

Lernkärtchen für Risikoanalyse
Prof. W. Kröger
2. Teil

Frühling 2006

Erstellt durch
Tobias Bruderer

Konsequenzenanalyse, Ablauf

1. Charakterisierung der Freisetzung durch Herleitung eines Quellterms (Art der Stoffe, Menge, Ausbreitungsraum, Emissionshöhe, Zeitangaben, Energiefreisetzung)
2. Modellierung des Transport (Verteilung, Verweilzeit, Wirkungen energetischer Freisetzungen)
3. Einbezug von Schutz- und Gegenmassnahmen
4. Belastungspfade
5. Gesundheitliche Auswirkungen toxischer und energetischer Freisetzungen (Dosis-Risiko-Modelle)
6. Berechnungsmethoden der Schadensermittlung

Beispiel: Radiotoxische Stoffe (chem. Stoffe → Probit-Ansatz)

Bestimmung der potentiell schädlichen Strahlendosis, Berücksichtigung von Notfallmassnahmen, Präventivmassnahmen, Ableitung des individuellen Todesrisikos, Bestimmung der Exposition der Bevölkerung, Bevölkerungsdichte, Kollektivdosis

Modellierung der Ausbreitung

Gauss'sches Fahnen-Modell

Immissionskonzentration am betrachteten Ort = Funktion von
Emissionsrate, mittlerer Geschwindigkeit, Quellhöhe (z.B. Rauchfahne),
Windrichtung, Streuung der Konzentrationsverteilung

Darstellung der Resultate der Konsequenzenanalyse

Eintrittshäufigkeits-Ausmass-Diagramme. (siehe 6.13)

y-Achse: kumulierte Wahrscheinlichkeiten

x-Achse: Ausmass, z.B. Anzahl Toter von Spätschäden im Einzugsgebiet

Es kann die Wahrscheinlichkeit herausgelesen werden, welche zu X oder weniger Toten führt.

Störfallszenarien

Konsequenzenanalyse bei der Freisetzung von Chemikalien

Schrittweises Modellieren:

1. Freisetzung
2. Ausbreitung
3. Wirkung
4. Exposition

Die obigen Größen werden durch Bestimmungsgrößen (z.B. bei Leckmenge bei der Freisetzung) und Einflussparameter (z.B. Ursache der Leckage bei der Freisetzung bzw. Bevölkerungsdichte bei der Exposition)

Berücksichtigung von Sicherheitseinrichtungen

Störfall mit wassergefährdeten Stoffen

- Auffangbecken
- vorbereitete Kellergeschosse

Störfall mit giftigen Gasen

- luftdichte verschliessbare Räume
- mobile Gaswäscher

Störfall mit Brand

- baulicher Brandschutz
- Sprinkleranlagen

Bewertung toxischer Wirkungen einer Freisetzung (Dosisberechnung)

Im Gegensatz zu den USA gibt es in Europa noch keine Richtwerte für Chemikalien, die auf den Ereignisfall zugeschnitten sind. Es gibt jedoch allgemeine Grenzwerte:

-**MAK**(max. Arbeitsplatzkonzentration): Gefährdung der Bevölkerung erst bei Überschreitung des MAK

-**IDLH**(immediately dangerous to life and health): Dieser Grenzwert ist mit Vorsicht zu genießen, da er sich nur auf eine 30 Minuten Wirkung auf gesunde, männliche Erwachsenen bezieht.

-**ERPG**: Richtlinien der USA, es sind Konzentrationswerte, welche ab einem bestimmten Schweregrad über eine bestimmte Zeit Schutzmassnahmen auslösen. Die Werte beziehen sich sinnvollerweise auf eine heterogene Bevölkerung.

Wichtig: Ist die freigesetzte Substanz mutagen, kanzerogen oder teratogen?

Wie ist eine Dosis definiert?

Dosis = k * Konzentration * Expositionszeit

Mit der Konstanten $k = \text{Funktion}(\text{Luft/Blut} - \text{Übergang})$, meistens $k = 1$
deshalb

Toxische Last = Summe($C_i^n * t_i$)

C: Konzentration, n: Stoffkonstanten, t: Expositionszeit

Mit n der Stoffkonstanten, welche nur für eine begrenzte Anzahl
chemischer Substanzen existiert.

Die Toxische Last kann mittels Probit-Ansatz in die wichtige prozentuale
Mortalität einer Population (Todeswahrscheinlichkeit) umgerechnet
werden. Die Todeswahrscheinlichkeit ist wesentlich abhängig vom Anteil
der Population innerhalb bzw. ausserhalb von Gebäuden.

Risikobewertung / Risikobeurteilung: Wie sicher ist sicher genug?

Klare interne oder behördliche Forderungen

- Eintrittshäufigkeit eines unerwünschten Ereignisses darf nicht überschritten werden
- Risiko soll kleiner als das einer Alternativen sein, oder als bestimmte unausweichliche bzw. offensichtliche Risiken (Grenzwertkurven – individuell, kollektiv z.B. Verkehrsunfälle)
- Ausschlusskriterien (z.B. max. Schadenswert)

Notwendigkeit des Abwägens

- Vergleich von Risikoinformationen (F/C – Diagramme, S 7.4, Problem der Aggregation, Wertvorstellungen!)
- ALARP-Prinzip (as low as reasonably practible,) d.h. Kosten-Nutzen- Vergleich risikoreduzierender Massnahmen
- Wirksamkeit eingesetzter Mittel vergleichen (Rettungskosten)

Störfallverordnung: Darstellung der Schadensausmasse

Wirkungen von Schäden auf: Leben und Gesundheit des Menschen,
Lebensgrundlagen, Sachwerte

Indikatoren dafür: Todesopfer, Verletzte, Verunreinigte Gewässer /
Böden usw, Sachschäden

Ausmass abschätzen: Anhand der Indikatoren, Grenzwert einer Schweren
Schädigung lösen den Katastrophenschutz (dafür gilt die StFV) aus.

Als Grundlage der Ausmass-Abschätzung: werden Wertefunktionen
verwendet, Unsicherheiten müssen diskutiert werden jedoch nicht
ausgewiesen werden.

Beurteilung der Tragbarkeit eines Risikos: durch Summenkurve (S 7.11)

x-Achse: Wert eines Störfallindikator von 0 bis 1

y-Achse: Auftretenswahrscheinlichkeit

Auf dem Graphen gibt es verschiedene Bereiche: Nicht schwere Schädigung,
akzeptabler Bereich, Übergangsbereich, Nicht akzeptabler Bereich. Der
Übergangsbereich führt ggf. zur Verfügung von zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen
bzw. Betriebseinschränkung/-verbot. Erst der letzte Bereich führt zur Verfügung von
zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen ggf. Betriebsbeschränkungen.

ALARP-Prinzip: Kosten-Nutzen-Vergleich

Optimum wenn das Verhältnis der vermiedenen Unfallkosten zu den investierten Sicherheitsmittel vernünftig ist. Verhältnis wird von der Bevölkerung bzw. den Arbeitern akzeptiert, wenn das Risiko im allgemein akzeptabeln bzw. tolerierbaren Bereich liegt (S 7.14)

Vorgehen beim ALARP-Prinzip

1. Identifizierung von Einflussfaktoren und Optionen
2. Quantifizierung der relevanten Faktoren
3. Vergleich und Auswahl von Optionen
4. Sensitivitätsanalyse
5. Resultate

Details zum ALARP-Prinzip

1. Identifizierung von Einflussfaktoren und Optionen

- Einteilung der Faktoren in quantifizierbare (z.B. Kosten, Strahlendosis) und andere (z.B. politische Entscheidungen)
- Kosten als zentrale Faktoren für Schutzmassnahmen (Kapitalkosten, Betriebskosten) und Schadenskosten nach Schutzmassnahmen (Gesundheitsschädigende und andere z.B. Imageverlust).
- **Optionen:** Aus den Einflussfaktoren ergeben sich oft technische und organisatorische Varianten zur Expositionsminimierung (z.B. Brandtüren, Schutzausrüstung)

2. Quantifizierung der relevanten Faktoren auf Basis von Modellen und Simulationen

3. Vergleich und Auswahl der Optionen

bei komplexen Problemen kommen quantitative, entscheidungsunterstützende Techniken z.B. Kosten-Nutzen-Analysen: Ökonomisches Tool, Vergleich versch. Szenarien, Monetarisierung, einfache Aggregation, Beste Variante ist die mit den tiefsten Gesamtkosten (S 7.20)

StFV: Schwerpunkte, Ablauf, Wichtige Begriffe

StFV = Störfallverordnung

Schwerpunkte: Erfassen von Risiken für die Bevölkerung und Umwelt, Störfallvorsorge durch Eigenverantwortung der Betreiber, Störfallbewältigung durch Inhaber, Kontrollieren der Eigenverantwortung durch Behörde, Verbessern der Information der Bevölkerung

Ablauf: wenn StFV zum Zug kommt: Kurzbericht durch Inhaber wird von Behörde geprüft, beurteilt. Akzeptiert falls keine schweren Schäden zu erwarten sind.

Sonst Risikoermittlung von Behörde verfügt durch Inhaber erstellt und wieder von Behörde geprüft, beurteilt. Akzeptiert bei tragbarem Risiko.

Sonst werden zusätzliche Massnahmen von der Behörde verfügt.

Wichtige Begriffe: Risiko, Gefahrenpotential (=Gefahr), Störfall d.h. ausserordentliches Ereignis im Betrieb bzw. Verkehrsweg mit erheblichen Einwirkungen ausserhalb des Betriebsareals bzw. Verkehrsweges.

StFV: Geltungsbereich, Mengenschwellen

Geltungsbereich: Betriebe mit gewisser Menge an Stoffen, Produkten, Sonderabfälle. Betriebe mit gefährlichen Mikroorganismen. Verkehrsanlagen mit gefährlichen Gütern. Eisenbahnanlagen, Durchgangsstrassen und der Rhein als Schifffahrtsstrasse. Ausserhalb Geltungsbereich: Rohrleitungsanlagen (z.B. Pipelines), AKWs, Betriebe mit industriellen, gewerblichen hergestellten Gebrausgegenständen

Mengenschwellen: Liste für 56 Stoffe (1kg – 500t), Allgemeine Beschreibungen für Sonderabfälle (Anorganische Abfälle mit gelösten Metallen → MS = 2000kg), sonst Stoffkriterien (Giftigkeit, Brand- und Explosionseigenschaften)
Details zum Kurzbericht (S 7.29-31)

PRA: Betrachtungsweisen, Wichtige Begriffe

PRA = Probabilistische Risikoanalyse

Betrachtungsweisen wichtig: Statistisch, Deterministisch und Probabilistisch (S 9.5)

Wichtige Begriffe: Ereignisse (z.B. Pumpe fällt aus),
Wahrscheinlichkeiten (Klassisch via relative Häufigkeit, Frequentistisch via Grenzwert der relativen Häufigkeit bei vielen Wiederholungen, Subjektiv: Häufigkeit nach Erwartung des Individuums), Frequenz (zeitbezogene Häufigkeit z.B. Anzahl pro Jahr), weitere (S 9.7)

PRA: Ablauf für AKWs

Level 1: Auslösendes Ereignis → Frequenz der Kernschadens

Level 2: Freisetzungspfade → Frequenz und Menge der freigesetzten Radionukleide, Quellterm

Level 3: Konsequenzenanalyse → Frequenz und Quantifizierung von Umwelt- und Gesundheitsschäden

Überblick (S 9.17)

PRA: Level 1 (Aufgabe, Benötigte Infos, Resultate)

Auslösendes Ereignis = Zwischenfall, welcher Gegenmassnahme erfordert da sonst Kernbeschädigt wird

Aufgabe: Identifikation von Auslösenden Ereignissen , Enteilung in Kategorien, Abschätzen ihrer Häufigkeiten → Fehlerbäume, Ereignisbäume (Unterschiede S 9.16)

Benötigte Informationen: Häufigkeit auslösender Ereignisse (Daten, Erfahrungswerte), Systemzuverlässigkeit (einzelner Komponenten, menschliche Zuverlässigkeit, gebräuchliche Fehlermechanismen), Instandhaltung, Systembeschreibung via Handbücher

Resultate: Diagramme mit
x-Achse: Beobachtetes AKW, y-Achse: Frequenz

PRA: Level 2: Freisetzungspfade

PRA: Level 3: Konsequenzen abschätzen (Aufgabe, Benötigte Infos)

Phänomene im Sicherheitsbehälter und prinzipieller Freisetzungspfade aus dem AKW → Ereignisbaum für den Quellterm Beschreibung des Quellterms

Aufgabe: Modellierung der Verteilung und Verweilzeit der Isotope in der Umwelt, Bestimmung der potentiellen Strahlendosis, dann Dosis bei Berücksichtigung von Schutzmassnahmen, Ableitung des individuellen Todesrisikos, Bestimmung der Kollektivdosis via Exposition der Bevölkerung und Bevölkerungsdichte, Ableitung des kollektiven Todesrisikos

Benötigte Informationen: Daten zu Isotopen, Meteorologische Daten, Populationsdaten, Ökonomische Daten

PRA: Ergebnisdarstellung. Wie kommen solche Diagramme zustande?

Risikodarstellung via F/C-Diagramme (Frequenze-Consequences), welche das Risiko als Funktion von Eintrittshäufigkeit und Konsequenzen darstellen. (S. 9.17 und S 9.34)

Grundlage solcher Kurven:

- Begrenzte Zahl von Quelltermen, die Unfallsequenzen mit Freisetzungspfaden bündeln sowie zugehörigen Häufigkeiten.
- Modellierung der Ausbreitung, Exposition und Wirkung durch Gewichtung der Beeinflussungsfaktoren anhand ihrer bedingten Wahrscheinlichkeiten: Windrichtung → Sektorenwirkung, Windstärke → Verteilung der Schadstoffe, Niederschlag → Deposition
- Zusammenfassung der Konsequenzen aller Quelltermklassen, Ordnen nach zunehmender Schwere, zugehörige Häufigkeiten aufzeigen.

PRA: Unsicherheiten, Grenzen

Unsicherheiten

- Vollständigkeit der auslösenden Ereignisse
- Datenunsicherheiten und Fehlerfortpflanzungen

Grenzen

- Komponenten-Ausfallswahrscheinlichkeit mit konstanten Ausfallraten (Verschleiss und Frühausfälle werden nicht modelliert)
- Menschliche Faktoren werden oft nicht berücksichtigt (Etwas nicht machen ist erfasst, jedoch etwas anderes machen nicht, z.B. alle roten Knöpfe drücken)
- Beschreibung von Ausnahmeständen schwierig: Terrorattacke, Cyberattacke, Innere Sabotage