

# **Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe**

Ergänzung des Szenarios Gaswolkenexplosion

## **Strassen- und Schienenverkehr**

Stand: 20. März 2018  
Version: 14  
Status: Definitiv

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Ausgangslage und Ziel der Ergänzung .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Beschrieb des Szenarios gemäss Rahmenbericht<sup>1</sup> .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Erfahrungen aus dem Tanklagerbrand in Buncefield und deren Umsetzung.....</b>	<b>4</b>
3.1 Kurzbeschrieb des Unfalles von Buncefield.....	4
3.2 Folgen für den Tanklagerstandard in der Schweiz.....	4
<b>4. Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit einer Gaswolkenexplosion .....</b>	<b>4</b>
<b>5. Berechnung des Ausmasses für Personenzüge.....</b>	<b>5</b>
<b>6. Berechnung des Ausmasses für den Strassenverkehr .....</b>	<b>7</b>
<b>7. Schlussfolgerungen .....</b>	<b>11</b>
<b>8. Beschlüsse der zuständigen Gremien .....</b>	<b>11</b>
8.1 Diskussion und Beschluss des Fachausschusses Störfallvorsorge .....	11
8.2 Entscheid des Lenkungskernteams.....	11

Anhang 1: Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StFV

Anhang 2: Ereignisbaum für Gaswolke mit Zündung

Anhang 3: Umsetzung des Szenarios Gaswolke bei Strassen- und Schienenverkehr

## 1. Ausgangslage und Ziel der Ergänzung

Im Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe<sup>1</sup> (revidierte Version 2005) wird unter Spezialfälle das Szenario Gaswolkenexplosion abgehandelt. Dieses ist zu beurteilen, wenn „im Umkreis von 150 Metern der Anlage eine grosse Bevölkerungsdichte mit Wohnen oder Gewerbe vorherrscht oder häufig grosse Menschenansammlungen durch Veranstaltungen anzutreffen sind“. Eine weitere Voraussetzung ist die Lagerung von Benzin und/oder Flugpetrol.

Bei den Beurteilungen von Kurzberichten wurde auf die mögliche Präsenz der Eisenbahn und des Strassenverkehrs in der Nähe von Tankanlagen hingewiesen und somit auf eine kurzzeitige grosse Bevölkerungsdichte. Mit dem elektrischen Strom der Eisenbahn oder mit den Automotoren sind auch potentielle Zündquellen vorhanden, die eine Explosion einer Gaswolke auslösen können.

Da auf Stufe Kurzbericht (Anhang 6 des Rahmenberichtes<sup>1</sup>) eine schwere Schädigung alleine bereits durch die Bevölkerungsdichten auf nahegelegenen Strassen und Bahnen nicht ausgeschlossen werden kann, wurde im FA Störfallverordnung entschieden, die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gaswolke mit Zündung zu berechnen. Mittels einer generischen Risikoermittlung wurde somit eine Basis geschaffen, um in solchen Fällen allenfalls auf eine Risikoermittlung verzichten zu können. Bei möglichen schweren Schädigungen infolge der Bevölkerungsexpositionen gemäss Anhang 6 und dieser Ergänzung bleibt das Vorgehen gemäss Rahmenbericht<sup>1</sup> jedoch unverändert.

Mit dieser Ergänzung zum Rahmenbericht<sup>1</sup> kann eine Beurteilung des Gaswolken Szenarios, inklusive der Bevölkerung in Verkehrsmitteln, auf Stufe Kurzbericht vorgenommen werden.

Zwischenzeitlich wurde der Unfall mit Brand des Tanklagers in Buncefield (England) in 2005 ausgewertet und für die Schweizer Tankanlagen der CARBURA-Standard erweitert. So wird heute empfohlen Schutzbauwerke mit Benzin- und/oder Flugpetroltanks mit Leitwertsonden auszurüsten. Diese können Mineralölprodukt im Schutzbauwerk frühzeitig feststellen und einen Alarm auslösen. Eine Intervention findet somit statt, bevor viel Produkt ausgelaufen ist und sich eine Gaswolke gebildet hat.

Bei der Anwendung zeigte sich, dass für das Flugpetrol die Wahrscheinlichkeit gegenüber Benzin überschätzt wurde. Weitere Abklärungen insbesondere mit externen Experten wie Herr Martin Glor vom TÜV Süd zeigten, dass ein Unterschied mit Faktor 100 zu Benzin absolut gerechtfertigt ist. Dies wurde insbesondere auch über die Anzahl Tage mit möglichen Temperaturen über dem Zündpunkt des Flugpetrols abgeschätzt. Diese Änderung ist in die nun vorliegende Version eingeflossen und wurde am 20. März 2018 vom Lenkungs Kernteam (LKT) verabschiedet und in Kraft gesetzt.

## 2. Beschrieb des Szenarios gemäss Rahmenbericht<sup>1</sup>

Das Szenario Gaswolkenexplosion zählt nicht zu den Hauptereignissen gemäss Rahmenbericht; es ist unter Spezialfällen abgehandelt.

Im Rahmenbericht gilt als Basis eine Benzinlache (entspricht im Prinzip einem gefüllten Schutzbauwerk) mit einer Wetterlage im Sommer. Die Nettofläche der Lache (bzw. des Schutzbauwerkes) ist massgebend für die Bestimmung der Ausdehnung der Gaswolke.

Anschliessend ist abzuschätzen, wie viele Personen sich im Bereich dieser berechneten Ausdehnung der Gaswolke aufhalten (können). Die Anzahl Todesopfer durch Hitzestrahlung innerhalb der Gaswolke beträgt sodann 50%. Personen in Gebäuden sind nur zu 10% gefährdet. Für die Schadenausmasseneinschätzung durch die Druckwelle der Gaswolkenexplosion werden die Druckbereiche 0.21 bar (10% Letalität) und 0.17 bar (Gehörschäden) durch Entfernungen vom Bassinrand berechnet.

Es ist zu vermerken, dass bei der Überarbeitung des Rahmenberichts im 2005, Leitwertsonden in den Bassins noch kein Standard waren und somit nicht berücksichtigt wurden.

### 3. Erfahrungen aus dem Tanklagerbrand in Buncefield und deren Umsetzung

#### 3.1 Kurzbeschreibung des Unfalles von Buncefield

In Buncefield wurde bei der Einlagerung durch eine Pipeline ein Benzintank überfüllt. Dies führte zum Vorhandensein von Produkt im Schutzbauwerk. Über die längere Expositionszeit führte dies zu einer grossen Gaswolke, die sich schliesslich ausserhalb des Schutzbauwerkes entzündete und zu grossen Schäden führte. Es wurden über 40 Personen verletzt, aber glücklicherweise gab es keine Todesopfer.

#### 3.2 Folgen für den Tanklagerstandard in der Schweiz

Basierend auf der Analyse des Unfalles von Buncefield wurde der CARBURA-Standard für Tankanlagen in der Schweiz gezielt erweitert. Schutzbauwerke für Benzin und Flugpetrol sollen heute mit Leitwertsonden ausgerüstet sein. Diese detektieren bereits kleine Produktmengen und ermöglichen so eine frühzeitige Alarmierung und eine rechtzeitige Intervention (Schaumteppich).

In einer durch das BAFU und die CARBURA erstellten Aktennotiz<sup>2</sup> wurde festgehalten, dass bei installierter Leitwertsonde und Einhalten des weiteren Lagerstandards nicht mit einem Ereignis entsprechend Buncefield zu rechnen ist.

### 4. Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit einer Gaswolkenexplosion

Aufgrund der vorhergehenden Diskussion wurde beschlossen, das Szenario Gaswolkenexplosion in Hinsicht auf den Strassenverkehr und die Eisenbahn detailliert anzuschauen und eine Eintrittswahrscheinlichkeit abzuschätzen.

Bei der Abschätzung der Häufigkeit wird, so weit möglich, auf die Erfahrungen in der Schweiz zurückgegriffen. Es werden auch die aktiven Massnahmen berücksichtigt, wobei hier insbesondere zu beachten ist, dass die Leitwertsonden selbstüberwacht sein müssen und die Löscheinrichtungen über eine Bereitschafts-Überwachung mit Alarm verfügen und regelmässig zu warten sind (inkl. Testläufe). Sind diese Randbedingungen nicht erfüllt, muss eine individuelle Häufigkeitsabschätzung erfolgen.

In der Schweiz sind zwei Ereignisse mit Produkt im Schutzbauwerk in den letzten 60 Jahren bekannt.

Für die Abschätzung wurden folgende Faktoren berücksichtigt

- Anzahl Tanks in der Schweiz (alle Produkte)		1'000
- Bekannte Ereignisse in der Schweiz	2 in den letzten 60 Jahren	
- Versagen der selbstüberwachten Leitwertsonde		1:1'000
- Organoleptische Detektion		1:2
- Versagen der gewarteten Löscheinrichtungen		1:100
- Fehlerhafter Feuerwehreinsatz (bei Versagen der Löscheinrichtungen)		1:10
- Zündung der Gaswolke (ohne Intervention) unter Berücksichtigung der Windstärke aber ohne Berücksichtigung der (Haupt-)Windrichtung		
Benzin		
Bis optimaler Wind		1:2
Zu starker Wind		1:10

Flugpetrol

Bis optimaler Wind

1:200

Zu starker Wind

1:1000

Aus diesen Faktoren wurde ein Ereignisbaum erstellt (Anhang 2) welcher die Häufigkeit der Zündung einer Gaswolke nach Produkt und pro Tank berechnet.

## 5. Berechnung des Ausmasses für Personenzüge

Da Personenzüge nur kurzzeitig die Bevölkerungsdichte in der Nähe der Tankanlagen erhöhen, wurde deren Aufenthaltsdauer gemäss einer Formel aus dem Rahmenbericht für Erdgashochdruckanlagen<sup>3</sup> (S.40) berechnet und in Tabelle 1 dargelegt.

$$t_z = \frac{S_A + S_G + Z}{V} * F$$

$S_A$ : Anhalteweg

$S_G$ : Gleislänge im Gefährdungsbereich

$Z$ : Zuglänge

$V$ : Zuggeschwindigkeit

$F$ : Zugfrequenz

Tab. 1: Berechnung der Aufenthaltsdauer eines Zuges

	Regionalzug	IC/ICN/IR
<b>Z: Zuglänge [m]</b>	150	300
<b><math>S_G</math>: Gleislänge im Wirkungsbereich [m]</b>	250	250
<b><math>S_A</math>: Anhalteweg [m]</b>	200	400
<b>Total Streckenlänge [m]</b>	600	950
<b>F: Anzahl Züge pro Stunde in beide Richtungen</b>	8	4
<b>V: Geschwindigkeit Züge [m/s]; 60 bzw. 100 km/h</b>	17	28
<b><math>t_z</math>: Aufenthaltsdauer [s/h]</b>	288	137
<b>"Nachtruhe" [h/t]; 4 von 24 Stunden</b>	0.8	0.8
<b>Prozent</b>	<b>9.8%</b>	

Diese Aufenthaltswahrscheinlichkeit von 9.8% wurde mit der Wahrscheinlichkeit einer Gaswolke mit Zündung (Anhang 2) multipliziert und ergibt somit die Wahrscheinlichkeit einer Gaswolke mit Zündung bei *gleichzeitig vorbeifahrendem Personenzug* von  $1.5 * 10^{-9}$  bei einem Benzin- und  $1.5 * 10^{-11}$  bei einem Flugpetroltank.

Werden diese Wahrscheinlichkeiten in das W/A-Diagramm (Anhang 1) eingesetzt, zeigt sich, dass ein Ereignis bis zum Störfallwert 0.57 (Benzin) und 0.87 (Flugpetrol) im akzeptablen Bereich liegt; bis zu einem Störfallwert von 0.87 (Benzin) und > 1.0 (Flugpetrol) liegt ein Ereignis im Übergangsbereich.

Die Ausmasssskala gemäss Störfallverordnung zeigt auf, dass beispielsweise ein Störfallwert von 0.57 mit 82 Todesopfern korreliert. Die Letalität der Passagiere durch Hitzestrahlung oder Druck in einem vorbeifahrenden Zug kann jedoch mit der eines Gebäudes gleichgesetzt werden (10%)<sup>1</sup>. Es ist daher bei Benzin eine Personenexposition von 825 Personen bei diesem

Störfallwert tragbar. Entsprechend ist bei Flugpetrol gar eine Personenexposition von 8248 Personen noch im akzeptablen Bereich des W/A-Diagrammes.

Die Störfallwerte und die tragbare Personenexposition wurden anhand des W/A-Diagramms für die Produkte Benzin und Flugpetrol berechnet und sind in Tabellen 2 und 3 aufgelistet.

Dabei wurden die Wahrscheinlichkeiten einer Gaswolke mit Zündung für die Anzahl Tanks im selben Schutzbauwerk berechnet und im W/A-Diagramm mit der Linie zwischen "akzeptabler Bereich" und "Übergangsbereich" geschnitten.

Tab. 2: Ausmass für Benzintanks, Personenzüge

Anzahl Tanks im selben Bassin	Wahrscheinlichkeit W	Störfallwert A Akzeptabler Bereich	n <sub>1</sub> : Todesopfer	Tragbare Personenexposition
1	$1.5 \cdot 10^{-9}$	0.57	82	825
2	$2.9 \cdot 10^{-9}$	0.53	58	583
3	$4.4 \cdot 10^{-9}$	0.50	48	476
4	$5.9 \cdot 10^{-9}$	0.48	41	412
5	$7.3 \cdot 10^{-9}$	0.47	37	369
6	$8.8 \cdot 10^{-9}$	0.46	34	337
7	$1.0 \cdot 10^{-8}$	0.45	31	312

Tab. 3: Ausmass für Flugpetroltanks, Personenzüge

Anzahl Tanks im selben Bassin	Wahrscheinlichkeit W	Störfallwert A Akzeptabler Bereich	n <sub>1</sub> : Todesopfer	Tragbare Personenexposition
1	$1.5 \cdot 10^{-11}$	0.87	825	8'248
2	$3.0 \cdot 10^{-11}$	0.83	583	5'832
3	$4.5 \cdot 10^{-11}$	0.80	476	4'762
4	$6.0 \cdot 10^{-11}$	0.78	412	4'124
5	$7.5 \cdot 10^{-11}$	0.77	369	3'689
6	$9.0 \cdot 10^{-11}$	0.76	337	3'367
7	$1.1 \cdot 10^{-10}$	0.75	312	3'117

Aus dem Rahmenbericht zur Ausmassschätzung von Erdgashochdruckanlagen<sup>3</sup> (S.33), können die starken Belegungen der Züge entnommen werden (Tab. 4). Diese hohen Belegungen werden in der Regel während des Pendelverkehrs bzw. während des Ferienverkehrs erwartet, bei den übrigen Verbindungen kann von einer stark reduzierten Belegung (10 % bis 50 % der hohen Belegung) ausgegangen werden.

Tab. 4: Übersicht Zugtypen

Zugtyp	Anzahl Wagen	Anzahl Personen
S-Bahnen	3 – 10	100 – 1000
REG / RX	4 – 6	100 – 200
IC / EC / CIS	6 – 12	500
ICN / EN	6 – 12	500

Gemäss den Annahmen aus Tabelle 1 wird von stündlich 8 Regionalzügen und 4 Intercitys ausgegangen. Um eine Durchschnittsbelegung pro Zug zu berechnen, wurde von 4 S-Bahnen (550 Personen), 4 Regionalzügen (150 Personen) und 4 Intercitys (250 Personen) ausgegangen.

Dies ergibt eine gewichtete Durchschnittsbelegung von **316 Personen pro Zug**.

Bei Strecken mit einer hohen Zugfrequenz (insbesondere S-Bahnen) sollte die Zugbelegung dementsprechend angepasst werden.

Für den Kurzbericht wird nur die Druckwelle (0.21bar) angeschaut, da die Letalität gemäss Rahmenbericht<sup>1</sup> dieselbe ist, wie bei der Hitzestrahlung (10%), aber die Reichweite des Überdruckes grösser (Entfernung E vom Bassinrand).

Somit wird für relevante Bassins die Entfernung E bestimmt und anhand der Anzahl Tanks im Bassin und Tabellen 2 und 3 überprüft ob das Ereignis im akzeptablen Bereich des W/A-Diagramms liegt.

Falls die Summe der durchschnittlichen Zugbelegung (316 Personen) kleiner ist als die tragbare Personenexposition gemäss Tabellen 2 und 3, liegt das Ereignis im akzeptablen Bereich und die Beurteilung ist abgeschlossen.

Liegt die durchschnittliche Zugbelegung über der tragbaren Personenexposition, müssen weitergehende Untersuchungen angestellt werden (z.B. Überprüfen der Grundlagen und Parameter oder eine Risikoermittlung).

Im Anhang 3 ist die Anwendung auf Stufe Kurzbericht umgesetzt.

## 6. Berechnung des Ausmasses für den Strassenverkehr

Die Wahrscheinlichkeit einer Zündung der Gaswolke kann aus dem Ereignisbaum (Anhang 2) gelesen werden und ist pro Tank  $1.5 \cdot 10^{-8}$  für Benzin und  $1.5 \cdot 10^{-10}$  für Flugpetrol unabhängig vom Strassenverkehr.

Werden diese Wahrscheinlichkeiten in das W/A-Diagramm (Anhang 1) eingesetzt, zeigt sich, dass ein Ereignis bis zum Störfallwert 0.42 (Benzin) und 0.72 (Flugpetrol) im akzeptablen Bereich liegt; bis zu einem Störfallwert von 0.72 (Benzin) und  $> 1.0$  (Flugpetrol) liegt ein Ereignis im Übergangsbereich.

Die Ausmassskala gemäss Störfallverordnung zeigt auf, dass beispielsweise mit Benzin ein Störfallwert von 0.42 mit rund 26 Todesopfern (Wert  $n_1$ ) korreliert. Die Störfallwerte und die Anzahl Todesopfer wurden anhand des W/A-Diagramms für mehrere Tanks der Produkte Benzin und Flugpetrol berechnet und sind in Tabellen 5 und 6 aufgelistet.

Tab. 5: Ausmass für Benzintanks, Strassenverkehr

Anzahl Tanks im selben Bassin	Wahrscheinlichkeit W	Störfallwert A Akzeptabler Bereich	n <sub>1</sub> : Todesopfer
1	1.5 * 10 <sup>-8</sup>	0.42	26
2	3.0 * 10 <sup>-8</sup>	0.38	18
3	4.5 * 10 <sup>-8</sup>	0.35	15
4	6.0 * 10 <sup>-8</sup>	0.33	13
5	7.5 * 10 <sup>-8</sup>	0.32	12
6	9.0 * 10 <sup>-8</sup>	0.31	11
7	1.0 * 10 <sup>-7</sup>	0.30	10

Tab. 6: Ausmass für Flugpetroltanks, Strassenverkehr

Anzahl Tanks im selben Bassin	Wahrscheinlichkeit W	Störfallwert A Akzeptabler Bereich	n <sub>1</sub> : Todesopfer
1	1.5 * 10 <sup>-10</sup>	0.72	258
2	3.0 * 10 <sup>-10</sup>	0.68	183
3	4.5 * 10 <sup>-10</sup>	0.65	149
4	6.0 * 10 <sup>-10</sup>	0.63	129
5	7.5 * 10 <sup>-10</sup>	0.62	115
6	9.0 * 10 <sup>-10</sup>	0.61	105
7	1.0 * 10 <sup>-9</sup>	0.60	98

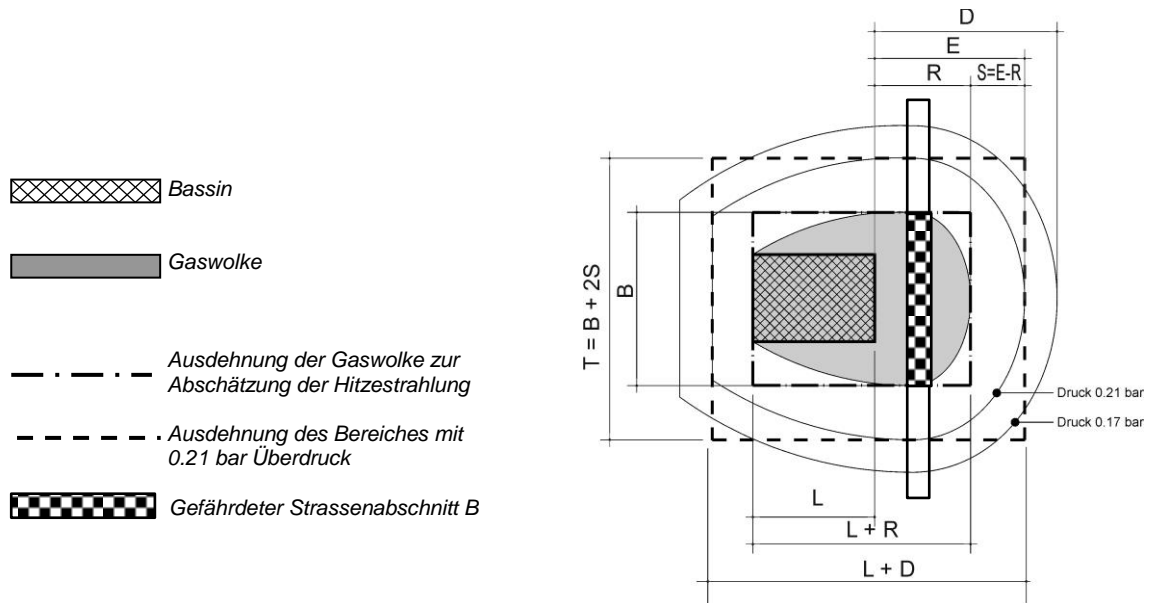
Aus dem Rahmenbericht zur Ausmasseseinschätzung von Erdgashochdruckanlagen<sup>3</sup> (S.32), wurde der Ansatz zur Berechnung des Ausmasses auf den Strassenverkehr abgeleitet. Strassen mit einem durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) unter 10'000 (d.h. Sammelstrassen und Erschliessungsstrassen) werden in der Risikoermittlung nicht berücksichtigt.

Für die Strassenfahrzeuge wird in der Risikoberechnung kein Faktor für die Schutzwirkung eingesetzt, die Letalität wird gemäss Rahmenbericht<sup>1</sup> wie bei Personen im Freien gerechnet, d.h. bei Hitzestrahlung 50% Letalität und bei Druck von 0.21 bar 10% Letalität.

Das Worst-Case Szenario ist die Hitzestrahlung, da die Letalität fünfmal höher ist als bei einer Druckwelle. Somit wird nur das Ausmass der Hitzestrahlung berechnet.



Abb. 1: Bildung einer Gaswolke durch Verdampfung aus einem Bassin der Länge L und Ausbreitung der zündfähigen Gaswolke bis in Entfernung R vom Beckenrand. Infolge Zündung entsteht eine teilverdämmte Gaswolkenexplosion mit einer Druckwelle (Entfernung E vom Bassinrand für 0.21 bar, Entfernung D vom Bassinrand für 0.17 bar)<sup>1</sup>



Das Ausmass beim Strassenverkehr wird über den mittleren Fahrzeugabstand, resp. die Anzahl Fahrzeuge auf einer gewissen Distanz abgeschätzt. Für das Szenario Gaswolkenexplosion und Strassenverkehr wurden 3 Situationen angeschaut: eine städtische Strasse (Geschwindigkeit 40km/h, täglich 4 h Stau), eine Überlandstrasse (60km/h) sowie eine Autobahn (100km/h). Die durchschnittliche Belegung eines Fahrzeuges beträgt 1.5 Personen<sup>3</sup>.

**Stau:** Alle 6.5m ein Fahrzeug während 4 Stunden pro Tag

**Rollender Verkehr:** Aus dem Rahmenbericht für Erdgashochdruckanlagen<sup>3</sup> (S.32) wird die Berechnung für den rollenden Verkehr entnommen welche auf der Fahrzeuggeschwindigkeit basiert und auf dem DTV

$$D_F = \frac{v}{N} = \frac{\text{Geschwindigkeit} \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right]}{\text{Verkehrsfrequenz} \left[ \frac{\text{Fahrzeuge}}{\text{h}} \right]}$$

$D_F$ : mittlere Distanz zwischen zwei Fahrzeugen

$$N: \text{Verkehrsfrequenz} \frac{\text{DTV}}{24h}$$

Ausgehend von kantonalen und nationalen Verkehrszählungen, wurde der DTV für die Stadt auf 10'000 Fahrzeuge, für die Überlandstrasse auf 20'000 Fahrzeuge und für die Autobahn auf 50'000 Fahrzeuge pro Tag (24 Stunden) gesetzt.

Es wird folgende Formel für die Berechnung der Todesopfer benutzt:

$$\text{Todesopfer} = \text{Distanz} * F = \text{Distanz}[\text{m}] * \frac{\text{DTV} \left[ \frac{\text{Fahrzeuge}}{\text{Tag}} \right] * 1.5 \left[ \frac{\text{Personen}}{\text{Fahrzeug}} \right] * 50\% \text{ Letalität}}{1000 \left[ \frac{\text{m}}{\text{km}} \right] * \text{Geschwindigkeit} \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] * 24h}$$

Für eine einfache Umsetzung werden Faktoren nach Strassentyp berechnet, welche mit der Strassenabschnittlänge multipliziert, die Todesopferzahl angeben.

	<b>Faktor F</b>
<b>Todesopfer Autobahn</b>	0.0156
<b>Todesopfer Überland</b>	0.0104
<b>Todesopfer Stadt</b>	0.0257

In Tabelle 7 ist ein Rechenbeispiel für ein Tanklager welches einen 150 m langen Autobahnabschnitt (maximale Wolkenbreite B) innerhalb von R (maximale Entfernung vom Bassinrand) hat. Es kann somit von durchschnittlich 5 Personen auf der Strasse ausgegangen werden, wovon 2 bei einer Gaswolkenexplosion versterben.

Tab. 7: Beispiel-Berechnung der Todesopfer durch Hitzestrahlung in Fahrzeugen in Abhängigkeit des Strassentyps

	<b>Stadt</b>	<b>Überland</b>	<b>Autobahn</b>
<b>Strassenabschnitt [m]</b>	150	150	150
<b>Personen/Fahrzeug</b>	1.5	1.5	1.5
<b>Stau</b>	4h		
<b>Fahrzeugabstand [m]</b>	6.5		
<b>Anzahl Fahrzeuge</b>	23		
<b>Personen</b>	35		
<b>Rollender Verkehr</b>	20h		
<b>Geschwindigkeit [km/h]</b>	40	60	100
<b>DTV</b>	10'000	20'000	50'000
<b>N [Fahrzeuge/h]</b>	417	833	2'083
<b>Mittlere Distanz <math>D_F</math> [m]</b>	96	72	48
<b>Anzahl Fahrzeuge</b>	2	2	3
<b>Personen</b>	2	3	5
<b>Durchschnitt Personen</b>	8	3	5
<b>50% Letalität, Todesopfer</b>	4	2	2

Somit wird für relevante Bassins die Entfernung R bestimmt sowie die Länge des Strassenabschnitts (Wolkenbreite B). Dieser wird je nach Strassentyp mit einem Faktor multipliziert um die Todesopferzahl zu erhalten. Anhand der Anzahl Tanks im Bassin und Tabellen 5 und 6 wird überprüft ob das Ereignis im akzeptablen Bereich des W/A-Diagramms liegt.

Dies bedeutet, dass falls der Wert  $n_1$  aus Tabellen 5 und 6 über der berechneten Todesopferzahl ist, das Ereignis im akzeptablen Bereich liegt und die Beurteilung abgeschlossen ist.

Ist der Wert  $n_1$  unter der berechneten Todesopferzahl, müssen weitergehende Untersuchungen angestellt werden (z.B. Überprüfen der Grundlagen und Parameter oder eine Risikoermittlung).

Im Anhang 3 ist die Anwendung auf Stufe Kurzbericht umgesetzt.

## 7. Schlussfolgerungen

Unter der Voraussetzung, dass in den Schutzbauwerken mit Benzin und Flugpetrol selbstüberwachte Leitwertsonden eingebaut sind und die Löschinrichtungen gewartet werden sowie regelmässig Testläufe stattfinden, ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Gaswolkenexplosion klein.

Es wird empfohlen die Kontrollfragen des Rahmenberichts mit Anhang 3 zu ergänzen um Personenzüge und den Strassenverkehr zu berücksichtigen. Die Abarbeitung dieser Fragen durch die Tanklagerbetreiber soll die Beurteilung dieses Szenarios auf der Stufe Kurzbericht zulassen.

Es ist zu beachten, dass mit den vorgeschlagenen Ergänzungen zu den Kontrollfragen, das Vorhandensein von Flugpetrol alleine wieder zu einer Analyse führen kann. Somit müssen mehr Tankanlagen als bisher die weiteren Fragen betrachten.

Die bis anhin erstellten Kurzberichte gemäss Rahmenbericht haben gezeigt, dass das Gaswolken-Szenario für diese Anlagen innerhalb des zulässigen Störfallwertes von 0.3 liegt. Den Tankanlagen welche in ihrem nahen Umkreis Strassen- und Schienenverkehr haben, wird empfohlen diese Szenarien kombiniert anzuschauen.

Von grosser Bedeutung sind die Kenntnisse des Fachingenieurs und die Plausibilisierung der erhaltenen Berichte insbesondere der Kombination der Resultate aus Anhang 6 des Rahmenberichtes<sup>1</sup> zur Gaswolke und den Opferzahlen durch Strasse und Bahn.

## 8. Beschlüsse der zuständigen Gremien

### 8.1 Diskussion und Beschluss des Fachausschusses Störfallvorsorge

Der Fachausschuss diskutierte diese Problematik an seinen Sitzungen seit dem Ereignis in Buncefield und der durch das BAFU und die Carbura erstellten Aktennotiz<sup>2</sup>. Ebenfalls wurde der Rahmenbericht zur Ausmasseneinschätzung von Erdgashochdruckanlagen<sup>3</sup> besprochen und gewisse Elemente übernommen.

Der Ereignisbaum welcher als Grundlage für die Beurteilung der Szenarien Strassen- und Schienenverkehr verwendet wurde, ist in Zusammenarbeit mit dem Fachausschuss erstellt und von diesem an seiner Sitzung vom 4. November 2014 abgenommen worden.

Der Fachausschuss Störfall hat die vorliegende Revision der Aktennotiz mit den Anhängen für die Umsetzung an seiner Sitzung vom 20. März 2018 zugestimmt und das gesamte Dokument dem LKT überwiesen.

### 8.2 Entscheidung des Lenkungskernteams

Das LKT hat die Revision der vorliegenden Aktennotiz mit den Anhängen für die Umsetzung an seiner Sitzung vom 20. März 2018 zugestimmt und das gesamte Dokument für die praktische Umsetzung freigegeben.

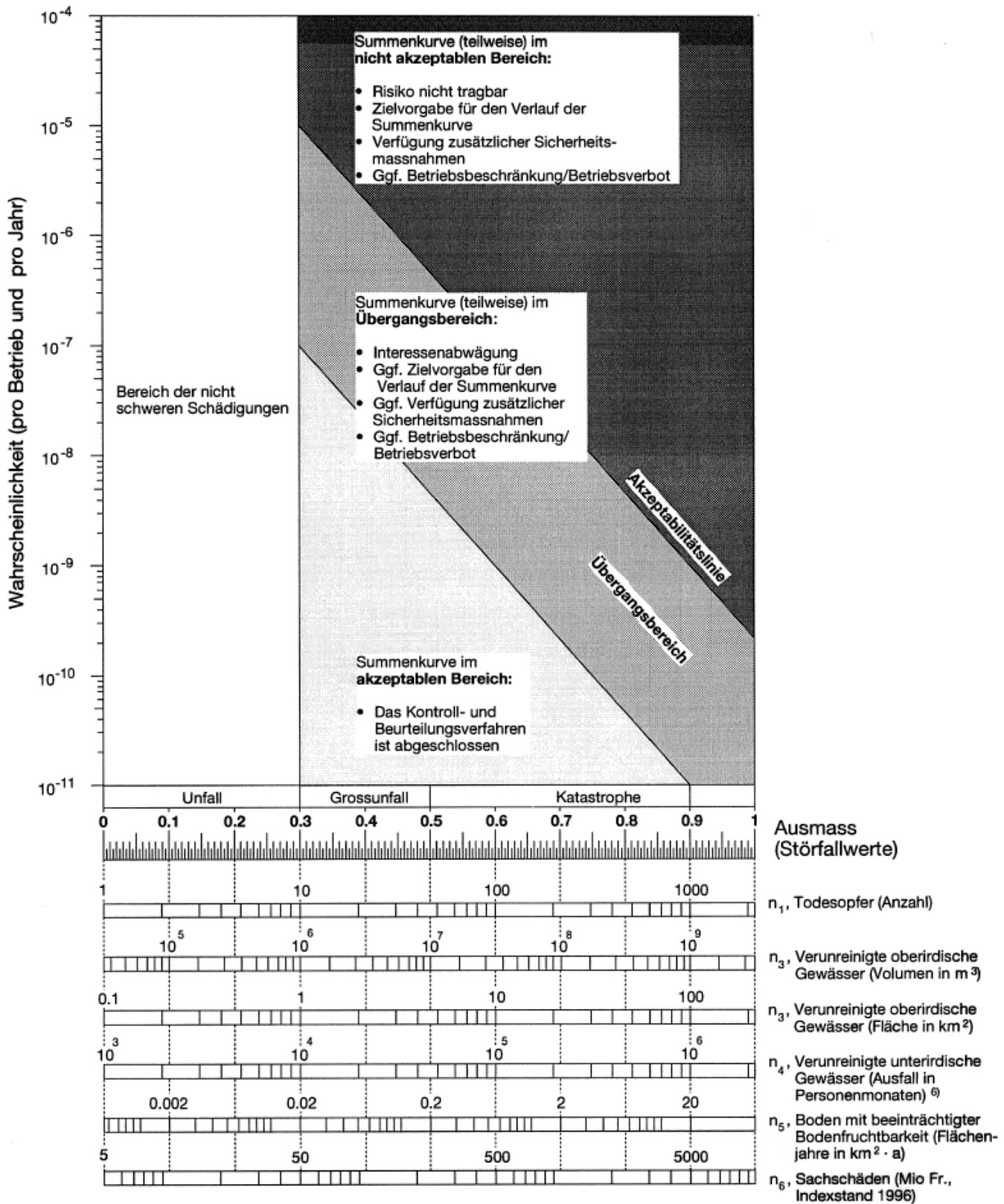
#### Referenzen:

<sup>1</sup> Rahmenbericht über die Sicherheit von Stehtankanlagen für flüssige Treib- und Brennstoffe, Schweizerische Zentralstelle für die Einfuhr flüssiger Treib- und Brennstoffe in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Revidierte Ausgabe 2005

<sup>2</sup> Buncefield: Folgen für die Schweiz (Arbeitspapier), Carbura in Zusammenarbeit mit dem BAFU, September 2010

<sup>3</sup> Rahmenbericht zur standardisierten Ausmasseneinschätzung und Risikoermittlung von Erdgashochdruckanlagen, Schweizerische Erdgaswirtschaft in Zusammenarbeit mit Suisseplan, Revision 2010

# Anhang 1: Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StfV (BAFU, 1996)

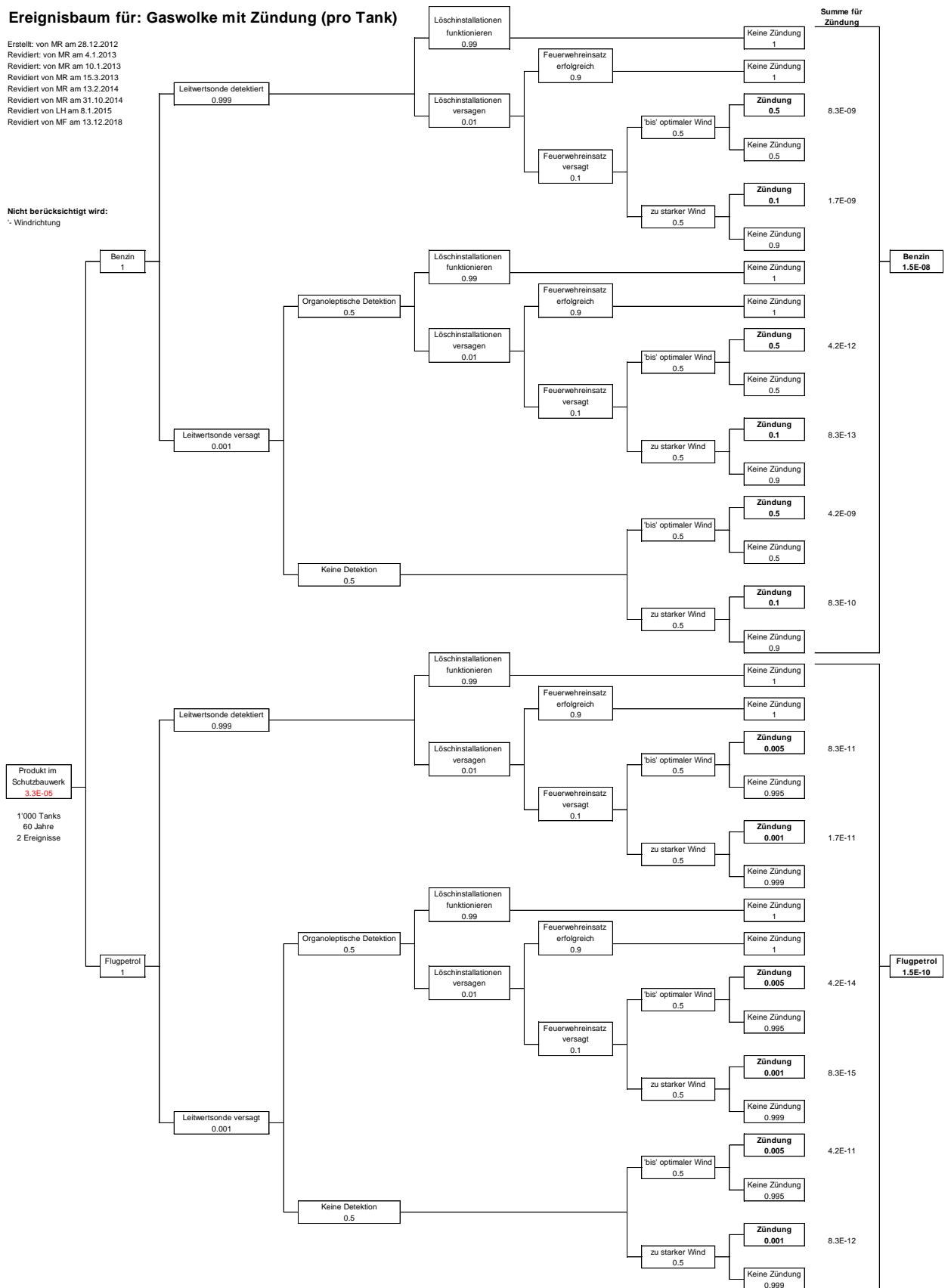


## Anhang 2: Ereignisbaum für Gaswolke mit Zündung (pro Tank)

### Ereignisbaum für: Gaswolke mit Zündung (pro Tank)

Erstellt: von MR am 28.12.2012  
 Revidiert: von MR am 4.1.2013  
 Revidiert: von MR am 10.1.2013  
 Revidiert: von MR am 15.3.2013  
 Revidiert: von MR am 31.10.2014  
 Revidiert: von LH am 8.1.2015  
 Revidiert: von MF am 13.12.2018

Nicht berücksichtigt wird:  
 - Windrichtung



## Anhang 3: Umsetzung des Szenarios Gaswolke bei Strassen- und Schienenverkehr

### Schritt 1: Generelle Fragen

1. Wird in der Anlage Benzin oder Flugpetrol gelagert?  ja  nein
2. Verkehren Personenzüge oder gibt es eine gut befahrene Strasse in einem Umkreis von 150m um die Anlage?  ja  nein

Wurde zweimal **JA** angegeben, sind die Auswirkungen nachfolgend abzuschätzen. Ist eine der Antworten 'Nein', dann ist das Szenarium Gaswolkenexplosion nicht relevant. Die Ausmasseinschätzung kann bei Kapitel 5 des Kurzberichtes Teil 2 fortgesetzt werden.

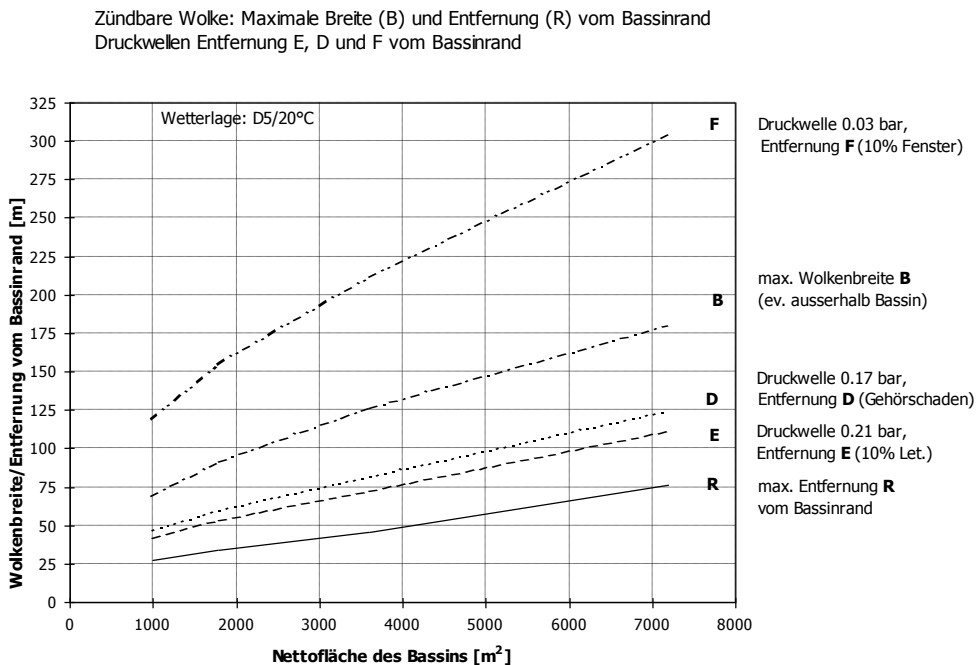
3. Sind in den Benzin- und Flugpetrolbassins selbstüberwachte Leitwertsonden eingebaut?  ja  nein

Falls **NEIN**, kann folgender Ablauf nicht benützt werden um das Ausmass abzuschätzen und das weitere Vorgehen ist mit dem zuständigen Fachingenieur oder den Behörden abzusprechen.

### Schritt 2: Bestimmen der maximalen Gaswolkengrösse

Die massgebenden Netto-Bassinfläche(n) für die relevanten Bassins werden bestimmt und in Tabelle 5 eingetragen. Die Anzahl Benzin- resp. Flugpetroltanks im relevanten Bassin werden ebenfalls eingetragen.

Abb. 1: Grösse der Gaswolke in Abhängigkeit der Nettofläche des Bassins



**Schritt 3: Bestimmen des Ausmasses für Personenzüge**

3.1 Aus Abbildung 1 wird für jedes Bassin in Tabelle 5 der Wert E bestimmt und eingetragen.

3.2 Verkehren innerhalb von E Personenzüge? Falls Nein, bei Schritt 4 weiterfahren.

3.3 Ablesen der zulässigen Personenzahl gemäss Tab. 1 und/oder Tab. 2 für die Anzahl Tanks im berechneten Bassin?

*Tab. 1: Ausmass für Benzintanks,  
Personenzüge*

Anzahl Tanks im Bassin	Tragbare Personenexposition
1	825
2	583
3	476
4	412
5	369
6	337
7	312

*Tab. 2: Ausmass für Flugpetroltanks,  
Personenzüge*

Anzahl Tanks im Bassin	Tragbare Personenexposition
1	8'248
2	5'832
3	4'762
4	4'124
5	3'689
6	3'367
7	3'117

3.4 Vergleichen der zulässigen Personenzahl mit der Durchschnittsbelegung eines Zuges (316 Personen). Ist die tragbare Personenexposition kleiner als 316?

Falls **JA**, ist eine Grundlagenüberprüfung notwendig (z.B. Belegung Personenzug, Windrichtung, Zugfrequenz etc.) sowie die spezifischen Gegebenheiten des Tanklagers (Gaspendelleitung, Überfüllsicherungen, Topographie etc.). In diesem Fall können auch die Störfallwerte und die tragbare Personenexposition für den Übergangsbereich im W/A-Diagramm angeschaut werden.

Falls **NEIN**, sind keine weiteren Abklärungen nötig. Das Szenario liegt im akzeptablen Bereich und das Kontroll- und Beurteilungsverfahren ist abgeschlossen.

**Schritt 4: Bestimmen des Ausmasses für den Strassenverkehr**

4.1 Aus Abbildung 1 wird für jedes Bassin in Tabelle 5 der Wert R bestimmt und eingetragen.

4.2. Gibt innerhalb der Distanz R vom Bassinrand eine gut befahrene Strasse? Falls Ja, bei 4.3 weiterfahren. Falls Nein, ist das Kontroll- und Beurteilungsverfahren des Szenarios Gaswolke abgeschlossen.

4.3 Bestimmung der Länge des Strassenabschnitts welcher die Gaswolke durchläuft (Wert B: max. Wolkenbreite), des Strassentyps und in Tabelle 5 eintragen.

4.4 Die Multiplikation der Strassenlänge B in Metern mit dem entsprechenden Faktor F ergibt die Anzahl Todesopfer.

	<b>Faktor F</b>
<b>Todesopfer Autobahn</b>	0.0156
<b>Todesopfer Überland</b>	0.0104
<b>Todesopfer Stadt</b>	0.0257

4.5. Vergleichen der berechneten Anzahl Todesopfer mit den Werten  $n_1$  (max. Anzahl Todesopfer) aus Tab. 3 und 4.

Tab. 3: Ausmass für Benzintanks, Strassenverkehr

<b>Anzahl Tanks im Bassin</b>	<b><math>n_1</math>: Todesopfer</b>
1	26
2	18
3	15
4	13
5	12
6	11
7	10

Tab. 4: Ausmass für Flugpetroltanks, Strassenverkehr

<b>Anzahl Tanks im Bassin</b>	<b><math>n_1</math>: Todesopfer</b>
1	258
2	183
3	149
4	129
5	115
6	105
7	98

Falls  $n_1$  (max. Anzahl Todesopfer aus der Tabelle) über der berechneten Todesopferzahl ist, sind keine weiteren Abklärungen nötig. Das Szenario liegt im akzeptablen Bereich und das Kontroll- und Beurteilungsverfahren ist abgeschlossen.

Falls  $n_1$  unter der berechneten Todesopferzahl ist, müssen die Grundlagen für die Berechnung überprüft werden, (z.B. Windrichtung, DTV, Fahrgeschwindigkeit, Stauaufkommen etc.) sowie die spezifischen Gegebenheiten des Tanklagers (Gaspendelleitung, Überfüllsicherungen, Topographie etc.). In diesem Fall können auch die Störfallwerte und  $n_1$  für den Übergangsbereich im W/A-Diagramm angeschaut werden.



Tabelle 5: Berechnung des Ausmasses

Schritt 2			Schritt 3				Schritt 4				
			Ausmass Personenzüge				Ausmass Strassenverkehr				
Nr.	Anzahl Tanks im Bassin	Netto-Fläche[m <sup>2</sup> ]	E-Wert [m]	Personenzüge innerhalb E	Tragbare Personenexposition	Tiefer als 316? <sup>a)</sup>	R-Wert [m]	Strasse innerhalb R	Länge Strassenabschnitt Wert B	Strassentyp Autobahn Überland Stadtstrasse	Anzahl Todesopfer (BxF) <sup>b)</sup>
	<b>Benzin-Bassin mit grösster Netto-Fläche</b>			<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
	<b>Flugpetrol-Bassin mit grösster Netto-Fläche</b>			<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
	<b>Benzin-Bassin mit kleinstem Abstand zur Strasse/Bahn</b>			<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
	<b>Flugpetrol-Bassin mit kleinstem Abstand zur Strasse/Bahn</b>			<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			

<sup>a)</sup> Falls JA, müssen weitergehende Untersuchungen angestellt werden. Falls NEIN, liegt das Ereignis im akzeptablen Bereich und die Beurteilung ist abgeschlossen.

<sup>b)</sup> Anzahl Todesopfer vergleichen mit Tab. 3 und 4. Falls n<sub>1</sub> (max. Anzahl Todesopfer aus der Tabelle) über der berechneten Todesopferzahl (BxF), sind keine weiteren Abklärungen nötig. Falls n<sub>1</sub> unter der berechneten Todesopferzahl ist, müssen die Grundlagen für die Berechnung überprüft werden.

**Der Fachingenieur soll die Opferzahlen aus Bevölkerung, Strasse und Bahn plausibilisieren und wo nötig kombinieren.**