Inhalte einer Risiko-Grobanalyse: umfassende Risikoanalyse für den Kanton Basel-Stadt

Autor(en): **Baumgartner, Walter / Muri, Erwin / Griesser, Jean-Claude**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 20

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-77103

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

stopft mit solchen Halbwahrheiten – sie machen eine gute Presse.

Man fragt sich dann: Wer spricht eigentlich für die Wissenschaft? Allzu oft habe ich von guten Wissenschaftern gehört, sie seien falsch zitiert worden. Dies ist, was üblicherweise geschieht. Und die übliche Reaktion ist, dass der falsch zitierte Wissenschafter nie wieder mit dem Berichterstatter sprechen wird. Das ist ein grosser Fehler. Weil wenn diejenigen in der Wissenschaft, die die Grundlagen und die Fragen der modernen Technologie verstehen, nicht die Initiative ergreifen und sorgfältig darüber nachdenken, wie man Sachen so formuliert, dass sie nicht nur korrekt sind, sondern auch glaubwürdig tönen, dann überlassen wir die Arbeit jenen, die weniger kompetent sind.

Schlussfolgerungen

Wenn wir nicht sicherstellen, dass diejenigen, die für die Wissenschaft sprechen, auch angesehene Wissenschafter sind, wenn wir nicht einmal aufstehen und für die Dinge sprechen, an die wir glauben, wenn wir uns nur in Schweigen hüllen, wenn die Nukleartechnik kritisiert wird, dann können wir die Schuld für die Schwierigkeiten, in denen wir stecken, nur uns selbst zuschreiben und sonst niemandem.

Wie lange ist es her, seit Sie einen guten Wissenschafter aufstehen sahen, um Ihnen zu sagen, wie gut die Kernenergie ist und welchen Segen wir der Nuklearwissenschaft zu verdanken haben? Werfen Sie einen Blick auf die Nuklearmedizin und auf die vielen Leben, die dank der Verwendung von Isotopen, von radioaktiven Instrumenten und Materialien in der Diagnose und der Therapie, gerettet werden konnten.

Es ist höchste Zeit, dass wir umkehren und das verzweifelte Händeringen ob der Tatsache, dass die Allgemeinheit die Kernenergie kritisiert, aufgeben und beginnen, die Technik und den Nutzen, den wir von diesen Kenntnissen gezogen haben, zu loben, weil wir von niemandem erwarten können, dass er es für uns tut. Entweder packen wir die Arbeit an und lernen, mit der Presse zu sprechen, oder wir müssen es weiterhin zulassen, dass Quacksalber alleine über die Medien verfügen. Dies ist eine Aufgabe, vor der wir uns nicht weiter drücken dürfen.

Adresse der Verfasserin: Dr. *Dixy Lee Ray*, selbständige Beraterin, c/o Scientists and Engineers for Secure Energy, 570 Seventh Avenue, Suite 1007, New York, New York 10018, USA.

Gekürzte Fassung eines Vortrages, gehalten an der ETH Zürich anlässlich einer Tagung über Kernenergie. Der englische Originaltext aller Vorträge erscheint bei American Nuclear Society unter dem Titel «Nuclear Energy Today and Tomorrow», herausgegeben von Z. Revesz und M. Todorovich.

Dr. Dixy Lee Ray war Vorsitzende der US Atomic Energy Commission, vollamtliche Professorin an verschiedenen Universitäten sowie Regierungschefin des US-Bundesstaates Washington.

Sicherheit und Risiko

Inhalte einer Risiko-Grobanalyse

Umfassende Risikoanalyse für den Kanton Basel-Stadt

Auslöser für die «Umfassende Risikoanalyse» war die Brandkatastrophe von Schweizerhalle am 1. November 1986. Neben den von der chemischen Industrie ausgehenden Risiken waren auch diejenigen von gefährlichen Stoffen in anderen Industrie- und Gewerbebetrieben, in Lagern und bei Transporten zu ermitteln werden. Kern der Phase 1 (1988 abgeschlossen) war eine Risiko-Grobanalyse zur raschen ersten Erfassung und Analyse der grössten Gefahrenpotentiale. Phase 2 (gegenwärtig in Bearbeitung) bezweckt die Vertiefung der Analyse und die Bereitstellung von Grundlagen für den vorsorglichen Katastrophenschutz gemäss Artikel 10 des Umweltschutzgesetzes.

VON WALTER BAUMGARTNER, ERWIN MÜRI UND JEAN-CLAUDE GRIESSER, ZÜRICH

In der Nacht vom 31. Oktober auf den 1. November 1986 brach im Südwestteil der Lagerhalle 956 der Sandoz AG in Schweizerhalle BL ein Brand aus. Innert Kürze erfasste er das ganze 90 × 50 × 8 m messende Gebäude. Dank einem Grosseinsatz der Feuerwehr – der Lösch- und Kühlwassereinsatz erreichte bis zu 25 000 Liter pro Minute – konnte das Feuer gelöscht werden, ohne dass es auf die benachbarten Lager 946, 947 und vor allem auf das Natrium enthaltende Lager 955 übergreifen konnte.

Als wahrscheinlichste Brandursache wurde das «Schrumpfen der Berlinerblau-Paletten» bezeichnet [1]: In Papiersäcke abgefülltes Berlinerblau wird mit einer Plastikfolie überzogen. Dabei wird mittels einer Schrumpfpistole (ein Gasbrenner mit offener Flamme) die Folie gespannt, bzw. zum Schrumpfen gebracht. Schon bei nur kurzem Verweilen der Flamme an der gleichen Stelle besteht die Möglichkeit einer Beschädigung der Folie und der Entzündung des Berlinerblaus. Brandversuche zeigen, dass so entzündetes Berlinerblau über Stunden unbemerkt glimmen kann.

Sieht man von vereinzelt aufgetretenen Atembeschwerden und von Geruchsbelästigungen ab, kamen durch das Feuer keine Menschen physisch zu Schaden. Die psychologischen Wirkungen hingegen waren enorm. Und schliesslich muss der Brand als eine eigentliche Umweltkatastrophe bezeichnet werden: Da Rückhaltebecken fehlten, gelangten mit dem Löschwasser grosse Mengen giftiger Chemikalien in den Rhein, die auf weite Strecken fast alles tierische Leben zum Verschwinden brachten.

Ob die Katastrophe von Schweizerhalle hätte vermieden werden können, scheint müssig zu fragen. Im nachhinein ist man immer klüger. Jedenfalls wurde «Schweizerhalle» für eine Reihe von Kantonen und Gemeinden zum Anlass, ihre Katastrophenvorsorge neu zu überdenken. Auch auf Bundesebene dürfte «Schweizerhalle» die Erarbeitung der sich auf Artikel 10 des Umweltschutzgesetzes stützenden «Störfall-Verordnung» wesentlich beschleunigt haben: In Kürze wird ein Verordnungsentwurf in Vernehmlassung gehen.

Dass die Region Basel mit einer Vielzahl von Chemieanlagen bei der Aufarbeitung der Katastrophe von Schweizerhalle besonders gründlich und schnell vorgehen würde, erstaunt nicht. In beiden Basel wurden nur wenige Tage nach der Katastrophe Spezielle Ausschüsse eingesetzt, die sich mit den verschiedensten Aspekten des Katastrophenschutzes zu befassen hatten. Insbesondere sollte untersucht werden, ob vor dem Hintergrund der jüngsten Ereignisse und der kommenden bundesrechtlichen Regelung der Katastrophenvorsorge Massnahmen zum besseren Schutz von Mensch und Umwelt zu ergreifen sind.

In diesem Zusammenhang hat der Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt beschlossen, eine «Umfassende Risikoanalyse» für das Kantonsgebiet durchführen zu lassen. Diese sollte sich nicht nur auf die chemische Industrie im engeren Sinn beschränken, sondern auch die übrigen Industrie- und Gewerbebetriebe, Lagerstätten und insbesondere die Transporte von gefährlichen Stoffen einbeziehen. Im Rahmen des Speziellen Ausschusses Basel-Stadt wurde zur Begleitung der Planung und Durchführung der Untersuchungen eine verwaltungsexterne «Arbeitsgruppe Risikoanalyse (AGRA)» gebildet. Die Gesamtprojektleitung lag in den Händen des Ingenieurbüros Basler & Hofmann.

Die Umfassende Risikoanalyse wurde in zwei Phasen aufgeteilt (vgl. Bild 1): Kern der Anfang 1988 abgeschlossenen Phase 1 bildet eine Risiko-Grobanalyse. Die sich über rund ein halbes Jahr erstreckenden Arbeiten bezweckten die rasche, erste Erfassung und Analyse der grössten Gefahrenpotentiale auf Kantonsgebiet. Mit der vor kurzem begonnenen Phase 2 wird die Vertiefung und Vervollständigung der Analyse und die Bereitstellung von Unterlagen und Instrumenten für den Vollzug von Artikel 10 des Umweltschutzgesetzes zum vorsorglichen Katastrophenschutz angestrebt. Während sich die Risiko-Grobanalyse auf die gefährlichen «chemischen» Stoffe beschränkte, sollen nun auch die von Bauwerken und ihren Nutzungen ausgehenden Gefahren ebenso einbezogen werden wie die biologischen und radiologischen Gefahrenquellen.

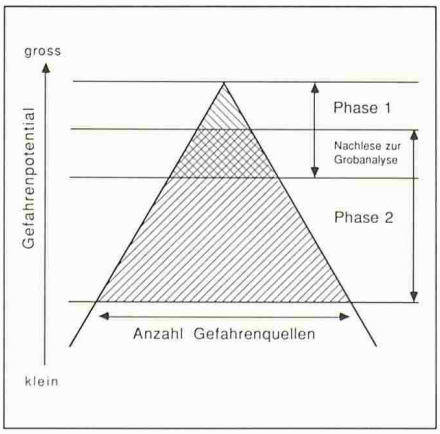


Bild 1. Die Risiko-Grobanalyse bezweckte die erste, grobe Erfassung der grössten Gefahrenpotentiale auf baselstädtischem Gebiet; mit der Phase 2 wird eine Vertiefung und Vervollständigung der Analyse angestrebt

Die vorliegenden Ausführungen fassen Problemstellung und Resultate der Risiko-Grobanalyse im Einverständnis mit dem Auftraggeber zusammen. Der Schlussbericht zur Risiko-Grobanalyse bildet hierzu die Basis [2].

Was ist eine umfassende Risikoanalyse?

Eine umfassende Risikoanalyse hat zum Ziel, einen Überblick über die zu einem bestimmten Zeitpunkt bestehenden Einzelrisiken und ihre Wechselwirkungen (Vernetzung) in einem bestimmten Untersuchungsgebiet zu geben. Sie dient den Behörden als Grundlage für den Entscheid, ob von den Risikoverursachern Massnahmen zur Risikoreduktion zu verlangen sind oder nicht.

«Umfassend» bedeutet dabei, dass die Analyse nicht nur die von chemischen Substanzen ausgehenden Gefahren, sondern weitere Gefahren erfassen und analysieren will.

Ein zentrales Problem betrifft die anzustrebende Vollständigkeit bezüglich der zu ermittelnden Gefahrenquellen. Dies hat mit dem flächendeckenden Aspekt der Analyse zu tun: Das Untersuchungsgebiet, das ein einzelnes Industriequartier, eine grössere Industriezone, aber auch eine ganze Stadt sein kann, soll mit Blick auf die vorkommenden Gefahrenquellen systematisch durchgekämmt werden. Die geforderte Vollständigkeit wird dadurch erreicht, dass ausgehend von den grössten Risiken zu immer kleineren fortgeschritten wird. «Vollständig» heisst also *im Rahmen eines systematischen Vorgehens vollständig bis zu einer bestimmten Risikogrösse.* Aber selbst mit diesen Einschränkungen ist nicht auszuschliessen, dass etwas übersehen wird. Die Grösse dieses Risikos kann aber abgeschätzt werden.

Aus dem bisher Gesagten lassen sich – teils rekapitulierend, teils ergänzend – einige allgemeine Forderungen an die Methodik einer umfassenden Risikoanalyse ableiten:

(1) Die Methodik muss es erlauben, mit grosser Wahrscheinlichkeit jene Risiken herauszufinden, die klarerweise nicht akzeptabel sind und damit eliminiert oder reduziert werden müssen.

(2) Eine wesentliche Forderung betrifft die Vergleichbarkeit der Analyseresultate: Verschiedene Gefahrenquellen erfordern gegebenenfalls verschiedene Analysemethoden, die Analyseresultate müssen sich aber an einem gemeinsamen Risiko-Massstab messen lassen können. Nur so ist eine faire Bewertung der ermittelten Risiken möglich.

(3) Einer möglichen Vernetzung verschiedener Gefahrenquellen muss ausdrücklich Rechnung getragen werden.

(4) Die Analysemethodik muss einfach und pragmatisch sein: Bei der Vielzahl der zu untersuchenden, sich z.T. sehr kurzzeitig verändernden Gefahrenquellen kommen von den grössten Gefahrenpotentialen abgesehen keine «vollprobabilistischen» Analysen in Frage. Die Methodik muss aber die Resultate solcher Analysen in einem noch zu präzisierenden Sinn berücksichtigen.

(5) Die Methodik soll Aussagen über das mutmassliche Ausmass der nicht erfassten Risiken zulassen («Risikoanalyse der Risikoanalyse»).

(6) Eine umfassende Risikoanalyse ist nie fertig. Die Tiefe der Analyse kann beliebig vergrössert und die Vollständigkeit der Datenerhebung immer verbessert werden. Zudem verändern sich Risiken: Neue Risiken entstehen, alte verschwinden oder verringern sich (beispielsweise als Folge von getroffenen Massnahmen). Deshalb müssen den Behörden im Hinblick auf den Vollzug von Artikel 10 des Umweltschutzgesetzes über den Katastrophenschutz die geeigneten Mittel für eine fortlaufende Aktualisierung der Analyse(n) in die Hand gegeben werden.

(7) Die Analyseresultate müssen in einer auch für den Nichtfachmann verständlichen Form darstellbar sein; nur so können sie die Basis für eine öffentliche Akzeptanz-Diskussion bilden.

Im Rahmen der Zielsetzungen für die Risiko-Grobanalyse wurde diesen Forderungen in unterschiedlichem Masse entsprochen. Während der erste Punkt mit gewissen Einschränkungen als erfüllt gelten darf, wird den nachfolgenden Punkten nur zum Teil entsprochen, dem Punkt (5) über die «nicht erfassten Risiken» gar überhaupt nicht. Mit der Phase 2 der Umfassenden Risikoanalyse sollen die genannten Forderungen bestmöglich erfüllt werden.

Vorgehen

Das grundsätzliche Vorgehen für die Analyse von Gefahrenquellen im Rah-

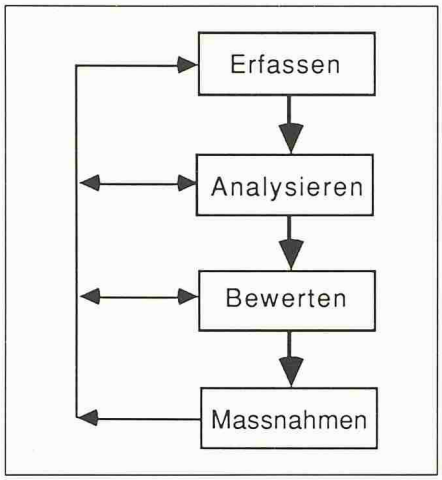


Bild 2. Die wichtigsten Vorgehensschritte zur Durchführung einer Risikoanalyse. Die dicken Pfeile markieren den «Standardablauf»

men einer Risikoanalyse gliedert sich in die vier Schritte:

- Erfassung,
- Analyse und
- Bewertung von Risiken sowie die
- Definition von Massnahmen zur Risikoverminderung (vgl. Bild 2).

Dieses Vorgehen hat sich bewährt. Es ist flexibel und erlaubt die Anpassung an die spezifischen Umstände der zu untersuchenden Gefahrenquelle(n). Insbesondere kann man jederzeit auf einen früheren Bearbeitungsschritt zurückkommen, wenn dies aus irgendwelchen Gründen nötig sein sollte. So kann es sich aufdrängen, nach einer vorläufigen Definition von Massnahmen zur Risikoverminderung neue Basisdaten zu erfassen, um die zu treffenden Massnahmen weiter zu konkretisieren und in einem zweiten Analysedurchgang die unterstellte (oder erhoffte) Wirkung dieser Massnahmen zu erhärten. Es ist nämlich nicht auszuschliessen, dass sich Massnahmen zur Risikoverminderung bei genauerer Analyse der «Nebenwirkungen» als weniger wirksam als vorausgesehen erweisen oder gar zu einer Erhöhung des Gesamtrisikos führen können. Der letzte Fall kann dann eintreten, wenn allzu effiziente Sicherheitsmassnahmen nach wie vor bestehende Gefahren für die Beteiligten «unsichtbar» machen und sie so zu einem zu sorglosen Umgang mit diesen Gefahren verleiten. Ein Beispiel liefert das Antiblockiersystem für Personenwagen, das nur dann zu mehr «Gesamtsicherheit» führt, wenn der Fahrzeuglenker dank der grösseren technischen Sicherheit nicht zu einer riskanteren Fahrweise verleitet wird [3].

GLOSSAR

Sicherheit	Gewissheit, vor Gefahr(en) geschützt zu sein («Leib und Leben», aber auch hinsichtlich materieller Güter)
Risiko (im allgemeinen Sinn)	Möglichkeit, einen Schaden zu erleiden; Gefahr
Risiko (im engeren Sinn)	Mass für die Grösse einer Gefahr; Funktion von Wahrscheinlichkeit eines schädigenden Ereignisses und Schadenausmass
Akzeptierbares Risiko (Akzeptables Risiko)	Risikowert, der im normativen Sinn für zumutbar erklärt wird (z. B. im Rahmen eines gesellschaftspolitischen Meinungsbildungsprozesses)
Akzeptiertes Risiko	Risiko, das unwidersprochen hingenommen wird
«Objektives» Risiko	Aufgrund eines Tatbestandes mit wissenschaftlichen Methoden feststellbares Risiko
«Subjektives» Risiko	Subjektive Einschätzung der Grösse eines Risikos oder einer Gefahr
Individuelles Risiko	Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum einen bestimmten Schaden erleidet
Kollektives Risiko	Risiko, bzw. Schadenerwartung eines Kollektivs
Freiwilliges Risiko	Risiko, welches freiwillig eingegangen wird (z. B. Klettern)
Aufgezwungenes Risiko (unfreiwilliges Risiko)	Risiko, welchem ein Individuum oder ein Kollektiv ohne eigene Einflussnahme ausgesetzt wird
Restrisiko	Nach Berücksichtigung aller getroffenen Sicherheitsmassnahmen verbleibendes Risiko
Risiko-Aversion	Subjektive Abneigung gegenüber einem Schadenereignis von Katastrophencharakter
Risiko-Analyse	Ermittlung oder Abschätzung eines Risikos mit wissenschaftlichen Methoden, insbesondere der Wahrscheinlichkeit eines schädigenden Ereignisses und des Schadenausmasses
Risiko-Bewertung	Wertung eines Risikos bzw. einer Gefahrensituation aufgrund gesellschaftspolitischer Gesichtspunkte (z. B. im Hinblick auf die Festlegung akzeptierbarer Grenzen)
Schadenpotential	Maximal denkbares Schadenausmass *(Red.)*

1. Schritt: Erfassung

Grundsätzlich definiert jeder im Untersuchungsgebiet vorhandene «gefährliche» Stoff eine Gefahrenquelle. Selbstverständlich wird man sich bei der Untersuchung aber auf jene Gefahrenquellen beschränken, von denen ein festzulegendes Mindestmass von Gefahr ausgeht. Aus methodischen Gründen wird man diese Gefahrenquellen aber nicht alle einzeln untersuchen, sondern in sogenannte *Untersuchungseinheiten* zusammenfassen. Diese können stationär (beispielsweise ein Brandabschnitt eines Lagers) oder mobil (beispielsweise ein bestimmter Transport eines bestimmten gefährlichen Stoffes) sein.

Untersuchungseinheiten sollen klar definierte Systemgrenzen haben. Sie sind so festzulegen, dass die in in diesen Grenzen ablaufenden Prozesse eine sinnvolle Einheit bilden und in ihrer Gesamtheit bezüglich der Risiken untersucht werden können. Damit wird der möglichen Vernetzung verschiedener Gefahrenquellen innerhalb einer Untersuchungseinheit Rechnung getragen.

Im Rahmen der Risiko-Grobanalyse wurden für die Festlegung der stationären Untersuchungseinheiten mittels einer Expertenumfrage in einem ersten Schritt jene Betriebe ausgewählt, bei denen mutmasslich mit den grössten Risiken auf baselstädtischem Gebiet zu rechnen war. Für jeden dieser Betriebe wurden in einem zweiten Schritt teils von den Betreibern, teils von der Projektleitung bis maximal 12 Untersuchungseinheiten definiert, die innerhalb dieser Betriebe die vermutlich grössten Risiken beinhalten. Dieses Vorgehen erlaubte es, mit ausreichender Wahrscheinlichkeit die grössten Risiken auf Kantonsgebiet zu identifizieren. Für jede der so definierten Untersuchungseinheiten war von den Betreibern ein ausführlicher Fragebogen auszufüllen. Sie hatten Angaben zu machen über das Stoffinventar, Stoffeigenschaften, ablaufende Prozesse, Sicherheitsvorkehren usw. Diese Angaben wurden von der Projektleitung unter Beizug externer Experten überprüft, wenn nötig korrigiert und durch eine Begehung vor Ort verifiziert.

Die Festlegung der mobilen Untersuchungseinheiten erfolgte grundsätzlich in analoger Weise. Da stoffspezifisch weder die transportierten Mengen noch die Verteilung auf die verschiedenen Transportwege und -kategorien genü-

«Branche»	Zahl der Untersuchungseinheiten
Chemie	29
Bahnhöfe	12
Häfen	11
Weitere Betriebe	3
Transporte	66
total	121

Tabelle 1. Aufteilung der Untersuchungseinheiten nach Branchen

gend bekannt waren, zielte die Erfassung nicht nur auf die Ermittlung der mutmasslich grössten Risiken, sondern auf die Analyse von «typischen», in einem bestimmten Zeitraum effektiv durchgeführten Transporten von gefährlichen Stoffen. Die Art und die Anzahl der so definierten Untersuchungseinheiten war damit zufällig, ergab aber dennoch einen repräsentativen Querschnitt. Insgesamt wurden 121 Untersuchungseinheiten definiert (vgl. Tabelle 1).

2. Schritt: Analyse

Was ist Risiko?

Vor der eigentlichen Analysearbeit muss der Risikobegriff geklärt werden. Weiter oben wurde schon verschiedentlich von Risiken gesprochen und dabei an ein intuitives Vorverständnis des Lesers appelliert. Tatsächlich werden dem Begriff Risiko sehr unterschiedliche Bedeutungen beigemessen, was nur zu oft zu Missverständnissen führt. Nach der für die Umfassende Risikoanlyse Basel-Stadt verwendeten Risikodefinition (vgl. auch Glossar im Kästchen) bestimmt sich das Risiko durch drei Arten von Informationen, nämlich:

- eine Beschreibung der möglichen Ereignisabläufe (d.h. ausgehend von den auslösenden Ereignissen über die Folgeereignisse bis zu den durch die Vernetzung ausgelösten Ereignissen),
- eine Quantifizierung der damit verbundenen möglichen Schadenswirkungen (ausgedrückt in den jeweils «passenden Einheiten»: Anzahl Opfer, verschmutzte Grundwassermengen, Wiedergutmachungskosten usw.) sowie
- die Angabe der zugehörigen Wahrscheinlichkeiten.

Risiko wird hier also nicht als Erwartungswert des möglichen Schadens verstanden, sondern - umfassender - als eine möglichst vollständige, objektive Beschreibung aller die Gefahrensituation bestimmenden Aspekte. Damit ist im allgemeinen kein natürlicher Grössenmassstab für Risiken gegeben. Welches von zwei verschiedenen Risiken das «grössere» ist, kann faktisch nur auf Grund einer (subjektiven) Bewertung entschieden werden. Man kann selbstverständlich feststellen, dass der Erwartungswert einer bestimmten Schadensart (beispielsweise Anzahl Verletzte je Zeiteinheit) bei der Gefahrenquelle A grösser oder kleiner als bei der Gefahrenquelle B ist. Wenn aber beispielsweise bei A weitere Schadensarten von Bedeutung sind (z.B. verseuchtes Grundwasser), so stellt sich ein Bewertungsproblem: Je nachdem, wie man das verseuchte Grundwasser gegenüber den verletzten Personen gewichtet, kann das Risiko der Gefahrenquelle A oder dasjenige der Gefahrenquelle B grösser sein. Selbst bei numerisch identischen Erwartungswerten der möglichen Schadensausmasse können zwei verschiedene Gefahrenquellen bezüglich ihrer Risiken sehr unterschiedlich eingeschätzt werden (Stichwort: der seltene Grossunfall gegenüber den häufigen Kleinunfällen).

Eine gemäss obiger Definition vollständige («vollprobabilistische») Analyse des mit einer bestimmten Untersuchungseinheit verbundenen Risikos würde unter anderem darin bestehen, für alle möglichen Ereignisabläufe die Auswirkungen und die zugehörigen Eintretenswahrscheinlichkeiten zu ermitteln. Die linke Grafik in Bild 3 zeigt das Resultat einer solchen Analyse in Form eines «Risikospektrums» für eine ausgewählte Schadensart (beispielsweise Wiedergutmachungskosten): Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeit W(A) für das Auftreten irgendeines Ereignisablaufs mit Auswirkungen, die grösser oder gleich A sind.

Das Risikospektrum fasst also ganz unterschiedliche Ereignisabläufe in einem einzigen Bild zusammen. Es zeigt sich, dass die möglichen Auswirkungen innerhalb einer Schadensart für ein und dieselbe Untersuchungseinheit sehr unterschiedlich gross sein können. In der Regel werden die grossen Auswirkungen allerdings viel weniger wahrscheinlich sein als die kleinen Auswirkungen.

Analyseansatz

Die Ermittlung von Risiken beruht grundsätzlich auf folgendem Analyseansatz (vgl. Bild 4): Eine Gefahrenquel-

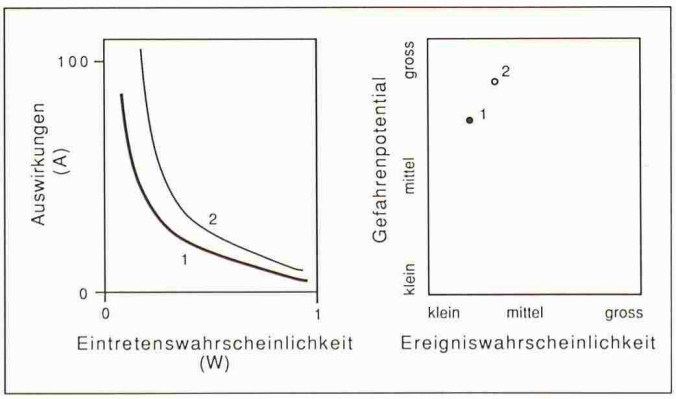


Bild 3. Gegenüberstellung der Resultate einer «vollprobabilistischen» (links) und einer «pragmatischen» (rechts) Risikoanalyse am Beispiel von zwei verschiedenen Untersuchungseinheiten (im Bild mit «1» und «2» bezeichnet). Bei einer «vollprobabilistischen» Analyse wird für jede Untersuchungseinheit und jede relevante Schadenskategorie das ganze Spektrum von Auswirkungen A (gemessen in passenden Einheiten) und Eintretenswahrscheinlichkeiten W(A) bestimmt. Bei einer «pragmatischen Analyse», wie hier bei der Risiko-Grobanalyse, werden nur Gefahrenpotentiale und Ereigniswahrscheinlichkeiten bestimmt

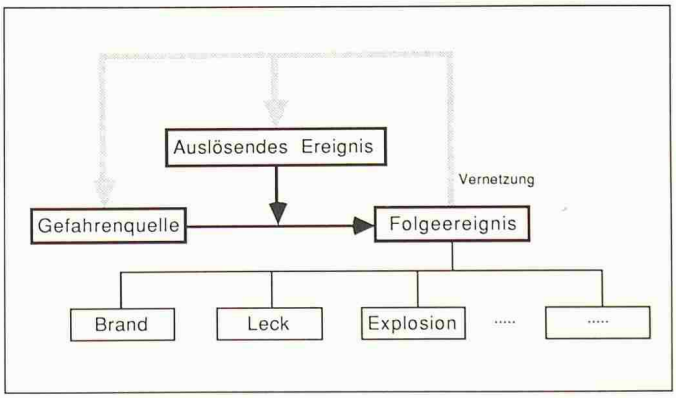


Bild 4. Allgemeiner Ansatz für die Durchführung von Risikoanalysen. Das Bild zeigt die Verknüpfung von Gefahrenquellen, auslösenden Ereignissen und Folgeereignissen

le wird durch ein auslösendes Ereignis (beispielsweise durch ein Erdbeben, durch Sabotage oder durch eine Fehlmanipulation) «wirksam», woraus ein Folgeereignis (beispielsweise eine Explosion) resultiert. Das Folgeereignis kann selbst neue Gefahrenquellen erzeugen (beispielsweise Entstehen weiterer, vorher nicht vorhandener giftiger Substanzen) oder andere benachbarte Gefahrenquellen auslösen (Vernetzung).

Im Rahmen der Risiko-Grobanalyse wurden nur Vernetzungen innerhalb einer Untersuchungseinheit berücksichtigt. Zudem beschränkte man sich auf die Folgeereignisse Brand, Leck (Freisetzung) und Explosion. Bei den Schadensarten wurde nur nach toxischen Wirkungen, Brandwirkungen und Explosionswirkungen differenziert. Diese beziehen sich ausschliesslich auf den Menschen.

Für jede Untersuchungseinheit wurde im Sinne einer pragmatischen Verkürzung einer vollprobabilistischen Analyse für jede der drei Schadensarten separat das «Gefahrenpotential» und die «Ereigniswahrscheinlichkeit» bestimmt, d.h. anstelle des Risikospektrums lediglich ein repräsentativer Punkt in der Risikomatrix ermittelt (vgl. Grafik rechts in Bild 3).

Das Gefahrenpotential ist ein semiquantitatives Mass für die «Gefährlichkeit» einer bestimmten Anlage, eine Art Note, ähnlich den Giftklassen 1 bis 5 bei toxischen Substanzen. Es bestimmt sich aus den Stoffmengen, den Stoffeigenschaften und weiteren Eigenschaften der Untersuchungseinheit. Das Gefahrenpotential kann als ein Mass für den «maximal möglichen Schaden» aufgefasst werden, wie er – unabhängig von der Wahrscheinlichkeit – eintreten kann.

Zur Bestimmung des Gefahrenpotentials einer Untersuchungseinheit werden aus den dauernd oder nur zeitweise vorhandenen Stoffen verschiedene Stoffklassen gebildet (beispielsweise toxisch/gasförmig, brennbar/fest usw.).

Ein einzelner Stoff (oder eine Menge von Stoffen) kann dabei in mehreren Klassen gleichzeitig liegen. Alle in der betrachteten Untersuchungseinheit vorhandenen Stoffklassen erhalten bezüglich der Einflussfaktoren «Menge», «Reaktivität der Stoffe» (inkl. Vernetzung innerhalb der Untersuchungseinheit), «Aggregatzustand», «Ausbreitungsfaktor», «Toxizität», «Explosivität» und «Brennbarkeit» je eine Note. Diese Noten beruhen teils auf quantitativen Abstufungen (beispielsweise bei der Menge), teils auf qualitativen (beispielsweise bei der Reaktivität der Stoffe). Anschliessend werden diese Noten

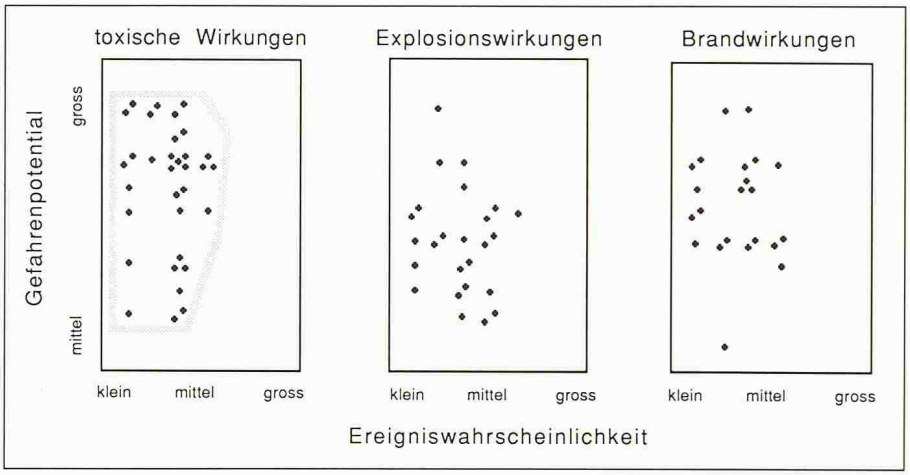


Bild 5. Analyseresultate für die chemische Industrie. Jedes Symbol repräsentiert eine Untersuchungseinheit. Die Umhüllende bei den toxischen Wirkungen gibt den Bezug zur Gesamtübersicht in Bild 6

mittels einfacher Matrizen zu einer «Gesamtnote» für das Gefahrenpotential kombiniert (Matrixverfahren). Weitere Einzelheiten finden sich im Schlussbericht zur Risiko-Grobanalyse [2].

Die Ereigniswahrscheinlichkeit ist ein Mass für die Eintretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen. Sie bestimmt sich durch die Wahrscheinlichkeit der auslösenden Ereignisse, durch die strukturellen Eigenschaften der Untersuchungseinheit, die Massnahmen, die präventiv das Eintreten eines ausserordentlichen Ereignisses verhindern sollen und durch jene Massnahmen, die nach Eintreten eines auslösenden Ereignisses oder eines Folgeereignisses wirksam werden. Ähnlich wie im Falle des Gefahrenpotentials werden diese Einflussfaktoren zunächst einzeln benotet und hernach zu einer Gesamtnote für die Ereigniswahrscheinlichkeit kombiniert.

Das Verfahren zur Ermittlung von Gefahrenpotentialen und Ereigniswahrscheinlichkeiten beruht auf einer von Prof. *P. Bützer* entwickelten Methodik [4]. Es wurde mit Vertretern der chemischen Industrie eingehend besprochen und vorgängig getestet. Die Einfachheit des Verfahrens erlaubte dessen Integration in die Fragebögen, die im Rahmen der Erfassung an die Betreiber von Anlagen mit gefährlichen Stoffen versandt wurden.

Resultate

Die Darstellung der ermittelten Gefahrenpotentiale und Ereigniswahrscheinlichkeiten erfolgt differenziert nach den drei Typen von Wirkungen: Jede Untersuchungseinheit wird durch einen Punkt mit den «Koordinaten» Gefahrenpotential und Ereigniswahrscheinlichkeit repräsentiert (vgl. Bild 5 für die chemische Industrie). Die Noten für die Gefahrenpotentiale und die Ereigniswahrscheinlichkeiten werden in die Kategorien «klein», «mittel» und «gross» aufgeteilt. Entsprechend der Zielsetzung der Risiko-Grobanalyse beschränkt sich die Darstellung der Resultate auf Untersuchungseinheiten mit mittleren und grossen Gefahrenpotentialen. Aus Gründen des Daten- und Sabotageschutzes werden die einzelnen Untersuchungseinheiten in den Bildern nicht identifiziert.

Beispielhaft folgen einige Angaben über Stoffe und Mengen in der chemischen Industrie (Stand Sommer 1987):

Die wichtigsten der gefährlichen verflüssigten Gase sind Chlor, Ethylenoxid, Fluorwasserstoff und Phosgen. Letzterer kommt in einer Menge von einigen Tonnen vor, die andern Stoffe in Mengen, die bis zehnmal grösser sind. Wasserstoff wird in gasförmigem Zustand unter hohem Druck in Mengen von einigen hundert Kilogramm aufbewahrt. Bei den gefährlichen flüssigen Stoffen stehen Brom, Cyanurfluorid und Dimethylsulfat mit Mengen von über zehn Tonnen im Vordergrund. Die wichtigsten und am häufigsten vertretenen Lösungsmittel, Säuren und Laugen sind Toluol, Methanol, Oleum, Chlorsulfonsäure, Bromwasserstoffsäure und Natronlauge. Von einzelnen dieser Flüssigkeiten finden sich in grossen Tanklagern über oder unter dem Boden bis mehrere hundert Tonnen, kleinere Mengen in Betriebstanklagern.

Bild 6 gibt eine Gesamtübersicht über Gefahrenpotentiale und Ereigniswahrscheinlichkeiten bezüglich der toxischen Wirkungen. Für die Branchen Chemie, Transporte sowie zusammengenommen Bahnhöfe, Häfen und weitere Betriebe sind zur Verdeutlichung nur die Umhüllenden eingezeichnet. Daraus ergibt sich, dass Chemie und Transporte bezüglich der Gefahrenpo-

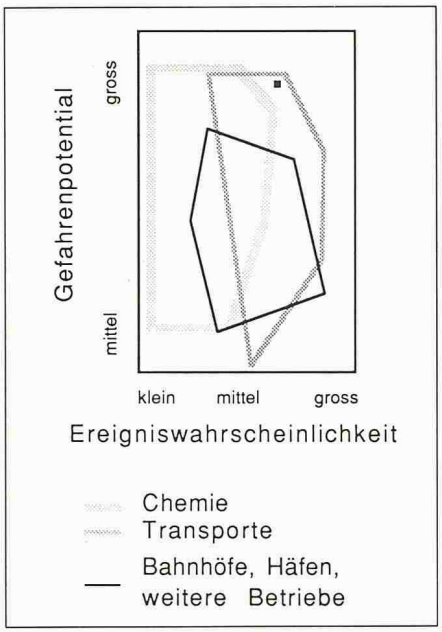


Bild 6. Gesamtübersicht über Gefahrenpotentiale und Ereigniswahrscheinlichkeiten bezüglich toxische Wirkungen. Der Punkt bezeichnet den im Text geschilderten Fall eines Chlorkesselwagens mit 15 Tonnen Chlor

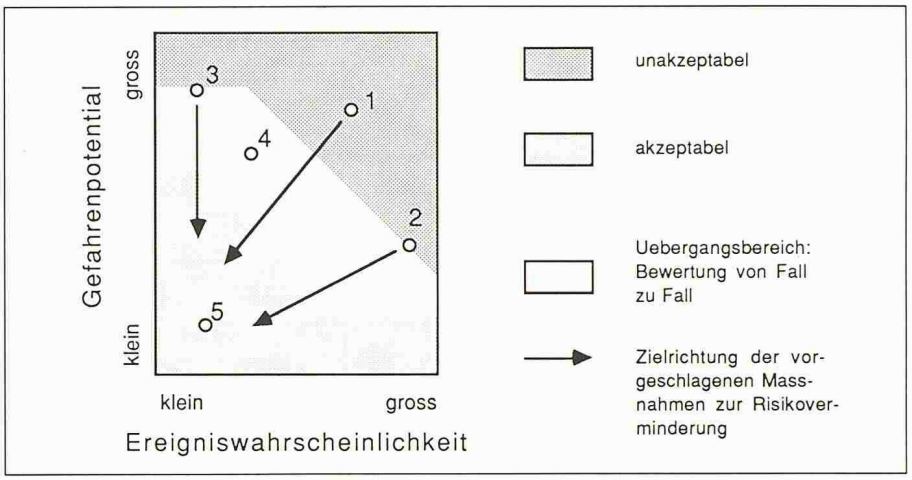


Bild 7. Ansatz für die Risikobewertung im Rahmen der Risiko-Grobanalyse. Die markierten Positionen entsprechen den fünf Typen von Empfehlungen (vgl. Text)

tentiale einen ähnlichen Bereich umfassen, hingegen liegen die Transporte bei der Ereigniswahrscheinlichkeit deutlich schlechter. Bahnhöfe, Häfen und weitere Betriebe zeigen ähnliche Ereigniswahrscheinlichkeiten wie die Transporte, die Gefahrenpotentiale erreichen aber nicht deren Höhe. Diese relative Einordnung der Branchen bezieht sich ausdrücklich auf den Kanton Basel-Stadt; in andern Kantonen können die Verhältnisse anders sein.

Interpretation

Zur Interpretation dieser Resultate wurden für die grössten Gefahrenpotentiale mit einfachen Ausbreitungsrechnungen die Auswirkungen bei einem «schlimmstmöglichen», aber nicht apokalyptischen Ereignis abgeschätzt («realistic worst case scenario»). Bei den toxischen Stoffen betrafen diese Abschätzungen einen Chlorkesselwagen, ein Ethylenoxidlager, die Verwendung von Phosgen in einem pharmazeutischen Produktionsbetrieb, eine Cyanurfluoridanlage, ein Chlorsulfonsäurelager und eine mit Ammoniak betriebene Kälteanlage. Bei den explosiven und brennbaren Stoffen wurden ein Ethylenoxid- und ein Wasserstofflager, ein Propan/Butan-Tankwagen und ein grosses Benzintanklager untersucht. Die Untersuchungsergebnisse sollen am Beispiel eines Chlorkesselwagens (vgl. dessen Position in Bild 6) veranschaulicht werden.

Bei einer Zugskollision werde ein Kesselwagen mit 15 Tonnen verflüssigtem Chlor so stark beschädigt, dass innert 15 Minuten 5 Tonnen Chlor verdampfen. Eine weitere Freisetzung von Chlor werde durch die inzwischen eingetroffene Feuerwehr verhindert. Aus den Ausbreitungsrechnungen folgt, dass unter diesen Annahmen eine Chlorgaswolke entsteht, die je nach Wind- und Wetterverhältnissen auf eine Distanz von mehreren zehn bis einigen hundert Metern schon nach kürzester Expositionszeit zum Tode führen kann.

Die Abschätzungen der möglichen Auswirkungen für die grössten Gefahrenpotentiale zeigten, dass für Mensch und Umwelt im Raum Basel unter bestimmten Bedingungen (beispielsweise bezüglich Wetterlage) eine substantielle Gefahr besteht. Sie zeigten auch, dass im Falle eines schlimmstmöglichen Ereignisses (im obigen Sinn) die toxischen Auswirkungen im allgemeinen grösser sind als die Brand- und Explosionswirkungen. Deshalb können die entsprechenden Gefahrenpotentiale nicht direkt miteinander verglichen werden – auch wenn sie in den Risikomatrizen auf gleicher Höhe eingetragen sind.

Die bei diesen Untersuchungen gewonnenen Einsichten dienten nicht nur zur Interpretation der ermittelten Gefahrenpotentiale; sie bildeten auch die Grundlage für die Empfehlung von Massnahmen. Schliesslich lieferten sie auch eine Plausibilisierung der relativen Einordnung der verschiedenen Untersuchungseinheiten bezüglich ihrer Gefahrenpotentiale.

3. Schritt: Bewertung

Für die Bewertung von Risiken bestehen zurzeit noch keine allgemein akzeptierte oder vom Gesetzgeber zwingend vorgeschriebene Kriterien (vgl. Schlussbericht der Arbeitsgruppe Risikoanalyse [7]). Deshalb musste die Projektleitung eigene, provisorische Kriterien definieren.

Bei der Bewertung im Rahmen der Risiko-Grobanalyse ging es um eine erste, provisorische Einschätzung der ermittelten Risiken ohne Bezugnahme auf allfällige Nutzenüberlegungen. Bewertungskriterium war die Möglichkeit von Todesfällen ausserhalb der Betriebsgrenzen.

Die Bewertung ist in zwei Fällen einfach: Oberhalb einer gewissen Schranke für das Gefahrenpotential wird man keine Gefahrenquellen tolerieren – auch wenn die Ereigniswahrscheinlichkeiten klein sind –, und unterhalb einer «Unbedenklichkeitsschwelle» wird man alle Risiken akzeptieren (vgl. Bild 7). Im Zwischenbereich wird man den Bereich der akzeptierbaren bzw. nicht akzeptierbaren Risiken im Hinblick auf die Ereigniswahrscheinlichkeit zu definieren versuchen, wobei ein Übergangsbereich verbleibt, bei dem die Bewertung unklar oder uneinheitlich ist. Es ist zu betonen, dass diese Bewertung ausschliesslich Einzelrisiken betrifft und keine Gesamtbewertung darstellt.

4. Schritt: Empfehlung von Massnahmen

Auf der Basis der erläuterten provisorischen Bewertung wurden Empfehlungen zur zeitlichen Priorität und, wo möglich, zur Stossrichtung der zu ergreifenden Massnahmen abgegeben (vgl. Bild 7).

Erste Priorität haben Massnahmen, die sich auf Gefahrenquellen mit hohen Gefahrenpotentialen und hohen Ereigniswahrscheinlichkeiten beziehen (Punkt 1 in Bild 7). Die hohen Ereigniswahrscheinlichkeiten bringen zum Ausdruck, dass im Vergleich zur Grösse der Gefahrenpotentiale bisher keine oder ungenügende Massnahmen zur Reduktion der Ereigniswahrscheinlichkeit getroffen worden sind. Dies betrifft ausschliesslich die mobilen Gefahrenquellen, d.h. gewisse Transporte von gefährlichen Gütern. Gefahrenpotentiale

und Ereigniswahrscheinlichkeiten müssen reduziert werden. Da sich die transportierten Mengen gefährlicher Stoffe nur zu einem geringen Teil nach dem Produktionsbedarf bzw. nach der Lagerkapazität der baselstädtischen Betriebe richtet, sind Art und Menge der transportierten Stoffe nur sehr beschränkt von der «Quelle» aus steuerbar. Darüber hinaus sind mit Massnahmen vor allem auf nationaler und internationaler Ebene die Transporte selbst sicherer zu machen. Hierzu wird eine Reihe von Massnahmen vorgeschlagen.

Erste Priorität haben schliesslich auch Massnahmen, die sich auf mittlere potentiale Gefahren mit hohen Ereigniswahrscheinlichkeiten beziehen (Punkt 2 in Bild 7). Meist genügen in solchen Fällen schon relativ einfache, schnell zu verwirklichende Massnahmen, um die Ereigniswahrscheinlichkeit deutlich zu reduzieren. Dies betrifft einzelne Lagerhäuser in zwei Güterbahnhöfen, bei denen in eigenverantwortlichem Vorgehen bereits Massnahmen eingeleitet worden sind.

Zweite Priorität haben Massnahmen, die sich auf Risiken mit hohen Gefahrenpotentialen und mittleren bis kleinen Ereigniswahrscheinlichkeiten beziehen (Punkt 3 in Bild 7). Die kleineren Ereigniswahrscheinlichkeiten zeigen, dass die Grösse der Gefahrenpotentiale wohl erkannt und entsprechende, die Ereigniswahrscheinlichkeit vermindernde Massnahmen bereits verwirklicht worden sind. Dennoch werden die Gefahrenpotentiale auch unter diesen Umständen als zu hoch bewertet. Die vorgeschlagenen Massnahmen beziehen sich deshalb primär auf die mittel- bis längerfristige Reduktion der Gefahrenpotentiale; sie betreffen drei Anlagen in der chemischen Industrie mit den Stoffen Chlor, Fluorwasserstoff und Phosgen sowie ein Objekt zur Speicherung von grossen Mengen Propan/Butan.

Bei einer Reihe von Untersuchungseinheiten ist eine abschliessende Bewertung der ermittelten Risiken mit dem Kenntnisstand nach Abschluss der Risiko-Grobanalyse nicht möglich (beispielsweise Punkt 4 in Bild 7). In Phase 2 der Umfassenden Risikoanalyse müssen weitere, detailliertere Untersuchungen durchgeführt werden. In diese Kategorie fallen 17 Untersuchungseinheiten.

Die letzte Kategorie (Punkt 5 in Bild 7) umfasst jene Untersuchungseinheiten, deren Risiko auf der Basis des pragmatischen Ansatzes der Risiko-Grobanalyse als akzeptabel eingestuft werden kann. In Phase 2 ist aber noch zu klären, inwieweit die Berücksichtigung der Vernetzung an dieser Einschätzung etwas ändert.

Über diese Empfehlungen hinaus sind von verschiedenen Betreibern, insbesondere von der chemischen Industrie, in eigenverantwortlichem Vorgehen schon eine Reihe von Massnahmen zur Risikoverminderung eingeleitet worden.

Schlussbemerkungen

Das Ziel der Phase 1 der Umfassenden Risikoanalyse, die grössten Gefahrenpotentiale im Kanton Basel-Stadt zu erfassen und zu analysieren, konnte mit dem gewählten Vorgehen erreicht werden. Insbesondere war es mit der von den Betreibern verlangten Selbstdeklaration möglich, die für die Analyse notwendigen Daten mit einem vernünftigen Aufwand und in der zur Verfügung stehenden Zeit zu ermitteln.

Mit Quervergleichen und der eingehenden Überprüfung der eingegangenen Unterlagen wurde versucht, einen möglichst hohen Grad an Vollständigkeit bei der Erfassung der grössten Gefahrenpotentiale zu gewährleisten. In welchem Mass dies tatsächlich gelungen ist, wird Phase 2 zeigen.

Das Matrixverfahren hat sich nicht nur als einfaches, pragmatisches Instrument zur Ermittlung von Gefahrenpotentialen und Ereigniswahrscheinlichkeiten bewährt. Es lieferte auch die Basis für eine gemeinsame Sprache, eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Zusammenarbeit von Experten, sowohl auf der Verursacher- als auch auf der Untersucherseite.

Die Bewertung von Risiken – die sogenannte «Akzeptanzfrage» – ist ein weitgehend ungelöstes Problem. Zwar gibt es eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten, die den Bestimmungsgründen für die beobachtete Akzeptanz oder Ablehnung von Risiken nachspüren. Eine Reihe von interessanten Gesetzmässigkeiten wurde so entdeckt. Wie und in welchem Mass diese Erkenntnisse aber in normative, allgemein akzeptierte Kriterien einfliessen können oder sollen, ist noch offen. Letztlich ist die Lösung der Akzeptanzfrage ein gesellschaftspolitisches und kein wissenschaftliches Problem. Die Wissenschaft kann bestenfalls objektive Entscheidungsgrundlagen beisteuern.

Ein damit zusammenhängendes Problem stellt sich beim Daten- und Sabotageschutz. Wenn die Akzeptanzfrage im Rahmen eines öffentlichen Entscheidungsprozesses gelöst werden soll, braucht diese Öffentlichkeit Daten und Informationen, die die legitimen Bedürfnisse des Daten- und Sabotageschutzes tangieren. Auch hier ist noch keine Lösung absehbar.

Literatur

[1] Spezieller Ausschuss Basel-Stadt: «Katastrophen-Organisation, Bericht des Speziellen Ausschusses, Arbeitsgruppen II–V» (1988)

[2] Kanton Basel-Stadt: «Schlussbericht zur Risiko-Grobanalyse – Dem Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt im Auftrag des Speziellen Ausschusses erstattet von Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich» (1988)

[3] *Ch. Brauner:* «Wir wiegen uns in falscher Sicherheit: Perfekte Technik macht uns überheblich», Bild der Wissenschaft 25 (1988), H. 11, S. 130–146

[4] *P. Bützer:* «Risikoanalyse mit einem Matrixverfahren – Systematische Methodik für die analytische Beurteilung einzelner Kriterien und synthetischer Kombination zu einer integralen Risikoeinstufung», SWISS CHEM 9 (1987), Nr. 4, S. 37–41

[5] *A.F. Fritzsche:* «Mensch und Risiko – Von der Wahrnehmung und Bewältigung gesundheitlicher Gefahren», SIA (1988), H. 15, S. 416–423

[6] *Th. Schneider:* «Sicherheit – eine gesellschaftliche Herausforderung an den Ingenieur», SIA (1988), H. 15, S. 423–428

[7] Spezieller Ausschuss Basel-Stadt: «Arbeitsgruppe Risikoanalyse – Schlussbericht» (1988)

Die erfolgreiche Abwicklung der Phase 1 der Umfassenden Risikoanalyse war nur durch den grossen Einsatz aller Beteiligten möglich. Ihnen allen sei an dieser Stelle gedankt. Besonderer Dank gilt dem Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt, vorweg Herrn Regierungsrat E. Keller, Vorsteher des Baudepartementes, sowie Prof. H. Reber, dem Leiter des Speziellen Ausschusses Basel-Stadt und nicht zuletzt Dr. E. Berger, der als ehemaliger Mitarbeiter der mit der Projektleitung beauftragten Firma massgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Adresse der Verfasser: Dr. sc. nat. *W. Baumgartner,* dipl. Phys. ETH, *E. Müri,* dipl. Bauing. ETH und Dr. sc. nat. *J.-Cl. Griesser,* dipl. Natw. ETH, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer SIA/ASIC, Forchstr. 395, 8029 Zürich.

Bisherige Artikel dieser Reihe sind erschienen in «Schweizer Ingenieur und Architekt»

Heft 15/88, Seiten 415–428
Heft 18/88, Seiten 505–512
Heft 35/88, Seiten 963–965
Heft 39/88, Seiten 1069–1075
Heft 4/89, Seiten 67–73
Heft 8/89, Seiten 208–214
Heft 10/89, Seiten 259–264