

4. Tagung der Arbeitsgruppe „Risikoanalyse“

Methodische Grundlagen zur Risikoermittlung

Bern, 23./24. April 2007



- Informationen zum Fallbeispiel
- Überblick über das Vorgehen
- Vertiefung methodische Grundlagen
- Umgang mit Annahmen/Konventionen
- Erfahrungen Methodik

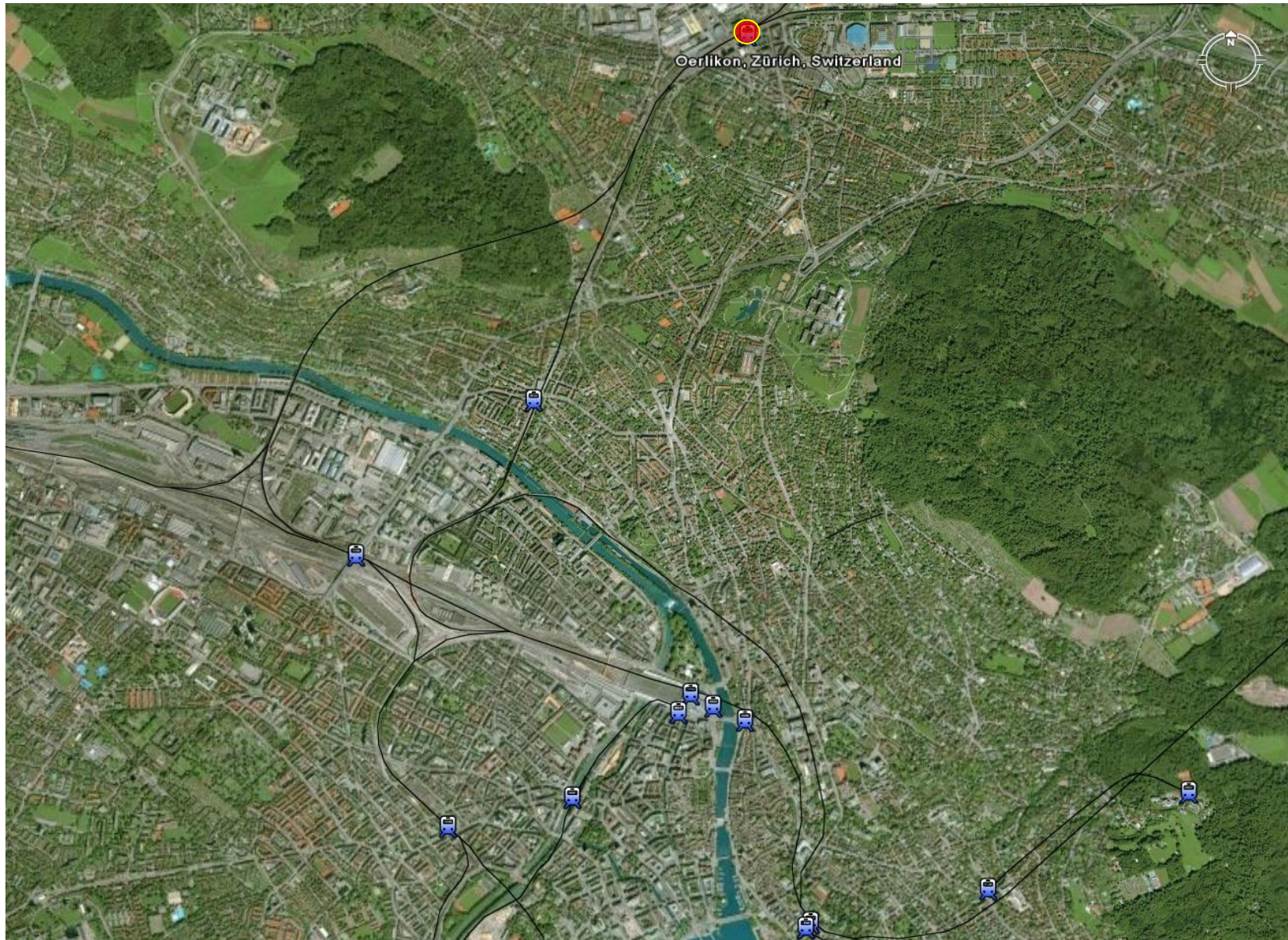


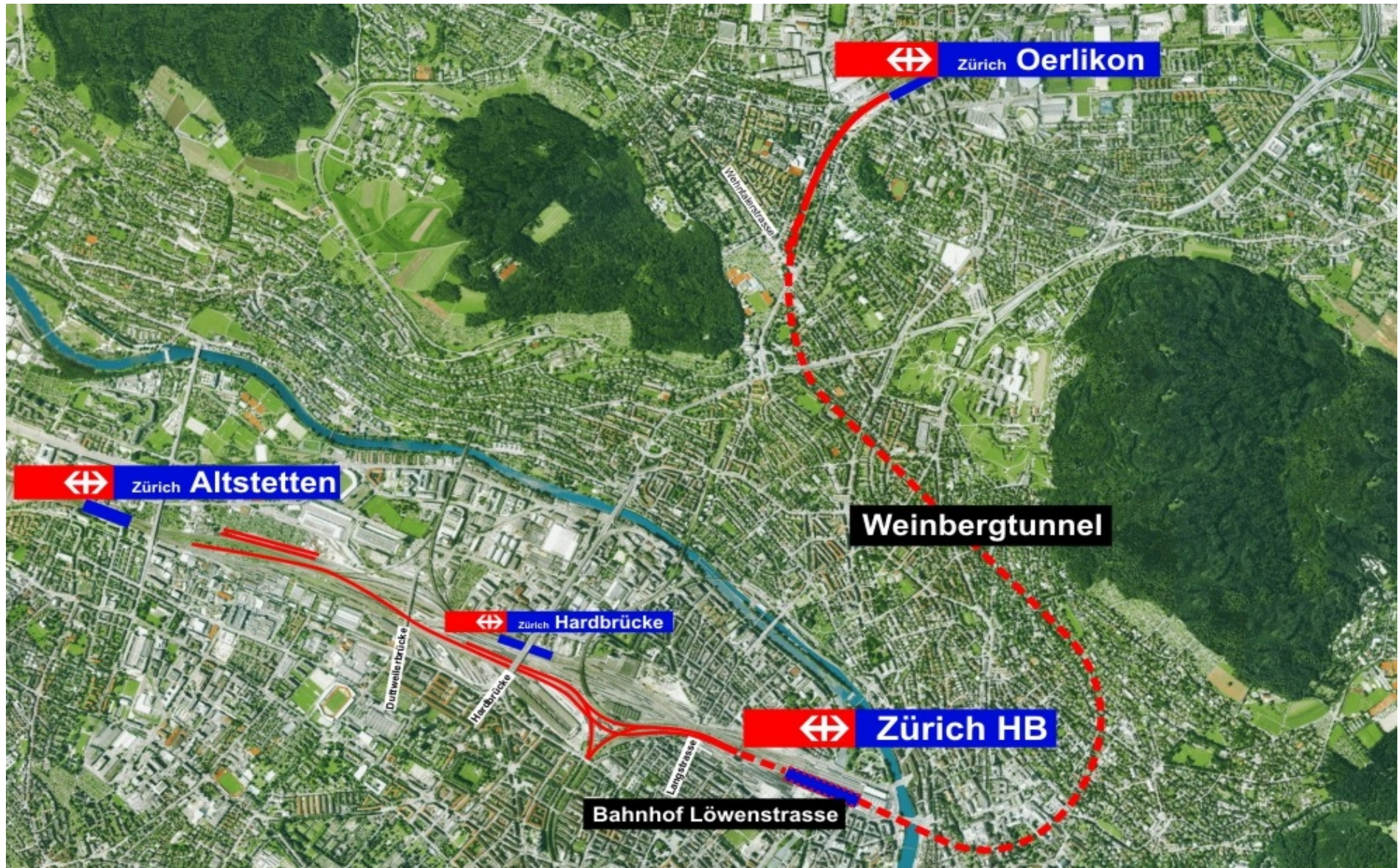
Ausgangslage

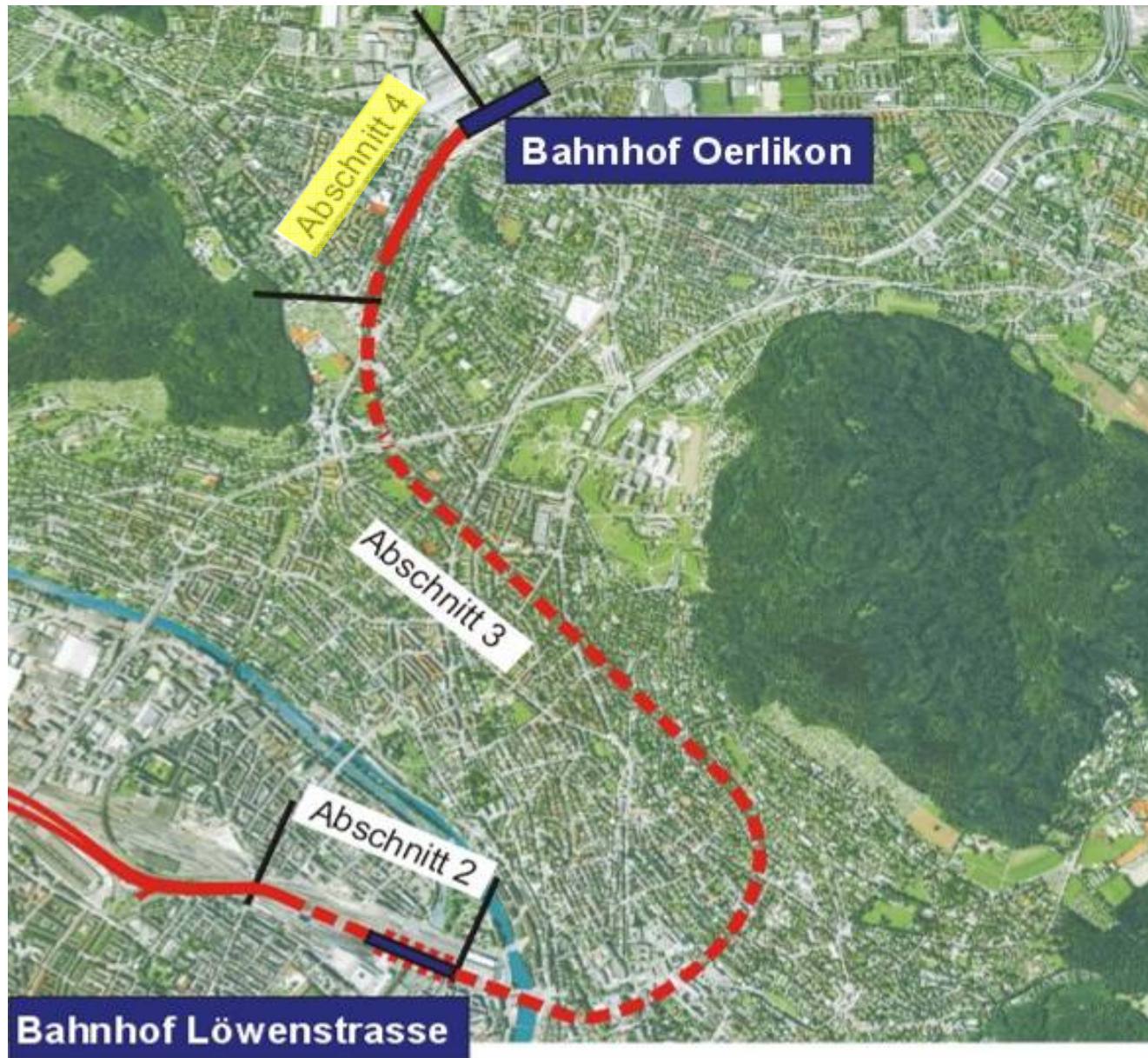
- Grossprojekt „Durchmesserlinie Zürich (DML)“
- Veränderung des Verkehrsweges erfordert eine Anpassung des Kurzberichtes nach Störfallverordnung
- Gemäss geltenden Kriterien ist eine weitergehende Risikoermittlung erforderlich
- Frühzeitige Risikoermittlung → allfällig erforderliche weitergehende Sicherheitsmassnahmen können in den Planung berücksichtigt werden

Systemabgrenzung

- Schadenindikator: Quantitative Ermittlung der Risiken für Schadenindikator Personen (sowie qualitative Beurteilung der Umweltrisiken)
- Zeithorizonte: Heutiger Zustand und Zustand nach Umsetzung des Projektes DML
- Örtliche Abgrenzung











- Knotenpunkt mehrerer Linien mit folgendem Verkehrsaufkommen:
 - Heutiger Zustand (2000): Total 770 Züge pro Tag, davon 70 Güterzüge
 - Künftiger Zustand (2015): Total 800 - 1'000 Züge pro Tag, davon 100 Güterzüge
- Gefahrguttransport
 - Insgesamt 1'800'000 Tonnen pro Jahr
 - 255 Stoffgruppen / UN-Nummern (Jahr 2000)
 - Wichtige Versorgungslinie für Flugtreibstoffe (Flughafen Zürich)
- Vergleichsweise hohe Weichendichte
- Geschwindigkeit: Auslegung 80 km/h, effektive Geschwindigkeit 60 km/h
- Umgebungsdaten: Wohn- und Industriegebiete in unmittelbarer Nähe zu den Bahnlinien, Strassenüber-/unterführungen
- Sicherheitsmassnahmen: Lösch- und Rettungszug (Zürich HB), Ausrüstung Ortsfeuerwehr, Einsatzplanung, ...



Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV)

814.012

vom 27. Februar 1991 (Stand am 23. August 2005)

Der Schweizerische Bundesrat,
gestützt auf die Artikel 10 Absatz 4 und 39 Absatz 1 des Bundesgesetzes vom
7. Oktober 1983¹ über den Umweltschutz (USG)
und die Artikel 26 Absatz 1 und 47 Absatz 1 des Gewässerschutzgesetzes vom
24. Januar 1991^{2,3}
verordnet:

814.012

Schutz des ökologischen Gleichgewichts

Anhang 4

Risikoermittlung

814.012

Schutz des ökologischen Gleichgewichts

*Anhang 4.3
(Art. 6)*

Verkehrswege

1 Grundsätze

Vorgaben zur Risikoermittlung gemäss StFV, Anhang 4.3

1 Grundsätze

2 Grunddaten

21 Verkehrsweg und Umgebung

22 Verkehrsaufkommen, Verkehrsstruktur und Unfallgeschehen

23 Sicherheitsmassnahmen

3 Analyse

31 Methoden

32 Gefahrenpotentiale

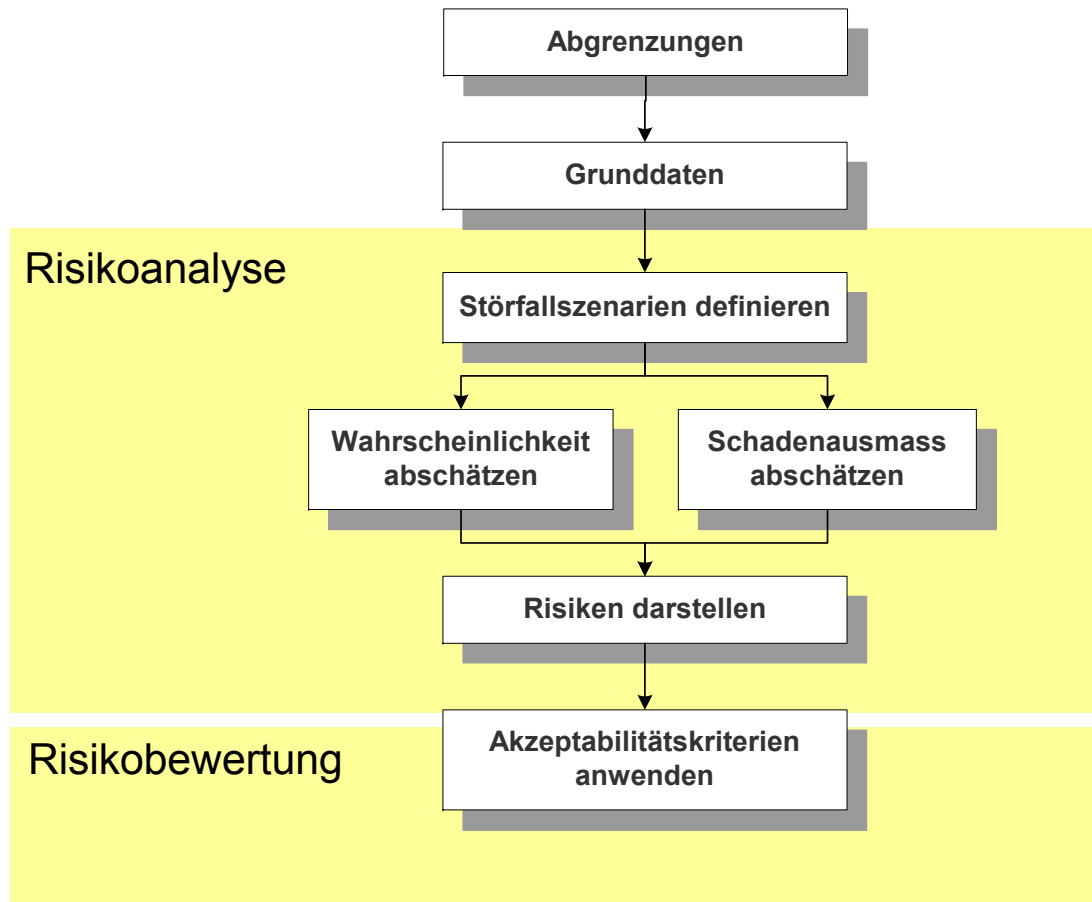
33 Wesentliche Störfallszenarien

- Ursachen für Störfälle
- wesentliche Freisetzungsvorgänge
- Wirkung anhand von Ausbreitungsüberlegungen
- Ausmass der möglichen Schädigungen der Bevölkerung oder der Umwelt
- Eintretenswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung der Sicherheitsmassnahmen

4 Schlussfolgerungen

- Darlegung des Risikos unter Berücksichtigung der Sicherheitsmassnahmen

Elemente der Risikoermittlung



Leitfaden OTIF

Inputparameter Risikoanalyse
Beschreibung für Berteilung

Grunddaten

■ Verkehrsweg

- Charakteristik: Bahnhof, freie Strecke, Tunnel
- Gleise / Weichen
- Geschwindigkeiten

■ Umgebung

- Bevölkerungsdichte: Anwohner, Reisende
- Topographie: Einschnitt, Damm, Ebene, Hanglage

■ Verkehrsaufkommen

- Reisezüge und Güterzüge pro Tag
- Tonnenkilometer, Tonnenkilometer Gefahrgut
- Mengenanteil der transportierten Gefahrgüter

■ Sicherheitsmassnahmen

(nicht vollständig)

Züge und Verkehr: Es sind Daten zu den Eisenbahnwagen und Spezifikationen des Eisenbahnverkehrs zusammenzustellen, um Informationen über potentielle Verzweigungen im Ereignisbaum und die Wahrscheinlichkeit von Ereignissen und Szenarien zu erhalten. Viele der folgenden As

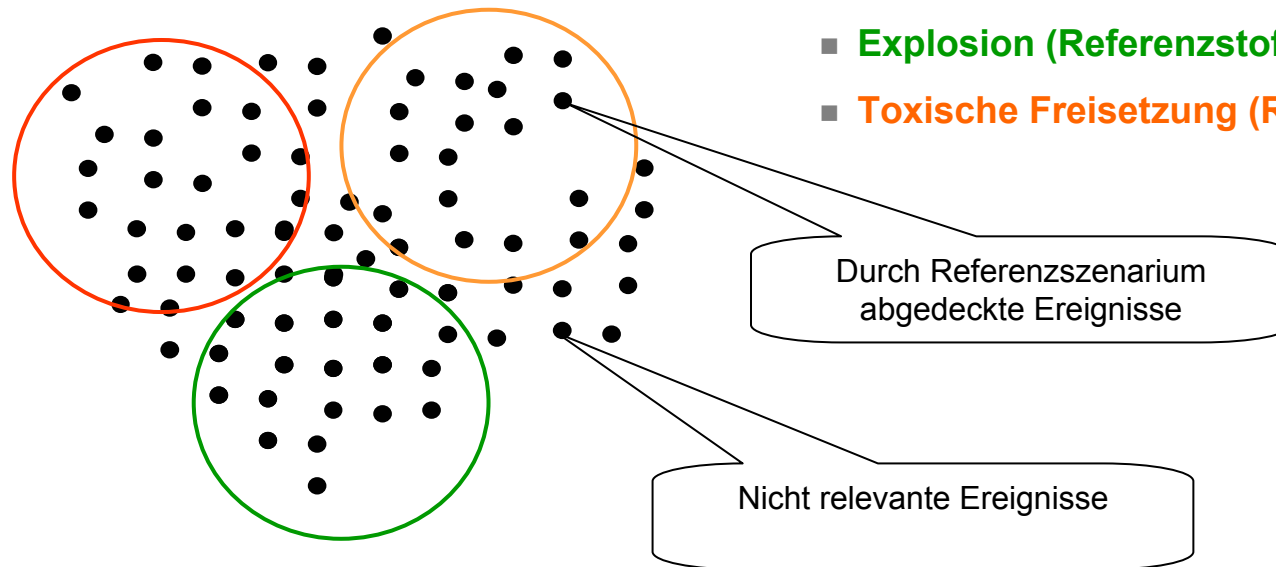
Leitfaden OTIF

Störfallszenarien definieren

„Unendliche“ Anzahl denkbarer Ereignisse

zusammenfassen zu repräsentativen Störfallszenarien

- **Brand (Referenzstoff Benzin)**
- **Explosion (Referenzstoff Propan)**
- **Toxische Freisetzung (Referenzstoff Chlor)**

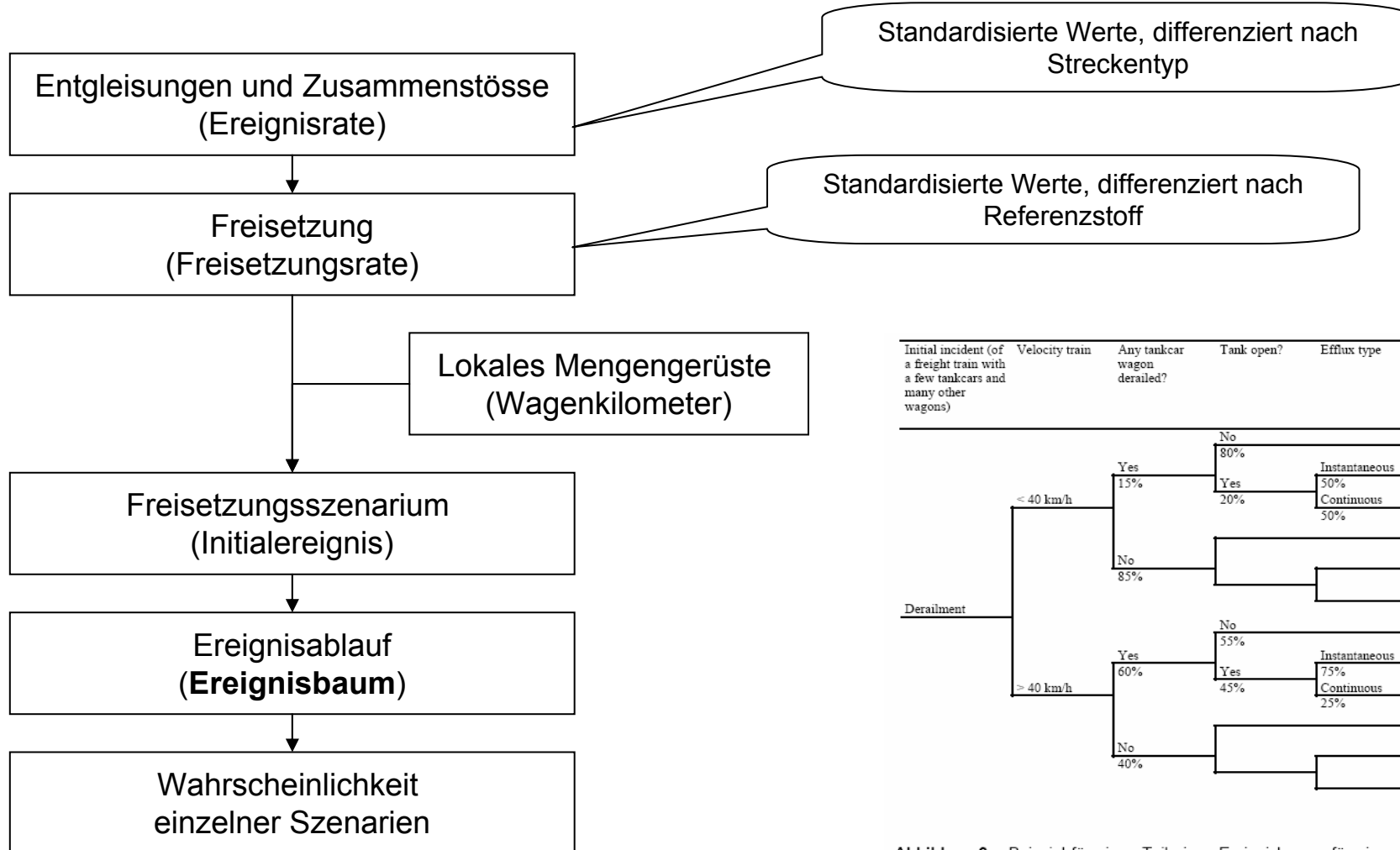


3.2 Szenariendefinition

Um die große Anzahl von potentiellen Unfallszenarien in den Griff zu bekommen, besteht der erste Schritt einer Risikoanalyse in der Reduzierung von Szenarien auf eine sinnvolle Anzahl grundlegender Szenarien, einschließlich der Bildung von Clustern für Gefahrstoffe. In einigen COTIF-

Leitfaden OTIF

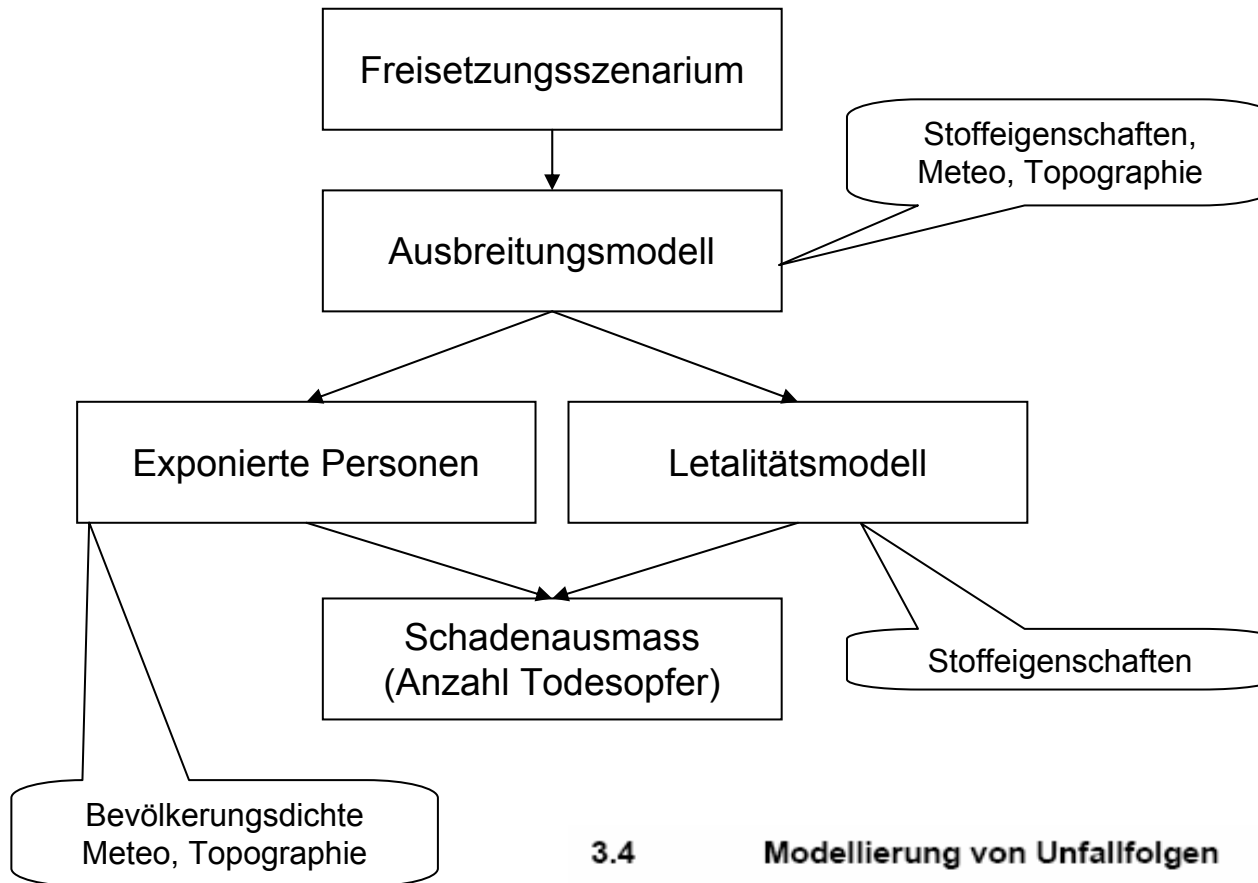
Wahrscheinlichkeit abschätzen



Initial incident (of a freight train with a few tankcars and many other wagons)	Velocity train	Any tankcar wagon derailed?	Tank open?	Efflux type	==> Type of fire, quality of fire brigade, evacuation possibilities, etc
Derailment	< 40 km/h	Yes	No	80%	Instantaneous
			Yes	20%	
		No	85%		
	> 40 km/h	Yes	No	55%	Instantaneous
			Yes	45%	
		No	40%		

Abbildung 3: Beispiel für einen Teil eines Ereignisbaums für einen Eisenbahnkesselwagen zur Beförderung entzündbarer flüssiger Stoffe. Die quantitativen Werte sind willkürlich.

Ausmass abschätzen



3.4 Modellierung von Unfallfolgen

Der in Abbildung 3 dargestellte Ereignisbaum endet mit der Freisetzung von gefährlichen Stoffen. Für die Ableitung von Schäden (z. B. Todesopfer oder Verletzungen) ist eine weitere Verfolgung

Leitfaden OTIF

Risiken darstellen

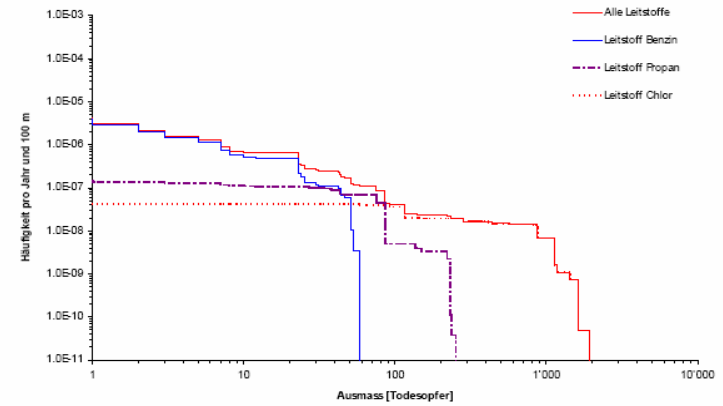
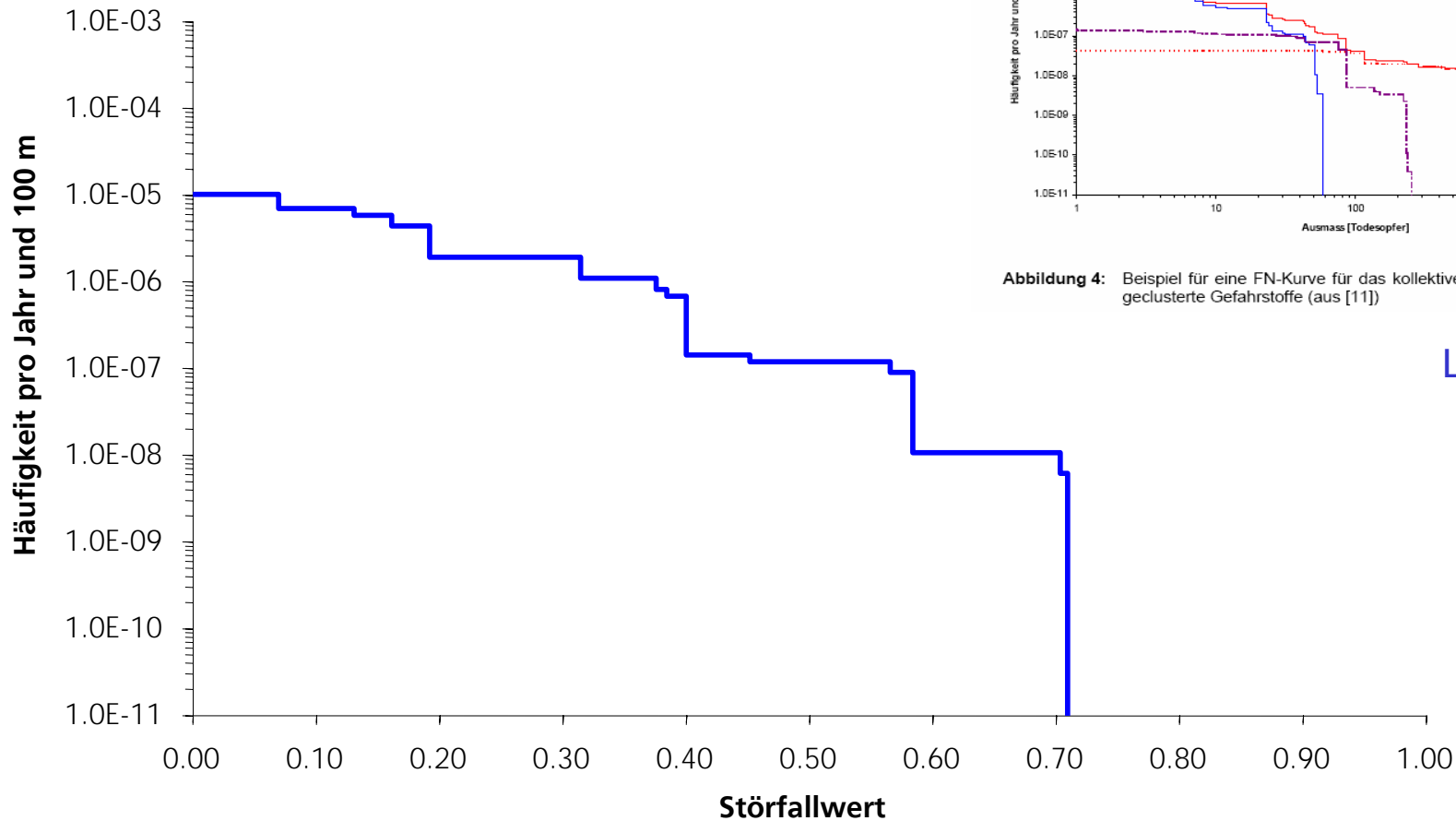
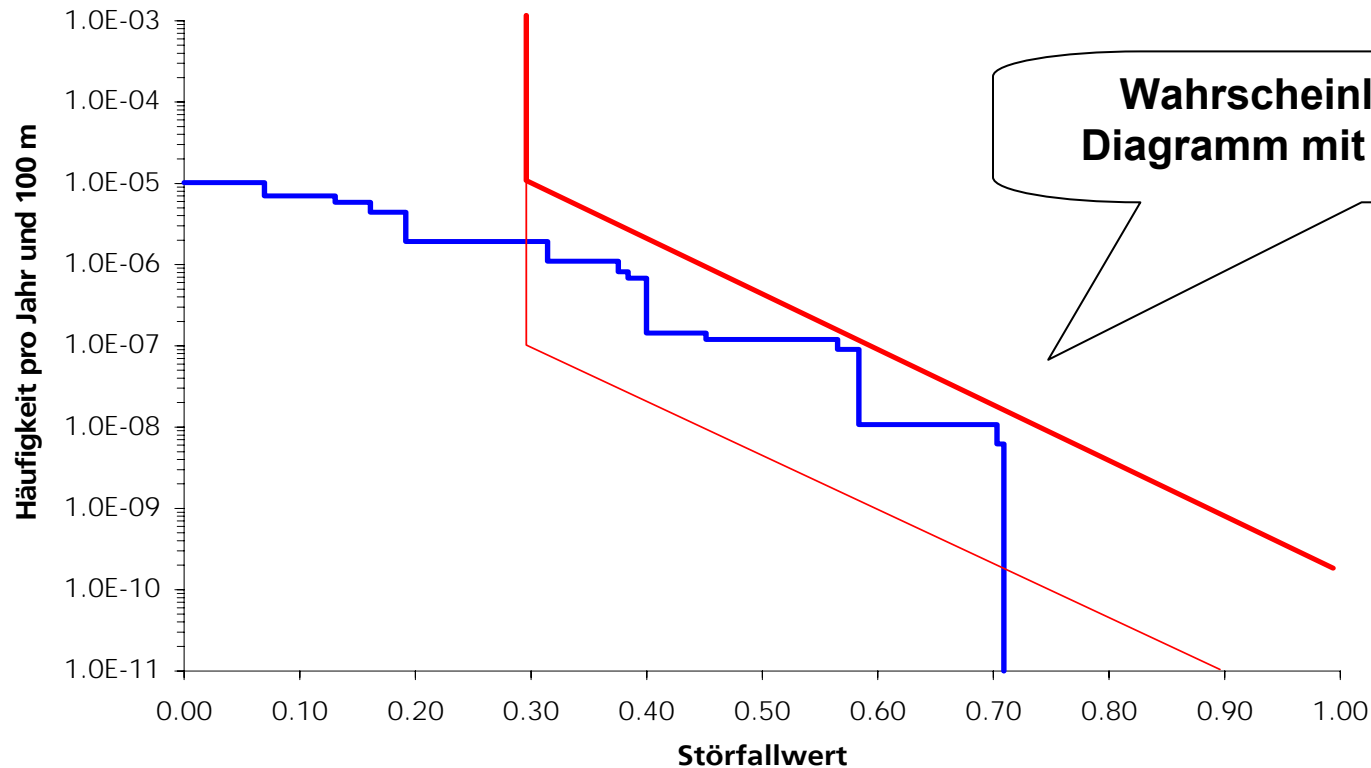


Abbildung 4: Beispiel für eine FN-Kurve für das kollektive Risiko aufgrund von Zugunfällen für geclusterte Gefahrstoffe (aus [11])

Leitfaden OTIF

Risikobewertung



4. Risikobewertung

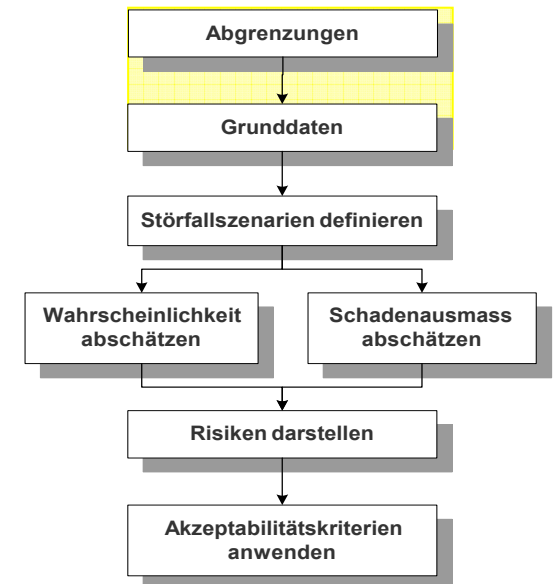
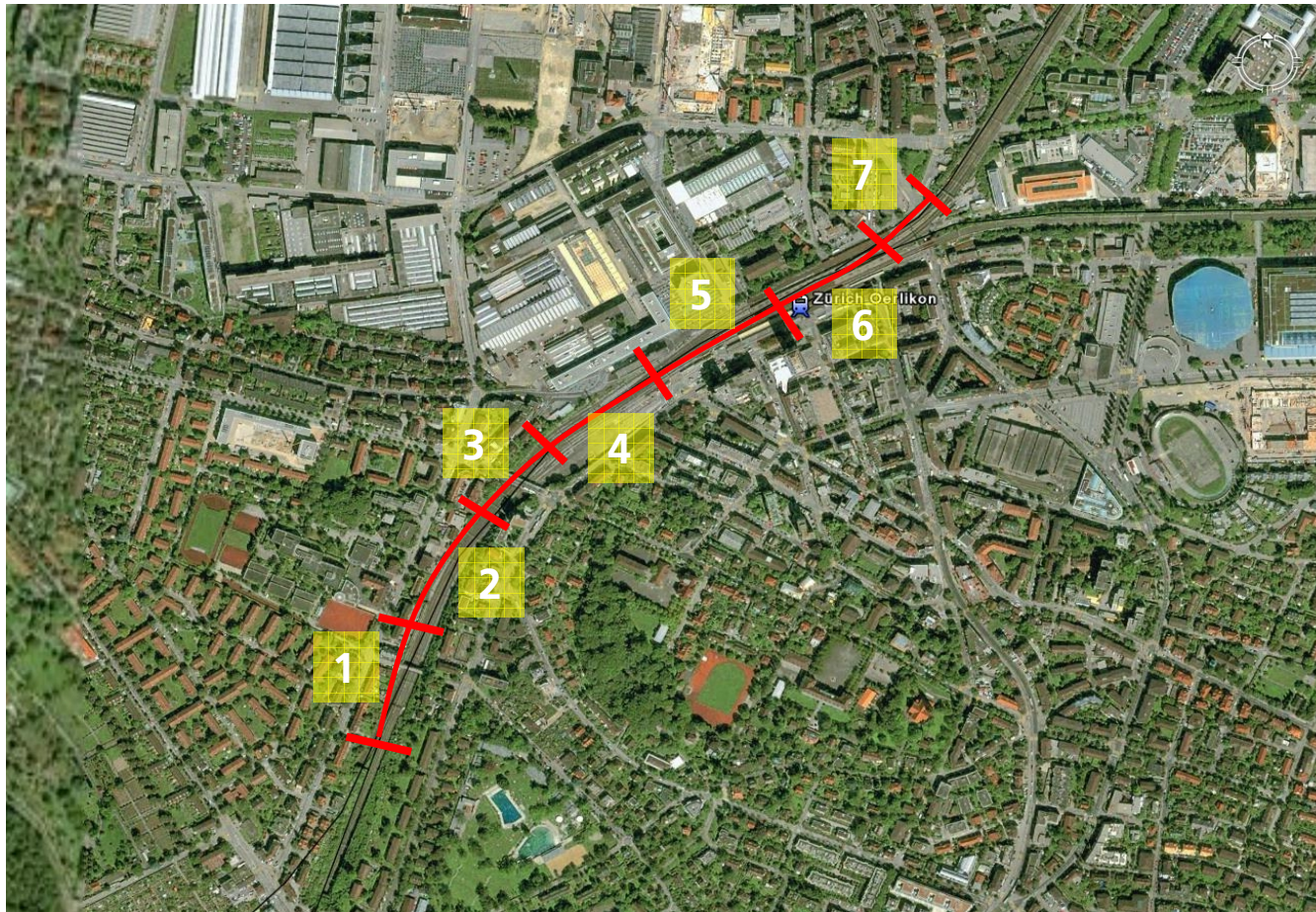
Gegenwärtig kann ein COTIF-Mitgliedstaat Zielwerte des Sicherheitsniveaus sowie Maßnahmen im Falle von Überschreitungen frei gemäß der nationalen Sicherheitspolitik definieren, soweit diese Bestimmungen nicht mit internationalen Regelungen unvereinbar sind. Die erste Reihe gemeinsa-

Leitfaden OTIF



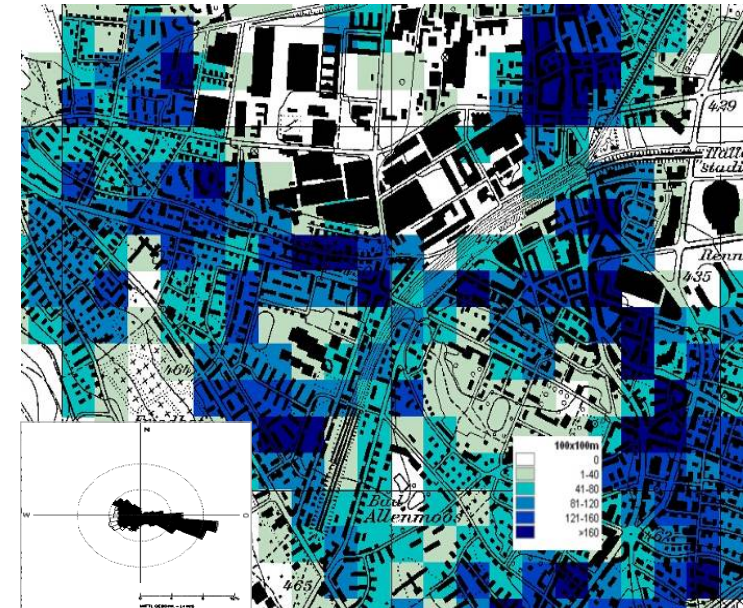
Segmentierung

- Für die Risikoermittlung wird der zu untersuchende Abschnitt in 7 separate Untersuchungseinheiten aufgeteilt (Länge jeweils rund 200 m)



Abbilden der ortsspezifischen Charakteristika für jede Untersuchungseinheit

- Erfassung der Personenexposition (orts- und szenariospezifisch)
- Zeitliche Verteilung des Personenaufkommens am Bahnhof und des Gefahrgutaufkommens
- Gefahrgutaufkommen
- Berücksichtigung ortsspezifische Geschwindigkeit
- Berücksichtigung Meteorologie, Topografie
- Interventionsmöglichkeiten



Massgebliche Aspekte für die Risikoermittlung

- Wirkung von Störfällen hängt massgeblich von den Eigenschaften der freigesetzten Gefahrgüter ab
- Transportdaten Gefahrgutaufkommen (Jahr 2000): 255 Stoffgruppen / UN-Nummern

⇒ Gruppierung / Clustering zu Stoffgruppen mit vergleichbaren Wirkungen

3 Referenzstoffe / Leitstoffe

- **Leitstoff Benzin**: Stellvertreter für brennbare Flüssigkeiten
- **Leitstoff Propan**: Stellvertreter für druck-/temperaturverflüssigte brennbare Gase
- **Leitstoff Chlor**: Stellvertreter für druckverflüssigte humantoxische Gase

- Zuordnung gleichartiger Stoffe über Gewichtungsfaktoren
→ Vergleichende Abschätzung der physikalischen Eigenschaften und der Wirkung mit jeweiligem Leitstoff

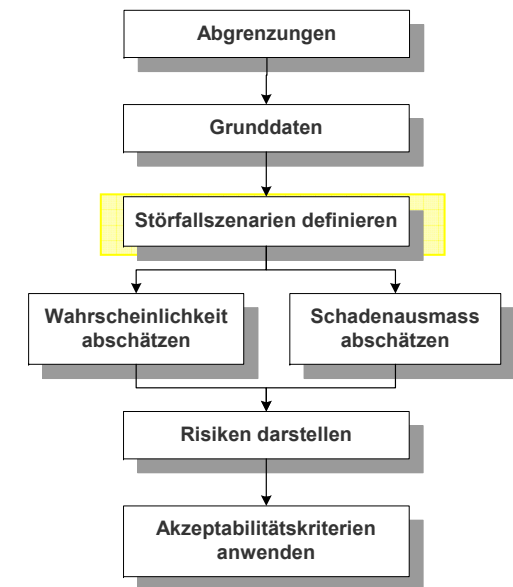
Leitstoff	Massgebliche Stoffeigenschaften	Wichtigste Vertreter	Gefährdung von Personen durch
Benzin	Flüssig, leicht brennbar	Benzin und ähnliche Treibstoffe, Methanol, Aceton, Ether, diverse Lösungsmittel	* Hitzeeinwirkung infolge Brand * Druckwirkungen und Trümmerwurf infolge Explosion
Propan	Gasförmig, leicht brennbar	Propan, Butan, andere Kohlenwasserstoffe, Vinylchlorid	* Hitzeeinwirkung infolge Brand * Druckwirkungen und Trümmerwurf infolge Explosion
Chlor	Gasförmig, humantoxisch	Chlor, Chlorwasserstoff, Ammoniak, Fluorwasserstoff (ohne wässrige Lösungen)	* Humantoxische Wirkungen bei Aufnahme über Atemwege

■ Situation Oerlikon (Daten Jahr 2000)

Leitstoff Benzin	Leitstoff Propan	Leitstoff Chlor	Gesamtmenge
10'632 KW/Jahr	445 KW/Jahr	217 KW/Jahr	1'800'000 t/Jahr

Festlegung von leitstoffspezifischen Freisetzungsszenarien

Leitstoff	Freisetzungsart
Benzin	<ul style="list-style-type: none"> • Behälterversagen mit spontaner Freisetzung von 60 t • Kontinuierliche Freisetzung von 20 kg/s (Leck mit Durchmesser 10 cm) während 50 Minuten
Propan	<ul style="list-style-type: none"> • Behälterversagen mit spontaner Freisetzung von 45 t • Kontinuierliche Freisetzung von 30 kg/s (Leck mit Durchmesser 5 cm auf halber Höhe) während 13 Minuten
Chlor	<ul style="list-style-type: none"> • Behälterversagen mit spontaner Freisetzung von 55 t • Kontinuierliche Freisetzung von 41 kg/s (Leck mit Durchmesser 5 cm auf halber Höhe) während 11 Minuten • Kontinuierliche Freisetzung von 1.7 kg/s (Leck mit Durchmesser 1 cm) während 30 (mit Intervention) bzw. 90 Minuten (ohne Intervention)



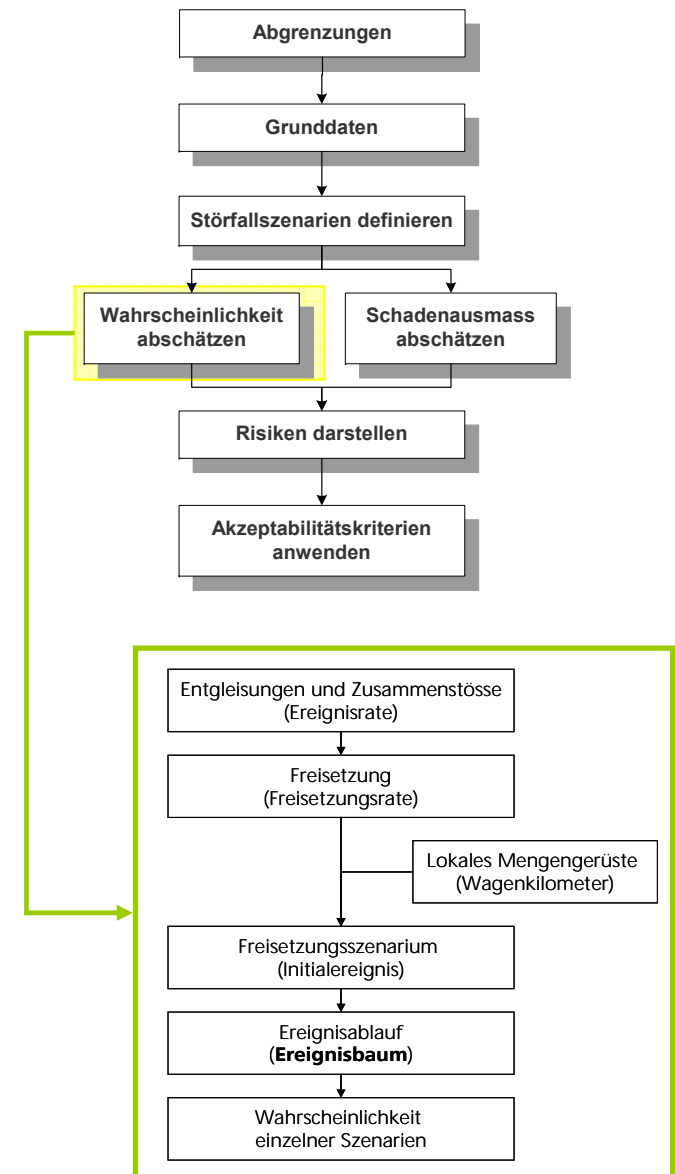
Ermittlung der Freisetzungsraten von Gefahrgütern

- Auswertung Unfallgeschehen bei Schweizerischen Bahnen in den letzten 30 Jahren (Freisetzungen beim Transport aus Kesselwagen über 1'000 Liter)
- Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung des Unfallgeschehens bei den Bahnen (Sicherheitsanstrengungen) mittels Trendanalyse
- Auswertung des Unfallgeschehens nach Streckentyp
- Abschätzung der Unterschiede zwischen den Leitstoffen (Gebindearten)
- Abschätzung des Einflusses der Geschwindigkeit

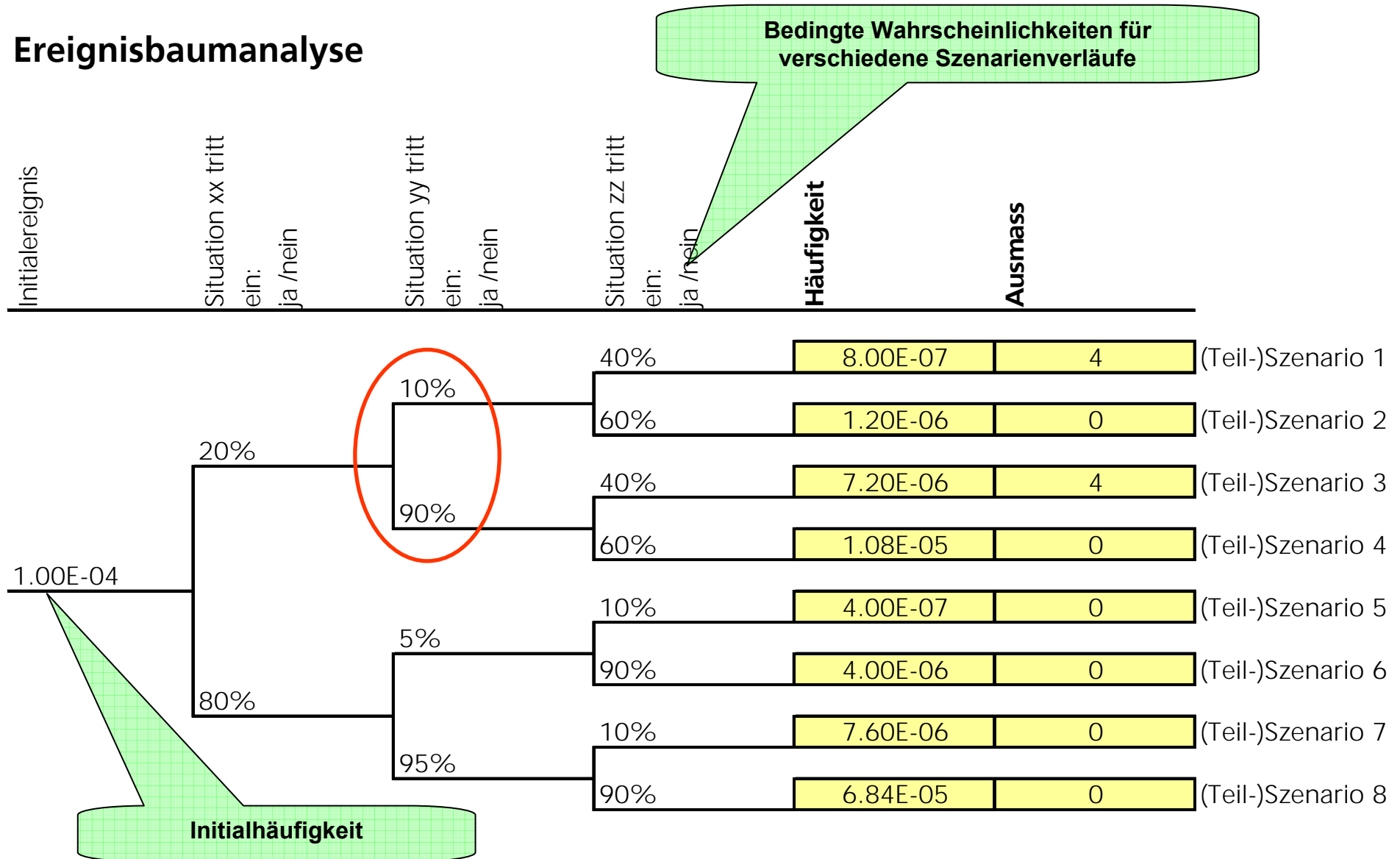
Ortsspezifische Freisetzungsraten von Gefahrgütern

- Orts- und leitstoffspezifische Gefahrguttransporte
- Ortsspezifische Geschwindigkeit
- Länge der Untersuchungseinheit

⇒ **Statistisch erwartete Häufigkeit einer Freisetzung pro Untersuchungseinheit**



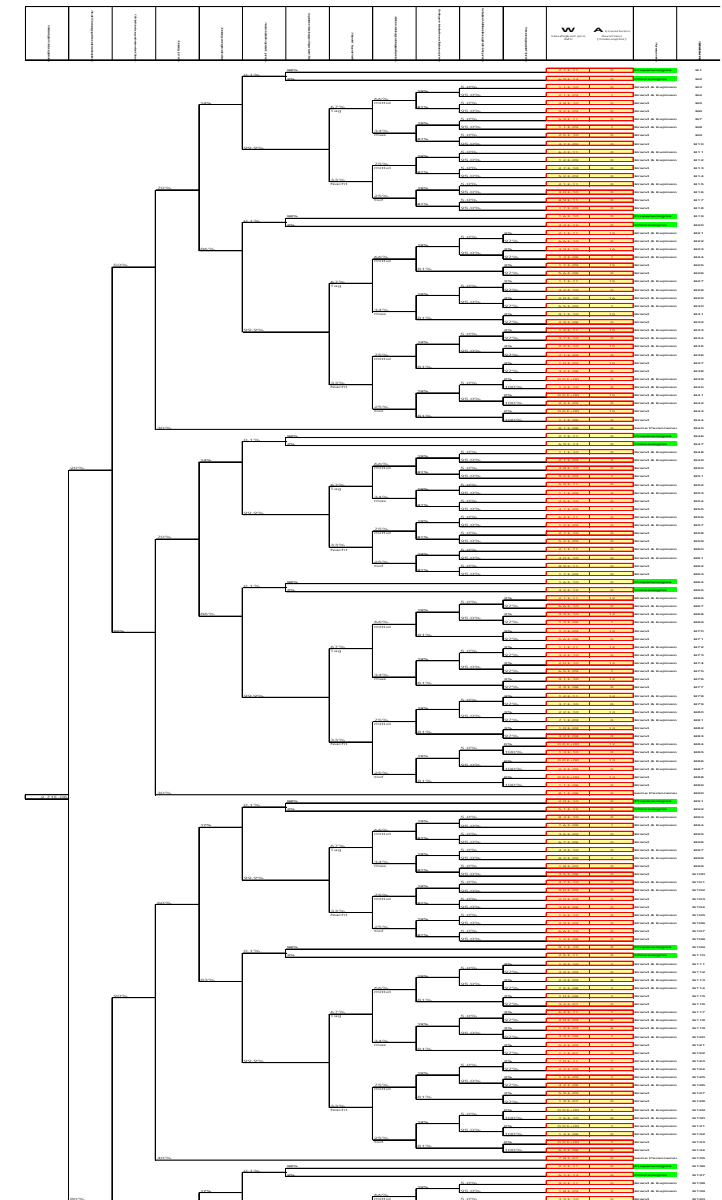
Ereignisbaumanalyse



Abschätzung der Häufigkeit von Teilszenarien

- Art der Freisetzung: spontan / kontinuierlich
- Ort der Freisetzung: auf / neben Gleis
- Kommt es zu einer Zündung: ja / nein
- Falls Zündung: sofort / verzögert
- Zeitpunkt des Ereignisses: Tag / Nacht
- Zeitliche Verteilung Gefahrgutaufkommen
- Eintrag in Kanalisation: ja / nein
- Intervention / Evakuierung: ja / nein
- Exposition eines Reisezuges: ja / nein

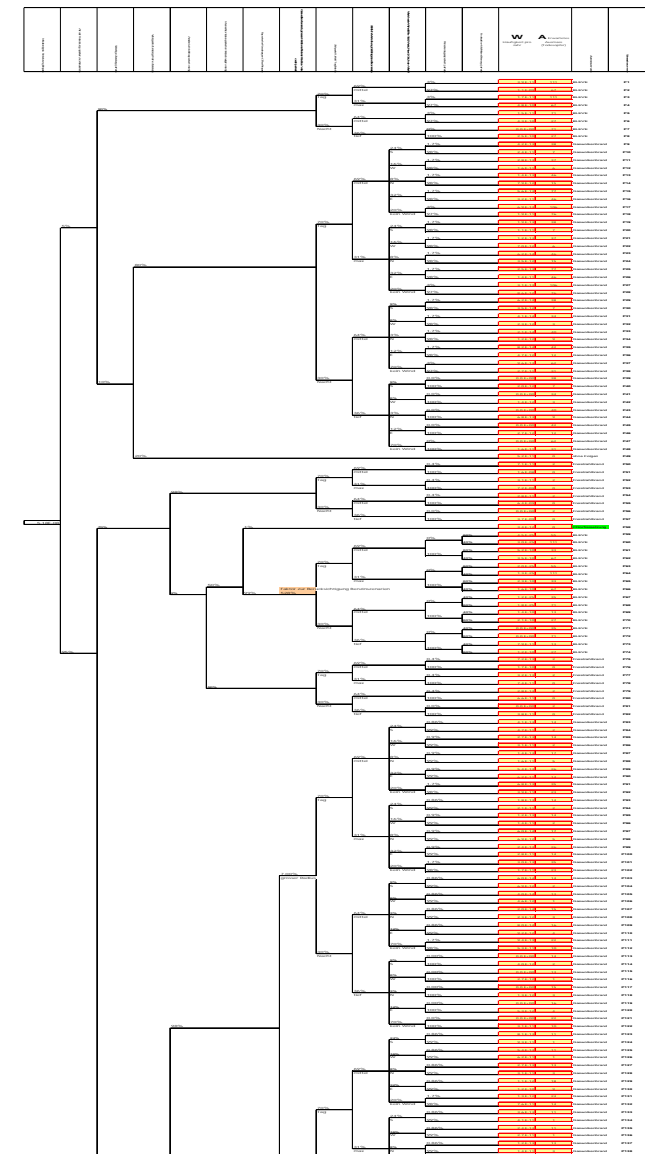
⇒ rund 180 Ereignisabläufe



■ Abschätzung der Häufigkeit von Teilszenarien

- Art der Freisetzung: spontan / kontinuierlich
- Kommt es zu einer Zündung: ja / nein
- Falls Zündung: sofort / verzögert
- Zeitpunkt des Ereignisses: Tag / Nacht
- Zeitliche Verteilung Gefahrgutaufkommen
- Meteorologische Situation: Windverteilung / kein Wind (für bestimmte Wirkungsarten)
- Intervention / Evakuierung: ja / nein
- Exposition eines Reisezuges: ja / nein

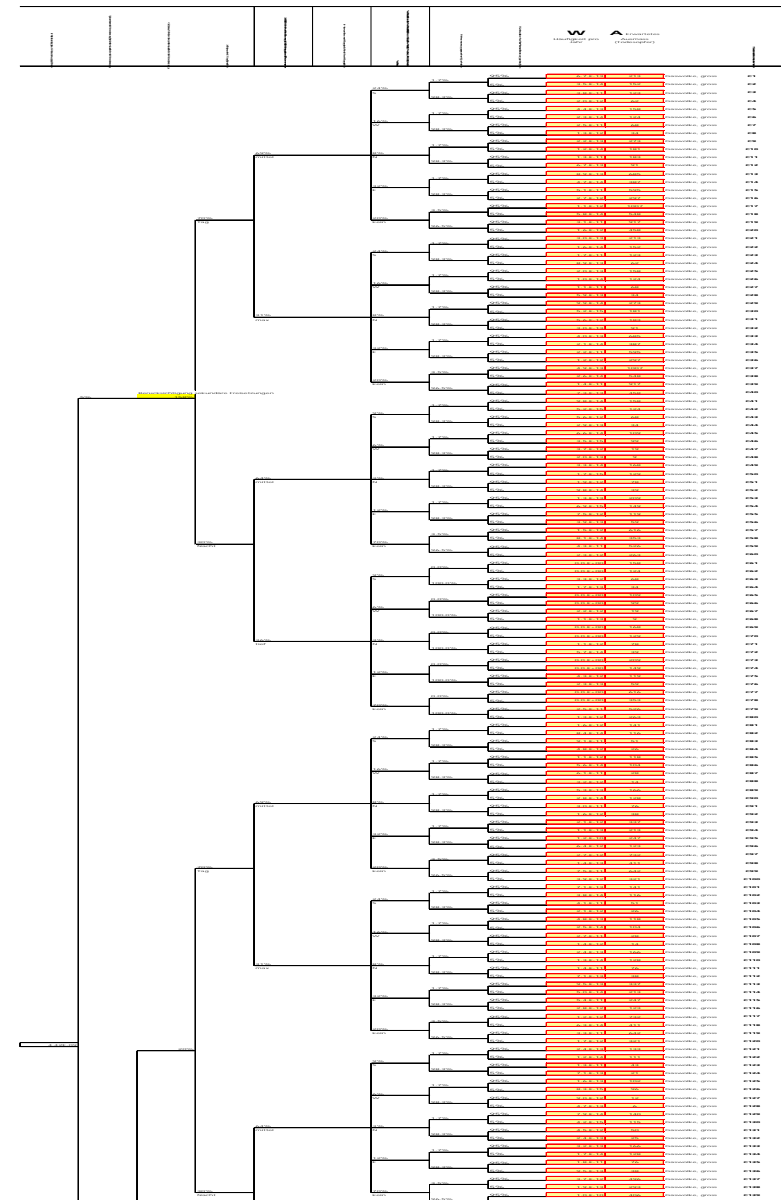
⇒ rund 280 Ereignisabläufe



Abschätzung der Häufigkeit von Teilszenarien

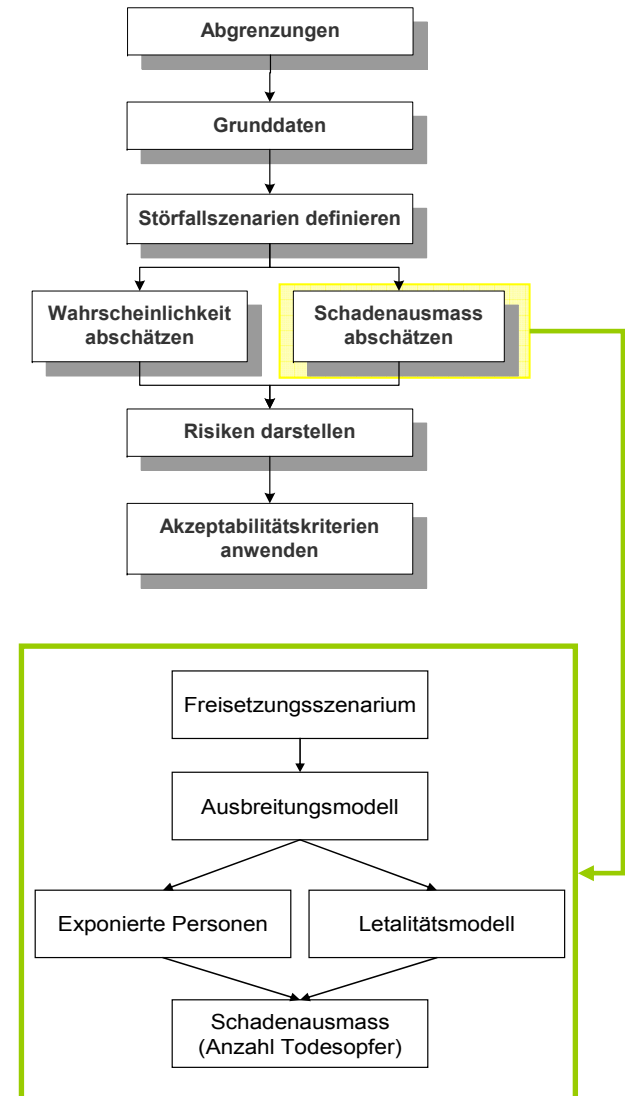
- Art der Freisetzung: spontan / kontinuierlich
- Kontinuierliche Freisetzung: gross / klein
- Zeitpunkt des Ereignisses: Tag / Nacht
- Zeitliche Verteilung Gefahrgutaufkommen
- Intervention / Evakuierung: ja / nein
- Meteorologische Situation: Wind / kein Wind
- Windverteilung nach Richtung
- Exposition eines Reisezuges: ja / nein

⇒ rund 320 Ereignisabläufe



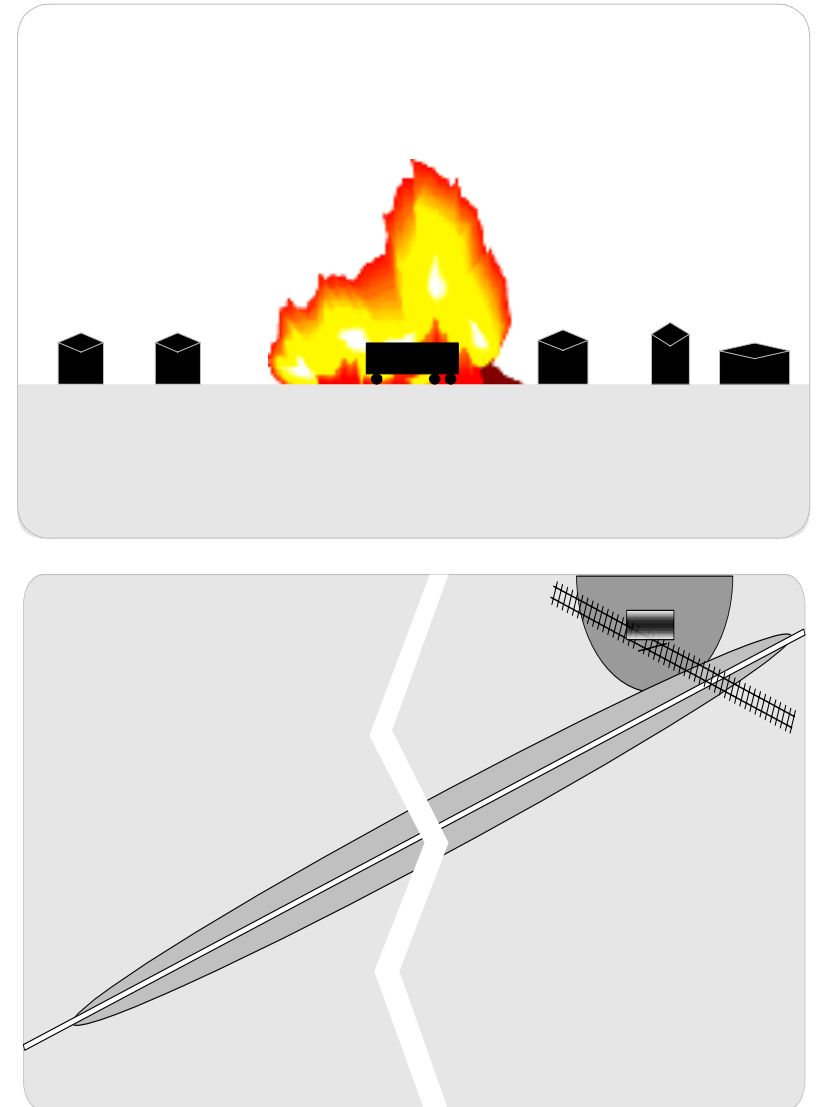
- „ Was passiert nach einer Freisetzung von Gefahrgut?
 - Berücksichtigung des jeweiligen Ereignisablaufs
 - Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten
- Modellierung der Ausbreitung
- Abschätzung des massgeblichen Wirk-/Gefahrbereiches
- Abschätzung der Zahl exponierten Personen
 - Abschätzung zur Art der Exposition (im Freien, in Gebäuden)
 - Berücksichtigung der tageszeitlichen Verteilung
- Bestimmung der leitstoffspezifischen Wirkung (Letalität)

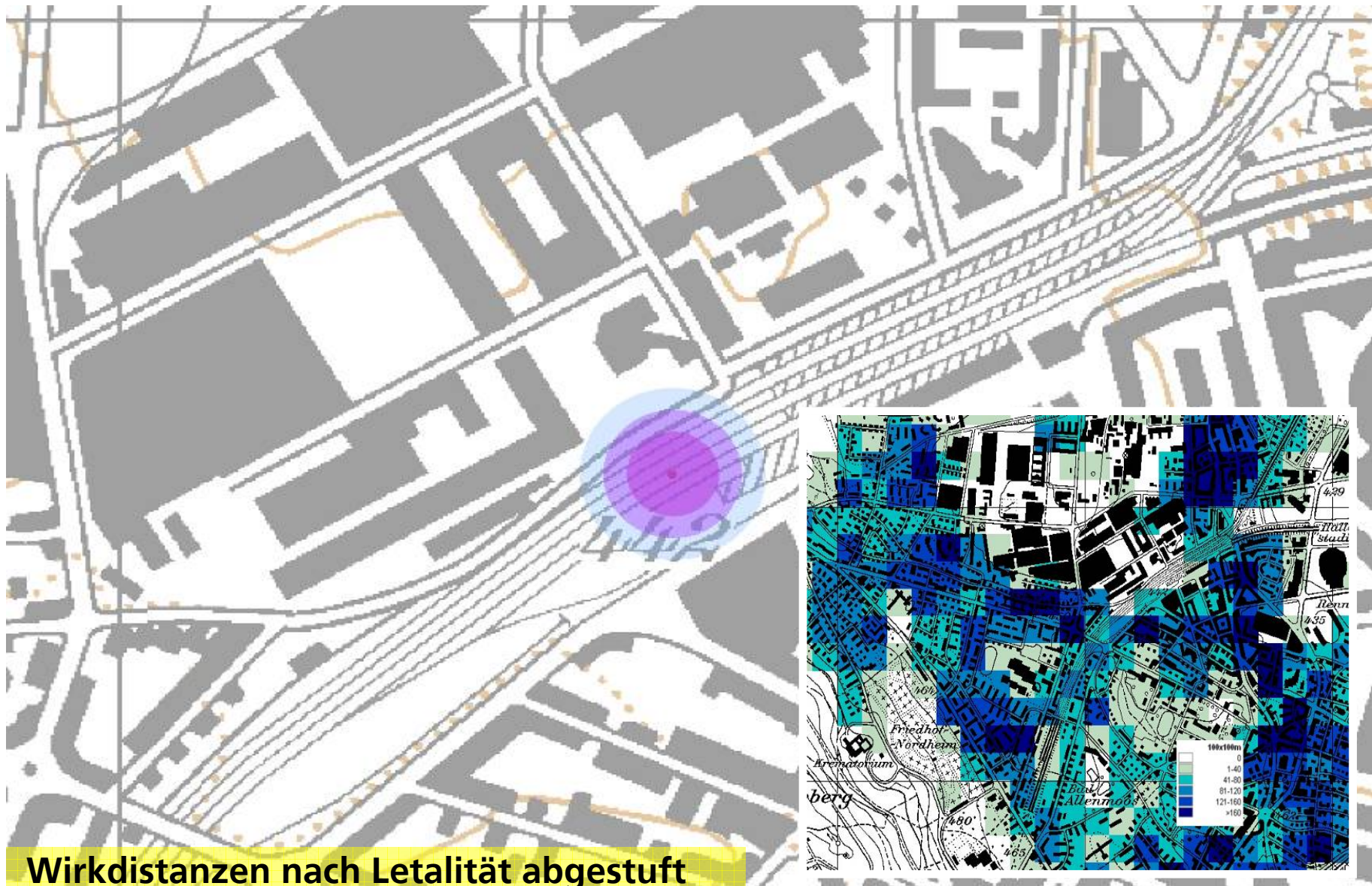
⇒ **Schadenausmass (Todesopfer) pro Teilszenario pro Untersuchungseinheit**



Massgebliche Wirkungen

- Hitzewirkung infolge eines **Lachenbrandes** und Sekundärbränden
- Eintrag von Gefahrgut in das Kanalisationsnetz
→ Trümmerwurf infolge **Kanalisationsexplosion**
- Wirkdistanzen
 - Lachenbrand: bis ca. 100 m
 - Explosion: mehrere 100 m (je nach örtlichen Verhältnissen)
- Modelle
 - Hitzewirkung
 - Ausbreitung Kanalisation, Explosion





Wirkdistanzen nach Letalität abgestuft



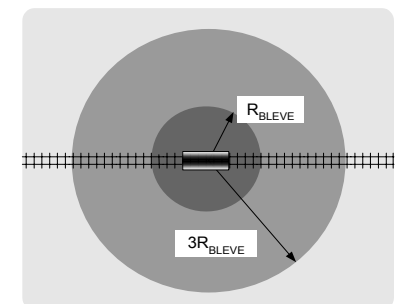
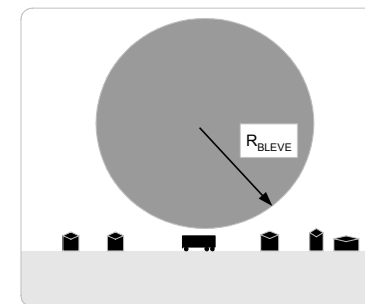
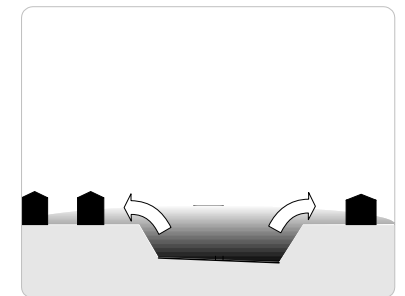
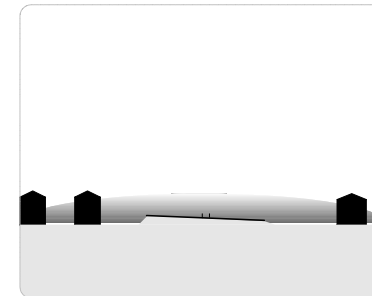
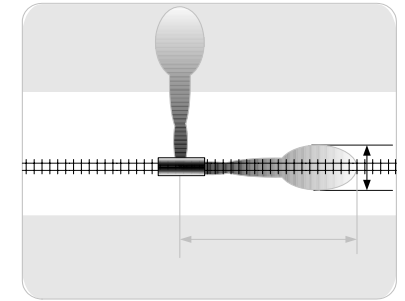
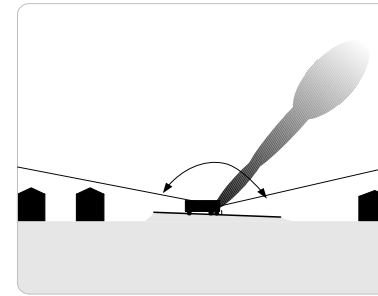
Stein-Säckingen, 4. Januar 1991

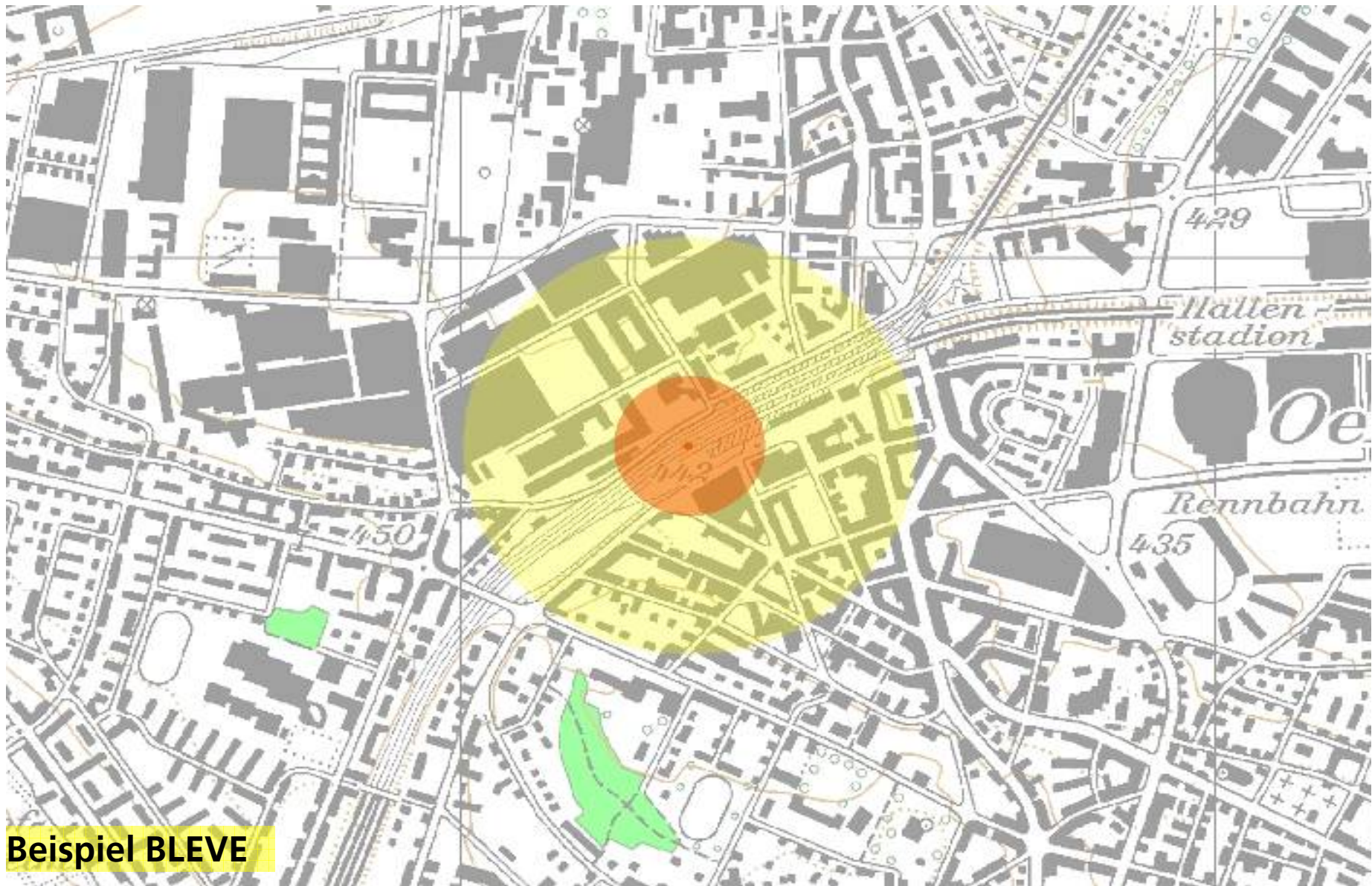
Zürich-Affoltern, 4. März 1994



Massgebliche Wirkungen

- Hitzewirkung infolge
 - Freistrahland / Fackelbrand
 - Gaswolkenbrand / Gaswolkendeflagration
 - BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)sowie Sekundärbränden
- Druckwirkung von untergeordneter Bedeutung
- Wirkdistanzen
 - Freistrahland: ca. 40 m
 - Gaswolkenbrand: mehrere 100 m (Einfluss Topografie)
 - BLEVE: ca. 300 m
- Modelle zur Abschätzung existieren



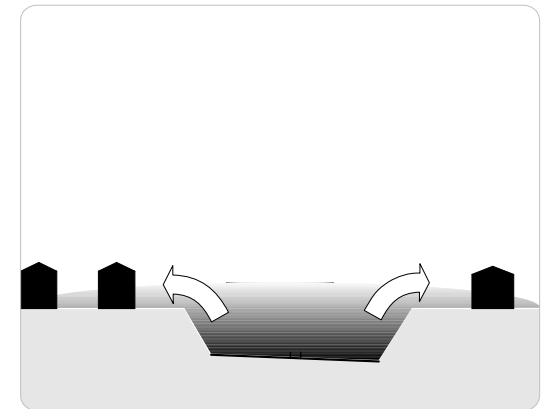
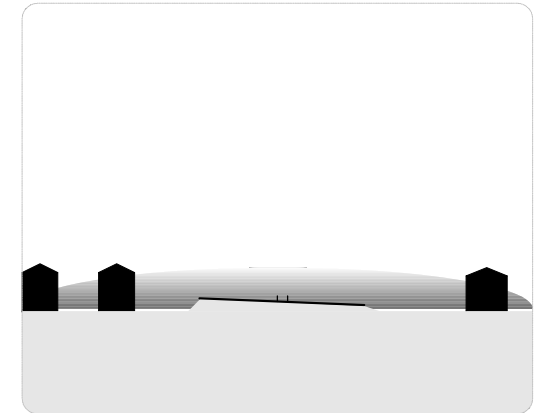
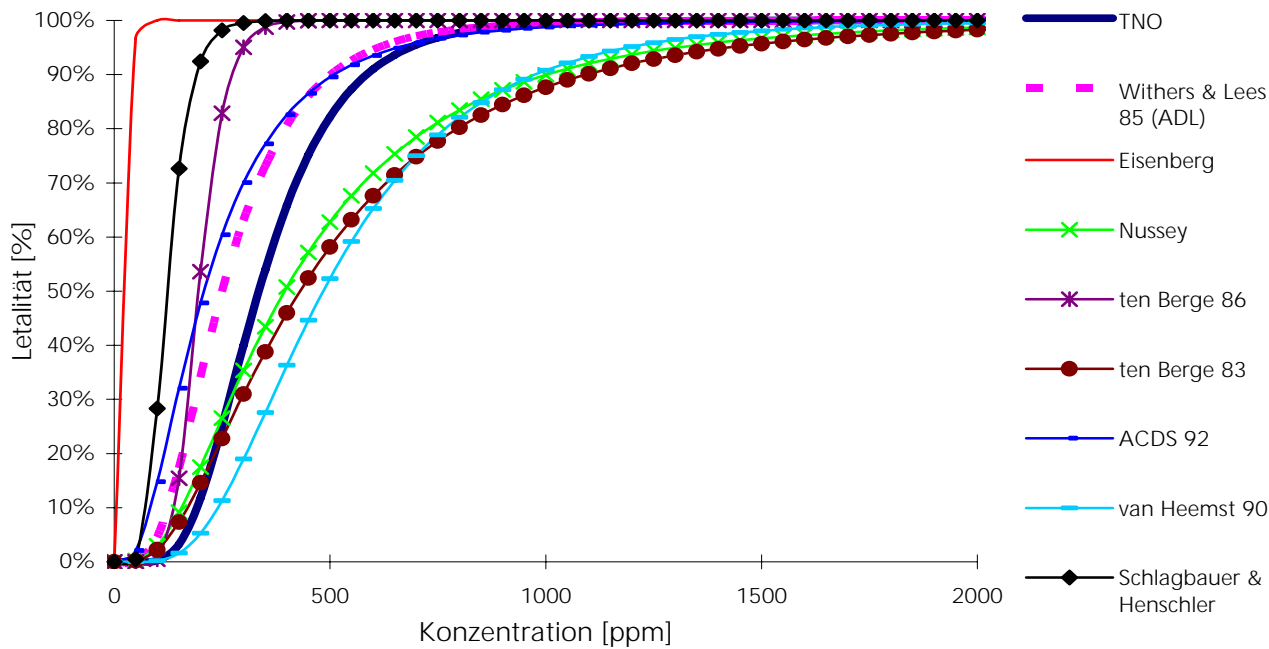


Beispiel BLEVE



Massgebliche Wirkungen

- **Toxische Wirkung** bei Aufnahme über Atemwege
- Abschätzung Ausbreitung und Letalität
 - Ausbreitungsmodelle vorhanden (Schwergas, Einfluss Topografie)
 - Letalität: Abschätzung Dosis, Probitfunktion
- Wirkdistanzen: mehrere 100 m bis zu ca. 4 km



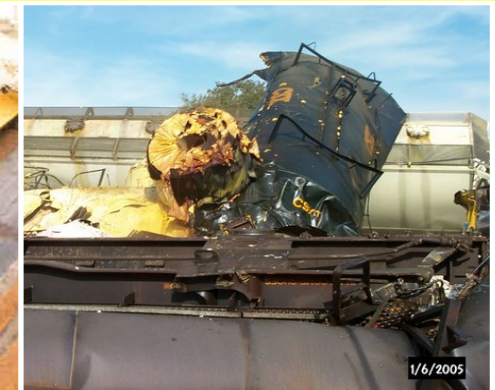
Granitville (USA), 1. Juni 2005



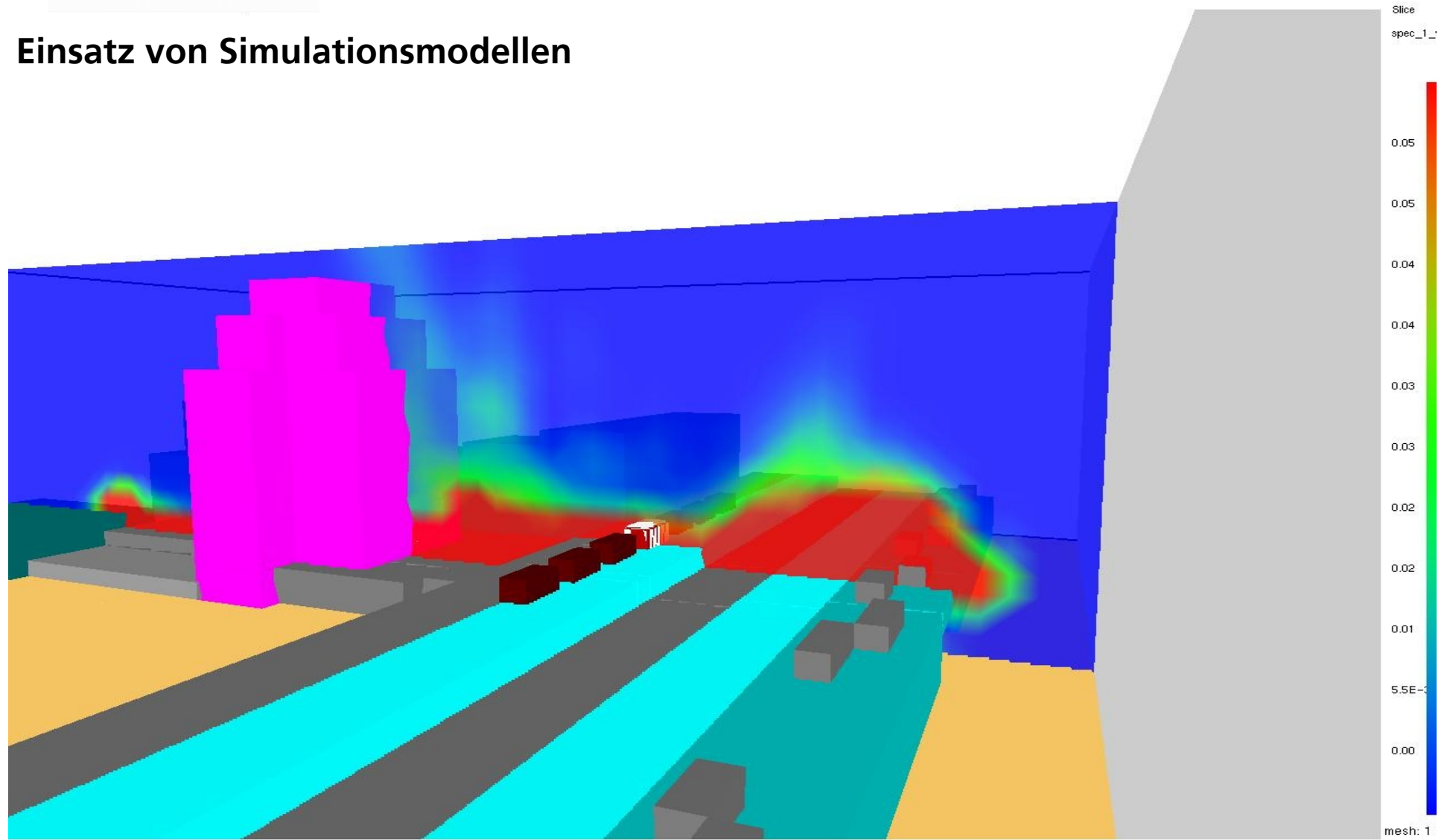
Montana (USA), 1996



Miramas (F), 2001

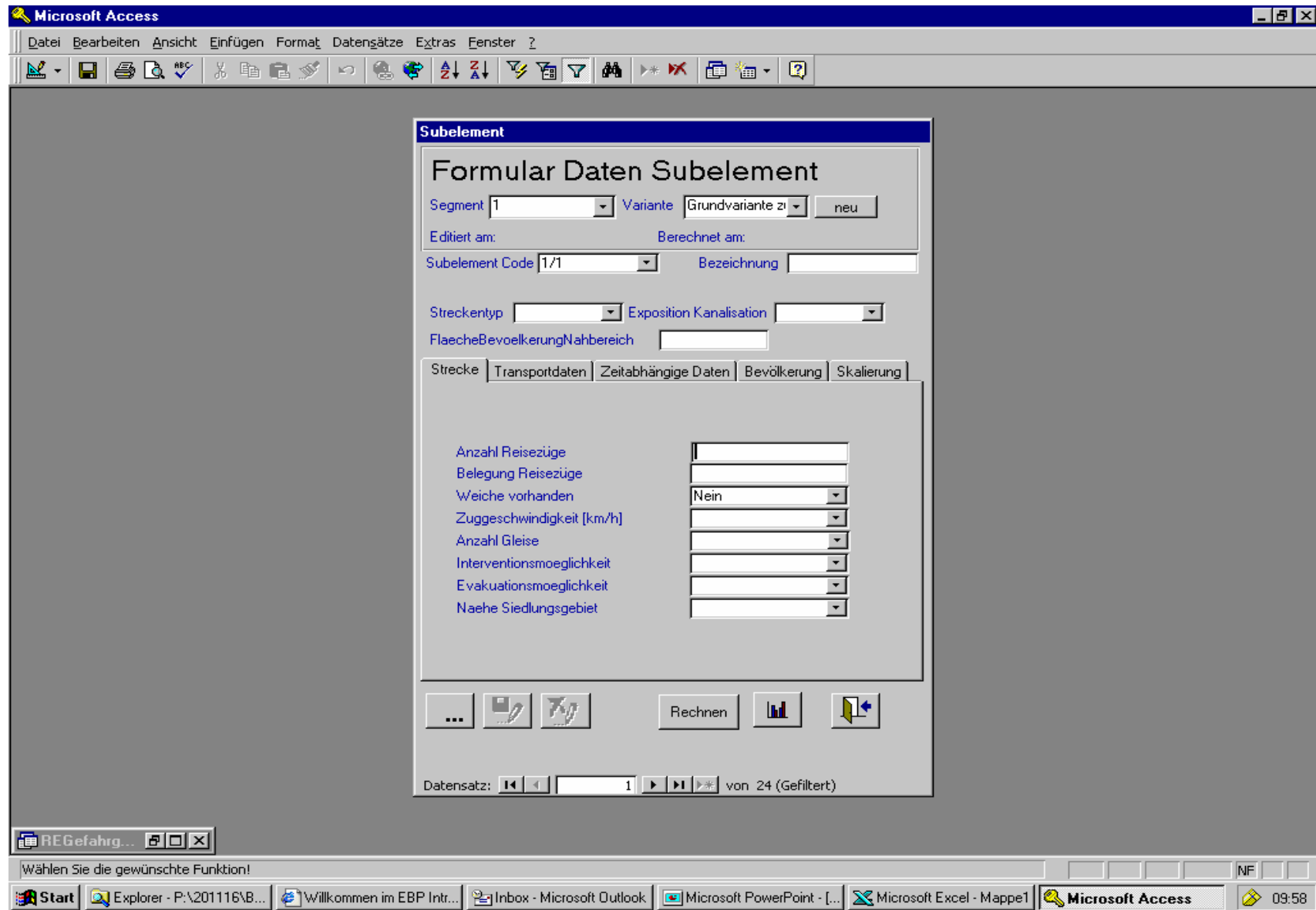


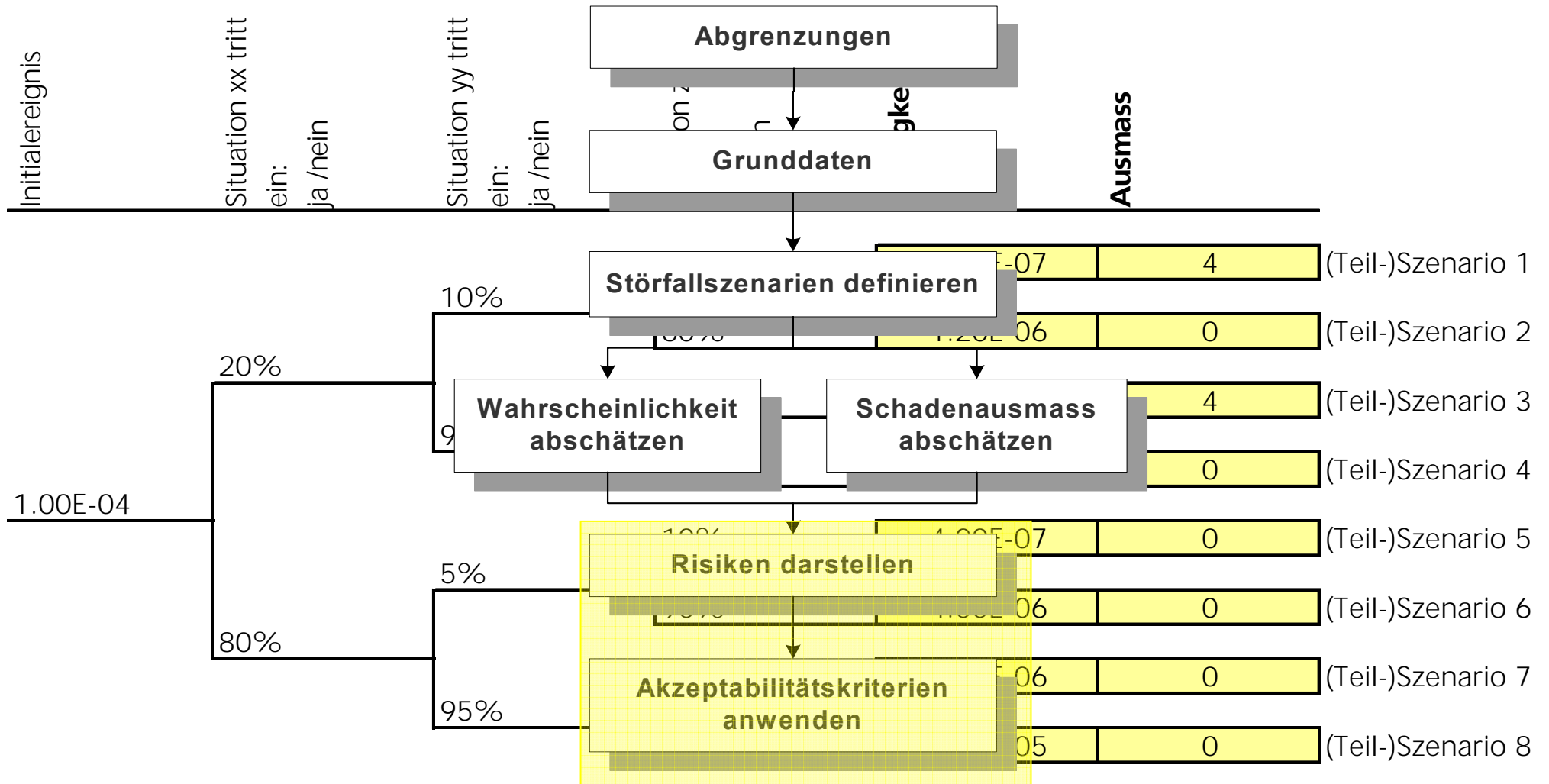
Einsatz von Simulationsmodellen



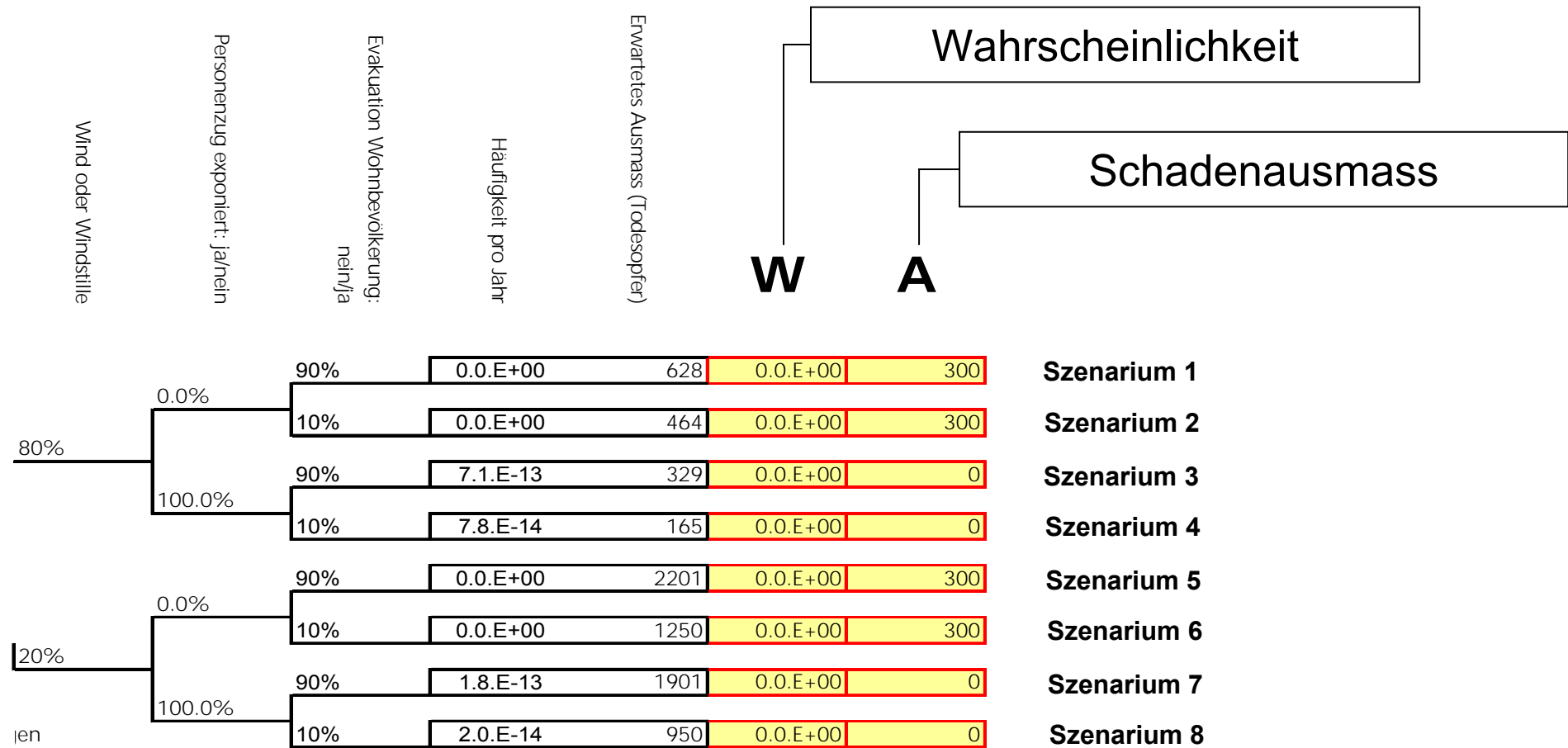
Frame: 6
Time: 32.4



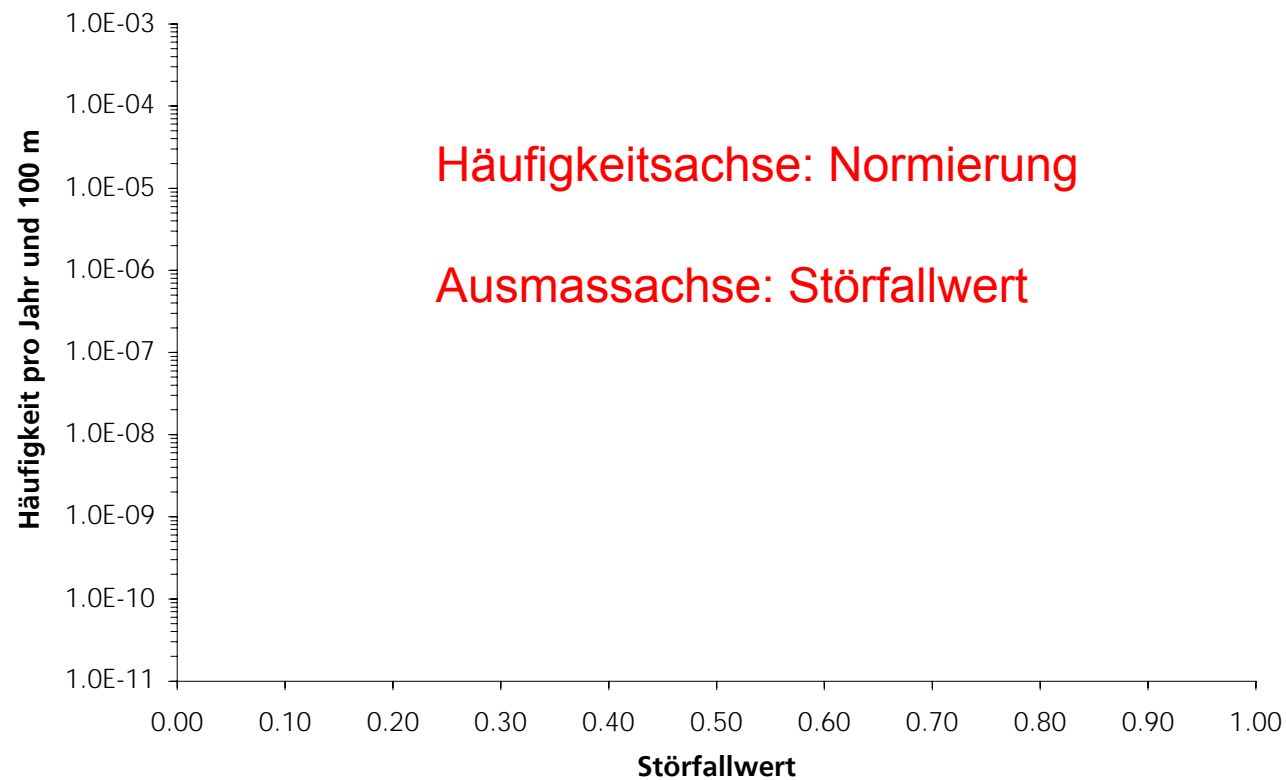




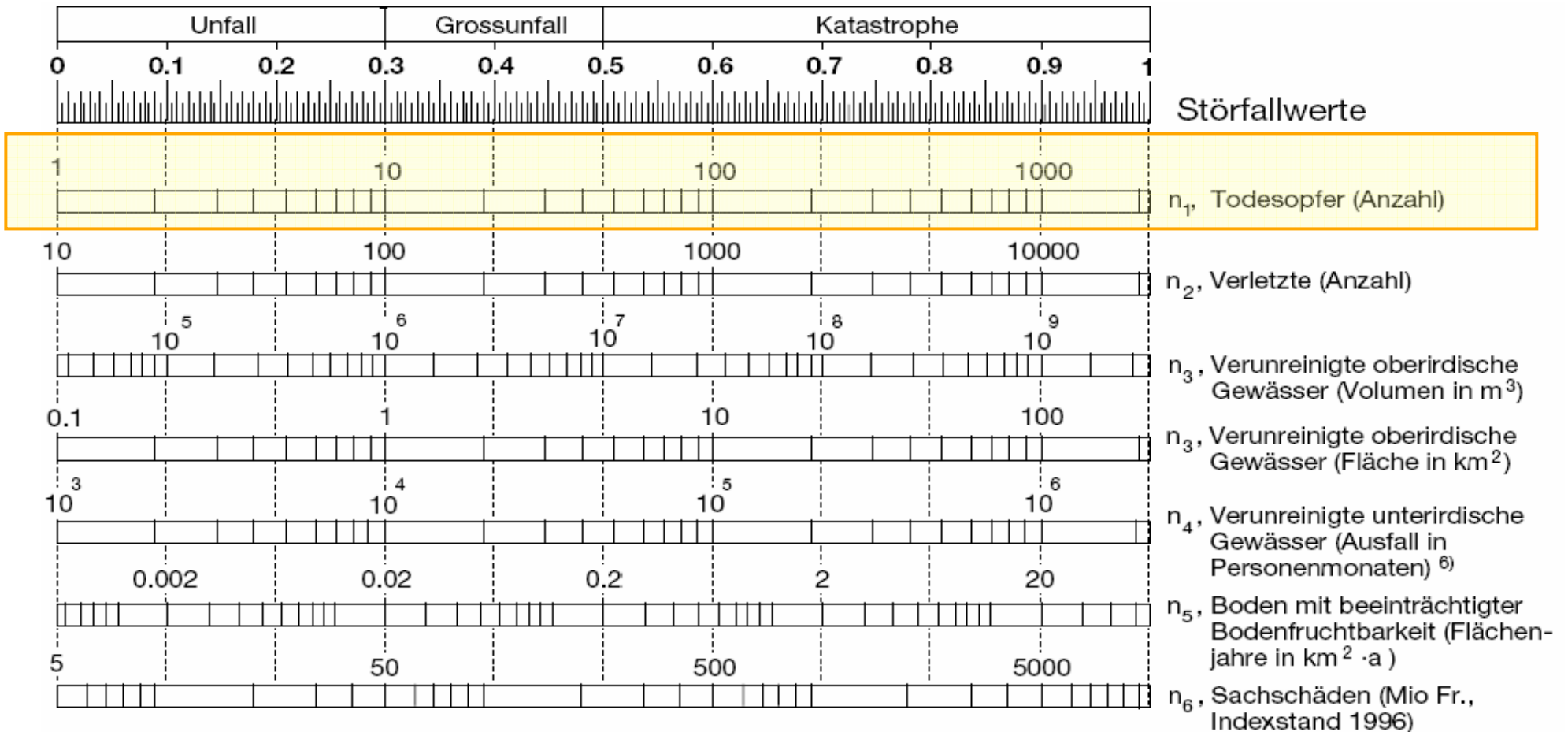
Wahrscheinlichkeiten **W** und Schadenausmasse **A** von Szenarien



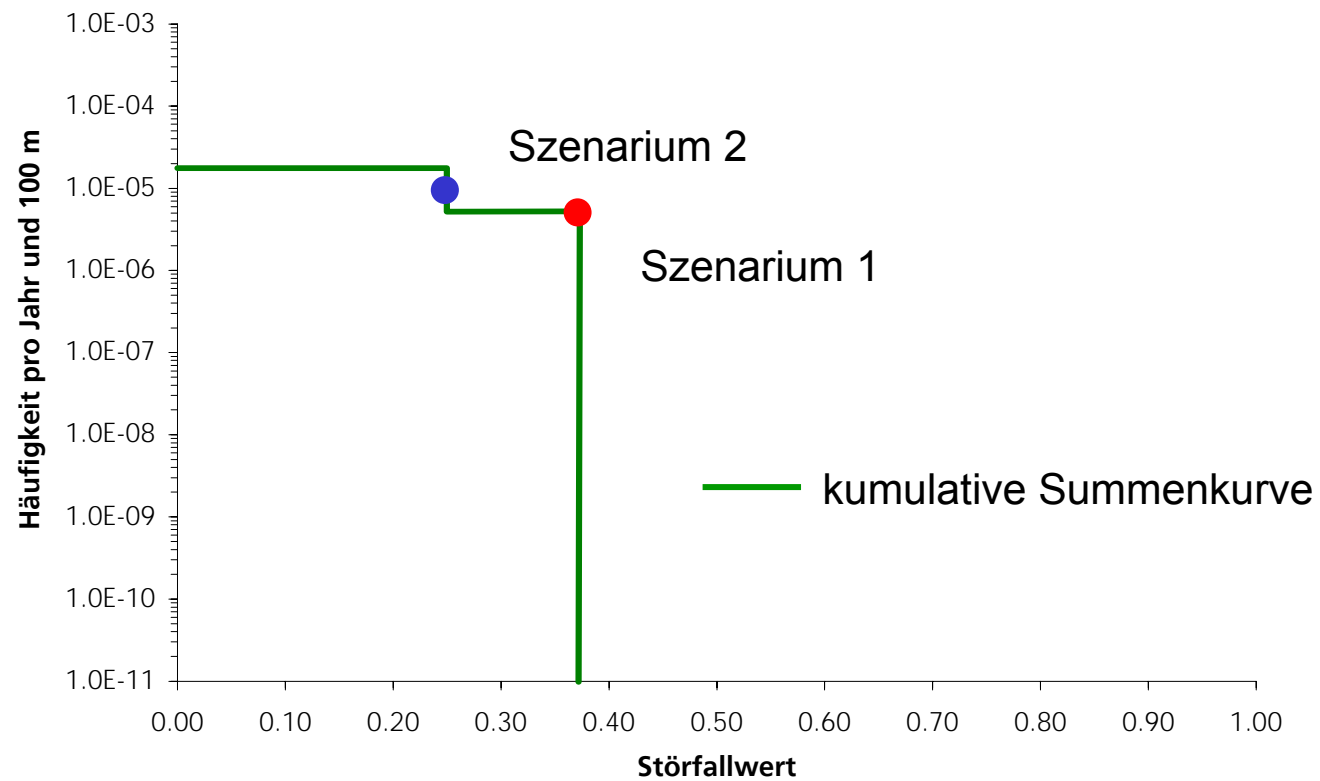
Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm



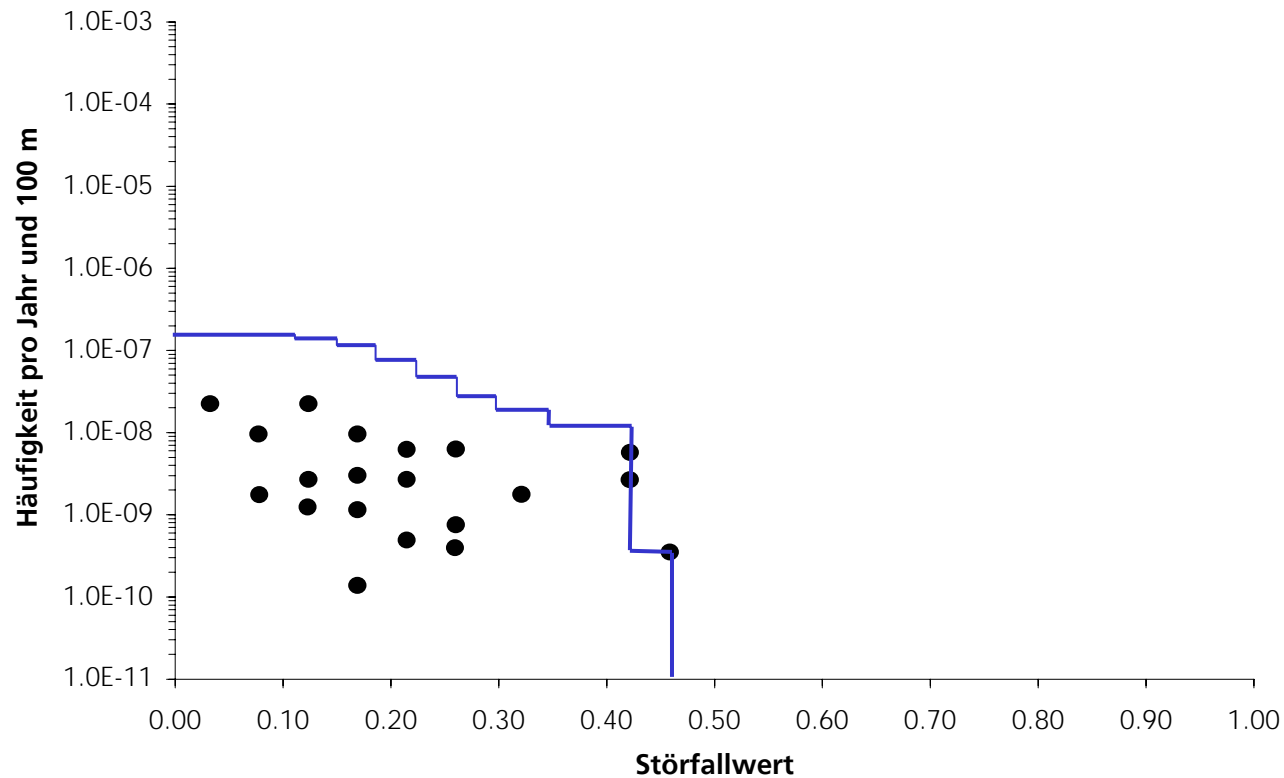
Störfallwerte



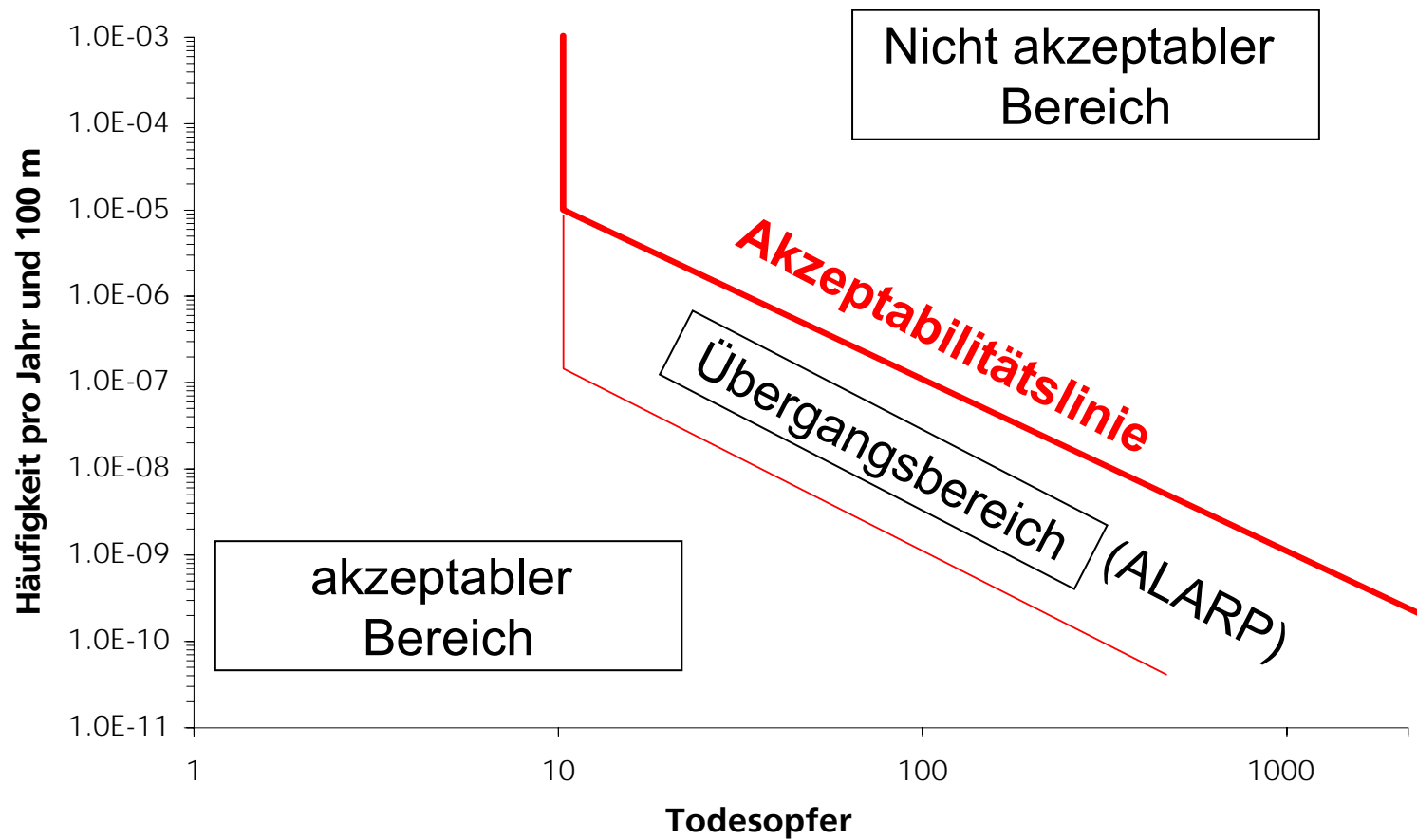
Darstellung als kumulative Summenkurve



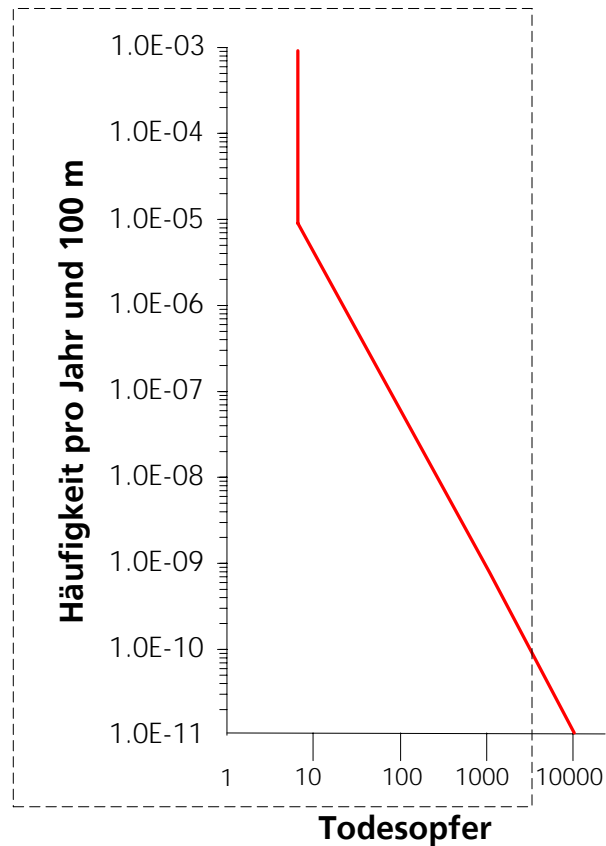
Unterschied „Einzelszenarien“ ↔ „kumulative Summenkurve“



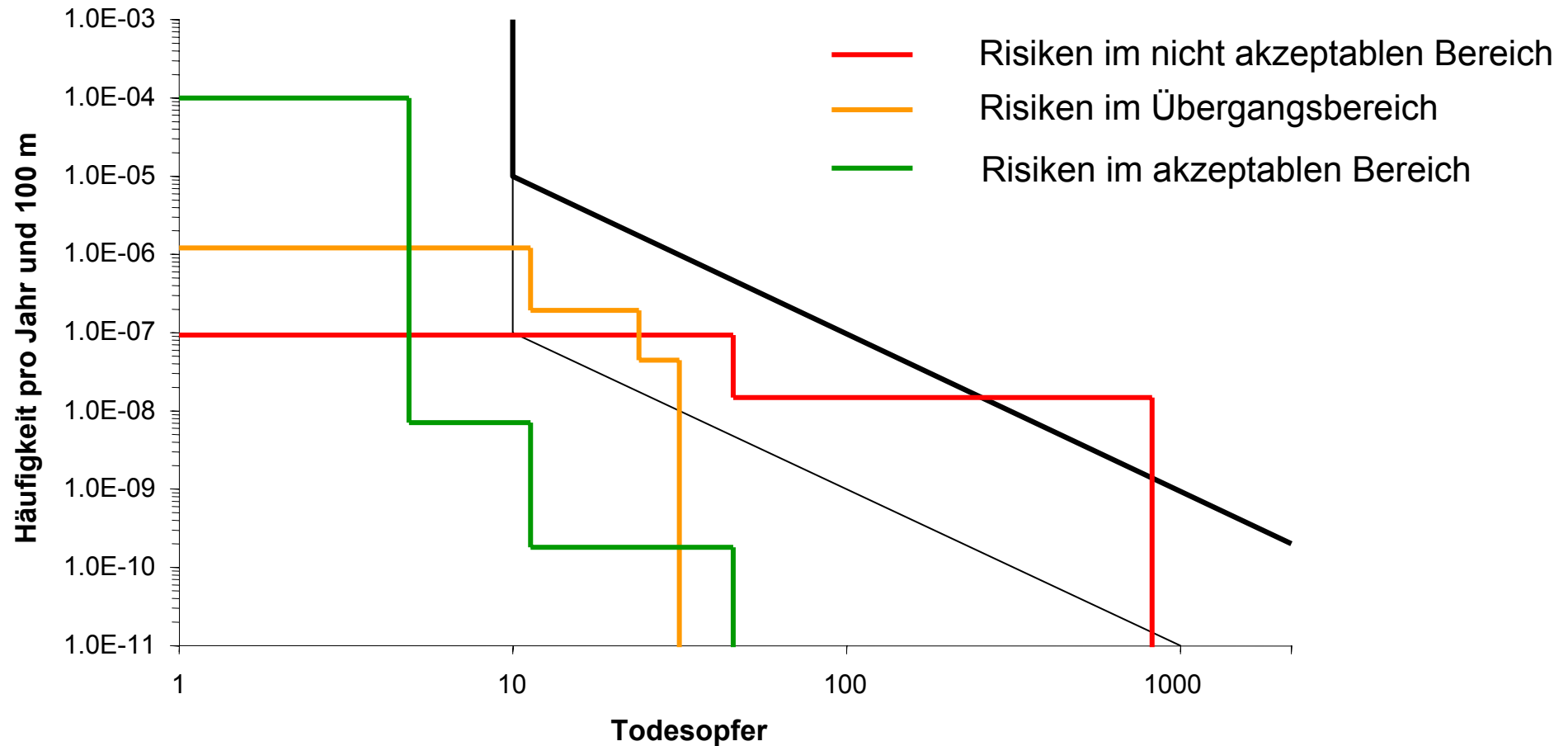
Kriterien zur Beurteilung des Risikos



Kriterien zur Beurteilung des Risikos



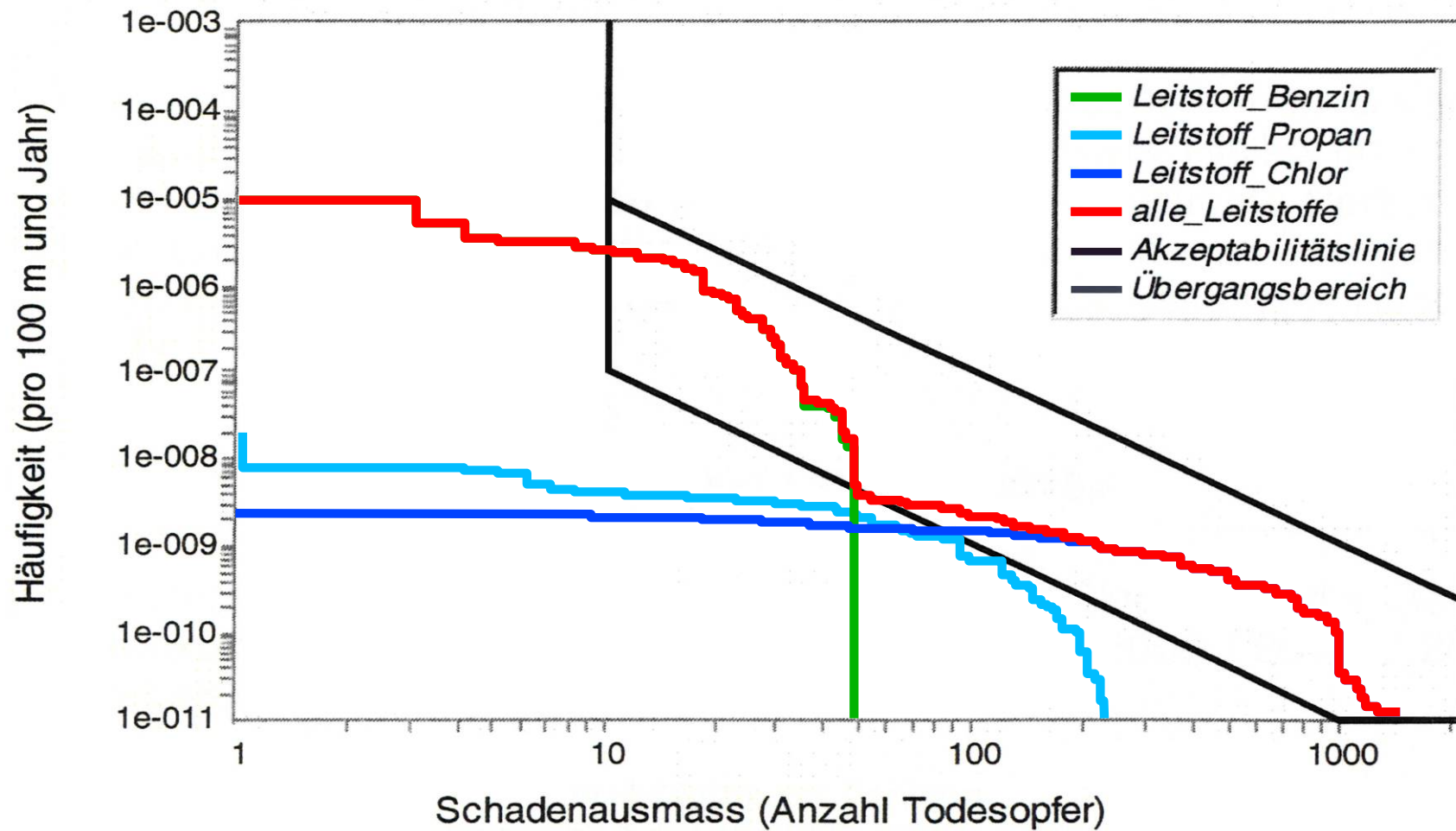
Beispiele für Summenkurven



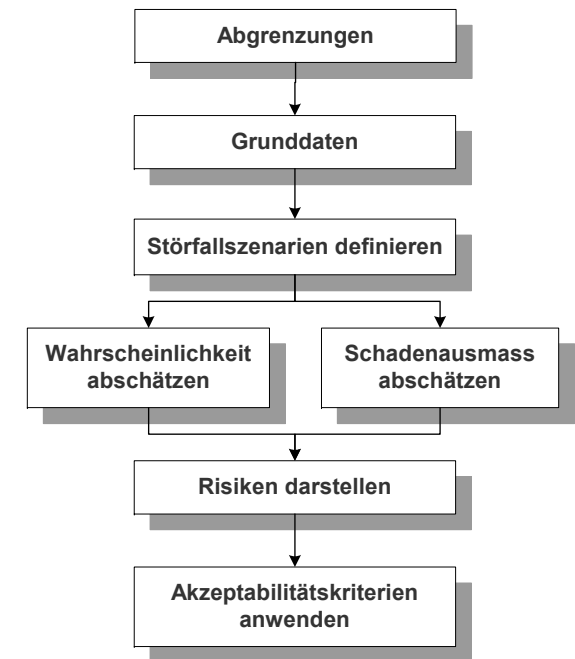
Beispiel Oerlikon

- Zustand 2015, nach Realisierung des Projektes
- Beurteilung des gesamten Abschnitts, normiert auf 100m
- Szenarien
 - „Brand“
 - „Propan“
 - „Chlor“
 - Gesamtsummenkurve

Fallbeispiel Oerlikon



- Die Quantifizierung von Risiken beinhaltet immer auch Annahmen und Konventionen
- Ziel der quantitativen Risikoanalyse ist es, die wesentlichen risikorelevanten Einflussgrößen zu erfassen und zu quantifizieren
- Nicht zu allen Einflussgrößen liegen statistische Grundlagen vor
 - seltene Ereignisse
 - Variabilität
 - ...



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

(Robert Fogel, Gewinner des Nobelpreises für Wirtschaftswissenschaften 1993)

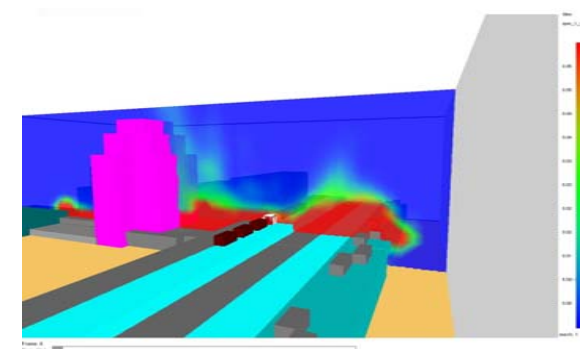
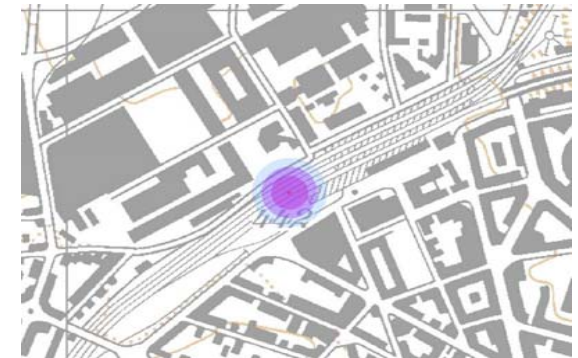
Überwiegend Annahmen/Konventionen oder Literatur

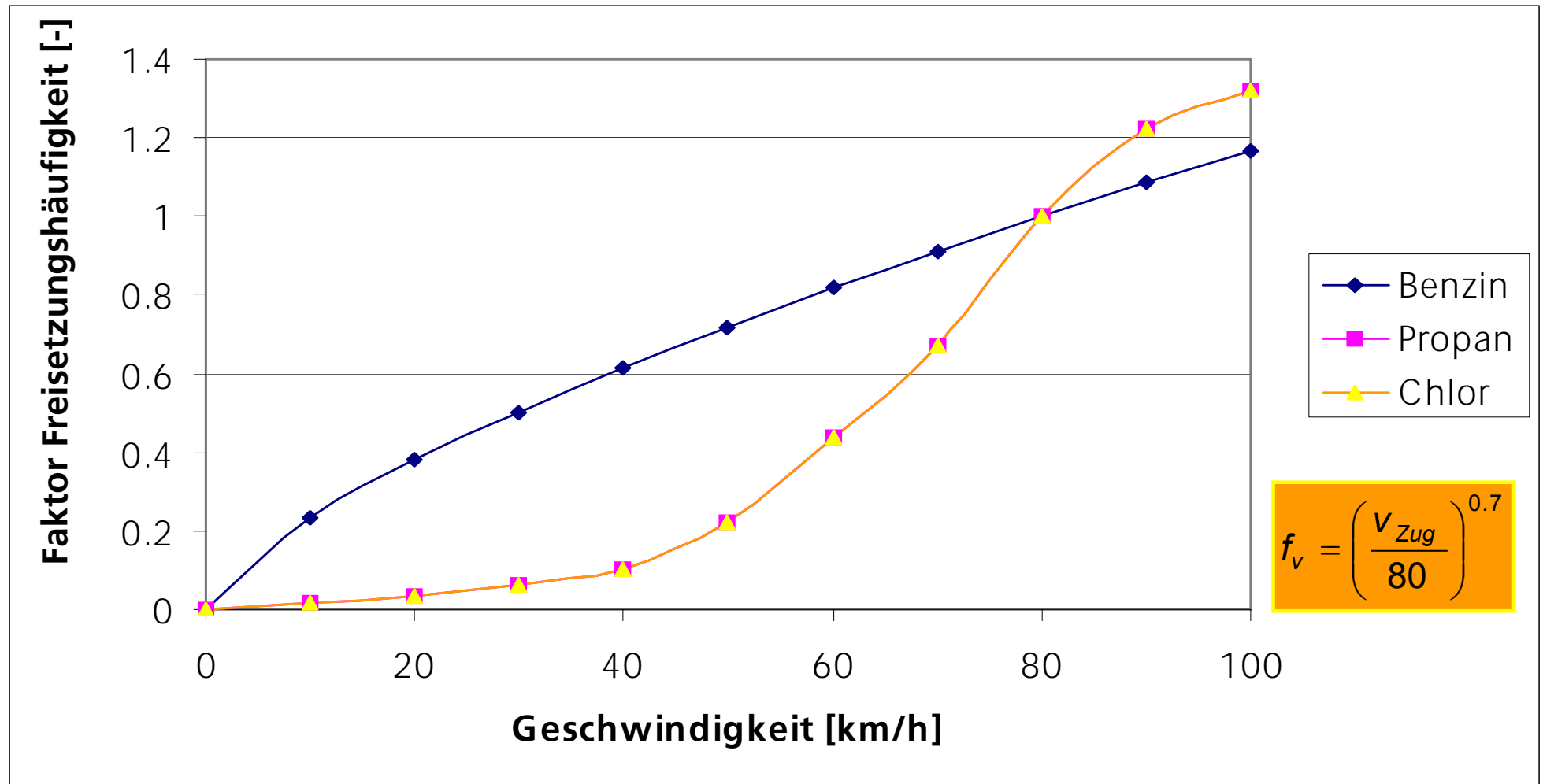
- Verteilung der Personenexposition (Im Freien, in Gebäuden)
- Einfluss Intervention
- Anzahl betroffene Personen in einem involvierten Personenzug

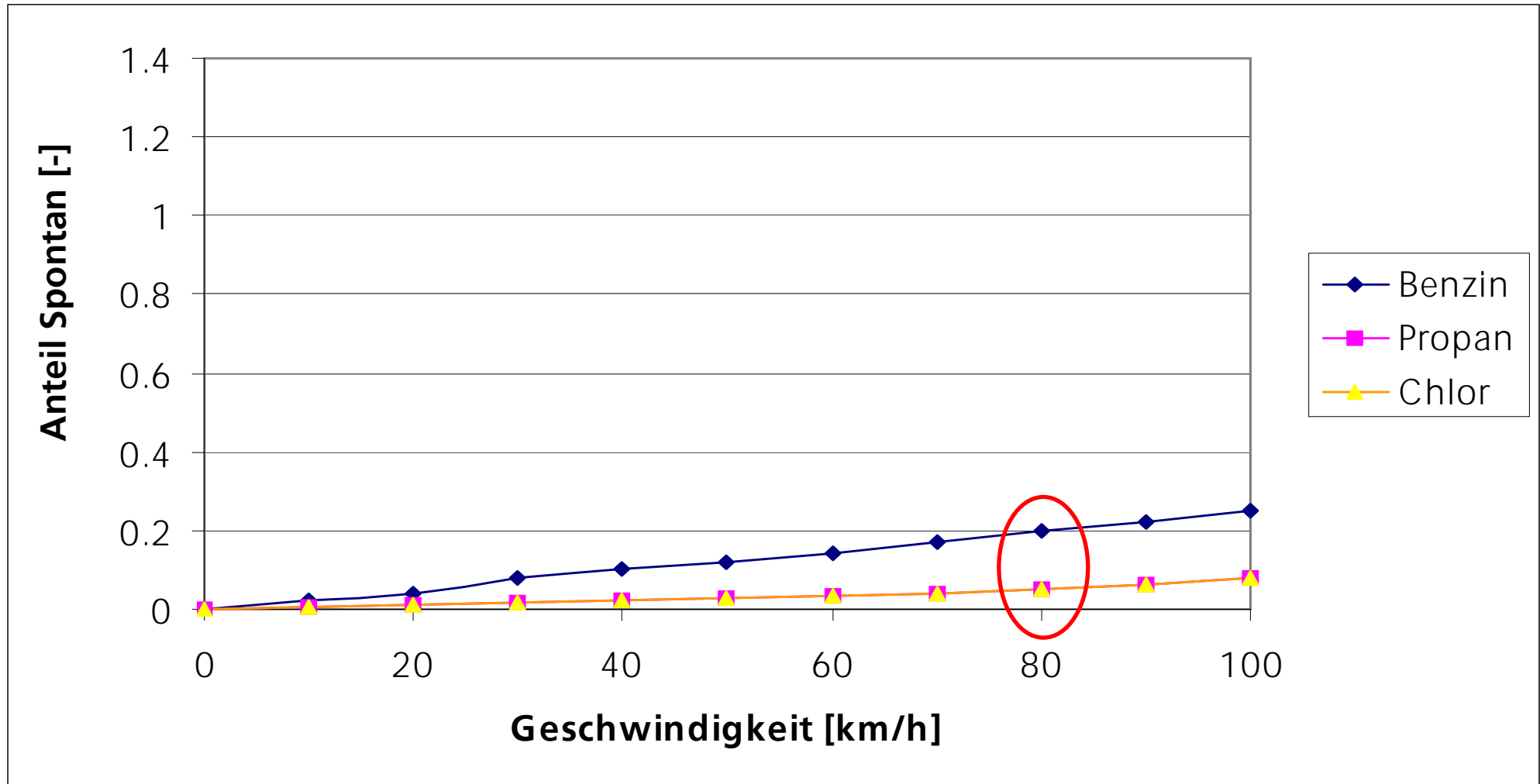
Teilweise auf Annahmen/Konventionen beruhend

- Festlegung Szenarien
- Abschätzung der Freisetzungsraten für Leitstoff Propan und Chlor
 - Einfluss Gebindetyp
 - Einflussgeschwindigkeit
- Zuordnung einzelner Stoffe zu Leitstoffen
- Ausbreitungs- und Wirkungsmodelle (Modellierung)

ABER: Annahmen lassen sich abstützen und begründen

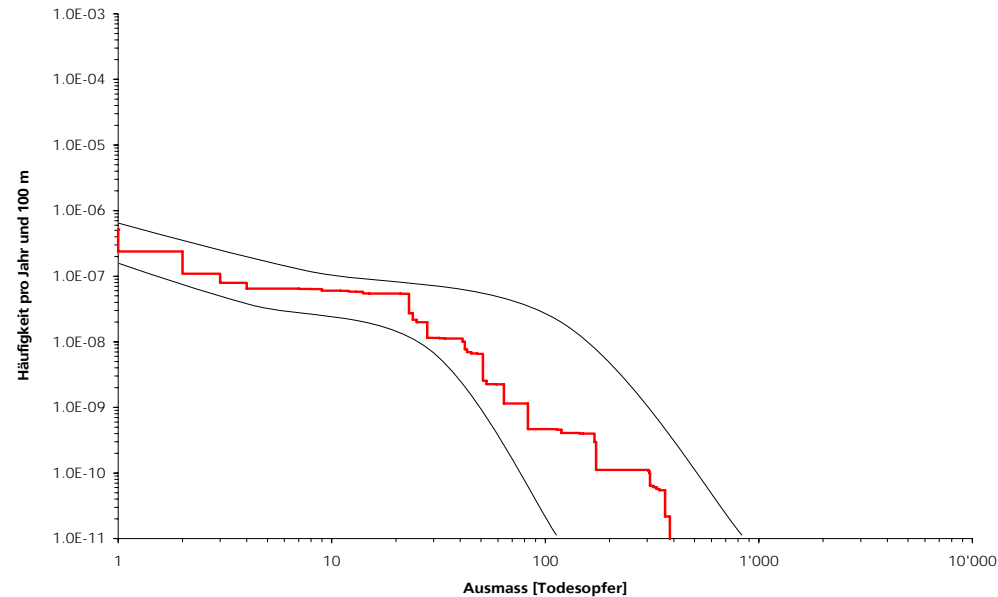






Leitstoff	Klasse nach RID	IDLH [ppm]	Klassifizierungscode nach RID	Flammpunkt (gemäss RID-Informationen)	Gewichtungsfaktor
Chlor	2	≤ 100	(irrelevant)	(irrelevant)	1
	2	> 100 u. ≤ 300	(irrelevant)	(irrelevant)	0.1
	3, 6.1, 8	Gefährdungsindex ≥ derjenige von Ammoniak			0.1
Propan	2	(irrelevant)	enthält "F"	(irrelevant)	1
Benzin	3, 6.1, 8	(irrelevant)	enthält "F"	≤ 23°C ^[1]	1
	3, 6.1, 8	(irrelevant)	enthält "F"	23 - 61°C ^[2]	0.25

- Sensitivitätsbetrachtungen ermöglichen es, den Stellenwert einzelner Einflussgrößen zum Risiko aufzuzeigen



⇒ Für welche Einflussgrößen sind weitergehende Abklärung bei der Quantifizierung angezeigt?

- Wichtigste Einflussgrößen im Rahmen des beschriebenen Verfahrens
 - Ortsspezifisches Gefahrguttransportaufkommen
 - Personenexposition (Bevölkerungsdichten)
 - Streckentyp (Bahnhofsbereich, freie Strecke)

„Traditionelle Sicherheit“



- Normen-/Massnahmenbasiert
- Stand der Technik = Sicher
- Experte/Fachmann
- Sukzessive Entwicklung

Komplexere Systeme

Luftfahrt, Raumfahrt, Kernenergie
Hochgeschwindigkeitsverkehr,
Bohrplattformen

Seltene Ereignisse, potentiell hohe Schadenausmasse

Chemie, Gefahrgut, lange Tunnels

Schlüsselunfälle

Harrisburg, Tschernobyl,
Schweizerhalle, Bhopal



„Risikoorientierte Sicherheit“

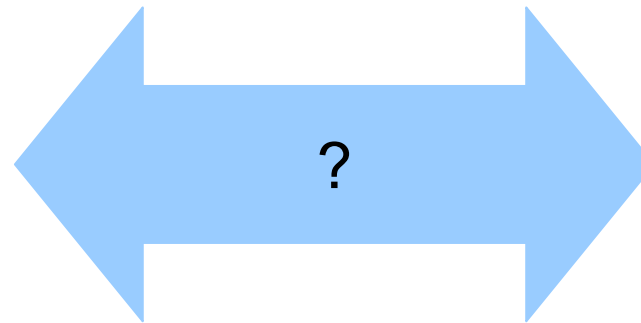


- Systematisch analysieren
- Risiken explizit ausweisen
- Explizite Kriterien
- Vorausschauend beurteilen
- Gesamtsystem betrachten
- Prozessorientiert

„Traditionelle Sicherheit“



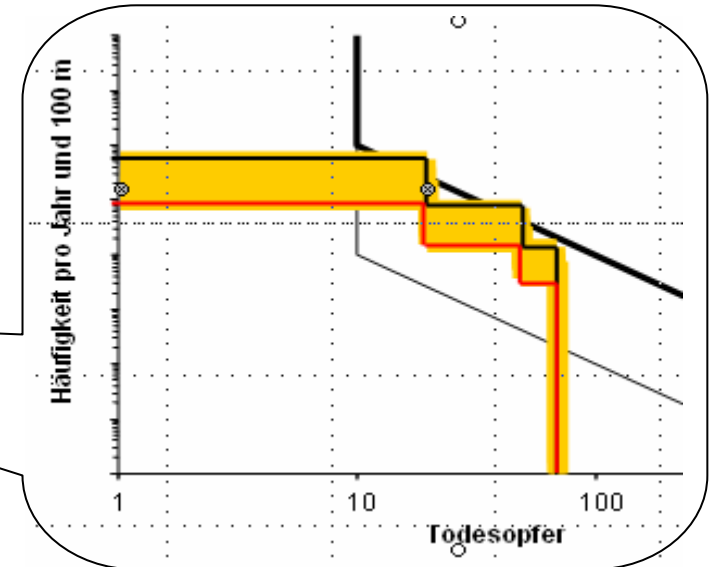
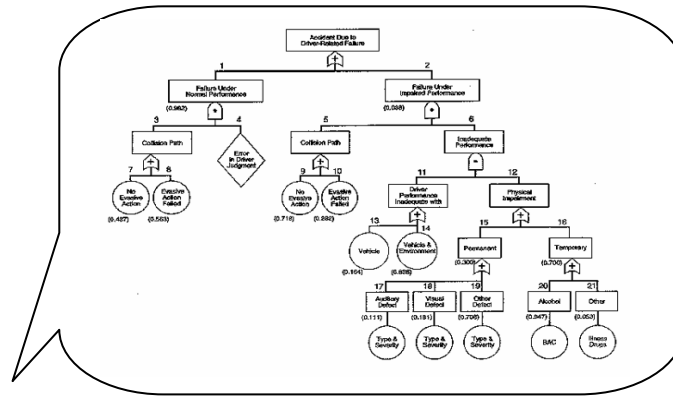
„Risikoorientierte Sicherheit“



- zwei sich ergänzende Ansätze
 - kein entweder oder
- Stand der Technik bildet das Fundament
 - Risikoorientierte Ansätze für spezielle Fragestellungen / Risiken
- bei Abweichungen von Vorschriften

Kritikpunkte

- Analyseaufwand
- Keine einfach anwendbare Regeln
- Zu anspruchsvoll für Entscheidungsträger
- Unschärfe
- Manipulierbarkeit der Analyse
- Annahmen, fehlende statistische Abstützung
- Willkürliche Kriterien
- Kommunizierbarkeit



„9 Todesopfer mit $p < 10^{-6}$ sind akzeptabel“

Einige Antworten

- Analyseaufwand
 - parametrisieren, standardisieren, nicht für alles anwenden
- Keine einfach anwendbare Regeln
 - Nachvollziehbarkeit
- Zu anspruchsvoll für Entscheidungsträger
 - Prozess, Know-How-Zuwachs
- Unschärfe
 - Sensitivität, Unschärfe berücksichtigen
- Manipulierbarkeit der Analyse
 - Nachvollziehbarkeit, transparente Analyse, Dokumentation
- Annahmen, fehlende statistische Abstützung
 - Analytische Instrumente, Transparenz der Annahmen
- Willkürliche Kriterien
 - Gesellschaftlicher Konsens
- Kommunizierbarkeit
 - Offenheit, Risikokommunikation

Vorteile

- Weitgehend standardisiertes Verfahren
 - Reproduzierbarkeit der Ergebnisse
 - Rasch prüfbar: Dokumentation von statistischen Auswertungen, Annahmen etc.
 - Effizient, auch für grössere Netzbetrachtungen einsetzbar
- Stationäre und mobile Risiken nach den gleichen Grundsätzen und Methoden
 - Einheitlicher Umgang mit Risiken
 - Relativ grosser Kreis an Fachleuten verfügbar, wachsendes Know-how
- Effektive Risiken darstellen
 - Ortsspezifische Charakteristika
 - Tatsächliche Risikoeinflüsse (Verkehrsmengen)
 - Risikounterschiede sichtbar machen
 - Wirkung von Massnahmen ausweisen
- Modelle und Annahmen sind diskutierbar