

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 47

Artikel: Was kostet Sicherheit?
Autor: Stiefel, Ulrich / Schneider, Jörg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75941>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Was kostet Sicherheit?

Von Ulrich Stiefel und Jörg Schneider, Zürich

Verbesserter Schutz von Menschen in Wohngebäuden gegen die Wirkung von Erdbeben oder ein Obligatorium für Luftkissen (Airbags) in Autos, um die Folgen von Autounfällen zu mildern? Was ist richtiger, effizienter, wirkungsvoller?

Es wäre zweifellos interessant, die Zweckmässigkeit solcher Massnahmen aufgrund gesamtheitlicher Überlegungen beurteilen zu können, die einerseits das menschliche Empfinden gegenüber Gefahren, andererseits aber auch volkswirtschaftliche Belange miteinbeziehen. Die Antwort fällt nicht leicht. Es fehlt ein gemeinsames Begriffsgebäude, das in den beiden als Beispiele angeführten technischen Systemen «Wohnungswesen» und «Strassenverkehr» anwendbar ist. Die Beurteilungsmethoden stecken noch weitgehend in den Kinderschuhen. Zudem befinden verschiedene Instanzen über die Einführung solcher Massnahmen. Selbst im engeren Fachbereich liegen gültige Antworten nicht auf der Hand. Sicherheitsgurten oder Luftkissen? Auch diese Diskussion ist noch nicht abgeschlossen.

Mit derartigen Fragen befasst sich der vorliegende Artikel und stützt sich dabei auf eigene Arbeiten sowie Forschungsergebnisse verschiedener in- und ausländischer Institute und Organisationen.

1. Zwei Beispiele zur Quantifizierung von Sicherheit

1.1. Wohnungswesen und Erdbeben-Norm

Die Ist-Sicherheits-Situation im Wohnungswesen

Die Kosten des hier mit dem Begriff «Wohnungswesen» eingeführten technischen Systems umfassen die Kosten des Wohnungsbaus und des Wohnungsbetriebs. Die entsprechenden Ausgaben betragen in der Schweiz jährlich insgesamt rund 22 Mia. Fr., die je etwa zur Hälfte in den Wohnungsbau investiert werden bzw. in den Betrieb von Wohnungen gehen. Fragen der Amortisation oder veränderter Ansprüche an das Wohnungswesen finden in dieser groben Abschätzung keine Berücksichtigung. Die Zahlen für den Wohnungsbau entstammen Erhebungen des Instituts für Hochbauforschung, ETH Zürich [13] sowie Angaben des Statistischen Jahrbuches der Schweiz [30] und des Heftes Siedlungsstruktur [26]. Die Angaben über den Wohnungsbetrieb wurden den Haushaltrechnungen des BIGA entnommen.

Die genannten Beträge decken die sehr weit zu fassenden Aspekte Zweckmässigkeit, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Dauerhaftigkeit ab. Ein Abspalten der für den Aspekt Sicherheit verwendeten Teilbeträge, der sogenannten *Sicherheitskosten*, ist oft nur in recht grober Näherung möglich. Hier dient dazu eine detaillierte Kostenaufschlüsselung, welche die Kosten des Wohnungswesens, d. h., den Bau und den Betrieb von Wohnungen, auf verschiedenen Ebenen erfasst. Der Wohnungsbau lässt sich, z. B. in Anlehnung an die Klassifikation des Baukostenplanes [5], weiter unterteilen. Die Kosten für den

Wohnungsbetrieb teilen sich einerseits in die verschiedenen Arten der Nebenkosten und andererseits in die Kosten der Wohnungseinrichtung wie Teppiche, Möbel, Geräte, usw. Auf der untersten Ebene dieser an eine Hierarchie angelehnten Aufschlüsselung der Gesamtkosten findet die Abspaltung der Kosten für die verschiedenen Aspekte, insbesondere für den Aspekt Sicherheit, statt.

Die Beiträge aus der oben beschriebenen Erhebung ergeben aufsummiert die insgesamt im Wohnungswesen der Schweiz jährlich aufgewendeten Sicherheitskosten von 4,2 Mia. Fr. Wir nennen diese Grösse «kollektive Sicherheitskosten». Sie entsprechen 19% der Gesamtkosten des Wohnungswesens oder rund 2% des schweizerischen Bruttosozialproduktes. Die im Wohnungswesen investierten Sicherheitskosten entsprechen demnach einer Ausgabe von jährlich 4200 Mio Fr./6,5 Mio Einwohner entsprechend 650 Fr. pro Einwohner, eine Grösse, die wir mit «individuellen Sicherheitskosten» bezeichnen.

Das im System «Wohnungswesen» vorhandene *Todesfall-Risiko* ergibt sich im wesentlichen aus zwei grossen Gruppen, nämlich aus dem Berufsrisiko der Bauarbeiter, die Wohnungsbauten erstellen und aus den mit dem eigentlichen Wohnen verbundenen sogenannten Haushaltsunfällen. Jährlich sterben [31] auf Baustellen des Wohnungsbaus in der Schweiz im Mittel rund 80 Menschen. Im Haushalt verunfallen (gemäss Schätzungen der BfU) jährlich etwa 700 Bewohner tödlich.

Darunter sind über 60% ältere Menschen, die nicht mehr von den Verletzungen nach einem Sturz genesen. Todesfälle aus Tragwerkversagen hingegen sind im Mittel so selten, dass das

Statistische Jahrbuch der Schweiz [30] hierfür keine Rubrik führt. Gegenüber den vorher erwähnten Risiken ist der Beitrag jedenfalls vernachlässigbar. Das jährliche Todesfall-Risiko im Wohnungswesen der Schweiz beträgt demnach rund 800 Tote pro Jahr. Wir nennen diese Grösse «kollektives Risiko». Das auf den Einwohner der Schweiz bezogene sogenannte individuelle Risiko beträgt $1,2 \times 10^{-4}$, wobei der Einfachheit halber auf eine Unterscheidung der verschiedenen Risiken von Bauarbeitern und übrigen Gliedern der Bevölkerung verzichtet sei. Mittels Sicherheitskosten und zugehörigen Risiken ist damit die *Ist-Sicherheitsituation* beschrieben.

Die Gefährdung aus Erdbeben

Die genannten Sicherheitskosten umfassen alle Anstrengungen, die unternommen werden, um die Erbauer und Benützer von Wohnbauten vor Schaden zu bewahren. Interessiert man sich für den Teilbetrag, der zur Abwehr einer ganz bestimmten Gefährdung aufgewendet wird, ist eine weitere Aufschlüsselung der Sicherheitskosten nötig. Für das vorstehende Beispiel ergibt sich, dass der Schutz der Bewohner von Wohnungsbauten gegen Erdbeben im schweizerischen Mittel etwa 5% der Sicherheitskosten, entsprechend rund 0,2 Mia. Fr., kosten dürfte. In Gegenden mit erhöhter seismischer Aktivität, wie im Wallis, dem Engadin oder der Region Basel, liegt der prozentuale Anteil höher. Der individuelle Anteil der Sicherheitskosten, der zum Schutz gegen Erdbeben im Wohnungswesen eingesetzt wird, beträgt damit durchschnittlich nur rund 30 Fr. pro Einwohner.

In der Schweiz ereigneten sich in den letzten hundert Jahren rund 15 Erdbeben (Mass für die Schadenhäufigkeit) mit der Epizentralintensität $I_{MSK} \geq VII$, einem Mass für den zu erwartenden Schadenumfang. Um diesen abzuschätzen, sei ein Erdbeben herangezogen, das am 8. November 1983 die Stadt Lütlich und Umgebung mit einer betroffenen Bevölkerung von rund 500 000 Menschen erschütterte. Dieses Erdbeben hatte eine maximale Intensität $I_{MSK} = VII$ (vgl. [1]). Zwei Tote und 10 Verletzte waren zu beklagen. Einer der Toten war das Opfer eines vermutlich schockbedingten Herzversagens, der andere fand den Tod durch herabstürzende Trümmer eines Wohnhauses. Eine Übertragung des Schadenausmasses auf schweizerische Verhältnisse ist unter gewissen Einschränkungen möglich (vgl. [1]). Dabei kommt man zum Schluss, dass in der Schweiz bei einem Erdbeben mit der Intensität $I_{MSK} = VII$

mit bis zu drei unter Wohnbauten begrabenen Toten zu rechnen sei. Im Folgenden rechnen wir mit einem einzigen Opfer. Damit lässt sich das kollektive Todesfall-Risiko aus Erdbeben zu 1 Toter \times 15 Erdbeben/100 Jahre = 0,15 Tote pro Jahr bestimmen. Das individuelle Risiko jedes Einwohners beträgt dabei im Mittel 0,15 Tote pro 6,5 Mio. Einwohner, d. h. $2,3 \times 10^{-8}$ Tote pro Jahr und Einwohner.

Die Sicherheits-Massnahme «Erdbeben-Norm»

Gegenwärtig erarbeitet eine Arbeitsgruppe der Normkommission SIA 160 neue Erdbeben-Bestimmungen [25]. Diese sehen im Wohnungsbau für alle 20 m Höhe übersteigenden Gebäude in der ganzen Schweiz und für praktisch alle Wohnungsbauten im Wallis gewisse zusätzliche konstruktive Massnahmen und rechnerische Nachweise vor. Rund 10% der Wohnungsbauten der Schweiz sind davon betroffen [26]. Die Rohbaukosten aller in der Schweiz erstellten Wohnungsbauten betragen jährlich 2,7 Mia. Fr. Der Anteil der Rohbaukosten, die von der neuen Norm betroffen sind, beläuft sich heute auf etwa 270 Mio. Fr. Bei Anwendung der neuen Norm wird der Rohbau der betroffenen Wohnungsbauten rund 1% teurer, was einer Ausgabe von 2,7 Mio. für den erhöhten Erdbebenschutz von Menschen in Wohnungsbauten entspricht. Damit kann aber das verbliebende Risiko höchstens vollständig eliminiert, oder, mit anderen Worten, statistisch höchstens 0,15 Menschen pro Jahr gerettet werden. Dividiert man die Kosten dieser Sicherheits-Massnahme, hier 2,7 Mio. Fr., durch die mögliche Risikoreduktion, hier 0,15 Gerettete pro Jahr, ergeben sich 19 Mio. Fr. pro gerettetes Menschenleben. Wir nennen diese Grösse «Rettungskosten». Diese Grösse ist ein entscheidendes Merkmal für die Beurteilung von Sicherheitsmassnahmen. Je kleiner sie ist, desto wirksamer ist die Massnahme.

1.2 Strassenverkehr und «Airbags»

Die totalen *Kosten* des Strassenverkehrs von jährlich 12 Mia. Fr. umfassen die Ausgaben für den Strassenbau, die Fahrzeuge samt Unterhalt und Betriebsmitteln, einen Anteil der Kosten für Polizei und Feuerwehr sowie die auf den Strassenverkehr umgelegten Anteile der Verwaltungskosten von Bund, Kantonen und Gemeinden. Eine weitergehende Aufschlüsselung der Kosten ist mit Hilfe von verschiedenen Unterlagen möglich [2, 27, 30]. Der Anteil der kollektiven *Sicherheitskosten* ergibt sich aufgrund einer groben Abschätzung zu jährlich rund 3,3 Mia. Fr. oder 28% der Gesamtkosten. Die indivi-

duellen Sicherheitskosten im Strassenverkehr betragen damit jährlich rund 500 Fr. pro Einwohner der Schweiz.

In der Schweiz sterben jährlich rund 1250 Personen bei Verkehrsunfällen. Rund 20 Menschen werden bei der Erstellung und beim Unterhalt von Strassen getötet. Das individuelle *Todesfall-Risiko* eines Bewohners der Schweiz beträgt damit 1270 Tote pro 6,5 Mio. Einwohner bzw. 2×10^{-4} Tote pro Jahr und Einwohner. Die Risiken liegen demnach in der Grössenordnung derjenigen des Wohnungswesens.

Eine *Massnahme zur Reduktion* des Todesfall-Risikos wird unter anderem in der Anordnung von Luftkissen (Airbag) gesehen, welche sich beim Aufprall blitzartig aufblähen und den Fahrer auffangen sollen. Würden in allen Autos der USA solche Kissen montiert, kostete diese Sicherheitsmassnahme je nach Studie jährlich zwischen 4 und 8 Mia. Fr. [4]. Der Unterschied ist durch verschiedene Fabrikate, verschiedene Montagevorgänge usw. bedingt. Das Problem der Kostenaufschlüsselung für die verschiedenen Aspekte (vgl. 1.1) ist hier irrelevant, da es sich um eine ausschliesslich dem Aspekt Sicherheit anzulastende Massnahme handelt.

Auch die in den erwähnten Berichten publizierten Angaben über die Risikoreduktion dank Luftkissen schwanken stark. Gemäss den Aussagen einer Studie könnten mit Luftkissen rund zwei Fünftel der jährlich in Autos sterbenden Amerikaner gerettet werden. Eine andere Studie rechnet jedoch nur mit rund 10%. Die aufgrund dieser Studien bestimmbaren *Rettungskosten* der Massnahme «Airbag» liegen zwischen 290 000 \$ und 450 000 \$ pro gerettetes Menschenleben; bei einem Dollarkurs von 2,0 Fr. ergibt dies Rettungskosten in der Grössenordnung von 0,7 Mio. Fr. pro Geretteten.

1.3 Vergleich der beiden Systeme

Die im vorangehenden Abschnitt gewonnenen Informationen über die *Risiken*, *Sicherheitskosten* und *Rettungskosten* der beiden Systeme «Strassenverkehr» und «Wohnungswesen» lassen sich in den Bildern 1 und 2 übersichtlich darstellen.

Mit den beiden Kriterien Risiko und Sicherheitskosten (vgl. Bild 1) lässt sich die Ist-Sicherheitssituation erfassen. Die Wirkung der Sicherheitsmassnahmen «Airbag» im technischen System «Strassenverkehr» ist im Bild 2 deutlich erkennbar. Die Massnahme «Erdbeben-Norm» im System «Wohnungswesen» führt zu einer relativ kleinen Risiko-Reduktion, die im gewählten Masstab nicht darstellbar ist. Die

Sicherheitskosten der Massnahme «Airbag» sind ungleich höher (Bild 2). Trotzdem erweist sich diese Sicherheitsmassnahme als ökonomisch sinnvoller, sind doch die Rettungskosten niedriger, d. h. es können pro Geldeinheit mehr Menschen gerettet werden.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die oben verwendeten Zahlen zum Teil recht grobe Schätzwerte sind. Es ging uns hier vor allem darum, die Denkweise und die wesentlichen Masszahlen nachvollziehbar einzuführen. Nähere Hinweise zu den Methoden zur Ermittlung dieser Masszahlen und auch auf die damit verbundenen Schwierigkeiten finden sich im Kapitel 4.

2. Begriffe zur Quantifizierung von Sicherheit

Wir befassen uns hier mit der Sicherheit technischer Systeme. Der Begriff «Technisches System» steht dabei für jeden mehr oder weniger gut abgegrenzten Teil der natürlichen oder künstlich geschaffenen Umwelt, den der Mensch mit willentlichen Massnahmen beeinflussen kann.

2.1 Individuelle und kollektive Kriterien

Wir haben in den vorstehenden Beispielen fast zwanglos verschiedene Kriterien eingeführt, welche die Sicherheitssituation eines technischen Systems zu beschreiben gestatten und eine Beurteilung zusätzlicher Sicherheitsmassnahmen, bzw. alternativer Sicherheitsstrategien ermöglichen. Es sind dies die Kriterien *Risiko*, *Sicherheitskosten* und *Rettungskosten*. Wir wollen diese Kriterien genauer anschauen.

Es zeigt sich, dass der Standpunkt entscheidend ist: Wenn die Sicherheits-Situation von Einzelpersonen zur Diskussion steht, reden wir von *individuellen* Kriterien. Betrachten wir die Sicherheits-Situation von Personengruppen oder der Gesellschaft als Ganzes, sind die *kollektiven* Kriterien zu betrachten.

2.2 Risiko

Anhand einiger Aussagen zum Thema Sicherheit sei das Kriterium Risiko näher umschrieben.

«Die Schweiz kann als recht sicher bezeichnet werden, denn es geschehen jährlich im Mittel nur 60 Morde», ist offenbar eine Aussage über den kollektiv betrachteten *Schaden-Umfang* aus unerwünschten Ereignissen. Die Aussage: «Ich fühle mich sicher, weil ich mir bei diesem Spiel allerhöchstens den

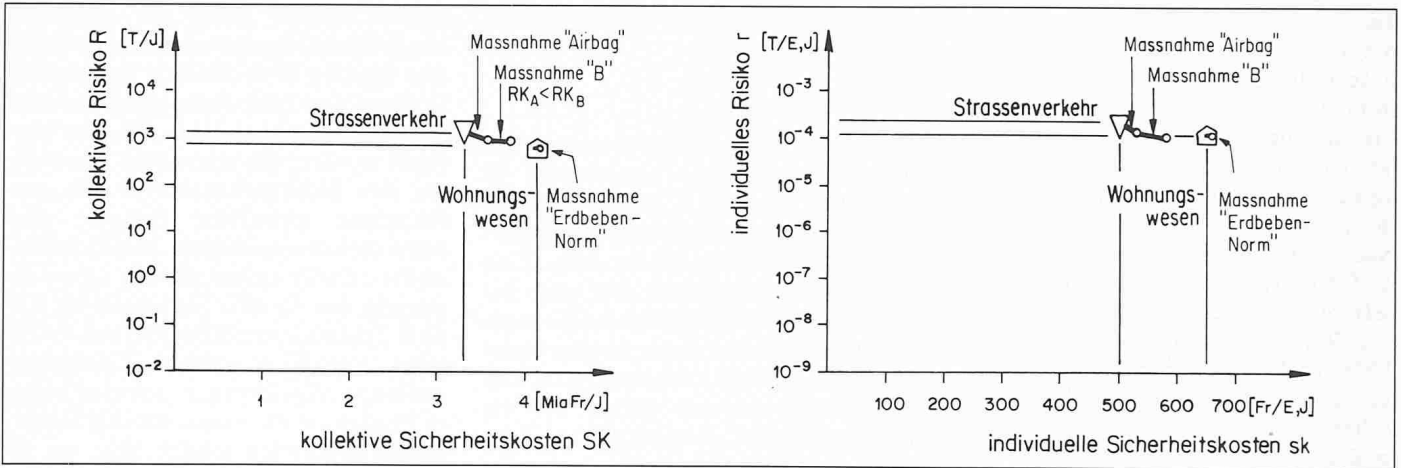
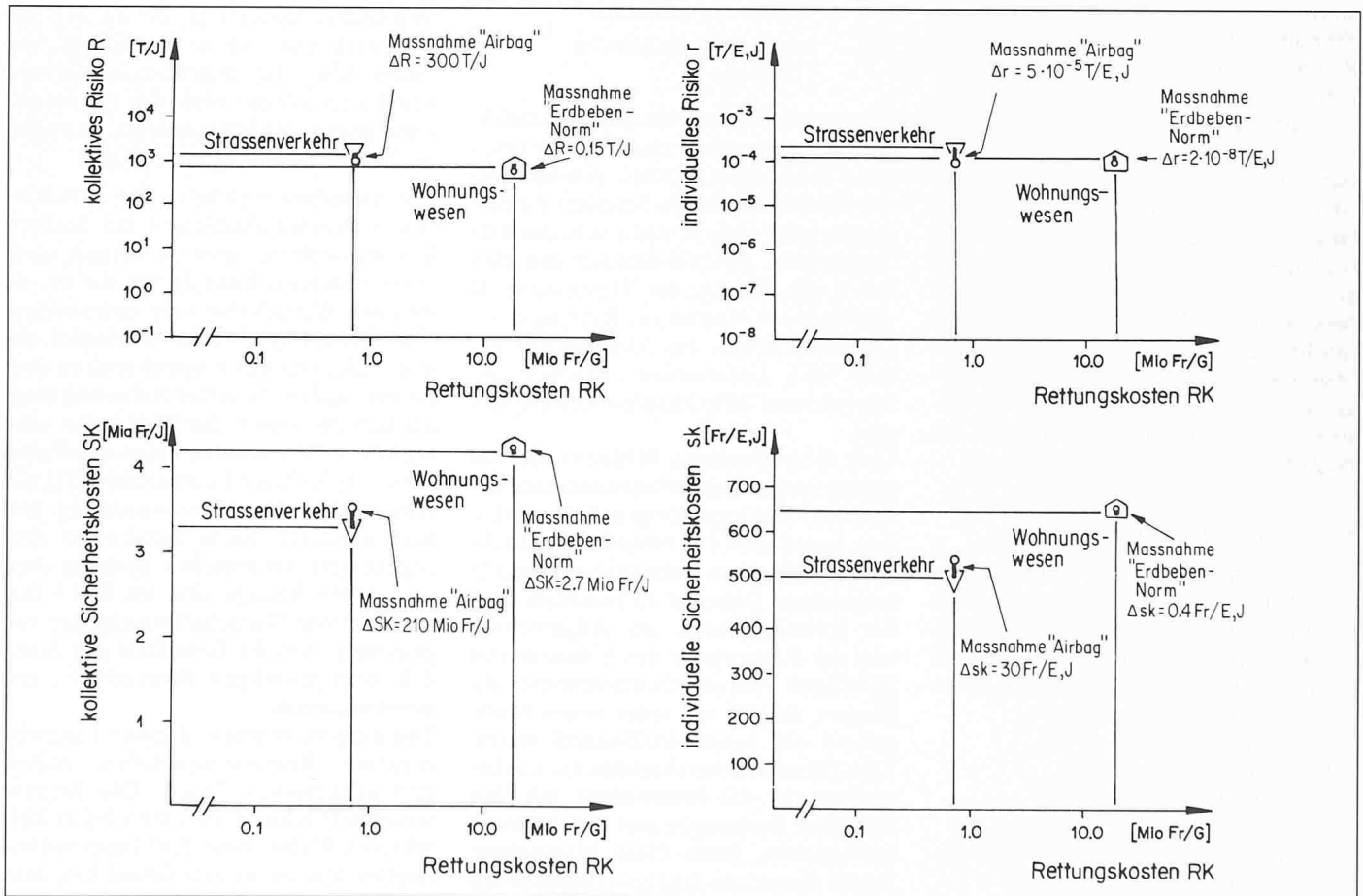


Bild 1. Risiko, Sicherheitskosten und Rettungskosten für die technischen Systeme
 - Wohnungswesen mit der Massnahme «Erdbeben-Norm»
 - Strassenverkehr mit der Massnahme «Airbag» und der Massnahme B

(Verwendete Abkürzungen: T Tote, J Jahr, E Einwohner, G Geretteter)

Bild 2. Risiko und Rettungskosten (oben), Sicherheits- und Rettungskosten (unten) für die technischen Systeme.

- Wohnungswesen mit der Massnahme «Erdbeben-Norm» [25]
- Strassenverkehr mit der Massnahme «Airbag» und Massnahme «B» (als Beispiel für die ökonomisch optimale Reihenfolge verschiedener Sicherheitsmassnahmen)



Finger verstauchen kann», gibt einen individuellen Standpunkt wieder.

Im übrigen sind in diesen beiden Aussagen unterschiedliche Schadenarten angesprochen. Der vorliegende Aufsatz befasst sich primär mit der Gefährdung von Menschen. Die betrachtete Schadenart ist «Verlust von Menschenleben». Ähnliche Überlegungen gelten aber auch für andere Schadenarten wie z.B. «Verletzte» oder «Sachschaden».

«Zürich kann als relativ sichere Stadt gelten, weil Morde selten sind». Damit ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Schaden eintritt – kurz: die *Schadenhäufigkeit* – angesprochen.

Das Produkt aus Schaden-Umfang und Schaden-Häufigkeit wird als Erwartungswert des Schadens bzw. als Schaden-Risiko bezeichnet. Damit lässt sich die Gefahr, der ein Individuum ausgesetzt ist, als individuelles Risiko r_i zah-

lenmässig fassen. Ähnlich können kollektive Risiken R_i angegeben werden, die für ganze Bevölkerungsteile gelten. Die in Kapitel 1 dargestellten Beispiele veranschaulichen diese Begriffe.

Risiken lassen sich aufgrund von Beobachtungen oder mit wahrheitstheoretischen Überlegungen bestimmen. Ein aufgrund von Fakten ermitteltes Risiko bezeichnet man als effektives Risiko. Damit bleiben jedoch

die nicht direkt zahlenmässig erfassbaren Einflüsse der subjektiven Risiko-Empfindung unberücksichtigt. Es besteht die Möglichkeit, diese durch die Einführung des Begriffes «empfundenen Risiko» zu erfassen. Zur Notwendigkeit dieser Unterscheidung einige Beispiele:

Nach einer Untersuchung von Fischhoff und MacGregor [9] überschätzten befragte Personen das effektive, kollektive Risiko aus Autounfällen um das 2,5fache. In einer anderen Studie zeigten Slovic et al [28], dass im allgemeinen kollektive Risiken aus Ereignissen, die in den Medien grosse Beachtung finden, wie z. B. Autounfälle und Naturkatastrophen, oder aus Sachverhalten, die individuell als bedrohlich gelten, wie z. B. Krebs oder Selbstmord, zu hoch eingeschätzt werden. Hingegen finden Unfälle mit wenigen oder gar nur einem einzigen Opfer oder weniger bedrohlich verlaufende Krankheiten kaum grosse Beachtung. Die entsprechenden Schätzwerte für das kollektive Risiko sind in diesen Fällen objektiv zu klein.

Ein Spezialfall des empfundenen Risikos ist das sogenannte «akzeptierte Risiko». Es ist dasjenige empfundene Risiko, welches dem Individuum, einer Gruppe oder der Gesellschaft als Ganzes angesichts des zugehörigen Nutzens als annehmbar erscheint. So erregen beispielsweise die wenigen Todesfälle infolge der medizinischen Massnahme «Impfen» praktisch keine Aufmerksamkeit und werden in kollektiver Hinsicht, wenn auch individuell nicht immer unwidersprochen, akzeptiert.

2.3 Sicherheitskosten

Aus der Projektierung, der Erstellung, dem Betrieb und dem Abbruch jedes technischen Systems entstehen Kosten. Diese werden aufgebracht, um die schon weiter vorne erwähnten, sehr weit zu fassenden Aspekte

- Zweckmässigkeit,
- Sicherheit,
- Wirtschaftlichkeit und
- Dauerhaftigkeit

des technischen Systems und damit dessen Qualität zu gewährleisten.

Sicherheit kostet etwas. Die durch Sicherheitsbestrebungen verursachten Kosten, hier als *Sicherheitskosten* bezeichnet, finden als Teil der Gesamtkosten Eingang in Wirtschaftlichkeitsanalysen, treten separat jedoch meist nicht in Erscheinung. Damit stellt sich das Problem der Abspaltung der Sicherheitskosten von den Gesamtkosten. Diese Abspaltung ist besonders schwierig und möglicherweise das schwächste Glied im hier diskutierten Zusammenhang. Die dazu grundsätzlich geeigneten

Methoden (vgl. 4.2) sind bei weitem noch nicht ausgereift.

2.4 Rettungskosten

Was kostet *zusätzliche* Sicherheit? Die Durchführung einer Massnahme M führt den Zustand Z_i in den Zustand Z_{i+1} über und bewirkt eine Reduktion der Risiken um den Betrag ΔR_M . Eine solche Massnahme zieht aber auch zusätzliche Sicherheitskosten ΔSK_M nach sich. Der Quotient dieser beiden Grössen ist besonders aussagekräftig. Es handelt sich um eine Grösse, die wir mit dem Begriff *Rettungskosten* RK_M der Massnahme M weiter vorne bereits eingeführt haben:

$$RK_M = \frac{\Delta SK_M}{\Delta R_M}$$

worin

$$\Delta R_M = R_i - R_{i+1}$$

$$\Delta SK_M = SK_{i+1} - SK_i$$

$$R_i = \text{Risiko im Zustand } i$$

$$SK_i = \text{Sicherheitskosten im Zustand } i$$

Die Rettungskosten RK_M der Massnahme M entsprechen dem zur Vermeidung einer Risikoeinheit einzusetzenden Aufwand. Ist die Schaden-Einheit ein Menschenleben, dann sind die Rettungskosten gleichbedeutend mit den durch den Einsatz der Massnahme M verbundenen Kosten zur Rettung eines Menschenlebens. Im Allgemeinen besteht kein Unterschied zwischen kollektiven und individuellen Rettungskosten.

Über die Massnahme M hinaus sind natürlich weitere Sicherheitsmassnahmen denkbar. Die zugehörigen Rettungskosten lassen sich für einzelne Massnahmen oder ganze Massnahmenpakete bestimmen. Dabei ist zu beachten, dass die Rettungskosten im Allgemeinen von der Reihenfolge des Einsatzes der jeweiligen Sicherheitsmassnahme abhängen, da sich mit jeder neuen Massnahme ein neuer Ist-Zustand ergibt. Vom ökonomischen Standpunkt aus betrachtet, ist die Massnahme mit den kleinsten Rettungskosten den anderen vorzuziehen, denn diese Massnahme bringt die grösste Risiko-Reduktion für jede aufgewendete Geldeinheit bzw. erfordert den geringsten finanziellen Aufwand zur Vermeidung einer Schaden-Einheit. In den Bildern 1 und 2 sind diese Zusammenhänge dargestellt.

3. Vergleich verschiedener technischer Systeme

In der heutigen, von technischen Systemen dominierten Umwelt des Menschen lassen sich viele weitere Beispiele

finden, welche jenen des Kapitels 1 ähnlich sind. Basierend auf verschiedenen Studien über Risiken technischer Systeme und über Rettungskosten von Sicherheitsmassnahmen, soll hier versucht werden, die relevanten Masszahlen der Sicherheitskriterien für verschiedene technische Systeme und Sicherheitsmassnahmen zusammenzustellen. Dafür stehen die zur Quantifizierung des Aspekts Sicherheit im Kapitel 2 diskutierten Kriterien zur Verfügung. Von einer solchen Zusammenstellung verspricht man sich eine bessere Einsicht in die Frage, wo sich Sicherheitsmassnahmen lohnen bzw. wo sie unwirtschaftlich sind. Erwartet werden letztlich Hinweise zur Klärung der Frage «Wie sicher ist sicher genug?» [6].

3.1 Risiko und Sicherheitskosten

In den letzten zwanzig Jahren publizierten viele Autoren Angaben über Risiken verschiedenster Aktivitäten bzw. technischer Systeme [3, 20, 29, 31]. Im Gegensatz dazu gibt es nur wenige Angaben über die zugehörigen Sicherheitskosten. Diese sind, wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, zumeist auch recht schwierig zu ermitteln.

Die Ausgaben, welche in den verschiedenen Wirtschaftszweigen für Sicherheitsmassnahmen getätigt werden, sind unter anderem abhängig von der im jeweiligen Wirtschaftszweig zirkulierenden Geldmenge. Diese wiederum ist mehr oder weniger proportional zu den Lohnausgaben. In erster Näherung mag deshalb die durch die SUVA für verschiedene Wirtschaftszweige erhobene prämienspflichtige Lohnsumme [31] als Hinweis auf die Grössenordnung der aufgewendeten Sicherheitskosten der zugehörigen technischen Systeme dienen. Diese Beträge sind im Bild 3 für verschiedene Wirtschaftszweige der zugehörigen Anzahl Todesfälle pro Jahr, d. h. dem jeweiligen *Berufsrisko*, gegenübergestellt.

Die eingezeichneten, doppelt logarithmischen Regressionsgeraden zeigen den allgemeinen Trend. Die Regressionskoeffizienten von 0,66 beim kollektiven Risiko, bzw. 0,42 beim individuellen Risiko, weisen darauf hin, dass offenbar weitere Einflüsse wirksam sind, die im Abschnitt 3.3 diskutiert werden sollen und allenfalls mittels einer mehrfachen Regressionsanalyse erfassbar sein könnten. Darüber hinaus spielt jedoch sicher auch die Tatsache eine Rolle, dass in verschiedenen technischen Systemen verschiedene Instanzen über die Durchführung von Sicherheitsmassnahmen entscheiden.

3.2 Risiko und Rettungskosten

Eine grosse Anzahl von Studien befasst

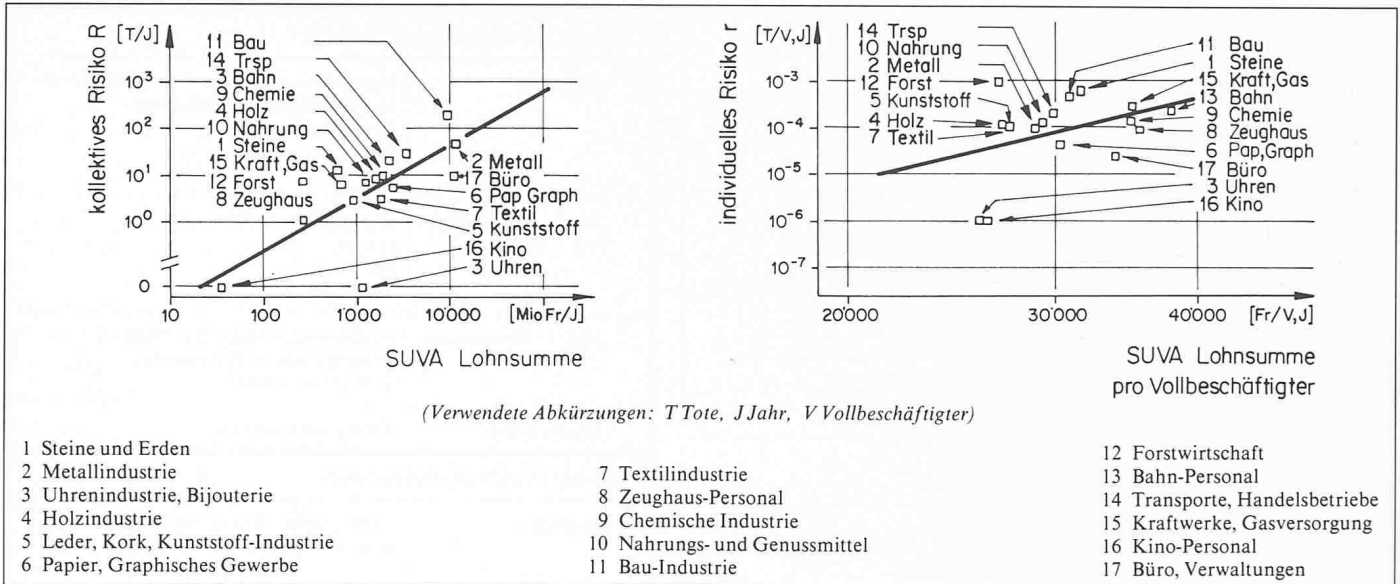


Bild 3. Berufs-Risiken und SUVA-Lohnsummen als Hinweis auf die Sicherheitskosten für verschiedene Gefahrenklassen

sich mit der Bestimmung von Rettungskosten verschiedener Sicherheitsmassnahmen. Die meisten dieser Studien stammen aus den USA und Grossbritannien und beziehen sich auf die dortigen Verhältnisse. Eine Verallgemeinerung ihrer Ergebnisse auf schweizerische Verhältnisse ist nicht ohne weiteres zulässig, doch sicher nicht völlig abwegig.

Bei der Beurteilung der Grösse der angegebenen Rettungskosten sind zwei Einflüsse in Betracht zu ziehen: Einerseits ist entscheidend, was man angesichts der *technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen investieren kann*, andererseits ist zu überlegen, was man in Kenntnis der *Einstellung des Menschen gegenüber Gefahren ausgeben will*.

Technische Systeme mit hohen Risiken lassen sich meistens mit einfachen und damit auch billigen Massnahmen, d. h. mit niedrigen Rettungskosten entschärfen. Auch die Umkehrung dieses Satzes gilt: in technischen Systemen, in denen dank umfangreicher Sicherheitsmassnahmen bereits ein kleines kollektives oder individuelles Risiko gewährleistet ist, müssen vergleichsweise grosse Geldmengen investiert werden, um zusätzliche Menschenleben zu retten. Stellt man also für verschiedene Sicherheitsmassnahmen die zum Ist-Sicherheitszustand gehörigen Risiko-Werte den Rettungskosten zusätzlicher Sicherheitsmassnahmen gegenüber, müsste, quasi als Konsequenz dieser technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen, ein negativer Trend bemerkbar sein.

Die Ergebnisse der eingangs erwähnten Studien über Rettungskosten sind im Bild 4 eingetragen. Dabei sind hier, um das Bild nicht zu überladen, lediglich

einzelne der eingetragenen Massnahmen näher bezeichnet. Die eingezeichnete Regressionsgerade bestätigt den vermuteten Zusammenhang, wenn auch weniger eindeutig als erwartet. Dies mag durch den Umstand begründet sein, dass die individuellen Risiken fehlender Daten wegen oft nur geschätzt werden konnten. Dies betrifft einen Teil der Massnahmen aus den technischen Systemen «Verkehr» und «Medizin».

Einige der im Bild 4 eingetragenen Massnahmen illustrieren deutlich den Einfluss der technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen: Einerseits sind einige hohe Risiken vertreten, die mit relativ bescheidenen Massnahmen reduzierbar wären, wie z. B. «Abgabe von Nahrung in Entwicklungsländern» (Massnahme 16). Hier stehen unter anderem die technischen Schwierigkeiten des Transports der Nahrungsmittel einer Durchführung im grossen Stil entgegen. Auch die Massnahme «Helm beim Motorradfahren» (Massnahme 1) ist bekanntlich wirksam und billig. Andererseits lassen sich gewisse Risiken nur mit sehr hohen, wirtschaftlich oft kaum mehr vertretbaren Kosten weiter reduzieren, wie beispielsweise «Entfernung von Radium-Spuren aus dem Trinkwasser» (Massnahme 6). Die von Paté [19] analysierten Massnahmen zur «Erhöhung der Erdbebensicherheit bestehender Bauten in California, USA» (Massnahmen 13,14) gehören offensichtlich auch zu dieser Gruppe. Die Rettungskosten sind dabei bei den ursprünglich schwächeren Gebäuden aus Backstein (Massnahme 13) kleiner als bei Stahlbetongebäuden (Massnahme 14).

Ausserordentlich hohe Rettungskosten werden für die Massnahmen 7 und 8

aufgewendet, welche eine weitergehende Sicherung von Arbeitsplätzen in Kohlen- und Erzbergwerken zum Ziele haben. Dies ist möglicherweise ein Hinweis darauf, dass ein von Natur aus überaus gefährliches technisches System nur noch mit sehr grossen Kosten ein wenig sicherer gemacht werden kann.

Die meisten medizinischen Massnahmen reduzieren vergleichsweise hohe individuelle Risiken. Diese sind bei Sicherheitsmassnahmen im Verkehrswesen, aber auch in anderen technischen Systemen eher niedriger. Die Rettungskosten sind in beiden technischen Systemen je nach Massnahme stark verschieden.

Die Rettungskosten von Massnahmen in den Bereichen «Arbeit» und «Umwelt» sind zumeist sehr gross. Nach [10] stammen die zwölf teuersten der insgesamt 57 Massnahmen aus diesen Bereichen. Sie kosten alle über 6 Mio. Fr. pro gerettetes Menschenleben.

Von Interesse sind auch zwei Massnahmen, die unterschiedlich montierte Feuermelder in den USA betreffen. Bei einem Obligatorium von Feuermeldern in Schlafzimmern (Massnahme 11) betragen die Rettungskosten 80 000 Fr. und steigen auf 2 Mio. Fr., wenn sie in allen Räumen von Wohnhäusern (Massnahme 12) anzubringen sind.

Bei den am linken Rand des Bildes 4 liegenden Massnahmen (unter anderem Massnahme 3) sind die Rettungskosten Null. Bei verschiedenen Studien wurden von den Kosten der Massnahmen allfällig bezifferbare Einsparungen in Abzug gebracht. Waren diese grösser als die Kosten, wurden Rettungskosten zu Null gesetzt.

Eine wesentliche Schwierigkeit beim

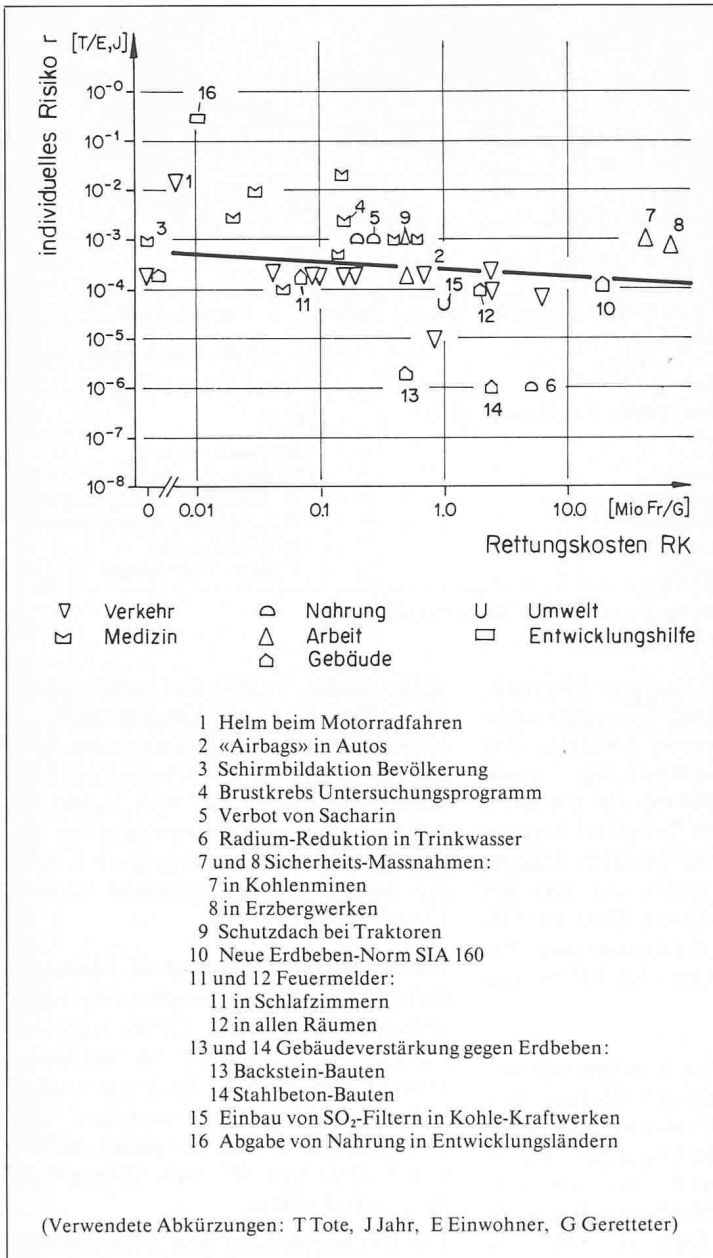


Bild 4. Individuelles Risiko und Rettungskosten für verschiedene technische Systeme und mögliche Sicherheitsmassnahmen.

Wer ist durch die Gefahr bedroht?	
Menschen	Eigene oder nur "statistisch" bedrohte Person Familie (Teile oder ganze Familie) Gesellschaft Staat Erde
Andere Lebewesen (Tiere, Pflanzen)	schädlich oder nützlich bedroht bedrohend Verhältniss zum Menschen
natürl. Ressourcen	im Überfluss vorhanden oder knapp erneuerbar oder nicht erneuerbar benötigt oder unnütz
Ideelle Werte	wichtig oder unwichtig
Wie wirkt sich die Gefahr aus?	
zeitlich	oft oder selten (Schaden-Häufigkeit) sofort oder verzögert
örtlich	zuhausse oder auf der Strasse lokal oder weltweit hier oder weit entfernt
Intensität	verändernd oder zerstörend (Schaden-Ausmass) Tote oder Verletzte, wirtschaftliche Verluste soziale Verluste durchschnittlich oder katastrophal kontrolliert oder unkontrolliert grosser oder kleiner Gewinn aus Gefahr
Welche Eigenschaften des Menschen spielen eine Rolle?	
	jung oder alt männlich oder weiblich gesund oder krank (physisch oder psychisch) aversiv oder neutral wissend oder unwissend in Bezug auf Gefahr hohe oder niedrige Bedürfnisse reich oder arm gläubig oder atheistisch
Welche Faktoren der Umgebung spielen eine Rolle?	
	Gesundheitswesen Bildungswesen Erwerbsleben Soziale Umwelt Politische Umwelt

Bild 5. Faktoren, welche die Einstellung des Menschen gegenüber Gefahren beeinflussen

quantitativen Vergleich der Wirksamkeit von Sicherheitsmassnahmen ergibt sich im übrigen aus der Vielzahl zur Ermittlung von Risiken und Rettungskosten von Massnahmen angewendeten Methoden. Dadurch gestaltet sich ein Vergleich der Resultate teilweise recht problematisch. Die Kontroversen um die mit verschiedenen Energieproduktionsarten verbundenen Risiken sollen stellvertretend für diese Probleme erwähnt werden [11, 12, 32].

3.3 Einflüsse auf die Einstellung gegenüber Gefahren

In den Figuren des letzten Abschnittes fällt die zum Teil sehr grosse Bandbreite der Angaben auf. Ist dies Ausdruck falscher Entscheide, mangelnder Koordination zwischen den einzelnen technischen Systemen oder gibt es objektiv

vertretbare Gründe, dass in gewissen Systemen um Zehnerpotenzen grössere Risiken akzeptiert werden als in anderen technischen Systemen? Diese Fragen untersuchen wir im folgenden Abschnitt.

Die Einstellung des Menschen gegenüber Gefahren hängt von vielen Faktoren ab. Ein Versuch, diese zusammenzustellen, ist im Bild 5 wiedergegeben.

Diese Einflüsse wirken nicht isoliert, sondern bestimmen insgesamt die Einstellung des Individuums und der Gesellschaft gegenüber Gefahren, wobei die Mannigfaltigkeit der technischen Systeme die Verhältnisse zusätzlich kompliziert.

Beispielsweise nimmt die Bevölkerung die Opfer des *Strassenverkehrs* ohne spürbare Beteiligung Tag für Tag zur Kenntnis. Diese Toten sind meist Opfer

einzelner, oft vom Betroffenen selbstverschuldeter Unfälle, verbunden mit einem mittelgrossen individuellen Risiko. Gesamthaft stellen aber die Unfälle im Strassenverkehr ein hohes kollektives Risiko dar. Die Gefahren des Strassenverkehrs wirken, mit den Begriffen von Bild 5 verglichen, sofort, oft tödlich, und ihre Ursachen sind bekannt.

Im Gegensatz zur gleichgültigen Haltung der Bevölkerung gegenüber den Risiken des Strassenverkehrs reagiert sie auf *Katastrophen*, auch wenn sie nur selten eintreten mögen, mit einer, auf die Anzahl der Opfer bezogen, überproportionalen Aufmerksamkeit. Dies ist z. B. bei Flugzeugunglücken, schweren Unfällen an Bahnübergängen und den sehr seltenen Tragwerkeinstürzen im Bauwesen zu beobachten. Treten die Schäden zudem erst nach einer bestimmten Latenzzeit auf, ist es für den

Laien, der den Überblick nicht haben kann, äusserst schwierig, die Risiken richtig einzuschätzen.

Th. Schneider [24] versuchte, einen Teil der im Bild 5 beschriebenen Einflüsse auf die Einstellung des Menschen gegenüber Gefahren zu klassieren. Dazu wählte er vier Risikokategorien (siehe Bild 6).

Bei den freiwillig eingegangenen Gefahren, die der Risikoträger gut kennt, die er durch eigenes Verhalten beeinflussen kann und deren Nutzen er individuell als hoch empfindet, ist die Risikoakzeptanz gross. Im Gegensatz dazu hat der sogenannte «unbeteiligte Dritte» keine Kenntnisse über die Gefahr und kann diese weder beseitigen, noch meiden, beherrschen oder überwältigen. Auch hat er zumeist direkt keinen Nutzen aus den Aktivitäten, welche die Gefahren erzeugen. Die Risikoakzeptanz ist dementsprechend klein.

Eine Analyse von 135 Sicherheitsmassnahmen [4, 8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19] verteilt auf die verschiedenen Risikokategorien (Bild 7), zeigt eine mit zunehmender Unfreiwilligkeit steigende Bereitschaft, Massnahmen mit grösseren Rettungskosten anzuwenden. Wiederum streuen die verwendeten Daten sehr stark. Der Regressionskoeffizient beträgt 0,46.

4. Anmerkungen zu Methoden

4.1 Ermittlung von Risiken

Die Ermittlung von Risiken stützt sich entweder auf statistisch erhobene Grundlagen oder auf probabilistische Abschätzungen. Auf diesem zweiten Weg fliesst verstärkt, aber unvermeidbar, die persönliche Beurteilung des Forschers ein, z. B. bei der Wahl von Modellen und Verteilungen, bei der Struktur von Fehlerbäumen, der Zuordnung von Wahrscheinlichkeiten usw. Dies ist im Auge zu behalten.

4.2 Abspaltung von Sicherheitskosten

Wie bereits im Abschnitt 2.3 erwähnt, stecken die Methoden zur Abspaltung der Sicherheitskosten von den Gesamtkosten eines technischen Systems noch in den Kinderschuhen. Eine Ausnahme bilden eigentliche Sicherheitsmassnahmen, bei denen die ganzen Kosten oder wenigstens der überwiegende Teil dem Aspekt Sicherheit zuzuordnen ist. Erfolgversprechend erscheint eine Methode, die unter dem Begriff Analytical Hierarchy Process [22] bekannt ist. Aus Befragungen ausgewählter Fachleute unter Zuhilfenahme einer Wertungsmethode, bei welcher gleichzeitig immer nur zwei Elemente verglichen wer-

den, lassen sich damit fundiertere Aussagen über den Anteil der Sicherheitskosten und dessen Vertrauensintervall machen.

4.3 Ermittlung von Rettungskosten

Viele Publikationen befassen sich mit dem Wert eines Menschenlebens resp. mit den Ausgaben, die zur Rettung eines solchen vernünftig erscheinen. In verschiedenen Zusammenstellungen [14, 17, 18, 21] wurden die zur Ermittlung dieser Werte verwendeten Methoden verglichen.

Die älteste Methode ist der *Human Capital Approach*. Mit dieser Methode versucht man, die infolge vorzeitigen Todes nicht mehr getätigten Einnahmen und Ausgaben des als Produzent und Konsument agierenden Menschen zu erfassen. Dieser wirtschaftliche Wert eines Menschenlebens wird im Zusammenhang mit der Evaluation von Sicherheitsmassnahmen als Hinweis auf die Grössenordnung vernünftiger Ausgaben zur Rettung eines Menschenlebens angesehen.

Ähnlich lassen sich auch die durch das Individuum einbezahlten *Versicherungsprämien* oder *gerichtlich angeordnete Abfindungssummen* nach einem Todesfall als offenbar sinnvolle Rettungskosten interpretieren.

Die *Implied Preference Method* untersucht die Entscheide der Gesellschaft, einzelner Gruppen oder Individuen. Bei den meisten Handlungen spielt implizit der Aspekt Sicherheit eine Rolle. Beim Kauf eines Autos beispielsweise werden nicht nur Höchstgeschwindigkeit und äusseres Aussehen für den Entscheid als wichtig angesehen, sondern auch die vorhandenen Sicherheits-einrichtungen. Aufgrund der dafür nötigen und offensichtlich akzeptierten Kosten versucht man dann, die für neue Massnahmen vernünftigerweise einzusetzenden Rettungskosten zu kalibrieren (*Revealed Preference Method*). Damit sind jedoch weder über die Höhe des Risikos noch über die gesamten Sicherheitskosten des alten bzw. des veränderten Systems Aussagen möglich.

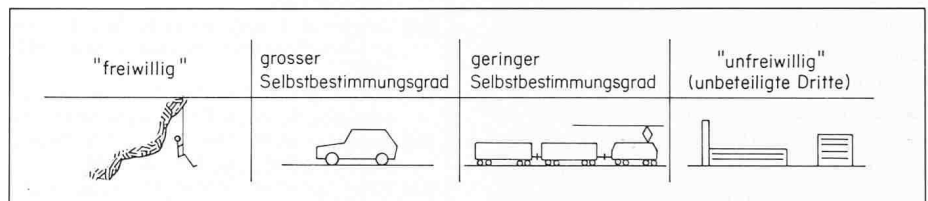
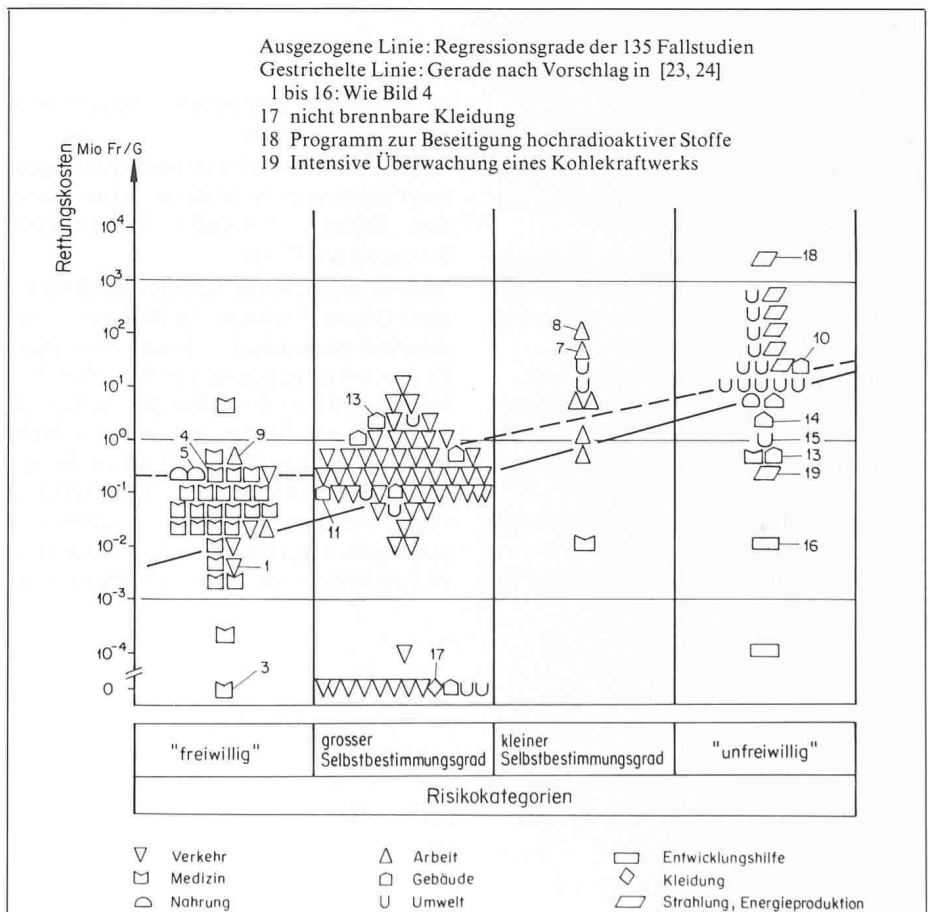


Bild 6. Risikokategorien nach [24]

Bild 7. Rettungskosten verschiedener Sicherheitsmassnahmen nach Risikokategorien



Die bisher vorgestellten Methoden zur Bestimmung der Rettungskosten von Massnahmen haben den Nachteil, dass sie die Einstellung der Betroffenen zum Aspekt Sicherheit nicht direkt ermitteln, sondern vielmehr Werte für akzeptierbare Rettungskosten indirekt abzuleiten versuchen. Dieser Nachteil haftet der *Expressed Preference Method* nicht an: Fragebogen, ausgeteilt an eine repräsentative Bevölkerungsgruppe, dienen zur Erhebung der Meinung der Befragten über den Anteil und die Stellung des Sicherheitsaspektes für bestimmte Sicherheitsmassnahmen. Mit einem solchen Ansatz ist es möglich, die Bereitschaft der Befragten, für den Aspekt Sicherheit mehr zu bezahlen, direkt abzuklären.

5. Zusammenfassung

Wie die vorangegangenen Kapitel zu zeigen versuchen, lässt sich der Aspekt Sicherheit in seinen Grundzügen durch die drei Kriterien Risiko, Sicherheitskosten und Rettungskosten einfassen. Die Einführung individueller und kollektiver Kriterien ermöglicht einerseits, Bedürfnisse des Individuums zu berücksichtigen, aber andererseits auch Anliegen der Gesellschaft, des Staates einzubeziehen. Mit Hilfe dieser Kriterien wurden die zwei technischen Systeme «Wohnungswesen» und «Strassenverkehr» eingehender betrachtet und eine Vielzahl von Sicherheitsmassnahmen verschiedenster technischer Systeme miteinander verglichen. Vier Ebenen unterschiedlicher Schwierigkeiten zeigten sich dabei:

1. Statistische Grundlagen:
Sind Daten zur Quantifizierung vorhanden (vgl. 1. und 2.)?
2. Wahl des Modells oder der Methode:
Mit welchem Modell oder nach welcher Methode werden die Daten verarbeitet (vgl. 1. und 4.)?
3. Einstellung gegenüber Gefahren:
Wie lassen sich die durch die Einstellung des Menschen zu Gefahren bedingten Unterschiede berücksichtigen (vgl. 3.3)?
4. Entscheidungsträger für Sicherheitsmassnahmen:
Wie lassen sich Aufwendungen für

Literatur

- [1] Ammann W., Ziegler A.: Das Erdbeben von Lüttich vom 8. Nov. 83, SIA 20/84
- [2] BIGA: Haushaltrechnungen 1980, BIGA, Volkswirtschaft, Mai 1981
- [3] CIRIA Report: Rationalisation of safety and serviceability factors in structural codes, Construction Industry Research and Information Association, London, July 1977
- [4] Cohen B.: Society's valuation of life saving in radiation protection and other contexts, Health Physics, Vol 38, Jan 1980
- [5] CRB: Baukostenplan BKP, SN 506 500, Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich, 1978
- [6] Fischhoff B., Slovic P., Lichtenstein S.: How safe is safe enough. Policy Science 9, 1978
- [7] Fischhoff B., Slovic P., Lichtenstein S.: Which risks are acceptable. Environment, Vol 21, No 4, 1978
- [8] Fischhoff B., Slovic P., Lichtenstein S.: Lay foibles and expert fables in judgements about risks. Progress in Resource Management and Environmental Planning, Vol 3, 1981
- [9] Fischhoff B., Mac Gregor D.: Judged lethality. Decision Research Report 80-4, Eugene, Oregon
- [10] Graham J. D., Vaupel J. W.: Value of a life: What difference does it make? Risk Analysis, Vol 1, No 1, 1981
- [11] Holdren J.P., et al: Risk of renewable energy sources. University of California, Berkeley, CA, June 1979
- [12] Inhaber H.: Energy risk assessment. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1982
- [13] Institut für Hochbauforschung: Kosten im Hochbau. Bericht 9, ETH Zürich, März 1980
- [14] Jones-Lee M.W.: The value of life. Martin Robertson & Co Ltd., London, 1976
- [15] Jones-Lee M.W., Editor: The value of life and safety. Geneva Association 1981, North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1982
- [16] Leach G.: The biocrats. Jonathan Cape Ltd., London, 1970
- [17] Linneroth J.: The evaluation of life saving: A survey. IASA, July 1975
- [18] Mooney G. H.: The valuation of human life. Macmillan Press, London 1977
- [19] Paté-Cornell M.E.: Seismic regulations for some existing buildings in the Boston Area: economic and safety analysis. 4th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering, Italy, 1983
- [20] Pochin E. E.: The acceptance of risk. British Medical Bulletin, Vol 31, No 3, 1975
- [21] Rowe W. D.: An anatomy of risk. John Wiley & Sons, New York, 1977
- [22] Saaty Th. L.: The analytical hierarchy process. Mc Graw Hill Int, 1980
- [23] Schneider Th.: Grundgedanken und Methodik moderner Sicherheitsplanung. Intraprävent, Band I, 1980
- [24] Schneider Th.: Risikokzept. Cours postgrade sur la sécurité du travail, ETH Lausanne, 1984
- [25] SIA: Einwirkungen auf Tragwerke, SIA Norm 160, Vernehmlassungs-Entwurf, 1985
- [26] Siedlungsstruktur (1984): Raumplanung im Kanton Zürich, Heft 15, Dez 1983
- [27] SKA: Schweizerische Wirtschaftszahlen, Heft Nr 62, SKA, 1981
- [28] Slovic P., Fischhoff B., Lichtenstein S.: Rating the risks. Environment, Vol. 21, No 3, April 1979
- [29] Sowby F. D.: Radiation and other risks. Health Physics Pergamon Press, Vol. 11, 1965
- [30] Statistisches Jahrbuch der Schweiz. Bundesamt für Statistik, Bern, 1982
- [31] SUVA (1984): Ergebnisse der Unfallstatistik 1978-1982, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern
- [32] Teufel D., Loeben S., Schott W.: Analyse der Inhaber Studie, IFEU, Heidelberg, März 1980

Sicherheitsmassnahmen gesamtheitlich optimieren?

Die erwähnten Schwierigkeiten tragen zweifelsohne entscheidend bei zu der in den Bildern 3, 4 und 7 aufgezeigten Streuung der Daten.

Was ist gegen diese Schwierigkeiten zu tun? Diesmal scheint die Antwort – zumindest theoretisch – leicht zu fallen: In den verschiedensten technischen Systemen sollten Forschungsarbeiten in Gang gesetzt werden, welche innerhalb des jeweils betrachteten Systems die optimale Verwendung der zur Schaffung von Sicherheit verfügbaren Geldmittel aufzeigen. Lügen hier einmal brauchbare Ergebnisse vor, wäre zumindest eine

der Voraussetzungen geschaffen, um systemübergreifend eine ausgewogene Sicherheit des Einzelnen als auch der Gesellschaft und damit einen zweckmässigen Einsatz der insgesamt für Sicherheit verfügbaren Mittel zu erreichen. Davon sind wir, wie wir zu zeigen versucht haben, noch weit entfernt.

Adresse der Verfasser: Ulrich Stiefel, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, und Jörg Schneider, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Professor, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 8093 Zürich.