

Grundlagen der technischen Risikoanalytik

701-0981-00

Dozent: Prof. Dr. W. Kröger, kroeger@mavt.ethz.ch

Assistenz: Patrick Probst, probst@mavt.ethz.ch, Tel. 044 632 0677



Beschreibung, Inhalt und Ziel der Vorlesung

Kurzbeschreibung

Umfassende Auseinandersetzung mit Risiko- und Sicherheitsfragen gross-technischer Systeme und zugehörigen Analysemethoden. Einbezug von Risiken für Mensch und Umwelt durch störfallbedingte Stoff-Freisetzungen. Ansätze eines integralen Risikomanagements. Vertiefende praxisnahe Fallstudien.

Inhalt

Begriffsbestimmungen und Systemabgrenzungen, sicherheitstechnische Grundprinzipien, Methoden der Gefahrenidentifizierung, Systemmodellierung und Szenarienanalyse, Abschätzung der Eintrittshäufigkeiten und Konsequenzen von Störfällen; Handhabung bestimmter Problemfelder in der Risikoanalytik, wie Beurteilung von menschlichen Fehlhandlungen und Handhabung von Ungewissheiten; Modellierung und Simulation der Ausbreitung gefährlicher Stoffe; Ansätze der Risikobewertung und Strategien zur Risikominderung, computergestützte Risikoeermittlung (stationäre Anlagen, Transport gefährlicher Stoffe) und -darstellung.

Beschreibung, Inhalt und Ziel der Vorlesung cont.

Lernziel

Umfassende Auseinandersetzung mit Risiko- und Sicherheitsfragen grosstechnischer Systeme unter Einbezug von Einwirkungen auf Mensch und Umwelt. Hierzu wird das Basisinstrumentarium, d.h. ausgewählte Analysemethoden und computergestützte Hilfsmittel, vermittelt und über Übungen vertieft. Der Ausgangspunkt für diese Fragen ist dabei ein technisches System, beispielsweise eine Chemieanlage, das aufgrund unerwünschter Ereignisse und Ereignisketten (Szenarien) Stoffe und Energien freisetzt. Beides wirkt über Ausbreitungspfade auf die Umgebung ein und stellt für diese ein zu quantifizierendes Risiko dar.

Die Risikoanalytik verwendet Hilfsmittel aus mehreren ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen und ist in einen rechtlichen Rahmen eingebettet.

Weiterhin werden methodische Ansätze eines integralen Risikomanagements und entsprechende Entscheidungsprozesse vorgestellt und über Fallstudien illustriert.

Liste der einzelnen Lektionen

- 27.09.2010: Einführung, Grundlagen
- 05.10.2010: Basismethoden der Risikoanalytik
- 12.10.2010: Semiformale Methoden
- 19.10.2010: Formale Methoden
- 26.10.2010: Weitere Modellierungsansätze
- 01.11.2010: Spezielle Problematiken I: Systemische Fehler
- 08.11.2010: Spezielle Problematiken II: Humanfaktoren
- 15.11.2010: Konsequenzenanalyse
- 22.11.2010: Risikobewertung
- 29.11.2010: Methodik der probabilistischen/quantitativen Risikoanalyse(PRA/QRA)
- 06.12.2010: Trends der Risikoanalytik, Computer-Tools (I)
- 13.12.2010: Trends in der Risikoanalytik, Computer-Tools (II)
- 20.12.2010: Fallbeispiel

Übungen / Testatbedingungen

12.10.2010:	HAZOP/ZHA
19.10.2010:	FMEA
26.10.2010:	FT/ET
02.11.2010:	Formale Methoden
09.11.2010:	Weitere Modellierungsansätze
16.11.2010:	Spezielle Problematiken I: Systemische Fehler
23.11.2010:	Spezielle Problematiken II: Humanfaktoren
30.11.2010:	Konsequenzenanalyse
07.12.2010:	Risikobewertung
14.12.2010:	Trends der Risikoanalytik, Computer-Tools (I)
21.12.2010:	Trends der Risikoanalytik, Computer-Tools (II)

Testatbedingung: 8 Übungen

Vorlesungsmaterial: http://www.lsa.ethz.ch/education/vorl/vorlesung_grundl_tech_risikoanalyse_10

Vorlesungsunterlagen

https://edit.ethz.ch/lisa/education/vorl/vorlesung_grundl_tech_risikoanalyse_10

ETH LABORATORIUM FÜR SICHERHEITSANALYTIK
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Aktuell | Über uns | Personen
Forschung | Lehre | Dokumente
Partner | Intranet

Kontakt | Übersicht | Hilfe
Suche

ETH Zürich - MAVT - IET - LSA - Lehre - Vorlesungen - Grundlagen der technischen Risikoanalyse

Grundlagen der technischen Risikoanalyse

Lehre
Vorlesungen
Risk Analysis of Highly Integrated Systems
Methods of Technical Risk Assessment in a Regional Context
Reliability of Technical Systems
Safety of Nuclear Power Plants
Grundlagen der technischen Risikoanalyse
Semester-, Masterarbeiten, Dissertationen
Weiterbildung
Master Programme
Lehrmaterial

Dozent: Prof. Dr. Wolfgang Kröger
Übung: Patrick Probst
Programm: Übersicht

Folien
27.09.2010: Einführung, Grundlagen
05.10.2010: Basismethoden der Risikoanalytik
12.10.2010: Semiformale Methoden
19.10.2010: Formale Methoden
26.10.2010: Weitere Modellierungsansätze
01.11.2010: Spezielle Problematiken I: Systemische Fehler
08.11.2010: Spezielle Problematiken II: Humanfaktoren
15.11.2010: Konsequenzenanalyse
22.11.2010: Risikobewertung
29.11.2010: Methodik der probabilistischen/quantitativen Risikoanalyse (PRA/QRA)
06.12.2010: Trends der Risikoanalytik, Computer-Tools (I)
13.12.2010: Trends in der Risikoanalytik, Computer-Tools (II)
20.12.2010: Fallbeispiel

Begleitmaterial
Mock, R., Risiko und Sicherheit

Laboratorium für Sicherheitsanalytik

HS 2010 / Prof. Dr. W. Kröger

Grundlagen der technischen Risikoanalytik

6

The worst catastrophes (2/2)

Loss ¹⁾	Victims ²⁾	Year	Event	Country
71 163	1836	2005	Hurricane Katrina: floods, dams burst, damage to oil rigs	US, Gulf of Mexico, Bahamas
24 479	43	1992	Hurricane Andrew: floods	US, Bahamas
22 767	2983	2001	Terror attack on WTC, Pentagon and other buildings	US
20 276	61	1994	Northridge earthquake	US
19 940	136	2008	Hurricane Ike: floods, offshore damage	US, Caribbean
⋮				
7000-10000	0	2003	Northeastern Blackout	US
⋮				
3 631	167	1988	Explosion on platform Piper Alpha	UK
⋮				

- 1) in USD m, indexed to 2009; property and business interruption, excluding liability and life insurance losses
2) Dead and missing

Source: Swiss Re, sigma No 1/2010

Durch Menschen verursachte grosse Katastrophen

Ort	Jahr	Anzahl Tote (Verletzte)	
Montblanc (F, I)	1999	39	Tunnelbrand aufgrund eines LW-Brandes (Fracht: Mehl, Margarine)
Enschede (NL)	1999	ca. 20	Explosionen in einem Lager für Feuerwerkskörper
Paris (F)	2000	113	Absturz einer brennenden Concorde auf ein Hotel
Kaprun (A)	2000	155	Brand einer Standseilbahn im Tunnel
(F)	2001	30	Explosion einer Düngerfabrik
Gotthard (CH)	2001	10	Brand von Autoreifen in Tunnelröhre mit nachfolgendem Einsturz der Decke
Indonesien	2001	350	Schiff mit Immigranten kentert
Überlingen	2002	71	Zusammenstoss einer Boeing B 757 mit einer Tupolew TU 154
	2002	970	Fähre kentert vor der Küste
	2003	7	Auseinanderbrechen der Weltraumfähre „Columbia“ beim Landeanflug
Khayyam (I)	2004	ca. 300 (460)	Entgleisung und Explosion eines Güterzugs mit Brennstoffen und Chemikalien
	2004	ca. 340 (500)	Explosion und Feuer in einem Einkaufszentrum (geschlossene Notausgänge)
Buncefield (I)	2004	(43)	Explosionen und Feuer im fünfgrössten Tanklager in Grossbritannien
Fréjus (F, I)	2005	2 (21)	Lastwagenbrand in der Tunnelröhre (Fracht: Reifen)
(PL)	2006	67	Zusammenbruch des Daches der internationalen Ausstellungshalle



Enschede



Buncefield

Ammoniumnitrat Explosion in Toulouse

Situation:

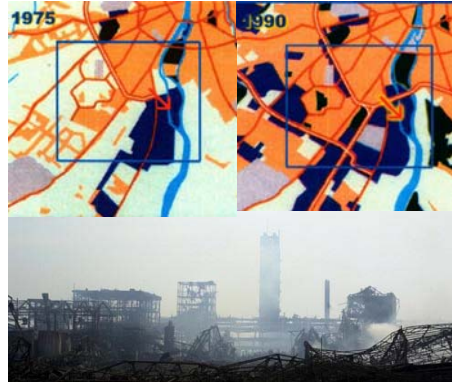
- AZF (Azote de France) ist grösster Düngerhersteller Frankreichs
- 470 Angestellte, 3km vom Stadtzentrum Toulouse entfernt
- Auf dem Gelände werden Ammoniak, Chlor und Ammoniumnitrat gelagert
- Anlage zählt zu den 1250 Fabriken welche als „high risk“ klassifiziert wurde
- Fabrik wurde 1924 „auf dem Lande“ eröffnet
- Fabrikgelände grenzt an weitere chemische Betriebe (u.a. Société Nationale des Poudres et Explosives)

Vorfall:

- Explosion von 200 – 300t Ammoniumnitrat in einer Lagerhalle (Sprengkraft von 20 – 40t TNT)

Folgen:

- 31 Tote (22 in der Fabrik, 9 ausserhalb) und ca. 2500 Verletzte
- Explosionskrater von 50m Durchmesser und 10m Tiefe
- Trümmer türmten sich auf dem Fabrikgelände Stellenweise 10m hoch auf
- Im Umkreis von 700 bis 1500m wurden Türen und Fenster zerstört, Dächer und Mauern beschädigt
- Im 3km entfernten Stadtzentrum zerbrachen Scheiben
- 500 Wohnungen waren unbewohnbar, 86 Schulen wurden beschädigt und mussten geschlossen werden
- **Keine Dominoeffekte**



Quellen:

<http://www.uneptie.org/pc/apell/disasters/toulouse/home.html>
<http://www2.ac-toulouse.fr/histgeo/monog/azf/azf.htm>

Durch Menschen verursachte Katastrophen und Naturkatastrophen

- Increased number and consequences of natural and technological disasters over last ten years (478'100 people killed, more than 2,5 billion affected, USD 690 billion economic losses); worsened by devastation and human impact of recent tsunamis, earthquakes, hurricanes.
- In 2005 97'000 people killed by catastrophes (73'000 by earthquakes), financial losses total to USD 230 billion (Hurricanes Kathrina 135 billion USD, Wilma 20 billion and Rita 15 billion), USD 5 billion caused by man-made disasters.
- Majority of technological catastrophes are not severe, exceptions:
 - 1984: Gas tragedy in Bhopal (5'000 fatalities)
 - 1986: Accident in the nuclear power plant Tschernobyl (31 acute fatalities, 135'000 people affected, 2.8 Mrd. USD economic losses)
 - 1987: Philippines ferry disaster (4'375 fatalities)
 - 1988: Explosion of the oil platform Piper Alpha (167 fatalities, 3 Mrd. USD insured losses)
- Financial losses due to a potential heavy earthquake in Tokyo in the near future estimated on 1'000–3'000 Mrd. USD.

Struktur des Mortalitätsrisikos

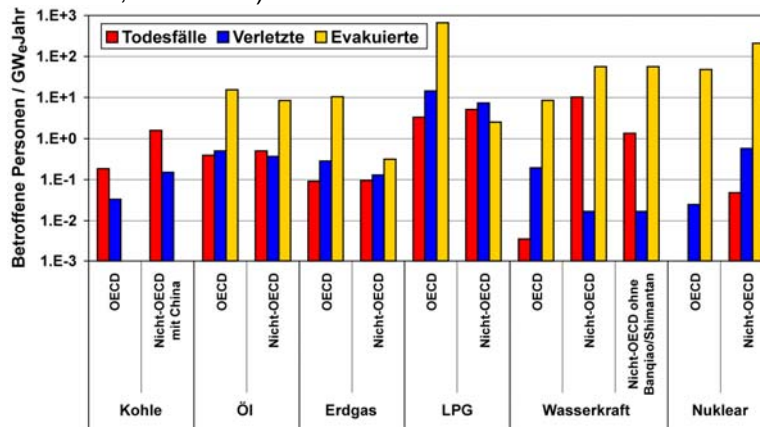
Geschätzte Wahrscheinlichkeit für Durchschnittspersonen aus der Gesamtbevölkerung innerhalb eines Jahres ums Leben zu kommen infolge

aller Ursachen	1 zu	88
Krebs	1 zu	360
aller externen Ursachen (Unfälle, Selbstmord usw.)	1 zu	3 070
aller Strassenunfälle	1 zu	15 700
aller zivilisationsbedingten Katastrophen ¹		
a) Dammüberflutung	1 zu	431 000
b) radioaktiver Freisetzung aus einem Kernkraftwerk	1 zu	≤ 10 000 000
Blitzschlag	1 zu	15 000 000
... einer freiwilligen Tätigkeit, z.B. bei		
Bergtour	1 zu	25 000
Flug	1 zu	10 000
Bahnreise	1 zu	148 000

- 1) a) eigene Schätzung
b) Lees, F.P.: Loss Prevention in the Process Industries, Vol 1, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1996; sonst Reducing Risks, Protecting People, London, Health and Safety

Risiken nach Branchen: Unfallopfer bei Stromerzeugung

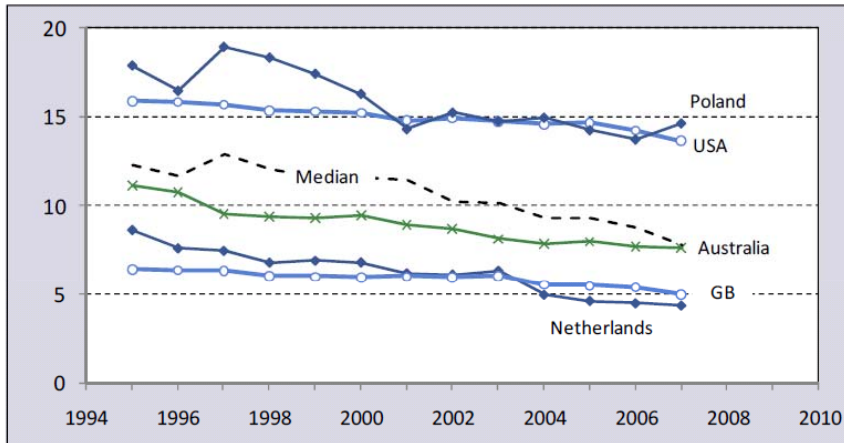
Indikatoren schwerer Unfälle für OECD und Nicht-OECD Länder (mit Allokation, 1969-2000).



Quelle: PSI

Risiken nach Sektoren: Tote im Strassenverkehr

(Todesopfer pro 10⁵ Einwohner und Jahr)



Quelle: International Road Safety Comparisons: THE 2007 REPORT, Australian Government: Australian Transport Safety Bureau, 2007 [www.atsb.gov.au]



Lernen aus aufgetretenen Unfällen / Systemausfällen

Italian Blackout, September 28, 2003 – Mechanismus

- 3:00 AM Italy imports 6.9 GW, 25% of the country's total load, 300 MW more than scheduled
- 3:01 Trip of the 380 kV line Mettlen-Lavorgo (highly loaded) caused by tree flashover; overload of the adjacent 380 kV line Sils-Soazza
- 3:11 ETRANS (CH) informs GRTN (I): Request by phone to reduce the import by 300 MW (not enough)
- 3:21 GRTN reduces import by 300 MW
- 3:25 Trip of the Sils-Soazza line due to tree flashover (at 110% of its nominal capacity); the Italian grid loses its synchronism with the UCTE grid; almost simultaneous tripping of all the remaining connecting lines
- 3:27 Breakdown of the Italian system, which is not able to operate separately from the UCTE network (instabilities); loss of supply
- 9:40 PM Restoration of the Italian system completed

Italian Blackout, September 28, 2003 (cont.) – Impacts (Sunday)

Impact on the Population - strong

- About 56 Million people have been affected, five elderly persons killed;
- Hundreds of people have been trapped in elevators.

Economic Losses - moderate

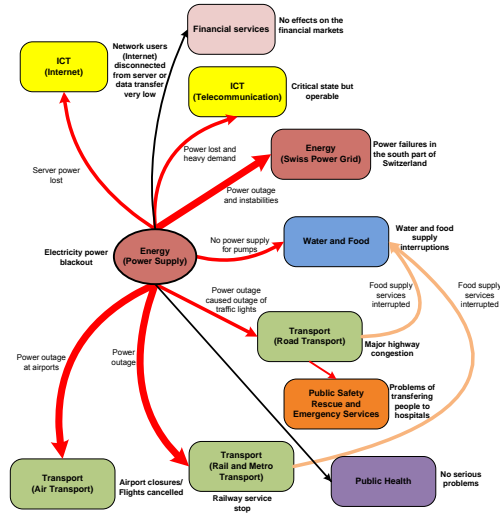
- About 120 million € due to spoiled foodstuff;
- Several hundred k € due to the interruption of continuously working industries (e.g. steel, cement or plastic factories); no effects on the financial markets

Impact on Dependent Critical Infrastructures - varying

- Transportation: About 110 trains with more than 30'000 passengers stopped as well as subways in Rome and Milan. Flights cancelled or delayed. Outage of traffic lights partly led to chaotic situations in major cities, no severe accidents.
- Water supply: In some southern regions interruptions for up to 12 hours.
- I & C: Telephone and mobile networks in a critical state but operable. Internet providers shut down their servers (data transfer rate went down to 5% of normal).

Health services: Hospitals without serious problems due to the use of diesel-driven generators.

Impact of Italian power blackout of 28 September 03 on infrastructure sectors



Learning from Deficits: Gulf Oil Spill and Breach of Basic Principles

March – April 2010

- Oil rig in preparation to move to another job
- Temporarily plug and cap the well with cement
 - Rise in pressure from the well that suggested the cement was not holding
 - First test showed large abnormality, second test was misread and declared as safe

April 20

- Jump in pressure from oil and gas rising in the well
- Methane expanded on the rig without given warnings
 - All applications in operation, including those dangerous to ignite the methane
- Explosion on rig, chaotic conditions to evacuate the rig, weak clear directives
- Closing of blowout preventer failed
- Consequences
 - 11 victims, 17 injured
 - $\sim 780 \times 10^3 \text{ m}^3$ oil spilled in ocean (2 Super-tankers)

Learning from Deficits: Gulf Oil Spill and Breach of Basic Principles

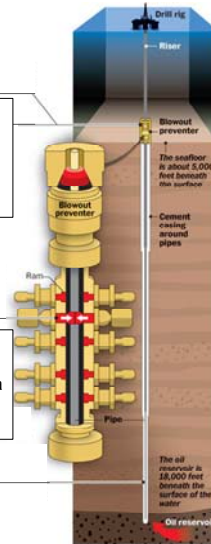
A dead battery in the BOP's „brain“ which gives pressure readings and controls other functions in the giant stack of valves.

The shear ram, the BOP's valve of last resort, wasn't strong enough to cut through joints in the pipe. Those joints account for about 10 percent of the pipe's length.

The cement seal around the casing pipes in the well failed pressure tests before the explosion - gas may have been building up in the well.

A leak in the hydraulic system that sends emergency power to rams, valves that are supposed to close off the space around the pipe.

Several “unexpected” modifications to the BOP, including **test ram** in place of a real one. Schematics didn't match the actual device.



Washington Post, May 13

Hurrikan Katrina, August 2005



- Tropischer Wirbelsturm der Stufe 5, gebildet am 24. August über den Bahamas.
- In den USA waren betroffen: Florida, Louisiana (besonders der Grossraum New Orleans), Mississippi, Alabama und Georgia; 1'239 Menschen kamen ums Leben.
- Nachdem zwei Deiche bei New Orleans gebrochen waren, standen bis zu 80 Prozent des Stadtgebietes bis zu 7,60 Meter tief unter Wasser (Die Stadt liegt unter dem Wasserspiegel des Flusses, des Meeres und eines Brackwassersees).
- Es gab nur ungenügende Vorwarnungen, da sich der Sturm schnell von einem harmlosen Unwetter in einen Hurrikan verwandelte.

Hurrikan Katrina, August 2005 (cont.)

- Experten schätzten die Schäden auf mehr als 125 Milliarden Euro; eine Million Menschen wurden obdachlos, fünf Millionen hatten keinen Strom.
- In New Orleans wurden zwei Deiche durch die aufgepeitschten Flutwellen auf einer Länge von 150 m durchbrochen; wegen des Stromausfalls konnte das Wasser nicht mehr abgepumpt werden.
- Seuchengefahr durch das verschmutzte Wasser, in dem Leichen, Abfälle, Chemikalien und Kot trieben, Darminfektionen und Hepatitis A wurden befürchtet.
- Über ein Viertel des amerikanischen Erdöls und Erdgases wird im Golf von Mexiko gefördert. Einige gefährdete Förderanlagen wurden stillgelegt; viele Pipelines wurden ebenfalls zerstört (Rohölpreis steigt auf über 70 Dollar pro Barrel).

Hazards and Threats to Energy and Transport Security

- **Natural events** such as earthquakes, hurricanes, tornados, severe flooding, or other (increasing) extreme weather conditions
- **Accidents or technical factors** leading to the debilitation of plants, networks and operations
- **Market factors** such as cartel induced production limits, instability associated with major producer groups, or economic pressure trading-off security factors
- **Policy factors** such as artificial supply limitations or negative pricing outcomes or misusing “energy” for political purposes
- **Human factors** such as asymmetric warfare or piracy attacks carried out against physical energy infrastructures or cyber-attacks

Risiko als zentraler Begriff

Aufgabenstellungen sind Ermittlung,
Beurteilung und
Handhabung (Management)

von **Gefahren und Risiken** technischer Anlagen in einem Umfeld
(Betrieb, Gesellschaft, Umwelt) mit Hilfe natur-/ingenieurwissen-
schaftlicher Methoden.

Konzentration auf das mathematisch-gefasste („berechnete“) Risiko - im
Gegensatz zum wahrgenommenen; damit Beachtung von üblichen Regeln
wie:

- Nachprüfbarkeit,
- weitgehende Unabhängigkeit vom Beobachter bzw. Analytiker,
- sachgerechte Anwendung einer bestimmten Methodik und
- Darstellung der Ergebnisse unter Angabe von Unsicherheiten.

Mögliche Fragestellungen in der Risikoanalytik

- Was kann falsch gehen? (Unfallabläufe, Szenarien)
- Wie wahrscheinlich sind diese Szenarien?
- Was sind deren Konsequenzen?

Ergänzende Fragestellungen

- Warum müssen wir uns mit dem Risiko einer Anlage überhaupt auseinandersetzen?
- In welchem Rahmen und mit welchem Ziel sollte dies geschehen?
- Was soll analysiert werden? (“Was möchte man über die Anlage wissen?”)
- Welche Methoden der Gefahren- und Risikoanalyse sind geeignet?
- Wie kann man Gefährdungen erkennen und deren Ursachen ermitteln?
- Wie kann man anlagenexterne Auswirkungen abschätzen?
- Wie lassen sich die Ergebnisse interpretieren und beurteilen? Lassen sich Optimierungsmöglichkeiten aufzeigen?
- Welches Risiko ist angemessen, niedrig genug?
- Gibt es rechtliche Vorgaben (z. B. Störfallverordnung (StFV)), und was bedeuten sie für die Risikoanalyse?

Challenges in Handling Risks: Crazy.....



Challenges in Handling Risks: or Wise?



Definition „objektives“ Risiko

Im allgemeinen Sinn

Möglichkeit, dass aus einem Zustand oder Vorgang ein Schaden entstehen kann.

Risiko

Mass für die Grösse einer Gefährdung. Funktion der Häufigkeit F eines unerwünschten Ereignisses und dessen Schadensausmasses C . [1]

Übliche Berechnung („Versicherungsformel“) ohne Aversion

$$Risiko = f(F, C) = F \cdot C \text{ bzw. } \sum_i F_i \cdot C_i \text{ bzw. (mehrere Ereignisse)}$$

Gewichtetes Risiko

Zur Berücksichtigung der sog. Aversion, Wichtung des Ausmasses ab einem Schwellenwert a mit einem Koeffizienten $\alpha > 1$ (meist „gesetzt“ zwischen 1.2 und 2)

$$Risiko = \begin{cases} F \cdot C & : A < a_i \\ F \cdot C^\alpha & : A \geq a_i \end{cases}$$

Bei Infrastrukturen (zusätzlich) die Häufigkeit einer Unterbrechung des Service und der dadurch bedingten Folgen für die Betroffenen.

[1] (ISO/IEC Guide 73, 2002: combination of the probability of an event and its consequences)

Unterteilungen des mathematisch-gefassten Risikos (Forts.)

Statistisches Risiko (statistical risk)

Basis: vorliegende, direkt nutzbare Daten, z.B. [Anzahl der Unfälle/Jahr];

- Erfahrungsgesetze ableitbar aus grosser Anzahl von gleichen Ereignissen.
- Übertragung direkt nutzbarer Beobachtung auf System / Ereignisebene.

Wahres Risiko (real risk)

Basis: vollständiger Satz aller möglichen Daten zu einem Ereignis;

- Daten sind erst nach einer (unendlich) langen Beobachtungszeit vollständig, bei unveränderten Rahmenbedingungen; praktisch nicht bestimmbar!

Prognostisches Risiko (predicted risk)

Basis: Störfallszenarien und Modelle für seltene oder noch nicht aufgetretene Ereignisse, z.B. mit Hilfe einer Fehlerbaumanalyse, vorab bestimmt;

- Ereignisse durch Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmbar.
- Nutzung von Beobachtungen auf der Ebene von Komponenten.

Weitere Risikobegriffe

Grenzsrisiko

Grösstes noch vertretbares Risiko eines spezifischen Vorganges oder Zustandes.

Restrisiko

- Deskriptiv: Nach der Realisation aller vorgesehenen Sicherheitsmassnahmen verbleibendes Risiko aus
 - bewusst akzeptierten Risiken,
 - falsch beurteilten Risiken und
 - nicht erkannten Gefahren.
- Normativ: Erlaubtes Risiko aufgrund von Akzeptabilitätsbeurteilungen.

Elemente des Risikos: Schaden

- **Allgemein:** negativ bewertete Folgen eines unerwünschten Ereignisses oder Vorganges oder unerwünschte Beeinträchtigung eines Schutzgutes als Konsequenz eines schädigenden Ereignisses.
- **Im engeren Sinne:** Schwächung oder Schädigung der materiellen Substanz der Betrachtungseinheit, die deren Zuverlässigkeit, Sicherheit oder Tauglichkeit beeinträchtigt.
- Schadensmessgrössen sind nicht immer eindeutig oder einheitlich definiert; Kontext-abhängige Beurteilungsmassstäbe liefern verschiedene Zahlenwerte. **Beispiel:** Zählung Schwerverletzter nach einem Unfall.

Übliche Schadensmessgrössen mit [Masseinheiten]

innerhalb von Anlagen	ausserhalb von Anlagen
Beschäftigte, Personen [Anzahl] <ul style="list-style-type: none"> • Todesfälle: akut, latent • Verletzungen: marginal, dauerhaft • Gesundheitsverlust: temporär, andauernd 	Teile der Öffentlichkeit [Anzahl] <ul style="list-style-type: none"> • Todesfälle: akut, latent • Verletzungen: marginal, dauerhaft • Gesundheitsverlust: temporär, andauernd • Evakuierte: temporär, andauernd
Anlage [Menge freigesetzter Stoffe, Energie] <ul style="list-style-type: none"> • unerwünschter gefährlicher Anlagenzustand (Kernschmelze, "runaway" Reaktion) 	Umgebung [Menge freigesetzter Stoffe, Energie, u.a.] <ul style="list-style-type: none"> • freigesetzte Stoffe [Mengen-, Toxizitäts-, Energieeinheiten] • Konzentrationen [Dosisseinheiten] • Kontaminationen [Flächeneinheiten]
Kosten/Investitionen [Währungseinheiten] <ul style="list-style-type: none"> • betriebswirtschaftlich 	Kosten [Währungseinheiten] <ul style="list-style-type: none"> • volkswirtschaftlich
Produktionsausfall [Zeit, Währungseinheiten]	Flächen-Nutzungsverlust [Flächen-, Zeiteinheiten]

Elemente des Risikos: Häufigkeit

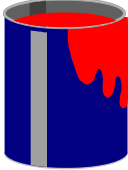
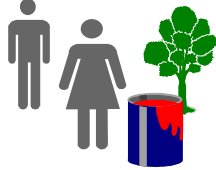
Eintrittshäufigkeit: Häufigkeit wird oft falsch synonym mit anderen Begriffen verwendet, obwohl diese eindeutig definiert sind:

- **Häufigkeit** (frequency): Eine Häufigkeit bezeichnet eine Anzahl.
- **relative Häufigkeit** (relative frequency): Anzahl Fälle, bei denen dieses Ereignis eingetreten ist, dividiert durch die Anzahl der Fälle, bei denen es hätte eintreten können (dimensionslos)

$$\hat{F} = \frac{n}{N}$$

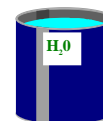
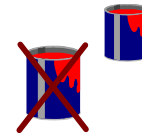
- **Rate** (rate): mathematisches Konstrukt, das die momentane Veränderung einer Grösse in Einheiten der Veränderung einer anderen Grösse (üblicherweise Zeit) misst. Empirisch lässt sich eine Rate häufig durch eine Art Durchschnittsbildung (rel. Häufigkeit) über ein längeres Zeitintervall schätzen.
- **Frequenz** (frequency): zeitbezogene Häufigkeit.
- **Wahrscheinlichkeit** (probability): Dimensionslose Grösse zwischen 0 und 1. Festgelegt durch das Axiomsystem von Kolmogoroff.

Präzisierung von Begriffen

Gefahr (danger)	Gefährdung (hazard)
<p>Eine Gefahr bezeichnet einen Zustand, Umstand oder Vorgang aus dem Schaden für Mensch, Umwelt und/oder Sachgüter entstehen kann. Beispiele: eine Tankfüllung Benzin, ein Messer</p>	<p>Eine Gefährdung ist die Konkretisierung einer Gefahr auf Personen oder Sachen. Sie ist eine nach Art, Grösse und Richtung bestimmte Gefahr und somit ein "spezifiziertes Potential".</p>
	

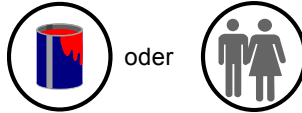
Präzisierung unbestimmter Begriffe: Sicherheit (safety)

- Im absoluten Sinn:** durch Nichtvorhandensein von Gefahren charakterisierte Eigenschaft (letztlich unerreichbar).
- Im relativen Sinn:** durch Nichtvorhandensein einer bestimmten Gefahr charakterisierte Eigenschaft (a), wenn ein vergleichbar kleines und damit akzeptierbares Risiko involviert ist (b) oder normative Vorgaben erfüllt werden (c).
- Subjektiv:** empfundene Gewissheit, vor Gefahren geschützt zu sein.
- Inhärente:** Eigenschaft, die eine Gefahr zwingend auf ein vom Zustand, Prozess oder Produkt vorbestimmtes und akzeptierbares Mass limitiert oder ausschliesst.



Schutz

- Kontrolle bzw. Isolation einer bestimmten Gefährdung (= aktiver Schutz) und/oder die Gefährdungsabwehr (= passiver Schutz).



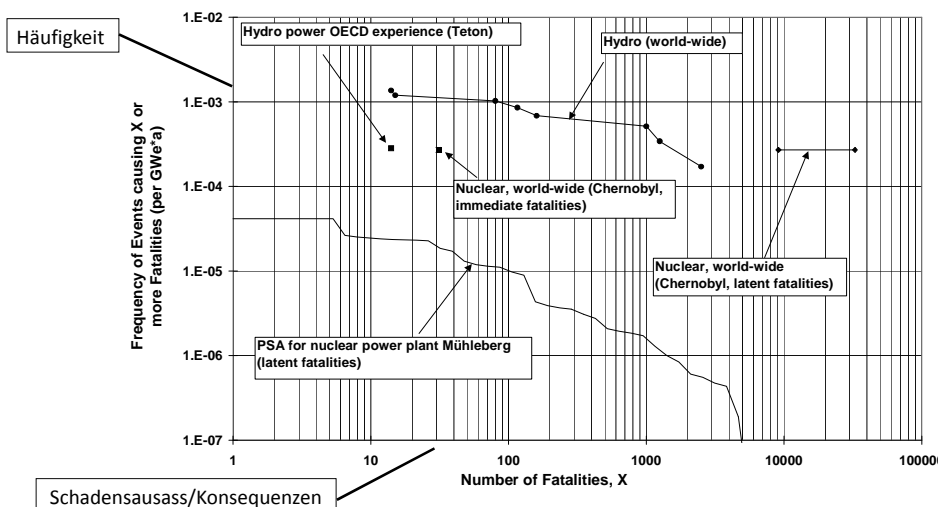
Zuverlässigkeit (DIN 40042, 12/90) (reliability)

“Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, während oder nach vorgegebenen Zeitspannen bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen die Zuverlässigkeitsanforderungen zu erfüllen.” (Missionszeit ohne Instandhaltung). Die Zuverlässigkeit wird als Wahrscheinlichkeit ausgedrückt.

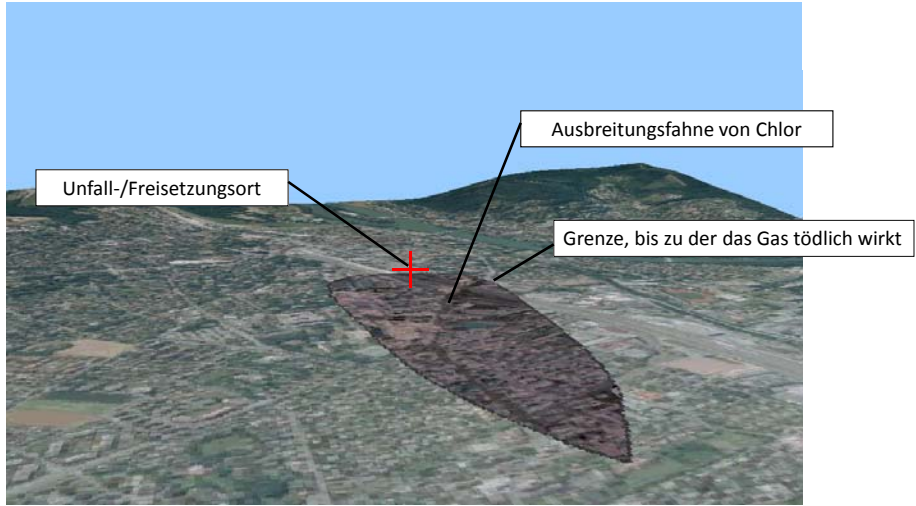
Verfügbarkeit (availability)

ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich eine Einheit zur Zeit t im funktionsfähigen Zustand befindet (einschl. Instandhaltung).

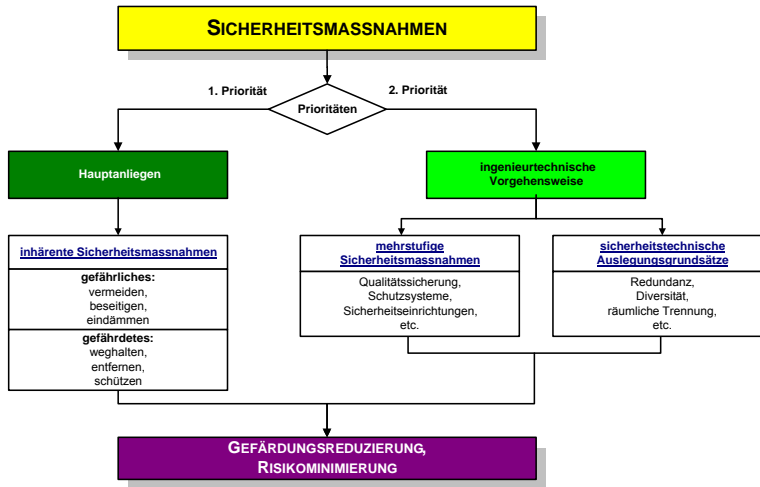
Ergebnisdarstellung



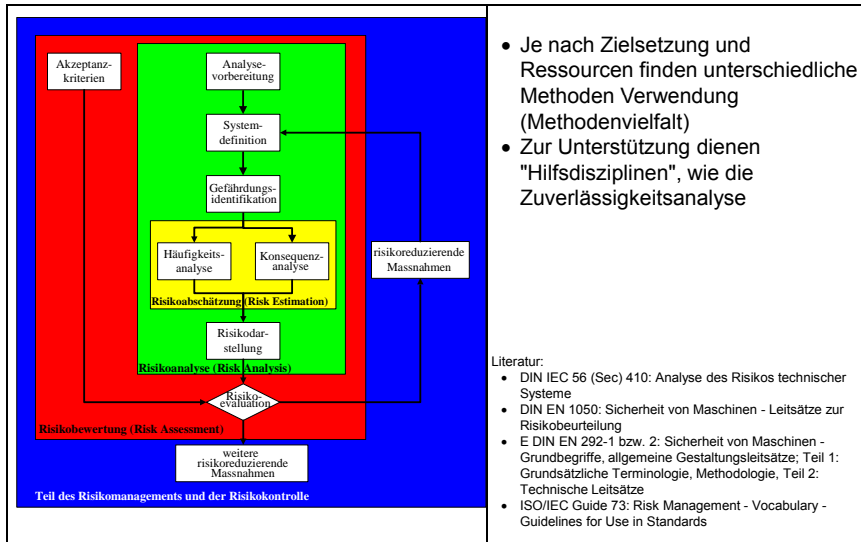
Ergebnisdarstellung (Forts.)



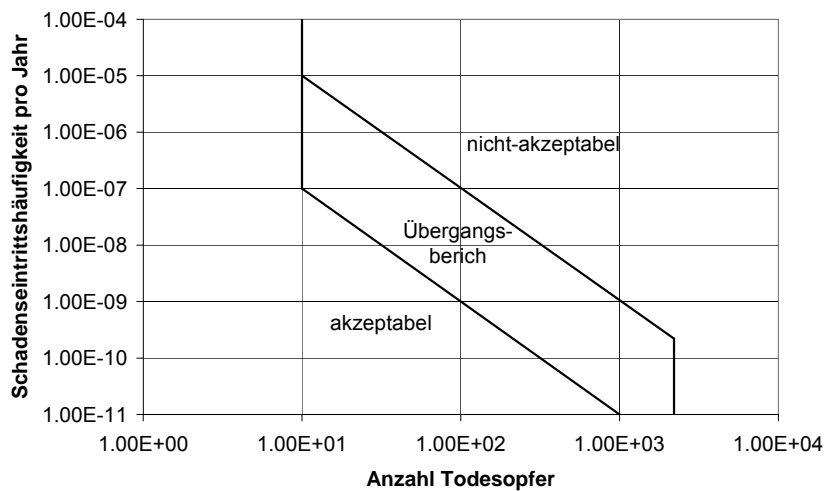
Sicherheitsorientiertes Vorgehen als Basis für Risikomanagement



Ablauf einer Risikoanalyse



Risikobewertung - Beispiel Grenzkurven



Quelle: Handbuch I zur Störfallverordnung

Relationship between terms: “Risk Analysis” and “Risk Management“

Risk Management ... <i>coordinated activity to direct and control</i>		
Risk Assessment		
Risk Analysis		
Source Identification... <i>potential for a consequence (= hazard)</i>		
Risk Estimation ... <i>events, prob., consequences</i>		
Risk Evaluation ... <i>against given risk criteria</i>		
Risk Treatment ... <i>selection and implementation of measures to modify risks</i>		
Risk Avoidance ... <i>decision not to become involved, or action to withdraw</i>		
Risk Optimization ... <i>process</i>		
Risk Transfer ... <i>burden sharing</i>		
Risk Retention ... <i>acceptance of burden/benefit ... unidentified risks</i>		
Risk Acceptance ... <i>decision (by whom?)</i>		
Risk Communication ... <i>sharing info between decision maker and other stakeholders</i>		

Quelle: ISO/IEC Guide 73

Analysevorbereitung

Klärung der Methodik, der Vorgehensweise, des Ressourcenrahmens

- Festlegung der Fragestellungen, z. B. Gefahrenermittlung, Ereignisabläufe und -häufigkeiten
- Zusammenstellung eines Analyseteams, der Verantwortlichkeiten, Arbeitsweise, etc.

Definition der Schutzziele

- Personen-, Umgebungs-, Umwelt- und Sachwertschutz
- Unterschreiten bestimmter Ereignishäufigkeiten, Risikozielvorgaben

Festlegung des Analyseobjektes

- Dokumentation des Analyseobjektes und seiner Systemgrenzen
- evtl. Einbeziehung der Ver- und Entsorgung einer Produktionsanlage („life cycle“)

Festlegung der zu berücksichtigender Systemzustände und Systemarten

- Normalbetrieb, An- und Abfahrvorgänge, Störungen/Störfälle, Stilllegung u.a.;
- Produktion, Transport, Lagerung

Analysevorbereitung (Forts.)

Festlegung der Analysetiefe

- Abschneidekriterium: Festlegen einer Grenze (Eintrittshäufigkeit), bis zu der Ereignisse und Ereignisabläufe verfolgt werden.

Festlegung zu berücksichtigender Einwirkungen

- Aus dem System heraus
technisches Versagen und/oder menschliches (Fehl-)Handeln
- Einwirkungen von aussen
natürliche (z.B. Erdbeben) und zivilisationsbedingte Ursachen (z.B. Flugzeugabsturz)

Systembeschreibung/Basisdaten

Systembegriff

- **generell:** Ein System ist eine Anordnung von Einheiten, die derart miteinander verbunden sind, dass sie ein Ganzes oder eine Ganzheit bilden.
- **technisch:** Ein System ist eine Anordnung physikalischer Komponenten, die derart miteinander verbunden sind, dass sie zusammen eine Einheit bilden oder als Einheit wirken und als solche eine Funktion erfüllen.

Systemgrenzen ~ Komplexität

Die Grenzen eines Systems sind nicht immer offensichtlich und gemäss Fragestellung und Betrachtungsebene zu definieren.

Beispiel: Bei (technischen) Grosssystemen, z.B. Industrieanlagen, sind die Grenzen undeutlich und mit anderen Systemen, z.B. der Umwelt, in nicht mehr vernachlässigbaren Masse verzahnt. Je nach Standort und Interessenlage ergeben sich unterschiedliche Systemgrenzen und somit unterschiedliche Analyseschwerpunkte.