

# Sicherheit als sozio-ökonomisches Optimierungsproblem

Autor(en): **Schneider, Th.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **11 (1980)**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-11212>

## **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.

Xa

### **Sicherheit als sozio-ökonomisches Optimierungsproblem**

Safety – a Socio-Economic Decision Problem

Sécurité – un problème de décision socio-économique

Th. SCHNEIDER

Dipl. Ing.

Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG

Zürich, Schweiz

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Es wird diskutiert, warum sich heute eine grundsätzlichere Auseinandersetzung mit der Sicherheit technischer Systeme aufdrängt. Die Entwicklung und der Stand der Bauwerksicherheit werden in diesem Rahmen kurz beleuchtet. Die Frage "Was ist Sicherheit?" wird in ihrer allgemeinsten Form besprochen, und es werden Überlegungen angedeutet, wie Risiken gemessen und beurteilt werden können. Im Vordergrund stehen dabei die Schäden, welche ein System erzeugt, sowie die Kosten, welche für eine Reduktion der Schadenerwartung aufgewendet werden müssen.

### **SUMMARY**

The need for a basic discussion of technical safety is brought forward. The development and state of the art in the field of structural safety are shortly mentioned in this context. The question "What is safety?" is discussed in a broad sense and some ideas on how to measure and appraise risks are presented. The actual damage or loss produced by a technical system and the costs of reducing this anticipated damage are considered to be the decisive facts.

### **RESUME**

La nécessité d'une discussion fondamentale de la sécurité technique est mise en évidence. Le développement et l'état actuel de la sécurité des constructions sont mentionnés sous cet aspect. La question "Qu'est-ce que la sécurité?" est discutée dans un sens général. Des considérations pour évaluer et apprécier des risques sont présentées. Les dégâts qu'un système technique pourrait produire et les frais qu'on devrait engager pour réduire ces risques sont considérés comme les éléments décisifs.



## 1. EINLEITUNG

### 1.1 Zur Aktualität der Sicherheitsfrage in der Technik

Die Frage der Sicherheit war seit je her eng mit der technischen Entwicklung verknüpft. In jüngster Zeit jedoch hat sie an Aktualität besonders gewonnen. Dies ist vorerst erstaunlich, da kaum irgendwelche messbaren Fakten auf eine zunehmende Verunsicherung unseres Lebensraumes hinweisen. Wenn die Sicherheitsfrage dennoch vermehrt ins Rampenlicht rückt, so dürfte dies verschiedene Gründe haben:

Vorerst ist zu erwähnen, dass man in den letzten Jahrzehnten in verschiedenen technischen Bereichen zu einer grundsätzlicheren Auseinandersetzung mit dem Sicherheitsproblem gezwungen war. Allem voran sei hier die Raumfahrt genannt. Das bisherige, mehrheitlich empirische Vorgehen reichte dort für die Lösung der komplexen Sicherheitsfragen ganz einfach nicht mehr aus.

Auch die Sicherheitsprobleme von Kernenergieanlagen waren mit der traditionellen Methode von "trial and error" nicht mehr zu bewältigen. Gerade dieser Zweig der Technik weist uns dabei gleichzeitig auch auf einen anderen Grund für die Aktualisierung der Sicherheitsfrage hin: Während bisher die Technik weitgehend nur den Fachleuten überlassen wurde, wird vermehrt wieder nach einem Einbezug der Technik in die übergeordneten sozialen und psychischen Kategorien gestrebt. Sicherheit ist dabei ein besonders sensibles Thema.

Bedeutsam an dieser Entwicklung ist vor allem, dass sich plötzlich auch Nichttechniker mit dem Sicherheitsproblem befassen. Dabei treten sehr bald Verständigungsprobleme auf. Der Laie fragt: "Ist das überhaupt sicher?" Was soll ihm der Fachmann darauf antworten? Mit einem blossen "Ja" gibt sich der Frager kaum zufrieden.

Was sich hier vorerst als reines *Verständigungsproblem* zu manifestieren schien, ist aber unterdessen zu einem massiven *Verständnisproblem* geworden. "How safe is safe enough?" fragt man heute. Die Artikel zu diesem Thema häufen sich, Ideen werden aufgeworfen; die Antwort ist bis jetzt ausgeblieben.

Ein weiterer Grund für den Ruf nach einer besseren Klärung der Sicherheitsfrage sei hier aufgeführt. Trotz steigendem Wohlstand ist fast überall eine zunehmende Verknappung der öffentlichen Finanzmittel festzustellen. Dies bedeutet, dass auch für Sicherheit, selbst wenn sie an sich ein unbestrittenes Anliegen darstellt, nicht unbeschränkt Mittel zur Verfügung stehen. Umso mehr müssen wir uns die Frage stellen, wie wir die verfügbaren Mittel am besten einsetzen können. Dazu müssen wir aber die Wirksamkeit und den Nutzen verschiedener möglicher Sicherheitsmassnahmen und Strategien überhaupt vergleichen können, was heute in den meisten Fällen erhebliche Schwierigkeiten bereitet.

Zusammenfassend stellt man fest, dass wir mit beschränkteren Mitteln immer komplexere Probleme zu lösen haben und gleichzeitig höhere Sicherheitsanforderungen erfüllen müssen. Dies kann wohl nur gelingen, wenn wir mit einer differenzierteren Betrachtungsweise an das Sicherheitsproblem herantreten.

### 1.2 Was tut sich auf dem Gebiet der Bauwerkssicherheit?

Fragen wir nach der Sicherheit im Bauwesen, so stellen wir vorerst folgendes fest: Zwischen der Sicherheit bei der Herstellung von Bauwerken und der Sicherheit fertiger Bauwerke besteht ein enormer Unterschied. In der Schweiz kommen heute noch jährlich nahezu 200 Beschäftigte im Bauwesen ums Leben, also rund einer von tausend. Hingegen wissen wir nicht einmal, wieviele Personen durch das Versagen fer-

tiger Bauwerke zu Schaden kommen, so klein ist ihre Zahl.

Bis heute stellen in den meisten Ländern Arbeitsunfälle offenbar kaum ein Thema dar, welches wissenschaftlicher Untersuchungen und Tagungen würdig ist. Im Gegensatz dazu hat sich bei Bauwerken das Streben nach absoluter Sicherheit weitgehend behauptet.

Nun, es gibt nur drei Möglichkeiten: Entweder sind unsere Bauwerke zu wenig sicher, gerade sicher genug oder zu sicher. Dabei müssen wir eigentlich zuerst fragen, ob überhaupt alle Bauwerke gleich sicher sind. Sollten sie alle gleich sicher sein? Bis heute sind unsere Sicherheitsanstrengungen vor allem darauf ausgerichtet, Mängel und Fehler auszumerzen. Andere Anstrengungen sollen uns bessere Modelle für das Verhalten von Tragwerken und Materialien liefern. Dies erlaubt uns, die Zuverlässigkeit unserer Berechnungen zu steigern und damit unter Umständen, den gleichen Tragwerkswiderstand unter Verwendung von weniger Material nachzuweisen. Ueber die Frage nach dem Ziel unserer Anstrengungen scheint jedenfalls so etwas wie ein stillschweigender Konsensus zu bestehen.

Seit etwas mehr als zwanzig Jahren hat sich eine zunehmende Zahl von Wissenschaftlern bemüht, der Sicherheit von Bauwerken etwas systematischer und rationaler nachzugehen. Den Ausgangspunkt bildete dabei die Feststellung, dass die Sicherheit eines Bauwerkes gar nicht mit Bestimmtheit vorausgesagt werden kann. Zahlreiche Grössen, welche für eine solche Voraussage bekannt sein müssten, lassen sich in Wirklichkeit nicht mit Bestimmtheit ermitteln, da sie einer unbeabsichtigten, zufälligen Streuung unterworfen sind. Sowohl die Eigenschaften von Materialien, die Abmessungen eines Bauwerkes, vor allem aber die zu erwartenden Belastungen sind von dieser Ungewissheit betroffen. Diese Ungewissheit in den Grunddaten der Bauwerksbemessung setzt sich fort bis in die Gesamtbeurteilung der Sicherheit.

Dementsprechend wurde versucht, durch geeignete mathematische Modelle, diese Grunddaten der Bemessung und die "Sicherheit" des Bauwerkes adäquater in Zusammenhang zu bringen. Wesentlich war es dabei, den Zufallscharakter all dieser Daten berücksichtigen zu können. Folgerichtig stiess man dabei schliesslich auf die Versagenswahrscheinlichkeit als Mass für die Sicherheit eines Bauwerkes. Damit stand gleichzeitig Sicherheit erstmals als messbare Grösse da.

Gegenüber Ansätzen dieser Art ist von vielen Seiten her Kritik geübt worden. Auf alle dabei vorgebrachten Argumente soll hier nicht eingegangen werden. Es scheint jedoch, dass in letzter Zeit die Bedeutung dieser Betrachtungsweise immer klarer gesehen wird. Dies betrifft einerseits die unbestreitbaren Vorteile und Einsichten, welche eine logische und systematische Betrachtungsweise mit sich bringt. Andererseits hat sich aber auch gezeigt, wo - zumindest heute noch - ihre Grenzen liegen. Als eine dieser Grenzen wird immer häufiger genannt, dass zwar der Bemessungsvorgang von Tragwerken durch diese Modelle einigermaßen sinnvoll erfasst wird, dass dabei aber eines der Hauptprobleme der Bauwerksicherheit unberücksichtigt bleibt: Die menschlichen Fehler bei der Planung und Ausführung von Bauwerken.

Auf dieses Problem soll hier nicht näher eingegangen werden. Die nachfolgenden Beiträge werden sich eingehender damit beschäftigen. Immerhin sei erwähnt, dass mit dieser Kritik nicht ein grundsätzlicher Mangel statistischer Betrachtungsweisen aufgedeckt wird. Hingegen muss wohl eingestanden werden, dass die entsprechenden Modelle bis heute zu eng gefasst sind.



### 1.3 Ziel dieses Beitrages

Der vorliegende Beitrag versucht das Sicherheitsproblem von einer ganz anderen Seite her anzugehen. Wir wollen hier nicht nach Mitteln und Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit fragen. Dem Laien ist es letzten Endes gleich, mit welchen Mitteln wir die Sicherheit von Bauwerken erreichen. Er fragt nur, wie sicher Bauwerke sind und ob sie sicher genug sind.

Alle heute verfügbaren Modelle zur Beschreibung der Sicherheit von Bauwerken durch quantitative Grössen wie z.B. Wahrscheinlichkeiten, liefern zwar eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Sicherheit, bilden uns aber nicht die Antwort auf die Frage des Laien. Wir wissen zwar damit, mit welchen Grössen "Sicherheit" beschrieben werden kann, können Versagenswahrscheinlichkeiten ermitteln; was aber "sicher" heisst, wissen wir damit immer noch nicht. Dieses Problem soll im folgenden näher diskutiert werden.

## 2. WAS IST SICHERHEIT ?

### 2.1 Müssen wir diese Frage stellen ?

Es mag provokativ klingen, wenn wir die Frage "Was ist überhaupt Sicherheit?" gerade im Zusammenhang mit Bauwerken stellen. Kaum ein anderer Bereich der Technik kann auf eine derart lange Erfahrung zurückblicken und sich rühmen, durch seine Werke in fast symbolhafter Weise Sicherheit zu verkörpern.

Die ganze bisherige Entwicklung im Bauwesen hat sich abgespielt, ohne dass eine explizite Antwort auf die Sicherheitsfrage gegeben wurde. Ständig verbesserte Kenntnisse der physikalischen Zusammenhänge, Erfahrung und Beurteilungskraft der Ingenieure sowie die Wechselwirkung zwischen Fachleuten, Bauherren, Benützern und der allgemeinen Öffentlichkeit waren bestimmend für die Festlegung von Regeln und Massstäben, nach denen Bauwerke erstellt wurden.

Ist all dies heute in Frage gestellt? Sicher nicht! Aber die Frage, ob es in jedem Fall noch genügt, wird man sich heute stellen müssen. Im Bauwesen ist die Entwicklung zwar auch in den letzten Jahrzehnten nicht so stürmisch verlaufen wie in manch anderem Bereich der Technik. Dennoch sind wir auch hier mit zahlreichen Neuerungen konfrontiert worden: Neue Materialien, neue Konstruktions- und Bauweisen lassen sich nicht mehr alle ohne weiteres in den bisherigen Erfahrungsbereich einreihen. Wie soll hier über die notwendigen Regeln und Anforderungen entschieden werden?

Unser traditionelles Sicherheitsdenken stösst aber auch dort an seine Grenzen, wo Bauwerke immer mehr nur noch Komponenten grösserer, umfassenderer technischer Systeme darstellen. Dies trifft nicht nur im Energiebereich zu, wo Kernkraftwerke, Öl- und Gasgewinnungsanlagen (vor allem "off-shore"-Anlagen) die Einpassung baulicher Elemente in ein Gesamtkonzept erfordern. Auch in der übrigen Industrie ist man mit immer grösseren Gefahrenpotentialen konfrontiert, denen man nur mit wohl-abgestimmten Sicherheitskonzepten begegnen kann. Diese Aufgaben können nicht ohne interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedenster Bereiche der Technik bewältigt werden. Verfügen aber diese verschiedenen Fachleute über die gemeinsame Sprache und genügend klare Sicherheitsvorstellungen für ihre Zusammenarbeit? Wer ist heute in der Lage, die Sicherheit solcher Anlagen gesamthaft zu überblicken und liefert uns daraus die Anforderungen an die baulichen Komponenten?

Ein besonderes Problem stellen dabei in zunehmendem Masse Gefahren dar, deren Potential zwar sehr gross ist, die Chance, dass dieses Potential zur Wirkung kommt, aber sehr gering ist. Hier sind neben Anlagen der Energiewirtschaft wieder Industrien zu nennen, welche mit ständig wachsenden Mengen gefährlichster Stoffe auch in unmittelbarer Umgebung grösster Ballungszentren arbeiten. Wer legt hier die Anforderungen fest? Auf welcher Basis? Die Erfahrung fehlt hier jedenfalls weitgehend, und es ist ja gerade unser Ziel, diese Erfahrungen nicht zu machen.

## 2.2 Wie beschreibt man Sicherheit ?

Stellen wir uns wiederum auf den Standpunkt des Laien. Wie manifestiert sich für ihn Sicherheit? Wohl kaum in Spannungen, Faktoren oder Materialstärken. Der Laie kann nur erkennen, ob ein Bauwerk Schäden erzeugt oder nicht! Für ihn ist Schadenfreiheit Sicherheit. Das Auftreten von Schäden oder die Prognose möglicher Schäden ist also die entscheidende Basis für die Sicherheitsfrage.

Es gibt selbstverständlich viele Arten von Schäden, welche Bauwerke oder andere technische Systeme erzeugen können. Man kann diese Schadenarten z.B. grob in die Kategorien "Sach- oder Personenschäden" sowie "reparabel oder irreparabel" einteilen. Zu den irreparablen Sachschäden wären dabei z.B. Umweltschäden oder Schäden an Kulturgütern zu zählen. Wenn von Sicherheit die Rede ist, steht aber vor allem der Schutz von Leib und Leben von Personen im Vordergrund. Im folgenden soll deshalb nur von tödlichen Unfällen die Rede sein. Für alle anderen Schadenkategorien können analoge Ueberlegungen gemacht werden.

Betrachtet man irgend ein technisches System ganz aus der Sicht der Personengefährdung, so lässt sich diese an sich recht einfach beschreiben (Figur 1): Für jede potentiell betroffene Person ist ihre Gefährdung vollumfänglich durch die Wahrscheinlichkeit beschrieben, durch dieses System tödlich zu verunfallen. Dieses sogenannte *individuelle Risiko* kann dabei auf ein Jahr, die ganze Lebensdauer oder eine andere Grösse bezogen werden. Für die Sicherheit eines Einzelnen ist es an sich irrelevant, wieviel andere Personen in welchem Masse gleichzeitig gefährdet sind.

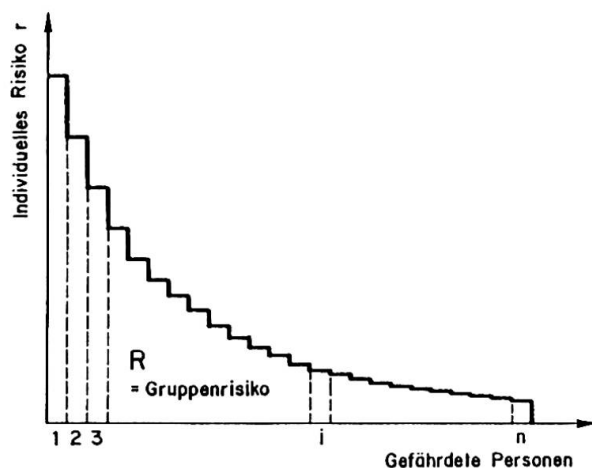


Fig. 1

Ein System erzeugt in der Regel verschiedene individuelle Risiken für die einzelnen gefährdeten Personen. Die Summe dieser individuellen Risiken ergibt das Gruppenrisiko, also die gesamthaft zu erwartende Anzahl Opfer. Diese Zahl finden wir in der Unfallstatistik.

Trägt man das individuelle Risiko aller Betroffenen, wie in Figur 1 dargestellt, auf, so erkennt man eine zweite Risikogrösse: Die Fläche, welche so entsteht, wird oft als *Gruppenrisiko* bezeichnet. Sie gibt an, wie gross das Personenrisiko dieses Systems gesamthaft ist und entspricht der Grösse, welche in unseren Unfallstatistiken auftritt. Solche Statistiken geben ja in der Regel nur an, wieviele Opfer eine bestimmte Aktivität als ganzes erzeugt, ohne zu sagen, wie dieses Risiko über die Beteiligten verteilt ist.



Das Gruppenrisiko kann übrigens auch auf andere Weise als durch die Summation der individuellen Risiken berechnet werden: Wenn wir alle möglichen Schadenereignisse  $j$  in einem System definieren, anschliessend deren Wahrscheinlichkeit  $w_j$  sowie die Anzahl Opfer  $A_j$  im Ereignisfall ermitteln und diese miteinander multiplizieren resp. addieren, so erhalten wir genau dieses Gruppenrisiko ( $\sum w_j \cdot A_j$ ).\*

Zusammenfassend seien die beiden soeben beschriebenen Risikogrössen hier nochmals in symbolischer Schreibweise festgehalten. Vereinfachend sei dabei von einem System ausgegangen, in welchem nur ein einziges Schadenereignis zur Diskussion stehe.

Individuelles Risiko einer Person $i$ : $r_i = w_V \cdot w_{P_i}$ Gruppenrisiko über alle Personen* : $R = \sum_i r_i = \sum_i w_V \cdot w_{P_i} = w_V \cdot A$
--

$w_V$  = Ereigniswahrscheinlichkeit

$w_{P_i}$  = Wahrscheinlichkeit, dass Person  $P_i$  beim Ereignis anwesend ist

$A$  = mittlere Anzahl Opfer im Ereignisfall

Welche dieser beiden Grössen ist nun massgebend für die Sicherheit? In welcher Beziehung stehen diese Grössen zu dem, was wir uns bisher unter der Sicherheit von Bauwerken vorgestellt haben? Auf diese Fragen soll später zurückgekommen werden.

### 2.3 Zum Nutzen von Sicherheitsmassnahmen

Die Definition des Sicherheitsbegriffes ist selbstverständlich eng mit der Beurteilung des Nutzens von Massnahmen verknüpft. Definieren wir Sicherheit durch Schadenrisiken, so ist es klar, dass der Nutzen von Sicherheitsmassnahmen sich durch eine entsprechende Reduktion des Schadenrisikos ergibt.

Für Personenrisiken lässt sich die Frage nach dem Nutzen von Sicherheitsmassnahmen besonders prägnant ausdrücken: Wieviele Personen werden durch eine bestimmte Massnahme gerettet? Diese klare und unausweichliche Frage mag uns in dieser allgemeinen Form vielleicht befremden. Stellen wir uns aber vor, wir hätten zwei verschiedene Sicherheitsmassnahmen ( oder Normenwerke!) gegeneinander abzuwägen: Ist dies dann nicht die Grundfrage, die wir uns stellen sollten?

Wie sieht dies nun bei der Planung und Festlegung von Sicherheitsmassnahmen aus? Betrachten wir dazu den Fall eines bestimmten Bauwerktypes und stellen uns die Frage, welche Verbesserungen der Sicherheit möglich bzw. notwendig sind. In Figur 2 sei auf der Ordinate der Graphik das Gruppenrisiko eines solchen Bauwerkes aufgetragen, auf der Abszisse hingegen die Kosten verschiedener möglicher Sicherheitsmassnahmen. Diese möglichen Massnahmen sind dabei so geordnet, dass das Verhältnis zwischen Risikoabminderung und Kosten kontinuierlich abnimmt.

---

\*Es muss hier der Vollständigkeit halber angedeutet werden, dass mit dieser Definition des Gruppenrisikos ein Effekt vernachlässigt wird, der in der Realität nachweislich auftritt. Ob nämlich jede Person in Figur 2 einzeln gefährdet ist, oder ob mehrere Personen gleichzeitig durch ein Ereignis betroffen werden, wird im allgemeinen nicht gleich beurteilt. Dieser Effekt, welcher in der formalen Entscheidungstheorie als Risikoaversion bezeichnet wird, ist unbedingt zu beachten, soll aber hier nicht weiter diskutiert werden.



Das Gruppenrisiko von Bauwerken fällt bei gleicher Versagenswahrscheinlichkeit ebenfalls sehr unterschiedlich aus. Zusätzlich zur Versagenswahrscheinlichkeit des einzelnen Bauwerkes kommt hier die Anzahl Bauwerke dieses Types ins Spiel, sowie die mittlere Zahl der anwesenden Personen.\*

Es hat sich bei der praktischen Anwendung solcher Ueberlegungen in verschiedenen anderen Bereichen gezeigt, dass sowohl das individuelle Risiko der einzelnen Betroffenen zu beachten ist als auch der zu erwartende Gesamtschaden, d.h. das Gruppenrisiko. Aufgrund von Figur 1 ist dies auch plausibel, da ja die Fläche unter der Kurve unabhängig von der Form dieser Fläche ist.

Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung von individuellen und Gruppenrisiken verschiedener Aktivitäten. Man erkennt, dass diese beiden Grössen keineswegs parallel zueinander verlaufen.

Arbeitsgattung	Tote/Jahr über alle Vollbeschäftigten = Gruppenrisiko	Tote/1000 Vollbeschäftigte und Jahr = mittl. indiv. Risiko
- Holzfällen und Holztransport	2	6
- Engeres Baugewerbe	204	1
- Chemische Industrie	17	0.3
- Fabrikm. Metallbearbeitung	10	0.1
- Kaufm. und techn. Büros	16	0.05

Tab.1 Vergleich von individuellen und Gruppenrisiken in der Schweiz

Es ist nun andererseits selbstverständlich, dass beide Risikogrössen abnehmen, wenn die Wahrscheinlichkeit von Schadenereignissen reduziert wird. Sowohl das individuelle Risiko als auch das Gruppenrisiko können also durch die Versagenswahrscheinlichkeit gesteuert und auf beliebig kleine Werte gebracht werden. Wozu also noch diese Grössen beachten?

Die Steuerung der Sicherheit über die Ereigniswahrscheinlichkeit allein ist ausserordentlich undifferenziert. Sie führt aus der Sicht der effektiven Sicherheitsgrössen zu einem unausgewogenen Resultat. Einer konstanten Verteilung der Versagenswahrscheinlichkeit aller Bauwerke entspricht nämlich eine sehr stark streuende Verteilung der erwähnten Risikogrössen. Spielt dies aber eine Rolle solange wir die erforderliche Sicherheit erreichen?

Hierauf kann eine ganz klare Antwort gegeben werden: Solange es unwesentlich ist, wieviel Geld wir für Sicherheit ausgeben, ist dies in der Tat nicht wichtig. Sobald wir aber fordern, dass die erforderliche Sicherheit mit minimalem Aufwand erreicht werden soll, stehen wir hier vor einem entscheidenden Punkt. Noch deutlicher ist vielleicht die Aussage, dass wir mit den heute eingesetzten Mitteln nicht die maximal mögliche Sicherheit erreichen, wenn wir die Versagenswahrscheinlichkeit als Mass für die Sicherheit nehmen.

\* Bei Einführung einer Aversion gemäss Fussnote in Abschnitt 2.2 ist auch die maximal mögliche Zahl exponierter Personen von Bedeutung.



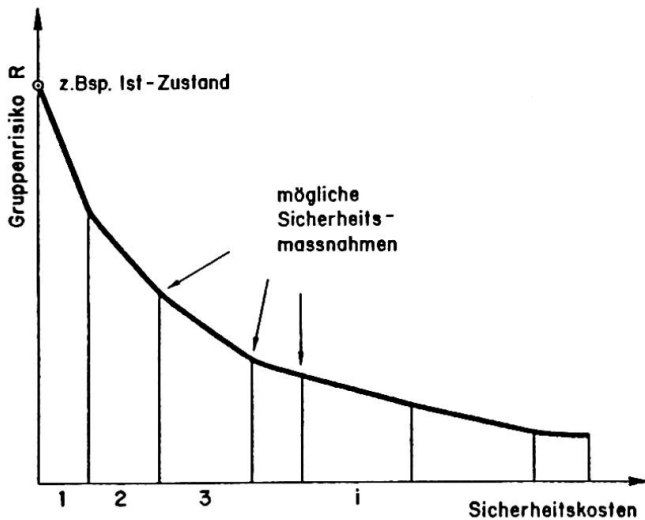


Fig. 2

Jedes technische System kann vom bestehenden Zustand oder irgend einem Ausgangspunkt aus durch mehr Aufwand für Massnahmen sicherer gemacht werden. Ordnet man die Massnahmen nach ihrer Effizienz, so erhält man eine Kurve wie nebenstehend gezeigt.

Es ist nun typisch für jedes technische System, dass man mit zunehmendem Aufwand die Sicherheit immer weiter steigern kann. Dabei werden aber immer unwahrscheinlichere Ereignisse abgedeckt und der Aufwand für eine weitere Risikoreduktion wird immer grösser. Schliesslich zeigt sich auch die bekannte Tatsache, dass das Risiko solcher Systeme nie null sein wird. Dass wir absolute Sicherheit nicht als Massstab nehmen können, ist damit klar. Für jeden aber wird, wenn er dieser Kurve entlang die Sicherheit eines Systems verbessert, einmal der Punkt kommen, wo er sich fragt: Lohnt es sich noch? Ist es noch gerechtfertigt mehr Geld auszugeben? Wo ist der Punkt, an dem das System sicher genug ist?

### 3. DIE BEURTEILUNG VON PERSONENRISIKEN

#### 3.1 Beurteilung aufgrund der Versagenswahrscheinlichkeit

Alle systematischen Ansätze, die Sicherheit von Bauwerken präziser zu erfassen, bringen direkt oder indirekt die Sicherheit mit der Versagenswahrscheinlichkeit des Bauwerkes in Verbindung. Wie weit dies auch für das traditionelle, implizite Sicherheitsdenken gilt, ist schwer zu beurteilen.

Gehen wir im folgenden davon aus, das Sicherheitsstreben bei Bauwerken sei im wesentlichen auf eine konstante Versagenswahrscheinlichkeit  $w_y$  ausgerichtet. Stellen wir nun diese Zielgrösse den beiden Begriffen des individuellen Risikos ( $=w_y \cdot w_{p_i}$ ) und des Gruppenrisikos ( $=w_y \cdot A$ ) gegenüber, so ist leicht einzusehen, dass bei konstantem  $w_y$  keiner dieser beiden Werte konstant für alle Bauwerke sein wird.

In einem Wohnhaus beispielsweise hält man sich verhältnismässig lange auf. Die Chance, dass die Bewohner beim Auftreten der kritischen Belastung anwesend sind, ist also gross. Die Versagenswahrscheinlichkeit liegt hier wohl nahe beim individuellen Risiko der Bewohner. Bei einer Brücke hingegen liegen die Verhältnisse ganz anders. Die Chance, dass ein bestimmtes Individuum im Zeitpunkt eines allfälligen Einsturzes gerade anwesend ist, ist sehr gering. Das individuelle Risiko für einen Benützer dürfte also verschwindend klein sein, wenn die Versagenswahrscheinlichkeit der Brücke gleich gross wie diejenige des Wohnhauses ist.

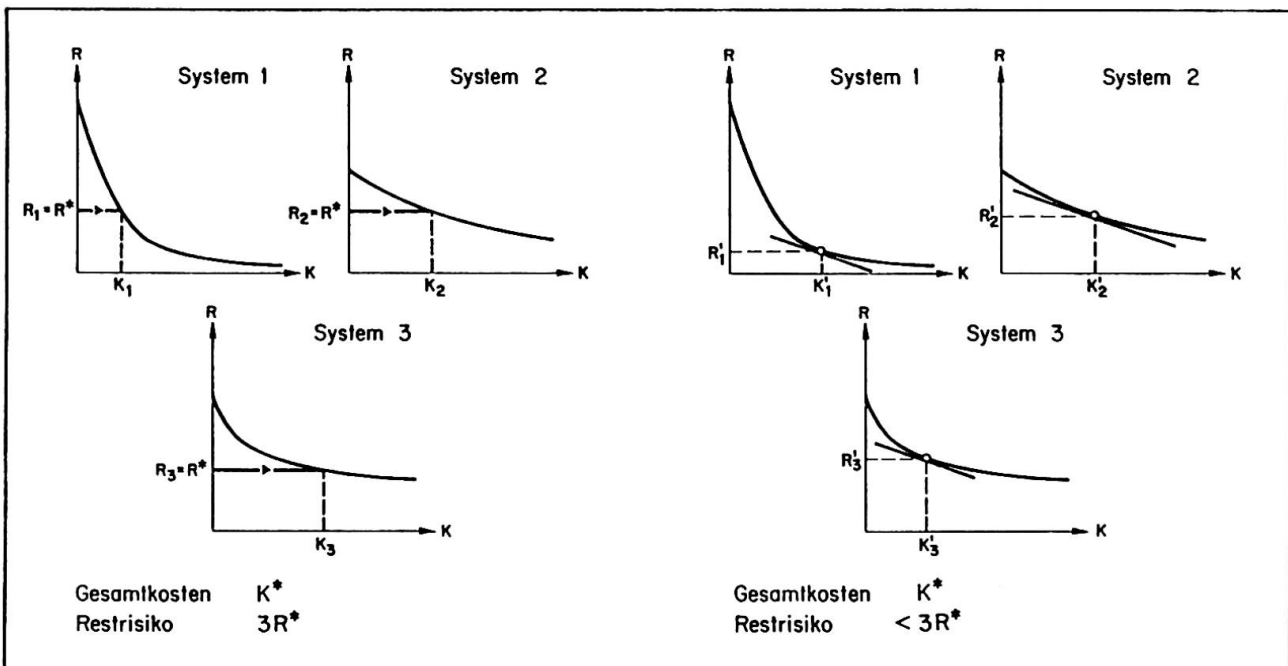
### 3.2 Die Bewertung von Gruppenrisiken

Figur 2 zeigt deutlich, wie sich die Sicherheitsfrage auf der technisch-ökonomischen Ebene präsentiert. Davon ausgehend soll vorerst gefragt werden, wie ein Sicherheitskriterium überhaupt aussehen sollte.

Die häufigste Antwort auf diese Frage lautet wohl so: Die Kosten sind für die Festlegung der erforderlichen Sicherheit irrelevant. Es muss auf irgendeine Weise - z.B. durch Risikovergleiche - ein Wert für das akzeptierbare Risiko gefunden werden. Die erwähnte Kurve zeigt uns dann lediglich, wieviel es kostet, das Risiko auf diesen Wert zu reduzieren.

Diese Antwort scheint auf den ersten Blick zwar einleuchtend. Kommen wir aber so tatsächlich zur besten Lösung des Sicherheitsproblems? Dass dies nicht der Fall ist, soll das Beispiel von Figur 3 andeuten. In dieser Figur werden drei Systeme betrachtet, wobei jedes durch seine Risiko-Kosten-Kurve charakterisiert ist. Auf der linken Seite der Figur wird ein reines Risikokriterium angewendet. Das akzeptierbare Risiko  $R^*$  führt dabei zu Gesamtkosten  $K^*$  für alle drei Systeme.

Man kann nun aber leicht zeigen, dass mit Kosten  $K^*$  ein geringeres Risiko als  $3R^*$  erzielt werden kann. Die rechte Hälfte von Figur 3 deutet an, wie man bei Kosten  $K^*$  das kleinste Restrisiko erhält. Die drei Lösungspunkte sind so zu wählen, dass alle drei Kurven in diesem Punkt die gleiche Neigung aufweisen. Dass dies so sein muss, lässt sich mathematisch leicht nachweisen.



**Fig. 3** Um in einer beliebigen Anzahl von Systemen für gegebene Gesamtkosten  $K^*$  das kleinste Restrisiko zu erhalten, ist nicht ein Risikokriterium (links) sondern ein Grenzkostenkriterium (rechts) einzuführen

Was ist die konkrete Bedeutung eines solchen "Tangentenkriteriums"? In der Ökonomie spricht man von Grenzkosten oder marginalen Kosten und meint damit die Kosten, welche aufgebracht werden müssen, um den Nutzen einer Aktivität um einen Schritt zu steigern. Im Falle unseres Sicherheitsproblems lässt sich dies ganz konkret ausdrücken: Es sind die Grenzkosten, welche wir für die Rettung eines Menschenlebens ausgeben.



Wer die Entwicklung allgemeiner Sicherheitsmodelle etwas eingehender verfolgt hat wird nun denken, dass wir damit wieder beim längst bekannten und oft angefochtenen Problem der ökonomischen Bewertung von Menschenleben angelangt sind. Dazu zwei Bemerkungen:

Vorerst ist festzuhalten, dass uns die Forderung nach optimalem Einsatz der verfügbaren Mittel zwangsweise zu diesem Grenzkostenkriterium führt. Ist dies aber nicht ein deutlicher Hinweis, dass man sich mit dieser Grösse auch inhaltliche eingehender befassen sollte?

Auf Widerstand ist aber die ökonomische Bewertung von Menschenleben vor allem aus einem anderen Grund gestossen. Immer wieder ist versucht worden, aufgrund versicherungstechnischer oder allgemeiner ökonomischer Ueberlegungen einen quasi objektiven Wert für ein Menschenleben zu berechnen. Davon wird hier klar Abstand genommen. Wieviel wir für die Rettung eines Menschenleben ausgeben wollen, ist ein rein subjektives Problem, eine Sache unserer Wertvorstellungen. Wir stehen hier vor einer ähnlichen Frage, wie wenn wir entscheiden müssen, wieviel wir für unsere Landesverteidigung ausgeben sollen, wieviel für das Gesundheitswesen, die Schulen etc.

Zu erläutern wie man zur Festlegung eines solchen subjektiven Wertes für ein Menschenleben kommen kann, würde hier zu weit führen. Immerhin sei als Hinweis erläutert, dass jeder Entscheid über eine bestimmte technische Lösung für ein Sicherheitsproblem implizite eine Festlegung dieses Wertes beinhaltet; nur wissen wir dabei normalerweise nicht wie gross der gewählte Wert ist.

Akzeptiert man die Grenzkosten für die Rettung eines Menschenlebens grundsätzlich als Sicherheitskriterium, so bleibt immer noch eine Frage offen: Soll dieses Kriterium für alle Aktivitäten denselben Wert annehmen? Ein Blick auf die heutige Realität zeigt deutlich, dass wir offenbar nicht bereit sind, überall die selben Sicherheitsanstrengungen zu machen. Längst ist es z.B. bekannt, dass freiwillig höhere Risiken eingegangen werden, als wenn uns Risiken auferlegt werden - und zwar bis zu einem Faktor Tausend.

Allerdings kann es kaum gelingen, die Vielfalt aller zivilisatorischen Tätigkeiten nur nach den Kategorien "freiwillig" und "unfreiwillig" zu unterscheiden. Es sei im folgenden nur andeutungsweise ein Beurteilungsmodell vorgestellt, wie es seit einigen Jahren im Zusammenhang mit der Planung explosionsgefährlicher Anlagen entwickelt und angewendet worden ist. Figur 4 zeigt, dass dabei vorerst vier Hauptkategorien von Risiken gebildet worden sind. Als Unterscheidungsmerkmale wurde das Verhältnis zwischen den

- Betroffenen (durch die Risiken einer Aktivität)
- Beteiligten (an der Aktivität und damit auch Nutzniesser)
- Verantwortlichen (für die Sicherheit der Aktivität)

eingeführt. Weitere Parameter innerhalb der einzelnen Hauptkategorien sind in Figur 4 angedeutet. Die quantitative Festlegung der Kurve in dieser Figur beruht auf einer Auswertung zahlreicher theoretischer Studien, aber auch Fallstudien zu diesem Thema.

Das Diagramm ist so zu verwenden, dass eine Aktivität vorerst einer Risikokategorie zuzuteilen ist. Der dazugehörige Grenzkostenwert bildet das gesuchte "Tangentenkriterium", wie es in Figur 3 diskutiert wurde. Bauwerke gehören entsprechend ihrem Zweck in verschiedene Kategorien. Ein Schwergewicht liegt aber sicher beim Uebergang zwischen den Kategorien 3 und 4.

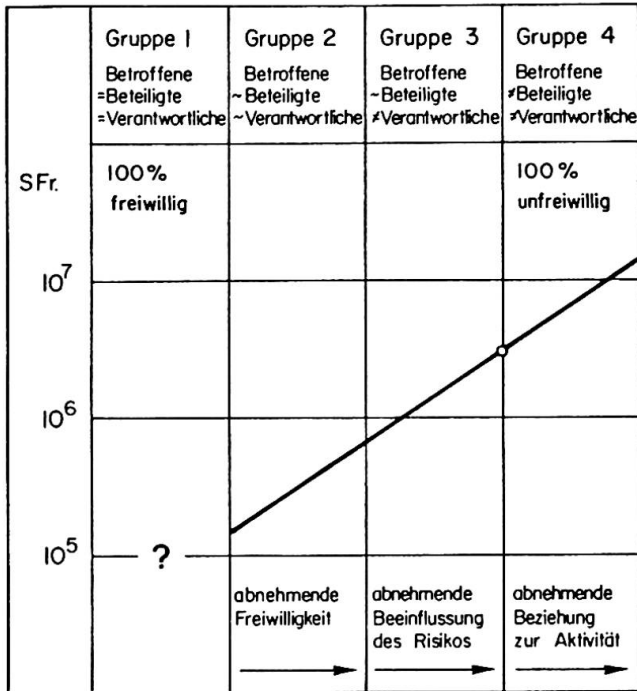


Fig. 4 Grenzkostenkriterium für das Gruppenrisiko (= Kosten pro gerettetes Menschenleben)

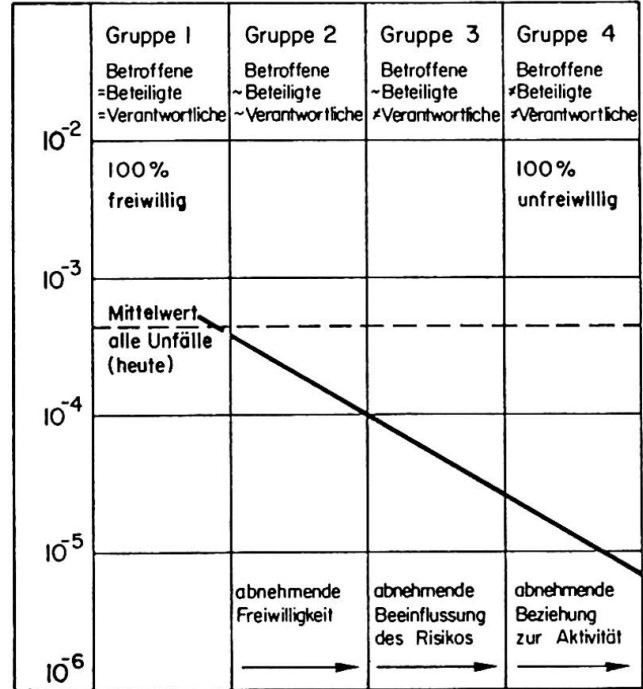


Fig. 5 Risikogrenze für das individuelle Risiko (=Wahrscheinlichkeit für tödlichen Unfall pro Jahr)

### 3.3 Die Bewertung von individuellen Risiken

Der wesentliche Unterschied zwischen der Bewertung von Gruppenrisiken und individuellen Risiken beruht auf folgender Tatsache: Bei Gruppenrisiken besteht das Ziel in der Rettung möglichst vieler Personen für die eingesetzten Mittel; die Zahl in der Unfallstatistik soll möglichst klein werden. Daraus ergibt sich, dass die Mittel dort einzusetzen sind, wo sie am meisten Nutzen abwerfen. Für das Risiko eines Einzelnen sieht dies aber anders aus: Die Person A wird für sich kaum ein höheres individuelles Risiko akzeptieren, nur weil es billiger ist, das individuelle Risiko von Person B zu reduzieren.

Im Gegensatz zu vorher stellt sich hier nun also tatsächlich die Frage nach einem akzeptierbaren Risiko. Für die Beurteilung dieses Problems hilft ein Blick auf die heute vorhandenen individuellen Risiken. Mittlere individuelle Risiken für verschiedene Aktivitäten lassen sich vergleichsweise einfach aus Unfallstatistiken ermitteln und sind schon in zahlreichen Publikationen zusammenfassend dargestellt worden. Auch hier dürften dabei wohl nicht alle Tätigkeiten mit einer Elle gemessen werden. Figur 5 zeigt hierzu einen analogen Vorschlag, wie ihn Figur 4 für das Gruppenrisiko darstellt.

Erwähnt sei hier, dass der Entwurf für eine Tragwerkssicherheitsnorm, welcher zur Zeit in der Schweiz bearbeitet wird, folgende Richtwerte für die Sicherheit von Tragwerken festhält:

- für die Beschäftigten im Bauwesen (nur infolge Tragwerksversagen im Bauzustand, also nicht alle Bauunfälle!)  $10^{-4}$  pro Jahr
- für die allgemeine Bevölkerung (nur infolge Tragwerksversagen, also nicht alle Unfälle in und um Bauwerke)  $10^{-6}$  pro Jahr

Mit diesen Werten wird erstmals versucht, eine Zielvorstellung zu formulieren, wie sicher Tragwerke für die Benützer und Ersteller sein sollten.



#### 4. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die Kluft zwischen den hier dargelegten Ueberlegungen und dem, was normalerweise im Rahmen der Bauwerkssicherheit diskutiert wird, mag ziemlich gross erscheinen. Man wird sich dabei automatisch fragen, ob es überhaupt gelingen kann, eine Brücke zwischen diesen allgemeinen Ueberlegungen und den Ueberlegungen auf der rein technischen Ebene zu schlagen.

Schadenwirkungen und Sicherheitskosten sind aber diejenigen Grössen innerhalb des ganzen Sicherheitsproblem, welche sich letztlich in der Realität manifestieren. Man tendiert aber dennoch dazu, diese Ueberlegungen als abstrakt zu bezeichnen. Sollten wir uns aber nicht vielmehr vermehrt vor Augen halten, wie wirklichkeitsfremd oft unsere Modelle auf der technischen Ebene sind?

In einem Sicherheitsdenken, das von den tatsächlich möglichen Ereignissen ausgeht, deren Wahrscheinlichkeit und Auswirkung als Basis nimmt und Massnahmen nach ihrer schadenmindernden Wirkung beurteilt, kann jedes Sicherheitsproblem erfasst werden. Alle Sicherheitsprobleme der Technik haben hier ihre gemeinsame Basis. Ist es aber nicht notwendig, dass Sicherheit nicht mehr nur als lästiges Nebenproblem vieler einzelner Aktivitäten betrachtet wird? Ist "life saving" nicht ein Bereich, der es verdient, für sich selbst einmal konzeptionell durchdrungen zu werden? Wessen Aufgabe wäre dies?

Sicherheit ist letztlich eine Frage der Wertvorstellungen unserer Gesellschaft. Diese können nicht berechnet werden, sondern kommen nur in einem langfristigen Entwicklungsprozess zum Ausdruck. Vielen Aktivitäten fehlt dieser langfristige Prozess. Sicherheit im Energiesektor ist daher zu einem Tappen im Dunkeln geworden. Wer aber könnte die notwendigen Erfahrungen für die Bewertung von Sicherheit besser liefern als die traditionellen Tätigkeiten der Technik, wie z.B. das Bauwesen? Ein solcher Erfahrungsaustausch ist aber ohne einheitliche Betrachtungsweise gar nicht möglich.

Dürfen wir uns aber selber im Bauwesen wegen unserer langen Erfahrung als erhaben über all diese Fragen betrachten? Viele Baufachleute, z.B. aus dem Wohnungsbau, wundern sich vielleicht, dass man sich überhaupt solange über die Sicherheitsfrage aufhalten kann. Für sie sind wohl meistens ganz andere Faktoren als die Versagenswahrscheinlichkeit des Bauwerkes für die Bemessung massgebend. Aber die Probleme liegen wohl nicht in allen Bereichen des Bauwesens gleich. Es gibt jedenfalls auch eine ganze Reihe von Ingenieuren, die mit ihren Bauaufgaben an oder gar über die Grenzen unserer abgesicherten Erfahrungen gestossen sind.

Abschliessend möchte ich aber provokativ noch eine andere Frage stellen: Sind nicht gewisse Bauwerke vielleicht auch zu sicher? Dürfen wir finanzielle Mittel beanspruchen, die anderswo einen viel grösseren Nutzen bringen würden? Wer aber überblickt dies überhaupt? Sollten wir diesen grösseren Ueberblick nicht anstreben?

Fragen, Fragen! Dieser Einführungsbericht stellt unzählige Fragen. Ich hoffe, dass in Wien auf einige dieser vielen Fragen Antworten gegeben werden.