eröffnet hier allerdings neue Perspektiven bei vertretbaren Kosten.

Schließlich sei noch die Möglichkeit der ständigen Überwachung der Detektoren auf ihre effektive Funktionstüchtigkeit erwähnt mit dem Ziel, jeden Ausfall, ja sogar jedes Abweichen aus dem zulässigen Toleranzbereich automatisch anzuzeigen. Neben der Sicherstellung der Betriebszuverlässigkeit könnte damit auch das Kontroll- und Wartungsverfahren gewaltig vereinfacht werden.

2. Übertragungstechnik

Wir alle wissen, daß die Kosten für die Installation der heute üblichen Brandmeldeanlagen anteilmäßig immer mehr ins Gewicht fallen. Es muß daher Ziel der Entwicklung sein, diese Kosten zu reduzieren. Hier bieten sich vor allem zwei Möglichkeiten an:

Erstens kann man sämtliche Melder einer Anlage, oder mindestens eine viel größere Zahl als heute, an eine einzige Drahtschleife anschließen und die Lokalisierung eines ansprechenden Melders individuell oder gruppenweise durch geeignete elektronische Schaltsysteme sicherstellen.

Die zweite Möglichkeit liegt in drahtlosen Systemen. Vorschläge und Versuche hierzu sind schon recht alt und zahlreich. Ebenso groß sind aber auch die Schwierigkeiten, die nur stichwortartig angedeutet werden sollen.

Die Konzessionsbestimmungen, die Ausbreitungs- und Störprobleme, die Stromversorgung durch Batterien und die durch die Vorschriften geforderte dauernde Überwachung jedes einzelnen Übermittlungskanals. Dies sind nur die wichtigsten Hürden. Die Technik hat aber schon schwierigere Probleme gelöst, und eines Tages wird wohl auch der drahtlose Branddetektor Wirklichkeit werden.

3. Zentralentechnik

Es ist evident, daß sowohl die Einschleifentechnik wie auch ein drahtloses System grundlegend in die Zentralentechnik eingreifen würden. Es sind hier aber noch weitere Umwälzungen zu erwarten. Im Zusammenhang mit den Detektoren ist die Notwendigkeit einer größeren Intelligenz der Melder schon erwähnt worden. Diese Intelligenz kann ganz oder teilweise im Melder eingebaut werden. Es ist aber auch möglich, die Sensoren einfach zu halten und gewissermaßen das „Hirn" in die Zentrale zu verlegen. Eine andere Ausbaustufe dürfte der sogenannten „Brandfallsteuerung" dienen. Die zu schützenden Gebäude werden immer größer und komplexer. Damit steigen auch die Anforderungen an die Steuerfunktionen der Zentralen: Alarmorganisation Tag und Nacht, Schließen von Türen, Öffnen von Rauchklappen, Ausschalten von Ventilationen, Maschinen, Apparaten, Auslösen von stationären Löschanlagen, automatische Fluchtweganzeige je nach Ort des Brandausbruchs, automatische Instruktion für optimale Brandbekämpfungsmaßnahmen usw. Bisher wurden solche Brandfallsteuerungen in den Zentralen mit konventionellen Mitteln verwirklicht. Der Nachteil liegt in einem großen individuellen Anpassungsaufwand. Diese Aufgabe wird in großen Anlagen früher oder später mit eingebauten, programmierbaren Microprocessern bzw. Minicomputern gelöst und übernimmt damit einen Teilbereich eines integralen Gebäude-Automations-Systems. Daß solche Ideen nicht in den Bereich der Utopien gehören, soll am Trend für Großanlagen in Japan illustriert werden. Dort gibt es schon heute mehrere umfassende Brandschutzzentralen, die Tag und Nacht besetzt sind und die neben den Brandmeldern auch die Sprinkler und andere Löschanlagen sowie die Aufzüge überwachen und im Brandfall komplexe Steueraufgaben übernehmen. In der neuesten Großanlage geht man noch einen Schritt weiter. Von den einzelnen Brandmeldern werden Analogsignale an die Zentrale übermittelt, so daß eine genaue Information über die Rauchausbreitung vorliegt. Sie wird dazu benutzt, die zu evakuierenden Menschen auf dem ungefährlichsten Weg in Sicherheit zu leiten. Von besonderem Interesse ist, wie bei solchen Großanlagen das Problem der Täuschungs- und Fehlalarme gelöst wird. Das Ansprechen eines Brandmelders führt grundsätzlich zuerst zur Erkundung, entweder telefonisch — sofern Personal auf der Etage anwesend ist — oder durch eine Kontrollequipe. Evakuationsalarm, Alarmierung der Betriebsfeuerwehr und der öffentlichen Feuerwehr erfolgt nur aufgrund der Beurteilung durch die Organe im Kontrollraum.

Man hat sich hier ganz klar für das Konzept der extremen Frühwarnung entschieden. Die hohe Ansprechempfindlichkeit der Melder verschafft genügend Zeit, um den Menschen als Entscheidungsorgan einzuschalten. Man stört sich nur wenig, wenn es täglich zu mehreren Täuschungs- oder Fehlalarmen kommt, da die Störungen und Umtriebe minimal, dafür die Sicherheit für eine frühzeitige Brandbekämpfung und rechtzeitige Evakuation optimal sind. Es wurde hier also genau das Verfahren verwirklicht, für das im Anfang plädiert wurde, d. h. die Einschaltung des Menschen in die Alarmkette.

Technische Sicherheit - Ein Risikovergleich

Dr. Peter Lingen

1. Vorwort

Die Beschäftigung mit Sicherheitsfragen von technischen Anlagen darf nicht ausschließlich unter rein technischen Aspekten gesehen werden. Sicherlich liegen die Schwerpunkte im Bereich der Planung, des Baues und des Betriebes. Jedoch sind u. a. versicherungstechnische und insbesondere betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte von großer Bedeutung.

Die Anstellung von Risikovergleichen und die Zuhilfenahme von speziellen Sicherheitsanalysen zur Quantifizierung von Risiken haben letztlich die Zielsetzung, mit einem vernünftigen materiellen und immateriellen Einsatz ein Optimum an Sicherheit für die Belegschaft der Anlagen, für das Unternehmen und für die Umwelt zu erreichen.

Somit ist der Problemkreis: Sicherheit und Risiko in das „Risk Management" [1] einzugliedern: Hierbei handelt es sich um ein breit angelegtes unternehmenspolitisches Instrument, das die

Dr. Peter Lingen, Leverkusen, Bayerwerk.

Aufgabe hat, Risiken zu erkennen, sie zu analysieren und zu bewerten und schließlich darauf aufbauend die Risiken im Sinne der unternehmerischen Zielvorstellung konsequent zu verringern.

2. Allgemeines über technische Risiken

Die Technik hat in der Vergangenheit den Menschen eine Vielzahl von Vorteilen gebracht, so z. B. die Lebensqualität verbessert, das Leben erleichtert und manche Bequemlichkeit geschaffen. Jedoch beinhaltet jede Technik für die Benutzer auch Risiken. Beispielsweise bringen die von der pharmazeutischen Industrie in langjähriger Forschungsarbeit entwickelten Präparate augenscheinlich vielen Menschen großen Nutzen. Es ist aber nie ganz auszuschließen, daß durch falsche Anwendung oder auch durch Nebenwirkungen nachteilige Auswirkungen für die Verbraucher entstehen.

Das Bestreben aller geht dahin, die negativen Auswirkungen der Technik so gering wie möglich zu halten. Leider geschah das in der Vergangenheit allzu oft erst dadurch, daß bittere Erfahrungen, die mit Verlust an Gesundheit oder materiellen Werten verbunden waren, in die sicherheitstechnischen Überlegungen einflossen. So mußten beispielsweise Brücken erst durch Sturmeinflüsse zerstört werden, bevor sicherere Konstruktionen entwickelt wurden.

Erfreulicherweise hat sich das Sicherheitsdenken in der letzten Zeit gewandelt. Heute wird weniger die rückblickende als mehr die vorausschauende Sicherheitstechnik eingesetzt. Sie findet ihre Anwendung insbesondere bei der Raumfahrt, im Flugzeugbau oder bei der Kerntechnik. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, daß im möglichen Katastrophenfall sehr große materielle und/oder immaterielle Schäden entstehen könnten. Bei den vorausschauenden Analysen werden alle theoretisch denkbaren Schadenfälle konsequent vorab analysiert und ungeeignete technische Konzeptionen verworfen.

Mit Hilfe derartiger Analysen ist nicht nur eine Überprüfung und Verbesserung der Sicherheit möglich, sie läßt darüber hinaus auch quantitative Vorhersagen über die Höhe der technischen Risiken zu. Nach einem Vergleich mit anderen schon bewußt oder unbewußt akzeptierten Risiken sollte eine Aussage über das maximal zulässige Risiko bzw. über das erforderliche Mindestmaß an Sicherheit möglich sein. Die Zusammenhänge werden im vorliegenden Aufsatz weiter verfolgt und zusätzlich anhand von zwei konkreten Beispielen

a) an einer petrochemischen Anlage (siehe 4.1) und

b) an einem Kernkraftwerk (siehe 4.2)

vertieft.

2.1 Der Risikobegriff

Unter Risiko wird hier das Produkt aus einer Eintrittswahrscheinlichkeit eines in Betracht gezogenen Unfalls und seinem Schadenausmaß verstanden:

Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadenausmaß.

Wird beispielsweise das Risiko, aufgrund bestimmter Ereignisse tödlich zu verunglücken, untersucht, kann formuliert werden:

$$\frac{\text{tödl. Verungl.}}{\text{Jahr}} = \frac{\text{Ereignisse}}{\text{Jahr}} \times \frac{\text{tödl. Verungl.}}{\text{Ereignis}}$$

Aus diesem Zusammenhang folgt:

Bei einer vorgegebenen zulässigen Risikogröße (tödl. Verunglückte pro Jahr) muß die Eintrittswahrscheinlichkeit (Ereignisse pro Jahr) für einen Unfall gering sein, wenn der Schadenumfang (tödl. Verunglückte pro Ereignis) groß ist, bzw. die Eintrittswahrscheinlichkeit (Ereignisse pro Jahr) kann entsprechend größer sein, wenn das Schadenausmaß (tödlich Verunglückte pro Ereignis) relativ gering ist.

Erscheint beispielsweise in einem Land die Anzahl der Verkehrstoten zu hoch, werden die Verantwortlichen die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadenausmaß von Unfällen mit tödlichem Ausgang entweder durch administrative Maßnahmen oder mittels verbesserter Sicherheitstechniken zu reduzieren versuchen.

2.2 Technische Risiken

Das durch die Technik erzeugte Risiko teilt Jäger [2] in vier Gruppen ein:

1. Versorgungssysteme
   (z. B. Wasser, Arzneien, Nahrungsmittel)

   Hier kann für eine große Bevölkerungsschicht durch fehlerhaftes Handeln eine große Gefahr entstehen.

2. Verbreitete Einzelsysteme
   (z. B. Kraftfahrzeuge, Insektizide, Tabakwaren)

   Hier können sich einzelne Benutzer selbst und untereinander Schaden zufügen.

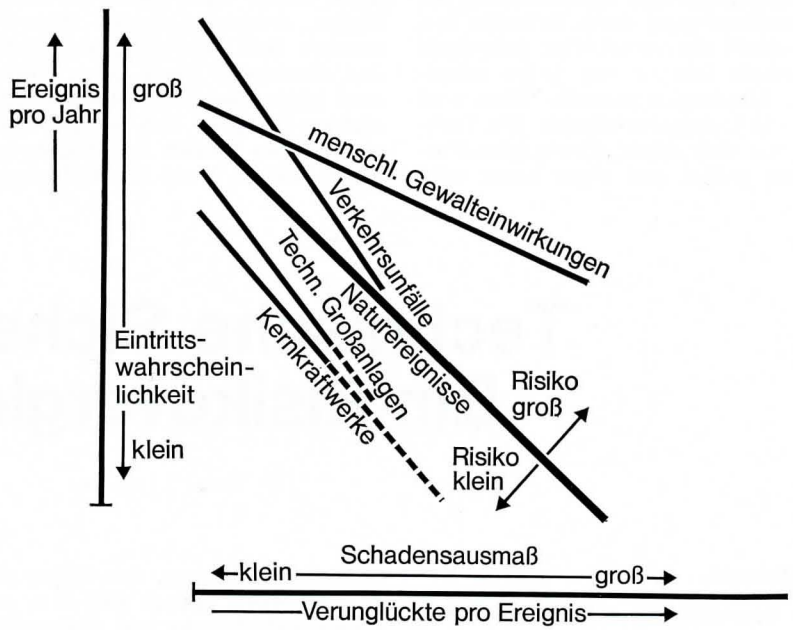
3. Große Personen-Transporteinheiten
   (z. B. Eisenbahn, Schiff, Flugzeug)

   Hier können Insassen oder Mitmenschen gefährdet werden.

4. Große umweltgefährdende technische Systeme

   (z. B. Staudamm, Kernkraftwerk, chem. Anlage, Transportsystem für gefährliche Güter)

   Hier kann sich beispielsweise durch eine plötzliche Freisetzung von Energie ein großes Risiko für die Umwelt einstellen.



Gegenüberstellung von Risiken für eine technisch hochentwickelte Gesellschaft

Bild 1

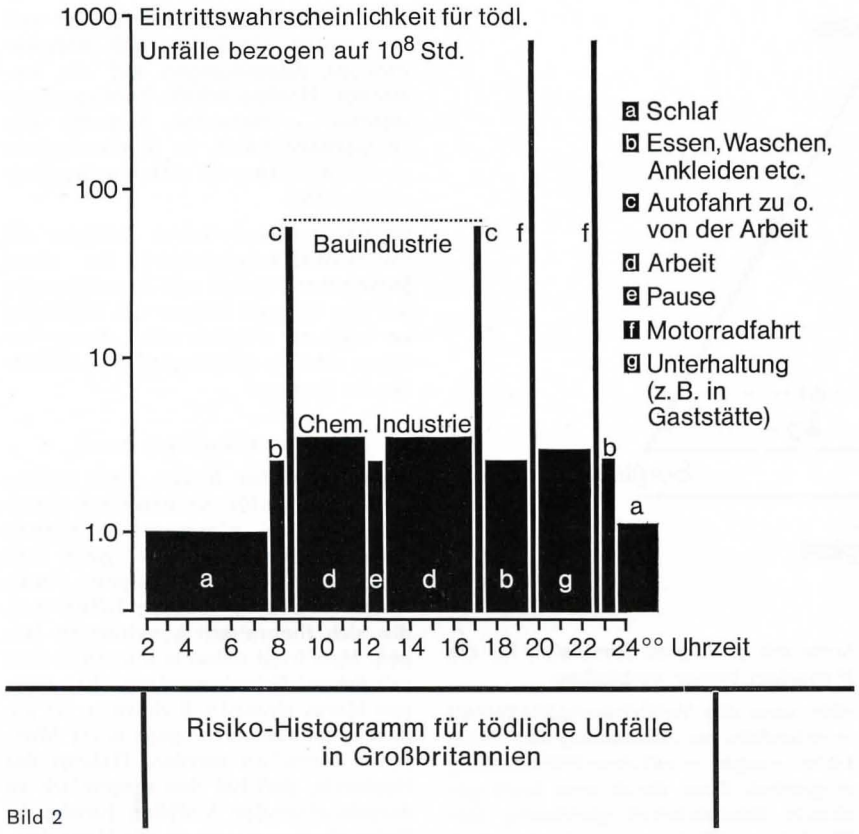


Bild 2

Die vorstehenden technischen Systeme kamen in modernen Industrien immer mehr zum Einsatz. Sie sind offensichtlich alle zum Nutzen oder zum persönlichen Vorteil der Verbraucher, beinhalten jedoch gezwungenermaßen auch Risiken. Der Nutzeffekt ist sehr deutlich bei den unter Pkt. 4 genannten Systemen zu erkennen: Staudämme zur sicheren Regulierung von Wasserläufen, Kernkraftwerke zur langfristigen, preiswerten und günstigen Erzeugung von elektrischem Strom für Industrie und Haushalt, Chemieanlagen zur Produktion von unverzichtbaren Gebrauchsartikeln oder pharmazeutischen Präparaten.

Bei den letztgenannten Systemen wird oft die Forderung gestellt, derartige Objekte nur in dünn besiedelten Gebieten anzusiedeln, um im Katastrophenfall wenige Menschen zu gefährden. Im Verlauf der erforderlichen Standortüberlegungen drängt sich sofort die ethische und gesellschaftspolitische Frage auf, inwieweit die Anzahl der möglichen Betroffenen (Gesellschaftsrisiko) zu berücksichtigen ist. Weiterhin muß die Frage nach der zahlenmäßigen Größe für das Individualrisiko gestellt werden.

Die Beantwortung kann sicherlich nicht durch Naturwissenschaftler oder Techniker allein erfolgen. Dies ist vielmehr eine Aufgabe für die Gesellschaft und ihre gesetzgeberischen Organe. Sicherlich sollten alle möglichen Aspekte mit in Erwägung und Konsequenzen daraus gezogen werden.

2.3 Gesellschaftsrisiko

Das Risiko, wie es sich für eine hoch entwickelte Gesellschaft darstellt, ist an Hand einiger ausgewählter Beispiele qualitativ im Bild 1 gezeigt: Die stark ausgezogene Linie stellt die Risikosituation für die Bevölkerung des betrachteten Landes aufgrund natürlicher Ereignisse (Frost, Blitzschlag, Flutwasser, Erdbeben, Meteorabsturz, Dürren etc.) dar.

Danach fällt die Eintrittswahrscheinlichkeit für derartige Unfälle mit größer werdendem Schadenumfang stark ab. Wesentlich größer ist die Wahrscheinlichkeit, bei Verkehrsunfällen zu Schaden zu kommen. Weiterhin ist die Schadenauswirkung aufgrund menschlicher Gewalteinwirkungen gezeigt: Im linken Bereich der Kurve soll es sich um einzelne Tötungen handeln, im rechten Bereich um die relativ seltenen Kriegsereignisse, die jedoch mit einem hohen Schadenumfang verbunden sind. Mit geringen Schadenauswirkungen und sehr kleinen Eintrittswahrscheinlichkeiten ist im Bereich der Technik zu rechnen. Technische Großanlagen, beispielsweise Chemieanlagen, metallverarbeitende Fabrikationsstätten oder Kernkraftwerke sind aus risikospezifischer Sicht als sehr sicher zu betrachten.

2.4 Individualrisiko

Statistische Angaben über das Individualrisiko findet man in der Literatur oft auf die Zeit von 100 Mio. (10^8) Stunden bezogen. Diese Zeit ergibt sich aus dem Produkt von: 1000 Personen x 40 Std./Woche x 50 Wochen/Jahr x 50 Jahre. Es handelt sich um die lebenslange berufliche Tätigkeit einer Gruppe von 1000 Menschen. In dem Bild 2 [3] und in der Tabelle 1 [4] sind einige Angaben für das Individualrisiko gezeigt: Demnach ist die Tätigkeit in der chemischen Industrie ähnlich ungefährlich wie das morgendliche und abendliche Leben im Hause; die Autofahrt zur Arbeit ist ca. 20mal riskanter; die zur persönlichen Freude dienende abendliche Motorradfahrt ca. 200mal gefährlicher. Das Leben neben einem Kernkraftwerk bringt damit verglichen keinen meßbaren Beitrag zur Risikoerhöhung.

Tabelle 1: Individualrisiken [4] auf 10^8 Stunden bezogen

Leben neben Kernkraftwerk	< 0,01 [nach 14]
Aktivität bei/als	
Chemischen Industrie	3,5
Stahlindustrie	8
Fischerei	33
Kohleabbau	40
Rangierer	45
Bauarbeiter	67
Flugzeugbelegschaft	240
Berufsboxen	7 000
Jockey	10 000
zu Hause	3
Busfahrt	3
Eisenbahnfahrt	5
Autofahrt	57
Fahrradfahrt	96
Luftfahrt	240
Motorradfahrt	600
Kanufahrt	1 000
Bergsteigen	4 000

3. Vorausschauende Sicherheitsanalysen

Bei dem langfristig weltweit wachsenden Bedarf an technischen Erzeugnissen und den damit verbundenen Entwicklungen zu immer größeren Produktionsanlagen könnten theoretisch die Risiken insbesondere bei den technisch hochentwickelten und exportierenden Ländern wachsen.

Da die Gesellschaft jedoch nicht gewillt ist, eine Erhöhung der Gesamtrisikosituation hinzunehmen, müssen die Verantwortlichen einen sinnvollen Weg für die Zukunft finden. Sie sollten jedoch den öfters lautwerdenden Forderungen nach „absoluter" Sicherheit von großen technischen Systemen klar entgegentreten, denn bei einer Realisierung besteht sonst wegen der Knappheit an Mitteln die Gefahr, daß der Volkswirtschaft die lebensnotwen-

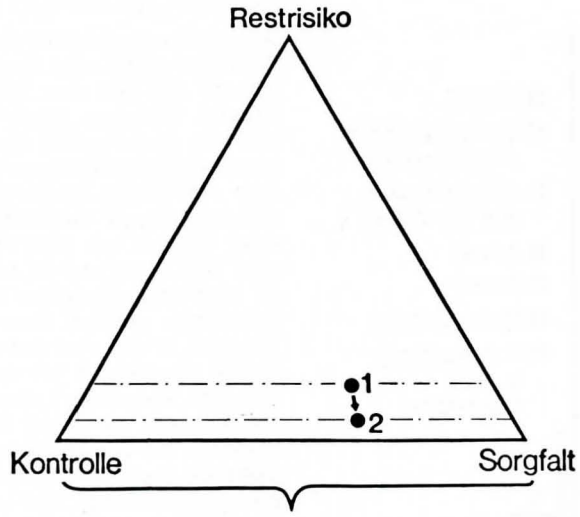


Bild 3

dige Basis für eine sichere, zukünftige Existenz entzogen wird und der Nachfrage der Mehrheit nach einer Verbesserung der Lebensqualität nicht mehr entsprochen werden kann.

Die Hersteller und Betreiber von Anlagen waren aus eigenem Interesse daran interessiert, den in der Praxis bewährtesten Stand der Sicherheitstechnik einzusetzen, und im Prinzip werden alle zukünftigen Überlegungen in der Technik darauf hinauslaufen, das noch verbleibende Risiko, das Restrisiko, bei Anlagen mit potentiell weitreichenden Schadenauswirkungen durch Erhöhung der Zuverlässigkeit – siehe Bild 3 (in Anlehnung an 5) – noch stärker zu reduzieren.

Die Zuverlässigkeit wächst (Länge der Basislinie) demnach, je mehr man sich von der oberen Spitze des Dreieckes weg nach unten bewegt (gedachte Basislinie durch 2 ist länger als durch 1, der Aufwand an Zuverlässigkeit somit größer). Hierbei wird das Risiko immer geringer. Dies ist meist nur mit einer Erhöhung von materiellem oder immateriellem Einsatz zu realisieren.

Prinzipiell können durch erhöhten Mehraufwand technische Risiken gesenkt werden. Da aber finanzielle Mittel nicht im unbeschränkten Umfange zur Verfügung stehen, könnte das negative Folgen haben: Durch den Einsatz dieser Mittel zur Senkung eines Risikos an einer Stelle muß an einer anderen, vielleicht ebenso wichtigen, konsequenterweise eine entsprechende Einsparung vorgenommen werden. Diese Einsparung kann – ohne sofort augenscheinlich zu werden – sich zum Schaden der Allgemeinheit auswirken.

Auch durch allergrößte Anstrengungen, dies sollte ohne weitere Vertiefung eingesehen werden, wird eine absolute Sicherheit nie erreicht werden können. Es wird auch in Zukunft ein geringes technisch bedingtes Restrisiko für die Menschen immer verbleiben.

Hier kann die Versicherungswirtschaft – jedenfalls zur Abdeckung von finanziellen Folgen – mit ihrer Hilfeleistung eingreifen, denn durch eine breit gestreute Gemeinschaft gleichartig Gefährdeter können die erforderlichen Kosten (Prämien) für die Versicherten in erträglichen Grenzen gehalten und im Schadenfall befriedigende Ausgleiche geschaffen werden. Damit hat die Versicherung weiterhin auch in sozialer und psychologischer Hinsicht eine unterstützende Wirkung.

3.1 Der Risikostandardwert

Bei der Diskussion von Risiken stellt sich immer wieder die Frage nach der akzeptablen Größe technisch bedingter Risiken.

Eine ausreichende Beantwortung kann durch eine Nutzen-Risiko-Analyse gegeben werden, die das Optimum für die Allgemeinheit bestimmt. Von einer derartigen Problemlösung ist man jedoch heute noch weit entfernt.

Ein einfacher Versuch ist es, das Risiko einer technischen Anlage für die Umwelt an einem vorgegebenen Standort zahlenmäßig zu bestimmen und es an anderen, schon akzeptierten, zu messen. Als Maßstab kann das Risiko herangezogen werden, das aufgrund vorgenannter natürlicher Ereignisse zwangsläufig existiert: Dieses Risiko liegt im statistischen Mittel für den einzelnen Menschen (Individualrisiko) in unseren Breitengraden bei 1 zu 1 Mio. pro Jahr oder in anderer Schreibweise: 10^{-6}/Jahr (ca. 10^{-10}/Std). Das heißt, ein Mensch von ca. 1 Mio. stirbt jährlich im statistischen Mittel durch natürliche Einflüsse wie Blitzschlag, Frost, Erdbeben etc. Dieser Wert kann als „Risikostandardwert" bezeichnet werden und als Meßlatte für die Eintrittswahrscheinlichkeit von technischen Unglücken mit entsprechenden Auswirkungen auf die bewohnte Nachbarschaft herangezogen werden. – Nebenbei bemerkt: Die Wahrscheinlichkeit, im Straßenverkehr zu verunglücken, ist mehrere tausendmal größer!

Ist bei großtechnischen Anlagen die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen technischen Unfall mit Auswirkungen auf die Umwelt kleiner als 10^{-6}/Jahr, so muß es möglich sein, diese Anlagen auch in dichtbesiedelten Gebieten zu bauen.

3.2 Der Schwellenwert

Wenn man das Risiko einer technischen Anlage für die bewohnte Nachbarschaft an einem vorgegebenen Standort bestimmen will, geht man dabei von den ungünstigsten, technisch möglichen Schadenfällen aus, die sich theoretisch konstruieren lassen. Man fragt dabei zuerst nach dem möglichen Schadenumfang. Es müssen hierzu sinnvolle Richtwerte für die speziellen Gefahren gegenüber Menschen formuliert werden: Gelingt der Nachweis, daß bei den theoretisch zu durchleuchtenden Unfällen bestimmte Gefährdungsgrenzwerte für Menschen, die „Schwellenwerte" genannt werden sollen, nicht erreichbar sind, muß die Anlage ohne Schwierigkeiten gebaut werden dürfen. Könnten die Schwellenwerte überschritten werden, so muß die ermittelbare Eintrittswahrscheinlichkeit eines derartigen Unfalles verschwindend gering sein ($< 10^{-6}$/a). Die Schwellenwerte sollten möglichst konservativ, d. h. niedrig angesetzt werden.

Da es für die genannten Belastungswerte bisher keine allgemein anerkannten Schwellenwerte gibt, werden hier in Anlehnung an verschiedene Autoren [6, 7, 8] für Explosionen oder Brände folgende Werte vorgeschlagen:

a) Explosionsüberdrücke
$\leqq$ 0,15 bar,

b) Wärmestromdichten
$\leqq$ 4000 kcal/m²h (ca. 4500 W/m²).

Diese Belastungen stellen noch keine unmittelbaren tödlichen Gefahren für den Menschen dar. So treten z. B. Ohrenschäden bei Überdrücken von 0,3–1 bar auf, wohingegen Tod durch Lungenriß erst bei 3–4 bar Überdruck auftritt.

Wärmestromdichten von 900 kcal/m²h (1 046,7 W/m²) treten an einem heißen Sommertag auf, während bei 11 000 kcal/m²h (12 793 W/m²) sich nach 5 sec. Blasen auf der Haut bilden.

Ähnliche kurzzeitig durch Menschen verkraftbare Werte lassen sich sicherlich für fast alle anderen technisch bedingten Gefahren ermitteln.

3.3 Die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Um eine quantitative Aussage für die Eintrittswahrscheinlichkeit machen zu können, muß man sich mit einigen einfachen Gesetzmäßigkeiten der Wahrscheinlichkeitsrechnung vertraut machen:

Die meisten Störungen einer Anlage sind zufallsbedingt. Aufgrund statistischer Untersuchungen können Angaben über den Grad der Wahrscheinlichkeit der Störung gemacht werden. Die Problematik liegt hier bei dem Wissen um möglichst exakte statistische Ausfallraten von Bauelementen. So gibt es auf dem Gebiet der elektrischen und elektronischen Teile recht umfassende Daten. Wesentlich weniger Kenntnisse liegen dagegen bei mechanischen Bauelementen vor. Das gilt insbesondere dann, wenn sie nicht aus Serienproduktionen stammen. Ähnlich ist es auch bei Bauteilen, die unter noch nicht erprobten Bedingungen eingesetzt werden sollen.

Kompliziert ist die Aussage über das menschliche Fehlverhalten. Bei routinemäßigen Arbeiten wird eine Zuverlässigkeit bei nahezu 100 % liegen, bei schnelleren Denkleistungen unter erhöhtem Streß, z. B. beim Abfahren einer Anlage im Schadenfall, wird die Zuverlässigkeit geringer anzusetzen sein.

Die rechnerische Ermittlung der Wahrscheinlichkeit eines Störereignisses basiert auf den Anwendungen folgender Grundregeln:

1. Wahrscheinlichkeit P (a) für ein Ereignis a liegt zwischen „0" und 1:

   $$0 < P(a) \leqq 1.$$

   Somit hat das absolute sichere Ereignis a die Wahrscheinlichkeit:

   $$P(a) = 1.$$

2. Die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Auftreten mehrerer voneinander unabhängiger Ereignisse ist gleich dem Produkt der Wahrscheinlichkeit der Ereignisse (Und-Verknüpfung).

   $$P(a) = P(a1) \times P(a2) \times \ldots P(an).$$

3. Die Wahrscheinlichkeit einer Summe zufälliger, sich einander ausschließender Ereignisse ist gleich der Summe dieser Ereignisse (Oder-Verknüpfung).

   $$P(a) = P(a1) + P(a2) + \ldots P(an).$$

An dem bekannten humorvollen Beispiel von Kletz [4] soll die Und-Verknüpfung vorgestellt werden:

Es handelt sich um die Überlegung eines Mannes, der seine Hose durch einen Gürtel hält, um das Risiko für das Herunterrutschen der Hose – das unerwünschte Ereignis – wesentlich zu verringern. Dies kann er realisieren, indem er neben dem Gürtel auch Hosenträger benutzt. Erfahrungsgemäß – das weiß er aus statistischen Werten der Produzenten – reißt ein Gürtel oder ein Hosenträger innerhalb von 10 Jahren im Durchschnitt einmal bei normalen Belastungen. Die alleinige Verwendung einer dieser beiden „Sicherheiten" würde das unerwünschte Ereignis zu einem beliebigen Zeitpunkt innerhalb von 10 Jahren zulassen. Man sollte nun annehmen, daß bei der Verwendung beider Sicherheitssysteme die Wahrscheinlichkeit um den Faktor 10 vergrößert wird. Wie jedoch gleich gezeigt wird, sieht das theoretische Ereignis günstiger aus. Dazu müssen noch einige Randbedingungen erläutert werden: Einsatzzeit der Hose pro Tag 16 Stunden; Prüfen auf Schwachstellen am Abend und gegebenenfalls Austausch des defekten Teils; Eintritt des Defektes soll beispielsweise in der Mitte des Tages vorkommen, d. h., 8 Stunden bewegt sich der Mann mit einer einfachen Sicherheit, ohne den Defekt erkannt zu haben.

Sollte zufallsbedingt die 2. Sicherheit am gleichen Tage aussetzen, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit zu:

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{365 \cdot 10} \times \frac{1}{365 \cdot 10} = \frac{1}{26{,}6 \cdot 10^6 \text{ (d)}}$$

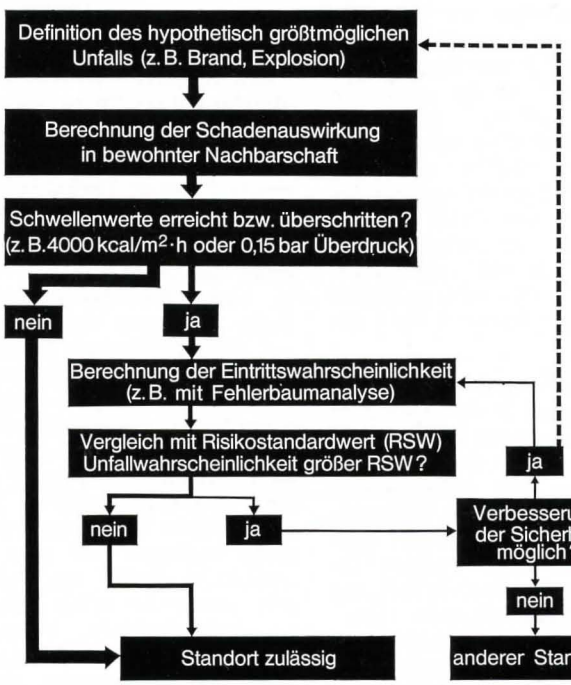
d. h. $\dfrac{1}{73\,000 \text{ (a)}}$

Das heißt, eine derartige doppelte Hosenbefestigung würde einmal in 73 000 Jahren versagen bzw. unter 73 000 Männern, die mit doppelter Sicherheit ihre Hosen befestigen, würde ein derartiges unerwünschtes Ereignis statistisch pro Jahr einmal auftreten. Bei der Einführung einer dritten Sicherheit kann die Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Versagens auf 1 : 400 000 pro Jahr verringert werden. Diese Wahrscheinlichkeit ist klein, aber endlich, und sie kann morgen oder in 400 000 Jahren bzw. einmal im Jahr unter 400 000 Personen eintreten.

4. Beispiele aus der Praxis

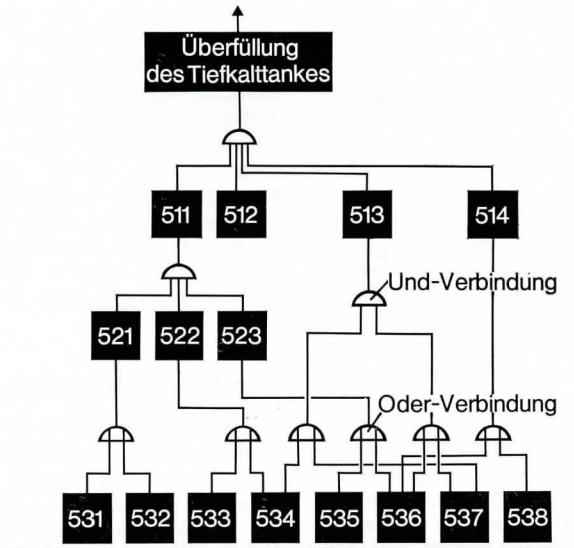
Im Flugzeugbau, in der Kernkraftwerktechnik und in Teilbereichen der Chemie werden vorausschauende Sicherheitsanalysen angewendet, die einerseits zur Verbesserung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit und somit zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, andererseits zur quantitativen Bestimmung des Risikos bzw. der Sicherheit dienen.

Die dafür erforderlichen sicherheitstechnischen Überlegungen und Rechnungen sind nach objektiven Maßstäben anzufertigen und auf einer überprüfbaren Basis aufzubauen. Das kann am besten durch den Hersteller oder Betreiber der Anlage in eigener Verantwortung geschehen, da hier die meisten Detailkenntnisse vorliegen. Darüber hinaus könnte eine neutrale Überprüfung durch unabhängige Sachverständige möglich sein.



Mögliche Vorgehensweise bei Sicherheitsanalysen

Bild 4



Ausschnitt aus einem Fehlerbaum

Bild 5

4.1 Beispiel für eine Sicherheitsanalyse aus der Chemie

Der logische Ablauf ist im Bild 4 schematisch dargestellt. Das Kernstück ist die deduktive Analyse zur Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit, die jedoch nur zur Anwendung kommt, wenn festgestellt wurde, daß die Schwellenwerte bei dem ungünstigsten Unfall überschritten werden können. Ist letzteres möglich, muß durch Änderung der Anlagenkonzeption die Sicherheit erhöht und damit entsprechend das Risiko vermindert werden. Sollte dies jedoch nicht realisierbar sein, kann die in Betracht gezogene Anlage an diesem Standort nicht gebaut werden.

Bei der Untersuchung mittels Fehlerbaum (Bild 5) wird in Anlehnung an das bereits geschilderte Beispiel von Kletz vorgegangen, in dem in systematischer Weise alle Versagensursachen des Systems, seiner Teilsysteme und Komponenten ermittelt werden, die zu dem unerwünschten Ereignis führen. Unter Berücksichtigung der logischen Verknüpfungen lassen sich dann aus den Ausfallraten der Einzelkomponenten die Ausfallraten von Teilsystemen und letztlich die Eintrittswahrscheinlichkeit für das relevante Ereignis im Fehlerbaum ermitteln. Bei der rechnerischen Abschätzung des Versagens eines Systems genügen im allgemeinen die Berechnungen der Ausfallwahrscheinlichkeit. Sollte die Analyse auf die Verfügbarkeit hin angewendet werden, kommen Überlegungen im Hinblick auf Inspektionszyklen, Reparaturperioden, vorsorgliches Austauschen von Teilen, Einfluß des Verschleißes und anderes mehr in Betracht. Näheres hierzu ist in der Fachliteratur [10 bis 12] zu finden.

Einen kleinen Ausschnitt aus einem Fehlerbaum für eine Untersuchung an einem Propylen-Tiefkalttank, hier ohne Ausfallraten, ist in Bild 5 gezeigt [9].

Bei diesem Tank handelt es sich um einen 20 000 m³-Behälter, vollisoliert, in einer Betontasse stehend, der durch Absaugen von Propylendampf auf atmosphärischem Druck gehalten wird. Der Tank ist mit verschiedenen Überdrucksicherungen und anderen Sicherheiten ausgerüstet. Der Austritt von brennbarem und explosionsfähigem Propylen ist nur unter ungünstigsten Umständen möglich. Es müssen verschiedene Schadenursachen gleichzeitig vorliegen und eine fast nicht glaubhafte Kette von Zufälligkeiten sich aneinander reihen: Versagen aller Kühlaggregate, Versagen aller Sicherheitsventile, Versagen vieler Meß- und Regelorgane, menschliches Versagen und anderes mehr.

Aus dem Bild 5 sind beispielsweise die Zusammenhänge zu entnehmen, die zu einem Überfüllen des Behälters führen. Dieses Unglück ist selbst bei fast vollem Tank sehr unwahrscheinlich. Der gleichzeitige Ausfall der eingebauten Füllstandsanzeige, des Alarms für die maximale Füllung und der automatischen Abschaltvorrichtungen tritt im Mittel in ca. 10^{-8} Fällen je Jahr auf. Im übrigen geht der Füllvorgang relativ langsam vor sich. Vom Maximalalarm bis zur Überfüllung vergehen viele Stunden. Bei Ausfall der Anzeigen läßt sich der Füllstand weiterhin auch näherungsweise über eine Bilanz (Förderung von seiten des Krackers, Abgabe in die Betriebe) ermitteln.

Werden bei der Durchforstung des Systems Schwachstellen gefunden, kann gezielt Abhilfe getroffen werden. Abhilfemaßnahmen sind beispielsweise: Wartungszyklen verkürzen, Kontrollen erhöhen, zuverlässigere Komponenten einbauen, mehrfach Überwachungen durch Automaten einführen, Auswahlschaltungen (z. B. 2 von 3 — Systeme) einführen, räumliche Trennung von Überwachungsorganen bilden, mehrfache Absicherung der Energieversorgungen, Bereitstellung von Reserveeinheiten. Eine Erhöhung der Sicherheit ist auch oft durch Vereinfachungen am System unter bewußtem Verzicht von Sicherheitskomponenten, aber damit bezweckter Erhöhung der Transparenz möglich.

Bei der Untersuchung von Auswirkungen durch die unfallbedingte größtmögliche Gasfreisetzung am Tiefkaltbehälter mit anschließendem Großbrand oder Explosion wurde eine Eintrittswahrscheinlichkeit von ca. 10^{-8}/Jahr ermittelt. Dieser Wert liegt um zwei Zehner-Größenordnungen unterhalb des oben vorgestellten Risikostandardwertes.

Wenn es auch heute noch schwierig ist, bei größeren Anlagen eine genaue Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit von Unfällen vorherzusagen, so kann man mit Hilfe dieser Analysen jedoch Schwachstellen im System herausfinden und bei kritischen Stellen gezielt Abhilfe schaffen. Die deduktive Sicherheitsanalyse kann somit in der Zukunft, ähnlich wie in der Reaktortechnik schon üblich, auch bei entsprechenden Chemieanlagen eine sinnvolle Hilfe bei der Quantifizierung des Sicherheitsniveaus sein.

Bei den hier diskutierten Untersuchungen wurde festgestellt, daß es beim theoretisch ungünstigsten Unfall zu einer Freisetzung von ca. 50 Tonnen Propylen führen könnte und bei einer möglichen nachfolgenden Explosion der oben erläuterte Schwellenwert in Entfernungen nur unterhalb von 190 m überschritten würde. Das heißt, oberhalb dieser Entfernung besteht keine akute Gefahr für Menschen. Bedrohliche Fernwirkungen bei einem Groß-

brand eines völlig offen liegenden, an der Oberfläche brennenden Behälters, sind nur in noch geringeren Entfernungen möglich [13].

4.2 Beispiel des Sicherheitsdenkens in der Kerntechnik

Da bei einer hypothetischen Katastrophe an einem Kernkraftwerk theoretisch eine größere Menge Radioaktivität austreten kann, muß mit besonderer Sorgfalt die Sicherheit durchleuchtet werden. Aufgrund der wohl durchdachten technischen Konzeption ist eine derartige Freisetzung nahezu auszuschließen. Das soll hier kurz am Beispiel der Notkühleinrichtung erläutert werden.

Dazu einen Blick (Bild 6) auf die vereinfachte Darstellung eines 800 MWel Siedewasserreaktors der Kraftwerk-Union AG (KWU).

Die bei der Spaltung erzeugten radioaktiven Produkte verbleiben in den gasdichten Brennstäben, die im Reaktordruckgefäß (ca. 150 mm Wanddicke) untergebracht sind. Das Druckgefäß wiederum ist umgeben durch eine 30 mm starke Sicherheitshülle, die für einen Druck von ca. 4 bar ausgelegt ist. Wie aus dem Bild ersichtlich, ist letztere wiederum von Betonwänden ummantelt.

Im Normalfall kann somit keine umweltbelastende Radioaktivität durch die Barrieren austreten. Die Kernkraftwerkpraxis hat darüber hinaus gezeigt, daß die genehmigten Emissions-Grenzwerte bisher in keiner Weise überschritten wurden. Meist liegen die radioaktiven Abgaben um wenigstens eine Zehnerpotenz niedriger.

Unterstellt man nun für ein Gedankenspiel die Zerstörung des Gebäudes und des Sicherheitsbehälters – beispielsweise durch Explosion [17] einer sehr großen Gaswolke nach unfallbedingter Freisetzung aus einem Tankschiff (vorliegender Reaktor soll nicht gegen Explosionsdruckwellen ausgelegt sein), so wird selbst bei Abriß der Kühlmittelleitung keine lebensbedrohende Radioaktivitätsmenge freigesetzt werden, wenn eins der verschiedenen Notkühlsysteme arbeitet.

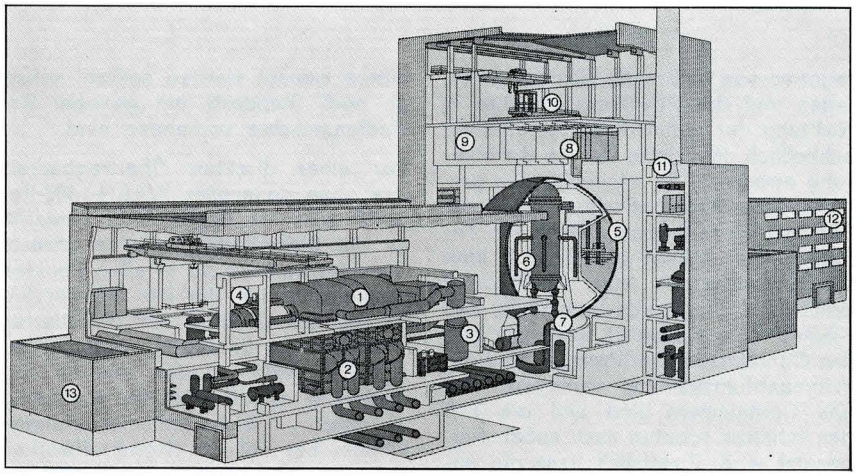
Diese im Bild 7 gezeigten Notkühleinrichtungen dienen u. a. zur Abfuhr der nach Abbruch der nuklearen Kettenreaktion von den Spaltprodukten noch erzeugten Nachwärme. Mit Hilfe der installierten Notkühleinrichtungen wird ein Zusammenschmelzen der Brennstäbe und eine damit verbundene mögliche große Radioaktivitätsfreisetzung verhindert.

Im Prinzip wird bei der Nachwärmeabfuhr kaltes Wasser aus den Kondensationskammern in das Druckgefäß eingespeist. Ist Wasser aus undichten Stellen ausgetreten, wird es sich konstruktionsbedingt im Reaktorsumpf sammeln und kann von hier aus über einen Nachkühler in den Reaktor zurücktransportiert werden. Zu den Notkühleinrichtungen gehören im einzelnen: Die Notkondensation, die Druckentlastung und die Reaktornoteinspeisung als Hochdruckanlagen und als Niederdruckanlagen die Reaktorkernsprühanlage, die Reaktorkernflutanlage, wozu auch die Kondensationskammer-Sprühanlage, die Kondensations-Kühlanlage und die Druckkammer-Sprühanlage gehören. Letzten Endes kann sogar der komplette Sicherheitsbehälter kühlwasserseitig geflutet werden. Zu bemerken ist allgemein, daß die Hochdruckanlagen (die ersten 3 genannten) autark sind. Ihre Steuerung erfolgt aus Batterien, ihre Systemteile sind räumlich versetzt angeordnet. Die Niederdruckanlagen, die größere Anlaufzeiten besitzen können, werden aus externen und internen elektrischen Quellen betrieben und können auch am Notstromdiesel angeschlossen werden. Sie sind meist mehrfach räumlich versetzt angeordnet.

Trotz des hohen technischen Aufwandes kann die Sicherheit auch hier nicht absolut sein. Ein Restrisiko ist vorhanden. Um eine Quantifizierung des Risikos vorzunehmen, werden von verschiedenen Stellen Sicherheitsanalysen angefertigt. Hier stellt man z. B. durch Ereignisbaum-Analysen fest, daß ein großer kerntechnischer Unfall nahezu unmöglich ist. Wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine solche Katastrophe in einer derartigen geringen Größenordnung liegt, muß die Frage gestellt werden, ob es dann noch wirklich sinnvoll ist, ein Mehr an Sicherheit erreichen zu wollen, denn der notwendige Kostenmehraufwand steht in keiner vernünftigen Relation zur Verminderung des Risikos für die Bevölkerung. Andere Gefahrenquellen für Menschen, wie sie sich beispielsweise durch Krankheiten, natürlich bedingte Risiken, freiwillig eingegangene Risiken und ähnliche ergeben, überwiegen um mehrere Potenzen. Die Kerntechnik trägt also nicht meßbar an der Gesamtheit aller vorhandenen Risiken bei.

Zur Quantifizierung des kerntechnischen Risikos sind aufwendige quantitative Untersuchungen für hypothetische Reaktorunfälle in den letzten 20 Jahren in verschiedenen WASH-Reports angestellt worden [14]. Hier wird insbesondere die 1974 erschienene WASH-1400-Studie, die mit dem Namen des Leiters, N. C. Rasmussen, MIT, verknüpft wird, diskutiert [15, 16]. Der zeitliche Aufwand für diese Studie lag bei ca. 50 Mannjahren.

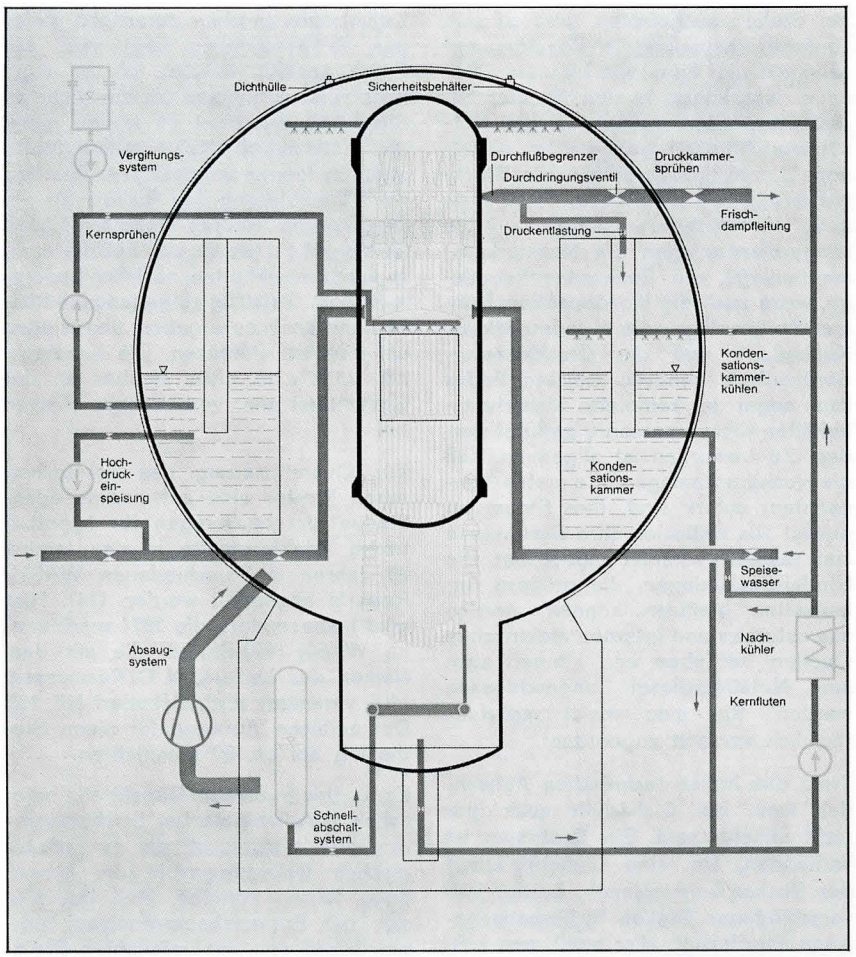
Es wurden in diesem Bericht alle möglichen Unfallabläufe bei Leichtwasserreaktoren untersucht, die zu radiologischen Belastungen in der Umgebung führen könnten. Man bediente sich der Ereignisbaum-Analyse; hierbei wurde von den relevanten Ereignissen, z. B. von Kühlmittelverlustunfällen ausgegangen, die Störfallfrequenz bestimmt und über die in mehrere Gruppen einteilbaren Freisetzungska-



1 Turbine
2 Kondensator
3 Zwischenüberhitzer
4 Generator
5 Druckschale
6 Siedewasserreaktor
7 Umwälzpumpen
8 Brennelementlagerbecken mit Flutraum
9 Lagerraum
10 Brennelement-Wechselmaschine
11 Abluftschornstein
12 Betriebsgebäude
13 Dieselgebäude

Siedewasserreaktor
(KWU)

Bild 6



Notkühleinrichtung (KWU)

Bild 7

tegorien von Radioaktivität, der Wetterlagen und der Bevölkerungsdichte in Richtung der radioaktiven Abluftfahne schließlich das Risiko für die Bevölkerung errechnet. So wurde für den gravierendsten hypothetischen Unfall, bei dem mit einer großen Anzahl von Todesfällen gerechnet werden muß, eine Wahrscheinlichkeit von 5×10^{-9}/Jahr ermittelt. Dabei wurde unterstellt, daß Kernschmelzen einsetzt, weiterhin, daß das Containment-Sprühsystem und die Wärmeabfuhrsysteme versagen, daß das Containment birst und ein Teil des Inhaltes spontan nach außen freigesetzt wird. Zusätzlich liegt die ungünstigste Wetterlage vor, und die radioaktive Wolke driftet in das am dichtesten besiedelte Gebiet ab.

Insgesamt kommt die Studie zu dem Ergebnis, daß aufgrund der niedrigen Eintrittswahrscheinlichkeiten für schwere Störfälle der Betrieb von Kernkraftwerken in den USA akzeptabel ist. Dennoch ist man in den Vereinigten Staaten der Ansicht, daß Kernkraftwerke nicht in dichtbesiedelten Gebieten gebaut werden sollten, solange noch Standorte mit geringer Besiedlungsdichte vorhanden sind.

Vor einer direkten Übertragbarkeit des oben genannten WASH-1400-Reports wird im allgemeinen gewarnt, da die Sicherheitskonzeption unserer Kernkraftwerke nicht in allen Punkten vergleichbar mit der der US-Hersteller ist. Ein Großteil der diskutierten Störfälle wird in unseren Anlagen beherrscht. Aufgrund der höheren Anforderung an die Mehrfachauslegung wichtiger Sicherheitseinrichtungen können bei unseren Kernkraftwerken teilweise geringere Ausfallraten erwartet werden. Andererseits könnten die Auswirkungen wegen der vergleichsweise höheren Besiedlungsdichte um das Kernkraftwerk größer sein [18].

5. Schlußbemerkung

Man wird für die Zukunft geeignete Lösungen finden müssen, um ein Zusammenleben von technischen Anlagen und Wohngebieten zu ermöglichen, da in dichtbesiedelten, hochindustrialisierten Ländern ein engerer Verbund beider kaum vermeidbar sein wird. Hierbei ist die Forderung berechtigt, daß die Anlieger bei Schadenfällen an technischen Anlagen nicht merklich in Mitleidenschaft gezogen werden. Das technische Risiko muß in vernünftiger Relation zu anderen Risiken stehen, denen der Mensch bewußt oder unbewußt seit jeher ausgesetzt ist. Ein sinnvoller Vergleichsmaßstab für technisch bedingte Risiken scheint das vorgenannte, durch Naturereignisse gegebene Risiko zu sein. Sollte das technisch bedingte Risiko kleiner (d. h. die Eintrittswahrscheinlichkeit für relevante Unfälle $\leqq 10^{-6}$/Jahr) sein, wird es als tragbar angesehen. Zur Ermittlung kann man sich vorausschauender Sicherheitsanalysen bedienen, die zum Ziel haben, mögliche Gefahren zu erkennen und sie zu reduzieren.

Es darf angenommen werden, daß sich auch die Versicherungswirtschaft positiv auf derartige vorausschauende Aktivitäten einstellen und ihre Prämien- und Rabattgestaltung flexibel anpassen wird.

Mittels Sicherheitsanalysen ist nicht nur die Sicherheit im bestimmten Rahmen quantitativ errechenbar, sie ermöglichen darüber hinaus eine logische Durchforstung nach denkbaren technischen Schwachstellen. Hierüber kann neben der Erhöhung der Sicherheit auch die Verfügbarkeit von Anlagen und somit die Wirtschaftlichkeit vergrößert werden.

Die technische Sicherheitsanalyse ist ein Mosaikstein, der sich ergänzend in das bestehende Sicherheitsdenken einpassen läßt. Anstehende wichtige oder wichtigere Mosaiksteine sind: Die solide Planung und seriöse Konstruktion, die intensive Bauüberwachung und Materialkontrolle, die ständige Verbesserung bestehender Anlagen und die Wiederholungsprüfungen, die gute Personalaus- und Weiterbildung in der gesamten Hierarchie, der ständige Erfahrungsaustausch über Werks- und Landesgrenzen hinweg, die trainierten Feuerwehren und die gut durchdachten Katastrophenabwehrpläne und vieles andere mehr.

Literatur

[1] D. Farny: Handelsblatt, S. 13 (6. 11. 1975).

[2] Th. A. Jäger: Schweizer Archiv 36, S. 201 (1970).

[3] B. C. Bulloch: Sympos. Chem. Hazards, Am. Inst. Chem. Engin. (1974).

[4] T. A. Kletz: Sympos. Hazards associatéd . . . , Am. Inst. Chem. Engin. (1971).

[5] H. Hennecken: C. Konstr. Sympos. d. DECHEMA (1974).

[6] R. Schwanecke: Arbeitsschutz 1, 3 (1974).

[7] A. Voellmy: Schweizer Bauzeitung 86, 221 (1968).

[8] H. Schardin u. a.: Ziviler Luftschutz 12, 283 (1954).

[9] G. Bambynek u. a.: Erdöl und Kohle, Bd. 27, Heft 9, 503 (1974).

[10] W. Schneeweiss: Zuverlässigkeitstheorie, Springer Verlag (1973).

[11] B. J. Garrick u. a.: USAEC-HN 190 (1967).

[12] DIN 25424: Vorlage Nov. 73.

[13] K. W. Schneider: 6. Konstr. Sympos. d. DECHEMA (1974).

[14] WASH 740 (1957), WASH 1250 (1969), WASH 1400 – Reaktor Safety Study (1974).

[15] K. H. Lindackers: Vortrag RWTH-Aachen, Inst. f. elektr. Anlagen (1975).

[16] A. Kuhlmann: VdTÜV-Vortragsreihe: Energie u. Umwelt (1974).

[17] P. Voigtsberger: VFDB Zeitschr. 24. Jahrg., Heft 4, S. 129 (1975).

[18] Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage zur friedl. Nutzung der Kernenergie der Bundesrepublik Deutschland (1975).

Der Einsatz des Betonspritzverfahrens (nach DIN 18 551 - Spritzbeton, Herstellung und Prüfung) zur Reparatur von feuergeschädigten Betonbauwerken

G. Ruffert

I. Allgemeines

Spritzbeton ist Beton, der mittels Druckluft in einer Schlauch- oder Rohrleitung zur Einbaustelle gefördert und dort mit hohem Druck auf die Auftragsflächen gespritzt wird. Die Betonmischung wird dabei trocken gefördert, erst beim Austritt aus dem Schlauch wird in einer Düse das erforderliche Anmachwasser zugegeben. Durch die Förderung des Materials in trockenem Zustand erhält es eine hohe Geschwindigkeit und damit eine gute Haftung und Verdichtung des Betons an der Aufprallstelle.

Dieses Verfahren, in Deutschland seit 1920 bekannt, wird für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten im Hoch- und Tiefbau eingesetzt; es ist seit einigen Jahren nach DIN 18 551 (Spritzbeton) genormt. Es eignet sich verfahrensbedingt ganz besonders für die Herstellung von Betonschichten geringer Dicke auf Konstruktionen mit unterschiedlichen Abmessungen bzw. komplizierten Formen, also insbesondere zur Reparatur von schadhaften Betonbauteilen. Die Notwendigkeit zur Durchführung solcher Sanierungen ergibt sich fast immer nach Brandeinwirkung auf Stahlbetonkonstruktionen. Der Baustoff Stahlbeton wurde in den letzten Jahrzehnten wegen seiner hohen Materialfestigkeiten und möglichen Formbarkeit für eine Vielzahl größerer Bauobjekte eingesetzt. Als Folge dieser sehr raschen Zunahme von Stahlbeton-

Obering. G. Ruffert i. F. Torkret GmbH., Essen.

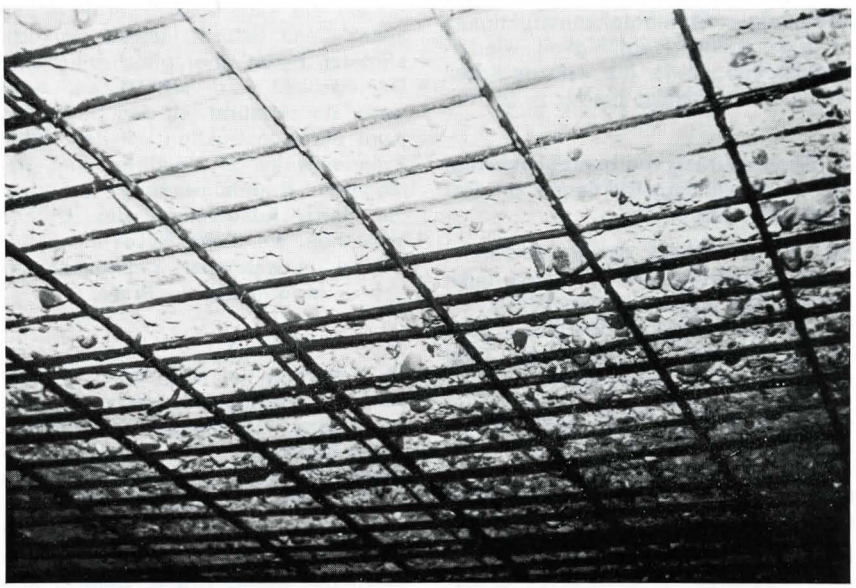


Bild 1. Brandschäden durch Abplatzen der Betondeckung (Archivfoto der Firma Torkret).