			
** Die Wahrscheinlichkeiten werden wie folgt berechnet:			
Bsp. $W(\text{BLEVE voller Tank, Tag}) = 2.03\text{E-}09$ (siehe vorangegangene Seite)			
Während 2 Minuten pro Stunde hält ein Zug im Bahnhof: $p = 2/60$			
Entsprechend berechnet sich $W = 2.03\text{E-}09 \times 2/60 = 6.75\text{E-}11$			
Das zugehörige Schadenausmass kann den Tabellen 7 bis 10 im Bericht entnommen werden.			

## Ausmass und kumulierte Wahrscheinlichkeiten

Tote	W	W (kum.)	Störfallwert
260	7.50E-13	7.50E-13	0.7186
240	1.13E-12	1.88E-12	0.7087
225	2.25E-11	2.44E-11	0.7006
155	2.50E-13	2.46E-11	0.6543
123	5.25E-13	2.52E-11	0.6255
118	1.48E-11	4.00E-11	0.6203
113	7.88E-13	4.08E-11	0.6150
112	3.17E-11	7.25E-11	0.6138
105	1.58E-11	8.82E-11	0.6058
98	8.97E-11	1.78E-10	0.5972
84	3.25E-13	1.78E-10	0.5781
83	4.67E-10	6.46E-10	0.5766
70	1.01E-10	7.47E-10	0.5554
65	2.03E-09	2.77E-09	0.5462
57	2.87E-10	3.06E-09	0.5298
51	1.04E-11	3.07E-09	0.5160
43	1.33E-09	4.40E-09	0.4948
41	1.56E-11	4.42E-09	0.4888
40	6.26E-10	5.05E-09	0.4858
35	3.73E-10	5.42E-09	0.4691
33	3.11E-10	5.73E-09	0.4618
22	1.09E-11	5.74E-09	0.4114
21	2.01E-10	5.94E-09	0.4056
14	2.00E-09	7.94E-09	0.3552
12	5.25E-09	1.32E-08	0.3360
10	4.00E-08	5.32E-08	0.3133
8	3.52E-07	4.05E-07	0.2855
7	7.24E-08	4.77E-07	0.2689
6	9.41E-08	5.71E-07	0.2498
4	3.81E-07	9.52E-07	0.1993
3	2.28E-07	1.18E-06	0.1635
2	6.28E-08	1.24E-06	0.1131
1	5.78E-07	1.82E-06	0.0268

