

Grundlagen der technischen Risikoanalytik

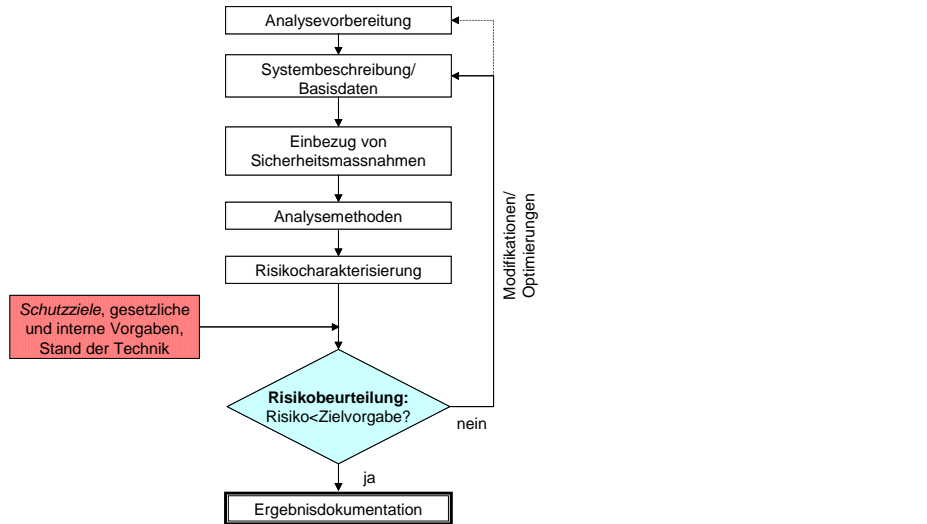
Risikobewertung



Inhalt

- Bewertungsansätze, Tolerierbarkeit (z.B. nach Störfallverordnung)
- Kosten-Nutzen-Abschätzungen ("As low as reasonably practicable", ALARP)
- Möglichkeiten der Risikoreduzierung

Ablauf einer Risikoanalyse: Risikobeurteilung



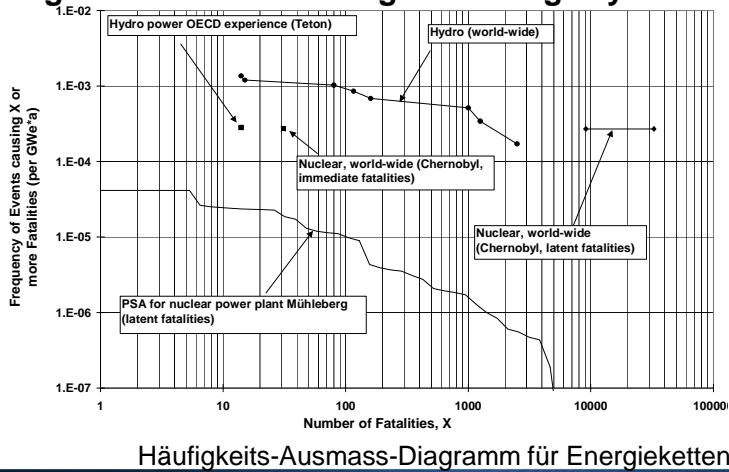
Umgang mit Ergebnissen aus Risikoanalysen

“How Safe is Safe Enough?”

- **Klare interne oder behördliche Forderungen, z.B.**
 - i. Eintretenshäufigkeit eines unerwünschten Ereignisses (z.B. IAEA: Kernschmelz-häufigkeit $10^{-4}/10^{-5}$ pro Reaktorjahr für Alt-/Neuanlage)
 - ii. Risiko kleiner als das einer Alternative (z.B. 1%) oder als bestimmte unausweichliche (natürliche) oder offensichtlich akzeptierte Risiken (Grenzwerte/Grenzkurven - individuell, kollektiv; z.B. Verkehrsunfälle)
 - iii. Ausschlusskriterien (z.B. max. Schadenswert)
- **Notwendigkeit des Abwägens (Vergleich von Optionen, Einbezug wirtschaftlichen Denkens), z.B.**
 - i. Vergleich von Risikoinformationen (F/C-Diagramme)
 - ii. ALARP -Prinzip, d.h. Kosten-Nutzen-Vergleich risikoreduzierender Massnahmen (Relativitätsbetrachtungen für analysierte Anlage)
 - iii. Wirksamkeit eingesetzter Mittel im Quervergleich („Rettungskosten“)

Beurteilung von Risiken über F/C-Diagramme

vergleichende Beurteilung von Energiesystemen



Risikobewertung und –vergleich

Will man die mittels aufwendiger Analysen gewonnene „Risikoinformation“ (z.B. FC-Diagramme) miteinander vergleichen, muss man in vielen Fällen die verschiedenen Grössen (z.B. Schadensarten) zusammenführen. Ansätze:

- Erwartungswert des Risikos über eine oder mehrere Schadensarten;
- Schadensindikatoren – Störfallwerte, etc.

Aggregationen beinhalten grundlegende Wertvorstellungen und werden deshalb nicht von Allen gleichermassen akzeptiert.

Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung (StFV)

Darstellung des Ausmasses der möglichen Schädigungen

- Störfälle können verschiedene Schädigungen in der Bevölkerung oder Umwelt verursachen:
 - Leben und Gesundheit von Menschen,
 - Lebensgrundlagen,
 - Sachwerte.
- Verschiedenartige Schäden werden über einen Satz von Schadensindikatoren erfasst:
 - n_1 , Todesopfer [Anzahl]
 - n_2 , Verletzte [Anzahl]
 - n_3 , Verunreinigte oberirdische Gewässer [Volumen in m^3 oder Fläche in km^2]
 - n_4 , Verunreinigte unterirdische Gewässer [Ausfall in Personenmonaten]
 - n_5 , Boden mit beeinträchtigter Bodenfruchtbarkeit [Flächenjahre in $km^2 \cdot a$]
 - n_6 , Sachschäden [Mio. Fr. Indexstand 1996]

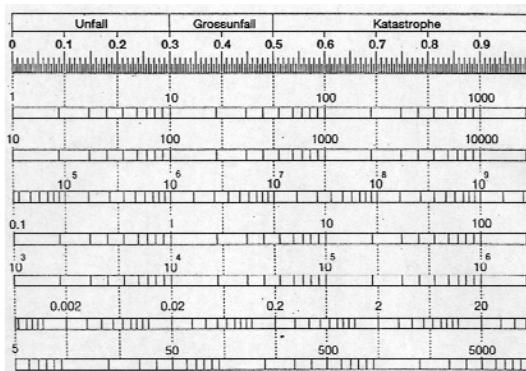
Beurteilung der Schwere von Schädigungen

- Das Ausmass der möglichen Schäden eines Störfalls wird anhand der einzelnen Schadensindikatoren eingeschätzt:
 - Den Ausmassen werden Störfallwerte zwischen 0 und 1 zugeteilt,
 - eine Verknüpfung der Störfallwerte ist in der Regel nicht notwendig,
 - Störfallwerte > 0.3 entsprechen einer schweren Schädigung; die StFV gilt nur für diesen Bereich (Katastrophenschutz),
 - Ausmasse > 1 sind in der CH nicht zu befürchten.
- Beispiele für die dahinter stehenden Wertfunktionen:
 - n_1 , Todesopfer [Anzahl] $y = 0.3 \log(x)$
 - n_2 , Verletzte [Anzahl] $y = 0.2 \log(x) + 0.1$
 - n_6 , Sachschäden [Mio. Fr. Indexstand 1996] $y = 0.223 \log(x) + 0.0778$
- Unsicherheiten müssen bei der Ermittlung des Schadensausmasses und/oder der Eintretenswahrscheinlichkeit in der Risikoermittlung diskutiert, aber nicht ausgewiesen werden.

Kriterien zur Beurteilung von schweren Schädigungen (Stufe Kurzbericht)

Schadensindikator	Kriterium für schwere Schädigungen (Störfallwert 0.3)	Bemerkungen
Todesopfer	Die Grössenordnung von 10 Todesopfern.	
Verletzte	Die Grössenordnung von 100 Verletzten.	
Oberirdische Gewässer	Die Verunreinigung von etwa 10^6 m ³ Wasser oder 1 km ² Wasseroberfläche.	Bei kleinen Gewässern von besonderer Bedeutung (unter 1 km ² Fläche oder 10 km Länge) können von den Vollzugsbehörden in begründeten Fällen strengere Massstäbe angewendet werden, z.B. bei geringer Regenerationsfähigkeit.
Unterirdische Gewässer	Der Ausfall einer Grundwasserfassung im Ausmass von etwa 10'000 Personenmonaten.	
Boden	Die Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit von etwa 0.02 km ² während der Dauer von mindestens einem Jahr.	
Sachwerte	Sachschäden von etwa 50 Mio. Fr.	Indexstand 1996

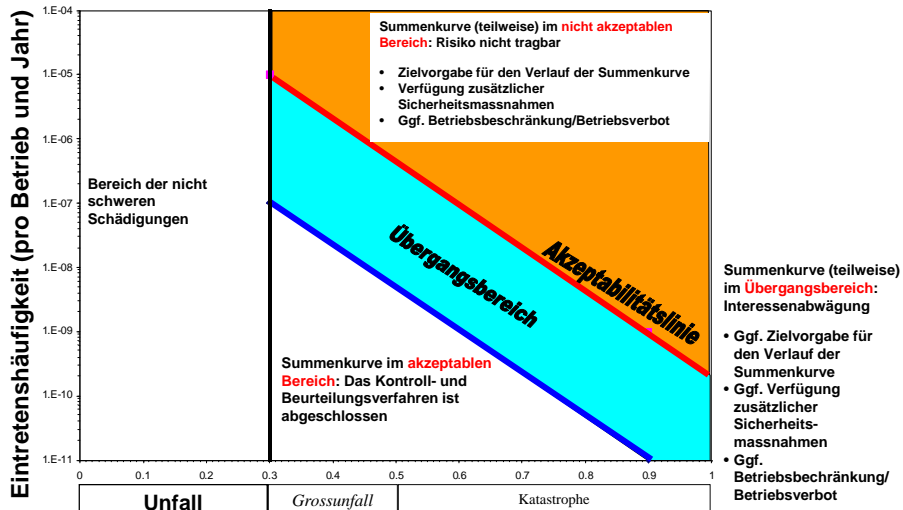
Schadensindikatoren und zugehörige Störfallwerte der StFV



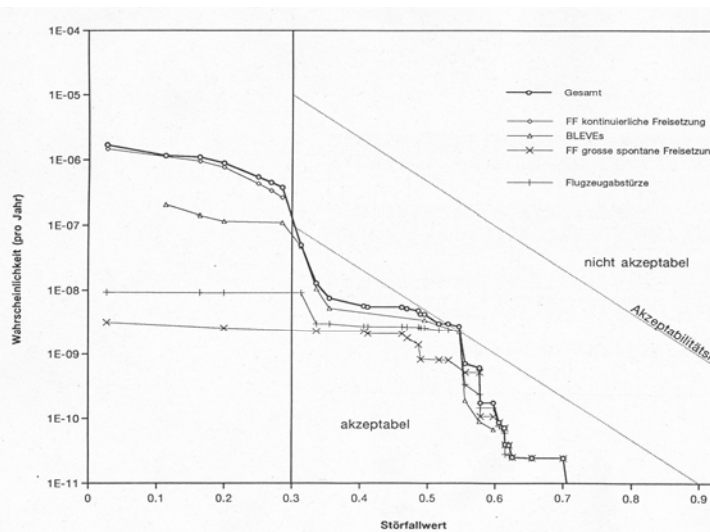
Störfallwerte

- n_1 , Todesopfer [Anzahl]
- n_2 , Verletzte [Anzahl]
- n_3 , verunreinigte oberirdische Gewässer [Volumen in m³]
- n_3 , verunreinigte oberirdische Gewässer [Fläche in km²]
- n_4 , Verunreinigte unterirdische Gewässer [Ausfall in Personenmonaten]
- n_5 , Boden mit beeinträchtiger Bodenfruchtbarkeit [Flächenjahre in km²-a]
- n_6 , Sachschäden [Mio. Fr. Indexstand 1996]

Beurteilung der Tragbarkeit des Risiko (Stufe Risikoermittlung)



Beispiel: Flüssiggas-Tankanlage nach StfV (Einzelanlage)



Tolerability of Risk

- A band between the point of maximum tolerability (above which a project must be abandoned altogether) and the point of minimum tolerability (below which a risk is so small that the project can proceed without formal assessment).
- A “tolerable risk” is one that society is prepared to live with in order to have certain benefits and in the confidence that the risk is being properly controlled.
- An “acceptable risk” which implies that the risk, although present, is generally regarded by those exposed to it as not worth worrying about.
- These different perceptions mean that there is scope for confusion in communicating with the public and non-specialists on risk issues, and great care needs to be taken.

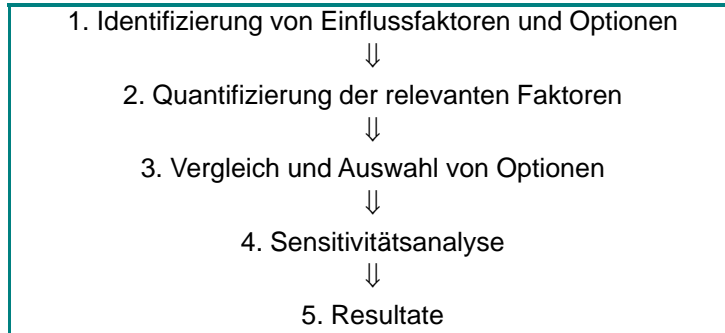
Kosten versus Nutzen als Beurteilungsmaßstab

ALARP (As Low As Reasonably Practicable), HSE (UK):

Prinzip der Kosten-Nutzen-Optimierung: Optimum dann, wenn das Verhältnis der vermiedenen Unfallkosten (Sicherheitsgewinn) und den investierten Mitteln in sicherheitssteigernde Massnahmen „vernünftig“ ist; die Akzeptabilität des Verhältnisses hängt von der Risikolage ab, grösstmögliche Sicherheit wird nicht erreicht.



Vorgehen beim ALARP-Prinzip



1. Identifizierung von Einflussfaktoren und Optionen

Einteilung der Faktoren in quantifizierbare (z.B. Kosten, Strahlendosis) und nicht quantifizierbare (politische Entscheidungsprozesse)

Kosten als zentrale Faktoren für

- Schutzmassnahmen:
 - Kapitalkosten: Von Planung bis zur Inbetriebnahme, Einrichtungen, Ausrüstung, Personalausbildung usw.
 - Betriebskosten: Lohn-, Betriebs-, Verwaltungs-, Kontroll-, Unterhalts-, Reparaturkosten usw.
- Schadenskosten (nach Schutzmassnahmen) durch:
 - Gesundheitsschädigende Effekte (tödliche und nicht tödliche)
 - Nicht-gesundheitsschädigende Effekte, z.B. Imageverlust einer Region

Optionen:

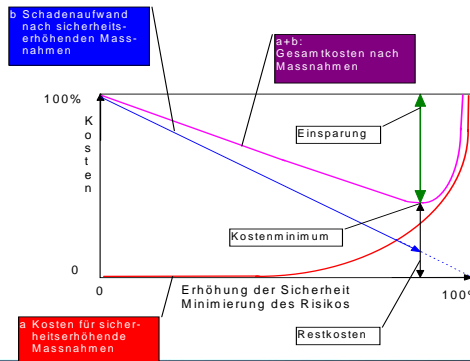
Optionen sind technische, organisatorische Varianten zur Expositionsminimierung. Sie ergeben sich oft aus der Analyse der Einflussfaktoren. Beispiel: Schutzwälle, Schutzausrüstung usw.

2. Quantifizierung der relevanten Faktoren

auf der Basis von Modellen und Simulationen

3. Vergleich und Auswahl von Optionen

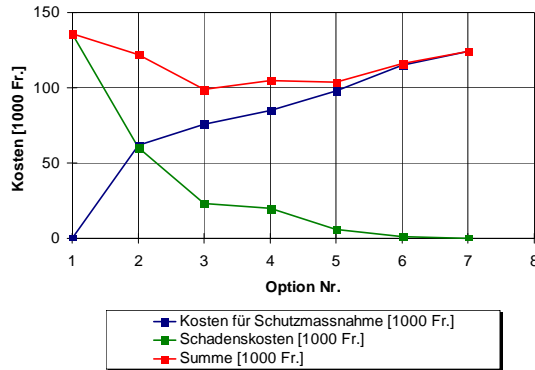
- einfache Problematiken: intuitiver Vergleich aufgrund von Expertenwissen, „best practice“
- komplexe Problematiken: quantitative, entscheidungsunterstützende Techniken wie Cost-Benefit Analysis



Cost Benefit Analysis (CBA)

- Originates from the economic theory of welfare, it compares the benefit and harm associated with different options.
- All relevant factors have to be expressed in monetary terms.
- When all these factors are expressed in the same unit it is very easy to aggregate all these different costs in a total cost.
- The best option is then the option presenting the minimum total cost.

Hypothetisches Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse



- Option 1: Ausbauhochwasser 310 m³/h (heutiger Zustand)
- Option 2: Ausbauhochwasser 570 m³/h
- Option 3: Ausbauhochwasser 850 m³/h
- Option 4: Ausbauhochwasser 1090 m³/h
- Option 5: Ausbauhochwasser 1380 m³/h
- Option 6: Ausbauhochwasser 1830 m³/h
- Option 7: Ausbauhochwasser 2040 m³/h

Annahmen

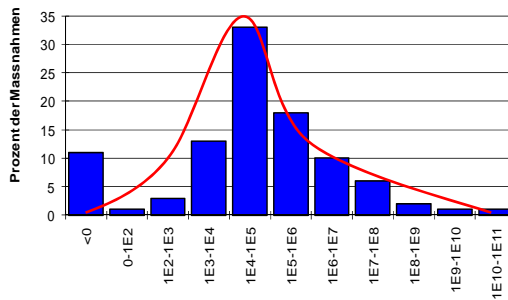
- Bestimmtes Hochwasser [oft 'worst case'] tritt auf, Häufigkeit kann unberücksichtigt bleiben.

Kosten für sicherheitssteigernde Massnahmen

Die Vermeidung von Todesfällen durch Massnahmen hätte Gewinn zusätzlicher Lebensjahre zur Folge. Aus der Umsetzung der Massnahmen ergeben sich Kosten pro vermiedenem Todesfall oder Lebensjahr.

Lebensrettungskosten	1000\$ pro vermiedenem Todesfall
PAP - Test	25
Mobile Behandlung von Herzinfarkten	15-30
Sicherheitsgurte in den Vordersitzen (USA)	25-110
Flugverbot für DC-10	30'000
Neue Vorschriften für Hochhäuser (UK)	100'000
Asbestsanierung in Schule	Bis 1'400'000
Wasserstoff-Rekombinatoren in Kernkraftwerken	3'000'000

Allgemeine Verteilung der Kosten pro gerettetes Lebensjahr [US \$]



- 587 Massnahmen aus verschiedensten Bereichen (Verkehrssicherheit, Brand- und Strahlenschutz usw.)
- Bereich < 0: Nutzen der Massnahmen ist grösser als Kosten

Quelle: Risk Analysis, Tengs et al., "Cost-Effectiveness of Saving Lives"

Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StfV vom 27.02.1991)

Die StfV stützt sich rechtlich auf

- Artikel 10 (4) Umweltschutzgesetz (1983)
- Artikel 25 (1) Gewässerschutzgesetz (1971)

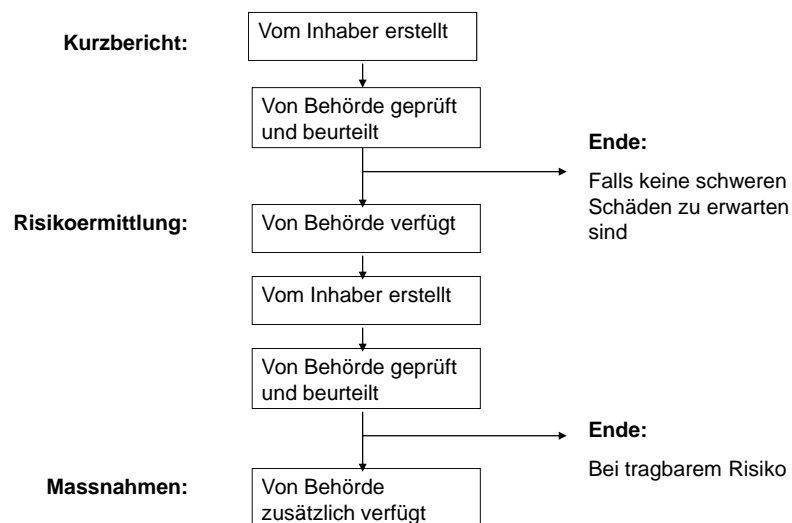
⇒ Ermächtigung des Bundesrates, durch Verordnungsrecht Vorschriften über Sicherheitsmassnahmen bei Anlagen zu erlassen.

Die StfV "soll die Bevölkerung und die Umwelt vor schweren Schädigungen infolge von Störfällen schützen" (Art. 1 (1)), welche beim Betrieb von Anlagen entstehen können.

Schwerpunkte

- "Erfassen der Risiken für Bevölkerung und Umwelt, welche beim Umgang mit Stoffen, Erzeugnissen, Sonderabfällen oder Mikroorganismen sowie beim Transport gefährlicher Güter bestehen."
- Störfallvorsorge, d.h. *eigenverantwortliches Treffen der zur Verminderung des Risikos geeigneten Massnahmen* durch den Inhaber eines Betriebs oder eines Verkehrswegs, mit denen Gefährdungen minimiert und deren Auswirkungen begrenzt werden.
- Störfallbewältigung durch den Inhaber.
- Kontrollieren der Eigenverantwortung des Inhabers durch die Behörde.
- Verbessern der Information der Bevölkerung, um die Risiken bewusster und verständlicher werden zu lassen (Information und Alarmierung bei Störfällen, Informationsaustausch über Katastrophenschutz).

Ablauf bei der Erfüllung der Störfallverordnung



Wichtige Begriffe in der Störfallverordnung

Risiko

"Das Risiko wird bestimmt durch das Ausmass der möglichen Schädigungen der Bevölkerung oder der Umwelt infolge von Störfällen und der Wahrscheinlichkeit, mit der diese eintreten."

⇒ entspricht der bisherigen Risikodefinition.

Gefahrenpotential

"Als Gefahrenpotential gilt die Gesamtheit der Einwirkungen, die infolge der Mengen und Eigenschaften der Stoffe, Erzeugnisse, Sonderabfälle, Mikroorganismen oder gefährlichen Güter entstehen können".

⇒ entspricht weitgehend der Definition von "Gefahr."

Störfall

"Als Störfall gilt ein ausserordentliches Ereignis in einem Betrieb oder auf einem Verkehrsweg, bei dem erhebliche Einwirkungen auftreten

- a. ausserhalb des Betriebsareals,
- b. auf oder ausserhalb des Verkehrsweges."

Geltungsbereich der StFV

- Betriebe, in denen über gewisse Mengenschwellen Stoffe, Erzeugnisse oder Sonderabfälle vorhanden sind.
- Betriebe, in denen in geschlossenen Systemen gefährliche Mikroorganismen verwendet werden.
- Verkehrsanlagen auf denen gefährliche Güter transportiert oder umgeschlagen werden:
 - Eisenbahnanlagen
 - Durchgangsstrassen und
 - der Rhein als Schifffahrtsstrasse.

Nicht betroffen sind

- Rohrleitungsanlagen (Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe).
- Anlagen und Vorgänge, die der Kernenergie- und Strahlenschutzgesetzgebung unterstellt sind.
- Betriebe, in denen nur industrielle oder gewerblich hergestellte Gebrauchsgegenstände vorhanden sind, z.B. Lager mit Gegenständen aus PVC-haltigen Kunststoffen.

Mengenschwellen (MS) gegeben

- für 56 Stoffe in einer Liste mit Werten:
 - kleinste MS-Menge allgemein 1 kg
 - grösste MS-Menge 500'000 kg (Heizöl)
- für andere Stoffe mit Hilfe von Stoffkriterien, wie
 - Giftigkeit,
 - Brand- und Explosionseigenschaften,
 - Ökotoxizität.
- für Sonderabfälle mit Hilfe allgemeiner Beschreibung der Stoffgemische
 - Beispielsweise Gruppe der anorganischen Abfälle mit gelösten Säuren mit Magnesium MS = 2'000 kg.

Erstellung des Kurzberichtes (KB), Störfallszenarien nach StFV

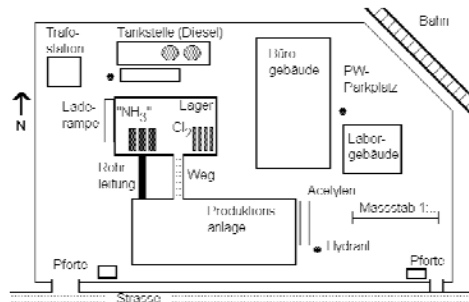
Der Kurzbericht des Inhabers umfasst (Art. 5 Abs. 1)

„eine Einschätzung des Ausmasses der möglichen Schädigungen der Bevölkerung oder der Umwelt infolge von Störfällen.“:

- „Erhebliche Einwirkungen“ **ausserhalb** des Betriebsareals;
- Berücksichtigung von **realistischerweise** möglichen Störfallursachen, Ereignisabfolgen und Versagensformen;
- mehr an Ausmass der Schädigung als an der Eintretenswahrscheinlichkeit orientiert, sehr kleine Eintretenswahrscheinlichkeit ist kein Grund, ein Szenarium auszuschliessen (→ "**worst case**"-Denkansatz).

Formelle Gliederung des Kurzberichtes mit

- Anschrift, Verantwortliche, Besitzverhältnisse
- Wirtschaftszweig, Tätigkeitsbereiche
- Übersichtsplan des Betriebes mit
 - Art und Nutzung einzelner Anlagen,
 - Angaben zur Umgebung,
 - benachbarten Betrieben,
 - Verkehrswegen,
 - Schulen, öffentliche Einrichtungen,
 - Gewässerschutzbereiche etc.
- weitere Angaben:
 - Zahl der Beschäftigten,
 - Fläche des Anlagen- bzw. Betriebsareals.



Liste der Höchstmengen vorhandener Stoffe, Erzeugnisse oder Sonderabfälle

Gesamtübersicht der Stoffe, welche die Mengenschwellen überschreiten.

Angaben zu vorhandenen Sach- und Betriebshaftpflichtversicherungsverträgen

Angaben über die sicherheitstechnischen Massnahmen

- Geplante Massnahmen zur Gefahrenbeseitigung, Begründung nicht weiter erfolgter Gefahrensenkung;
- Massnahmen zur Verhinderung von Störfällen und Begrenzung von Störfallauswirkungen (jeweils technisch, organisatorisch, personell).

Einschätzung möglicher Schädigungen der Bevölkerung und Umwelt

- Art und Menge freisetzbarer Stoffe,
- Art der Freisetzungsmöglichkeiten (z.B. Leckage, Brand),
- Art und Dimension der freigesetzten Stoffe (Luft, Wasser, Boden),
- schlimmstmögliche Folgen.

Hilfsmittel zur Erstellung eines KB

- Pragmatische Formeln/Hilfsmittel (aus der Literatur), Analogieschlüsse.

Risikoermittlung durch den Anlagenbetreiber

Kontrollinstrument für die Wirksamkeit der Sicherheitsmassnahmen sowie als Grundlage zur Beurteilung des Risikos für Bevölkerung und Umwelt.

Angaben zur Methodik

Art der Methoden zur Risikoermittlung nicht vorgegeben:

- Bei Nutzung bekannter bzw. allgemein gebräuchlicher Methoden
⇒ Verweis auf die Referenzen ausreichend
⇒ Anwendungsbegründung (ohne ausführliche Beschreibung)
- Bei Nutzung nicht einschlägig bekannte Methoden
⇒ ausführliche Beschreibung (Nachvollziehbarkeit).

Für Analyse von Anlage und Störfallszenarien sind gemäss Handbuch als Methoden geeignet zur Untersuchung von Freisetzung, Wirkung, Folgen, Wahrscheinlichkeiten:

- qualitative, quantitative, induktive und deduktive Ansätze,
- statistische Angaben, Ereignis-, Zuverlässigkeitsdatenbanken,
- subjektive Beurteilungen (durch Experten).

Kriterien zur Ermittlung der Mengenschwellen Beispiel: Giftigkeit

Kriterien	Werte für Kriterien			
	MS = 210 ² kg	MS = 210 ³ kg	MS = 210 ⁴ kg	MS = 210 ⁵ kg
a. Giftklasse	1	2	3	4
b. EG-Klassierung				
• akut	T+, R26, 27, 28	-	T, 23, 24, 25	Xn, R20, 21, 22
• spezielle Wirkungen	k, t, m, R40, 45, 46, 47	-	-	-
• ätzend/reizend	-	C, R34, 35	-	Xi, R36, 27, 38, 41, 43
c. akute Toxizität				
• oral [mg/kg]	25	-	> 25 bis 200	> 200 bis 2000
• dermal [mg/kg]	50	-	> 50 bis 400	> 400 bis 2000
• inhalativ [mg/14h]	0,5	-	> 0,5 bis 2	> 2 bis 20
d. SDR-Klassierung				
• Kl. 8		VG I, II		VG III
• Kl. 6.1	VG I	VG II	VG III	

Anmerkungen zu Tabelle "Giftigkeit"

zu a) Giftklasse

LD₅₀

- Letale (tödliche) Dosis im Tierversuch, bei der eine in-nerhalb von 24 Stunden verabreichte Dosis (in mg/kgKörpergewicht) bei der Hälfte der Versuchstiere in-nerhalb von 5 Tagen den Tod verursacht.

LC₅₀

- mittlere letale Konzentration eines Stoffes im Wasser, bei welcher 50% einer Prüfgruppe von Fischen innerhalb einer ununterbrochenen Einwirkungs-dauer von mindes-tens 96 Stunden getötet werden.

zu c) akute Toxizität

- Eine an Ratten (repräsentativ für Säuger) ermittelte Stoffeigenschaft bzw. –wirkung.
- oral: ein Stoff, der über den Mund aufgenommen wird,
- dermal: ein Stoff, der über die Haut aufgenommen wird,
- inhalativ: ein Stoff, der eingeatmet wird.

StFV-unterworfenen Betriebe

Kanton	Anzahl Betriebe	Kanton	Anzahl Betriebe
Zürich	358	Schaffhausen	10
Bern	389	Appenzell A.Rh.	13
Luzern	135	Appenzell I.Rh.	3
Uri	21	St. Gallen	253
Schwyz	34	Graubünden	51
Obwalden	7	Aargau	231
Nidwalden	8	Thurgau	70
Glarus	28	Ticino	86
Zug	35	Vaud	127
Fribourg	124	Valais	62
Solothurn	88	Neuchâtel	67
Basel-Stadt	40	Genève	102
Basel-Landschaft	122	Jura	13

Aufteilung nach Stoffen und Anzahl Betriebe

- Mineralölprodukte: Heizöl, Diesel, Kerosin und Benzin; Tanks bzw. Tanklager
- Propan / Butan: Flüssiggas; Tanks, Raffinerien, Abfüllung
- Chlorierte Kohlenwasserstoffe, meist Tetra(per)chloroethylen (Perchloroethylen) und Methylchlorid; CKW-Anlagen der chemischen Industrie, Reinigungen, metallverarbeitende Betriebe
- Zyanide: Zyanidsalze und zyanidhaltige Bäder; chemische Industrie, metallverarbeitende Betriebe

