Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 146 (1995)

Heft: 9

Artikel: Analyse und Bewertung von Risiko und Sicherheit bei Naturgefahren

Autor: Hollenstein, Kurt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766990

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

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

Analyse und Bewertung von Risiko und Sicherheit bei Naturgefahren[1]

Von *Kurt Hollenstein*

Keywords: natural hazards, risk analysis, safety analysis, forest management planning.

FDK 38: 917: UDK 519.873* 1: 551% 502.58

1. Einleitung

In den letzten Jahren haben die Schäden durch Naturereignisse weltweit zugenommen. Eine ähnliche, wenn auch weniger ausgeprägte Entwicklung ist in der Schweiz zu beobachten. Wegen der immer stärkeren räumlichen Überlagerung von Nutzungen wächst zudem die Bedeutung möglicher Interaktionen zwischen verschiedenen Gefahren. Dem gegenüber steht ein steigendes Bedürfnis nach individueller und kollektiver Sicherheit. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Naturgefahren nicht nur als physikalische Phänomene, sondern auch als ökonomisch, technisch und soziopolitisch relevante Faktoren zu behandeln.

Bisher wurde bei Naturgefahren eine prozessorientierte, reaktive Sichtweise angewandt. Konzepte aus der modernen Sicherheitswissenschaft kamen höchstens in Ausnahmefällen zum Einsatz. Im technischen Bereich hat sie sich dagegen seit längerer Zeit etabliert und wird kontinuierlich weiterentwickelt. Dies gilt sowohl in der Forschung (z.B. das Polyprojekt «Risiko und Sicherheit technischer Systeme» der ETHZ, das 1994 zu Ende ging) als auch im administrativen Bereich (Schaffung von kantonalen Stellen für Chemiesicherheit usw.).

Um dem eingangs skizzierten Konflikt zwischen Gefährdungen und Sicherheitsansprüchen bei Naturgefahren zu begegnen, ist eine Optimierung notwendig. Dies bedingt aber, dass problemorientiert vorgegangen wird. Nicht die gefährlichen Prozesse, sondern ihre Auswirkungen stehen dabei im Mittelpunkt.

[1] Nach einem Referat, gehalten am 12. Dezember 1994 anlässlich der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwissenschaften der ETH Zürich.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Ansätze aus anderen Bereichen (vor allem aus der Technik) trotz grossen thematischen Unterschieden methodisch auch auf Naturgefahren anwendbar sind und einen Beitrag zur geforderten Optimierung leisten können.

Der vorliegende Aufsatz zeigt einige grundlegende Konzeptionen aus der Sicherheitswissenschaft. Damit soll versucht werden, deren Potential für den Bereich Naturgefahren aufzuzeigen.

Ausgangspunkt der Betrachtungen sind die bisherigen Problemstellungen im technischen Bereich und die Lösungen, die dazu entwickelt wurden. Daraus lassen sich die Parallelen und Unterschiede zu den Naturgefahren erkennen und ein Rahmen für das mögliche Vorgehen skizzieren. Dieser Rahmen ist, aufgrund seines globalen und methodischen Charakters, nicht direkt verwendbar im Sinne eines Rezeptes. Er ist aber grundsätzlich für alle Gefahrenprozesse und Bearbeitungsstufen anwendbar.

Zu Beginn werden die wichtigen Begriffe definiert. Anschliessend werden Herkunft und bisherige Entwicklung der Sicherheitswissenschaft in groben Zügen dargestellt. Ein nächster Abschnitt zeigt auf, weshalb anstelle von Gefahren Risiken betrachtet werden sollen. Darauf wird das Vorgehen bei einer Risikoanalyse skizziert und auf wichtige Aspekte der Risikobewertung eingegangen.

Die folgenden Überlegungen sind im Projekt «Risikoanalyse und Risikomanagement bei Naturgefahren» entstanden. Auslöser für dieses WEP/FLAM-Projekt sind die einschlägigen Bestimmungen des neuen Waldgesetzes.

2. Grundlegende Konzepte und Begriffe der Sicherheitswissenschaft

Für das Verständnis der nachfolgenden Abschnitte sind folgende Begriffe zentral:

Gefahr: Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden für Mensch, Umwelt und/oder Sachgüter entstehen kann.

Gefährdung: Gefahr für ein bestimmbares Objekt (Person, Sachgut).

Risiko: qualitative oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich Möglichkeit des Eintreffens und Tragweite der Schadenswirkungen (in Anlehnung an *PPR&S,* 1993.)

N.B. In dieser Definition steht bewusst nicht, wie man das Risiko mathematisch berechnet. Andere Definitionen enthalten diesen Aspekt explizit (z.B. *DHA,* 1992). Eine solche Vorschrift schränkt aber die Allgemeingültigkeit des nachstehend beschriebenen Konzeptes zu sehr ein, weshalb hier von einer offenen Definition ausgegangen wird.

Sicherheit: Zustand, in dem das verbleibende Risiko als akzeptabel eingestuft wird, also eine deterministische Grösse.

Schaden: negativ bewertete Konsequenz eines Vorganges oder Zustandes.

Risikoanalyse: systematisches Verfahren, um ein Risiko hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens und des Ausmasses der Folgen zu charakterisieren und wenn möglich zu quantifizieren. Eine Risikoanalyse liefert die Antwort auf die Frage «Was kann passieren?».

Von einer probabilistischen Risikoanalyse wird gesprochen, wenn die Quantifizierung nicht allein aufgrund statistischer Daten, sondern auch durch logische Verknüpfungen vorgenommen wird.

Sicherheitsanalyse: Synonym zu Risikoanalyse.

Schutzziel: Kriterium bzw. Wert eines Kriteriums, mit dem über die Akzeptabilität eines Risikos entschieden werden kann.

Risikoakzeptabilität: Urteil über die Tolerierbarkeit von Risiken aufgrund vorgegebener Kriterien.

Risikoakzeptanz: Bereitschaft, das subjektiv erkannte Risiko eines Zustandes oder Vorganges zu tolerieren.

Restrisiko: nach Massnahmen zur Risikoreduktion und positiver Akzeptanzentscheidung verbleibendes Risiko.

Von der Verwendung des Begriffes Restrisiko wird aber abgeraten, da nicht klar ist, ob es sich um einen empirischen (alle faktisch akzeptierten Restrisiken) oder um einen normativen Begriff (nach ethischen Kriterien akzeptables Restrisiko) handelt. Besser sind die Termini akzeptierte und akzeptable Risiken.

Risikobewertung: Urteil über Akzeptabilität oder Akzeptanz der aus der Risikoanalyse gewonnenen Erkenntnisse mit Hilfe individueller oder kollektiver Kriterien. Die Risikobewertung beantwortet die Frage «Was darf passieren?».

Risikomanagement: Gesamtheit von Strategien und Massnahmen zur Erreichung und Gewährleistung der durch die Risikobewertung festgelegten Sicherheitsziele.

Den konzeptionellen Zusammenhang von Risikoanalyse, -bewertung und -management zeigt *Abbildung 1.*

3. Historische Entwicklung der Risikoanalyse: Probleme und Lösungen

Verglichen mit den Naturgefahren sind die Sicherheitswissenschaft und die damit verbundene Methodik und Technik noch sehr jung (vgl. *Abbildung 2*).

Ihren Anfang bildeten die Luft- und vor allem Raumfahrtprogramme ab den fünfziger Jahren. Bei ihnen stand man vor drei Problemen: Erstens handelt es sich um sehr teure Technologien, zweitens beinhalten sie ein hohes Gefahrenpotential und drittens kann während des Betriebes in der Regel nicht korrigierend ins System eingegriffen werden (es sind keine Reparaturen mög-

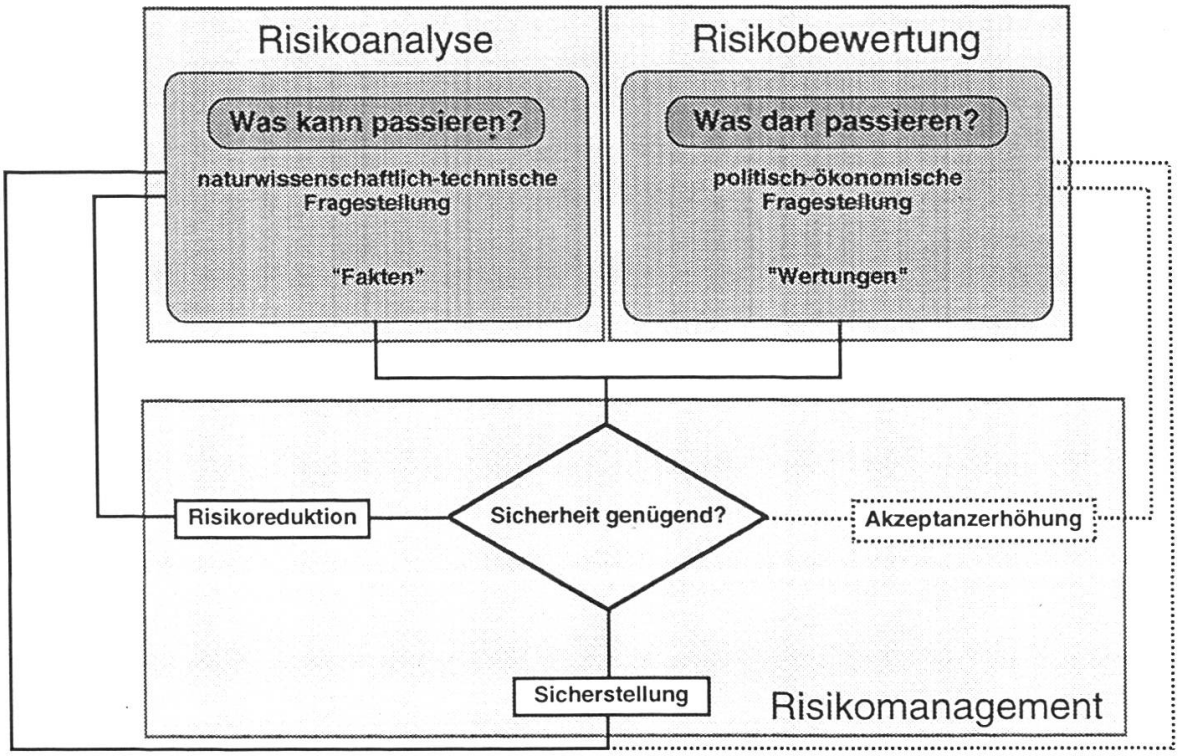

Abbildung 1. Sicherheitswissenschaftliches Konzept.

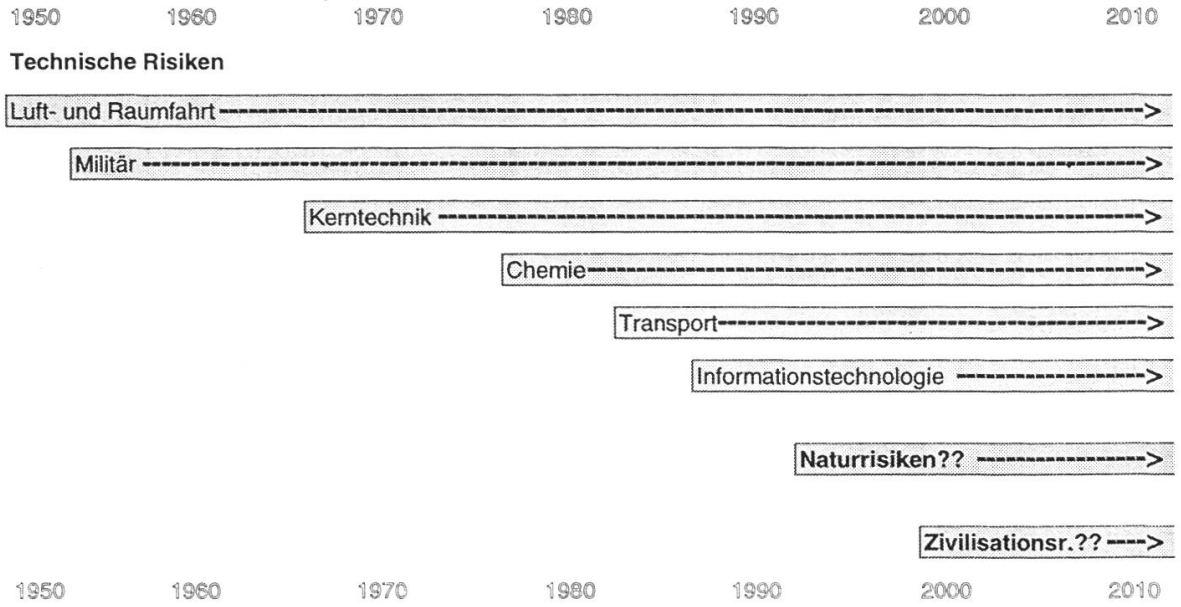

Abbildung 2. Entwicklung und Anwendung von Risikoanalysen.

lich). Diese Umstände erforderten eine möglichst vollständige Erfassung aller Schwachstellen und Versagensursachen sowie deren Behebung *ex ante.* Dazu kam, dass statistische Informationen über die Zuverlässigkeit der eingesetzten

Komponenten nur sehr beschränkt zur Verfügung standen. Sehr vieles konnte nur durch die Analyse von Szenarien abgeschätzt werden; prognostisches Denken wurde nötig.

Gleichzeitig trat auf militärischem Gebiet während des kalten Krieges der Bedarf nach Sicherheitsanalysen auf, bei welchen vor allem die Verfügbarkeit von Waffensystemen unter Feindeinwirkung und die möglichen Auswirkungen eines Atomkrieges im Vordergrund standen. Hier war es ebenfalls nicht möglich, für Abschätzungen auf statistisches Material oder Versuche zurückzugreifen, alle zentralen Fragen mussten durch Experten in Szenarien abgeklärt werden.

Mit der zivilen Nutzung der Atomenergie wurde ab Ende der sechziger Jahre klar, dass die enormen Gefahrenpotentiale dieser Anlagen extrem tiefe Unfallwahrscheinlichkeiten verlangen. Die Häufigkeit von GAUs und Super-GAUs kann nicht erst *ex post,* d.h. statistisch ermittelt werden, sondern muss im voraus durch geeignete Massnahmen möglichst nahe an Null gebracht werden. Gleichzeitig handelt es sich um enorm komplizierte Systeme mit einer Vielzahl von möglichen Interaktionen zwischen den Komponenten. Dies führte zur Entwicklung von neuartigen Methoden der Risikoanalyse, da eine reine Szenarienanalyse aufgrund einer vorgegebenen Checkliste verdeckte Unfallsequenzen nicht erfassen kann. Einen eigentlichen Meilenstein in der Geschichte der Risikoanalyse stellt der sogenannte Rasmussen-Bericht der amerikanischen Nuclear Regulatory Commission dar (*NUREG,* 1975).

Ab Mitte der siebziger und vor allem der achtziger Jahre kam auch in der chemischen Industrie das Bedürfnis nach Risikoanalysen auf, wobei die allgemeine Skepsis lange recht hoch blieb. Hier wurden die ersten Abklärungen nicht durch die Anlagenbetreiber, sondern durch öffentliche Stellen getätigt. Dabei wurden neue Methoden der Analyse entwickelt, weil die aufwendigen Ansätze aus der Nukleartechnik oft als ungeeignet beurteilt wurden.

Im Zusammenhang mit Nuklear- und Chemietechnologie standen auch die ersten Risikoanalysen für Transportmittel und -anlagen. Sie wurden allerdings rasch über die Gefahrengüter im engeren Sinne hinaus auf die Gesamtsysteme ausgedehnt.

Das jüngste grössere Tätigkeitsfeld der Sicherheitswissenschaft stellt die Informationstechnologie dar. Die steigende Vernetzung seit Mitte der achtziger Jahre hat die enormen direkten und indirekten Schäden aufgezeigt, welche durch das Versagen von Informationssystemen verursacht werden können. Die Kombination völlig verschiedener Komponenten (physische und logische) in solchen Systemen entzieht sie einer rein auf die Optimierung eines Aspektes ausgerichteten Betrachtung. Das theoretische Konzept der Risikoanalyse ist dagegen sehr gut geeignet, mit solchen Problemstellungen umzugehen (vgl. *Bell,* 1989/1).

In verschiedenen Branchen ist man heute zur routinemässigen Anwendung von Risikoanalysen übergegangen. Beispiele dafür sind:

- Kernkraftwerke, welche heute in allen westlichen Industrieländern umfassenden probabilistischen Analysen zumindest über die Kernschmelzwahrscheinlichkeit unterliegen.
- Betriebe, welche gefährliche Güter in grossen Mengen verarbeiten, sind nach der Störfallverordnung zur Erstellung von Risikoanalysen verpflichtet.
- Neue Transportanlagen mit bisher nicht bekannten Ausmassen wie NEAT oder Transmanche, die bereits in der Projektierungsphase analysiert werden.
- In der Schweiz werden bei der Standortabklärung z.B. auch militärische Anlagen wie Munitionsdepots oder neue Deponien auf ihre Risiken hin untersucht.

Auch in anderen Bereichen wird immer öfter von Risikoanalysen oder ähnlichen Methoden zur Folgenabschätzung Gebrauch gemacht, besonders wenn neuartige Technologien oder Verfahren eingesetzt werden. Das Ziel kann dabei variieren: oft stehen betriebliche und ökonomische Aspekte im Vordergrund (z.B. Arbeitssicherheit), teilweise aber auch gesellschaftlich-politische (z.B. Freisetzung genetisch veränderter Lebewesen). Dies setzt leistungsfähigere Analysemethoden und neue Ansätze in der Risikobewertung voraus.

Neben der technischen Anwendung gibt es im Operations Research ebenfalls das Instrument der Risikoanalyse. Teilweise kommen dazu die gleichen Methoden zum Einsatz; das Ziel ist dort in der Regel aber eine logistische Optimierung.

4. Gründe für die Durchführung von Risikoanalysen bei Naturgefahren

Ziel aller Risikoabklärungen ist letztlich die Gewährleistung oder Erreichung einer möglichst umfassenden Sicherheit. Dieses Ziel kann nicht auf individueller Ebene oder durch sektorielles Handeln erreicht werden, es verlangt eine integrale Optik. Naturgefahren sind dabei eine mögliche Risikoquelle, aber sicher nicht die einzige.

Die Entwicklung der gesamten Sicherheitswissenschaft ist massgeblich durch die Grosstechnik und den Einsatz neuer Technologien bestimmt. Wenn hier nun Risikoanalysen auch für Naturgefahren vorgeschlagen werden, muss dies gegenüber traditionellen Betrachtungsansätzen auf diesem Gebiet Vorteile aufweisen. Solche Vorteile können verminderte Aufwendungen oder bessere Resultate sein. Letzteres wird durch eine an das Ziel angepasste Betrachtungsweise erreicht.

Ein Risiko als Schadenscharakterisierung wird durch zwei Faktoren bestimmt:

- die Einwirkung auf das betrachtete Objekt,
- die Widerstandsfähigkeit des Objektes gegenüber der Einwirkung.

Bei Naturgefahren wurden bisher vor allem Einwirkungen, d. h. die Gefahrenprozesse, untersucht. Die Widerstandsfähigkeit des Systems, insbesondere Versagensarten und -sequenzen, blieben weitgehend unberücksichtigt. Risikoanalysen untersuchen hingegen die ganze Kausalkette von der Entstehung einer Einwirkung bis zu deren Folgen, sie liefern damit jene Aussage, welche für Verbesserungen operationell verwendbar ist. Im Vordergrund steht nicht, wie eine Einwirkung zustande kommt, sondern wie sie die Sicherheit eines Systems beeinträchtigt. Dabei werden zwei Aspekte in Betracht gezogen:
- Systemverfügbarkeit,
- Unversehrtheit.

Eine analoge, vielleicht bekanntere Konzeption findet man in der SIA-Norm über Einwirkungen auf Tragwerke (*SIA,* 1990). Dort ist anstelle von Verfügbarkeit und Unversehrtheit zwar von Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit die Rede, sinngemäss entsprechen sich aber diese Begriffe.

Bei Naturgefahren wurde bisher nur die Unversehrtheit als Kriterium betrachtet. Eine Risikoanalyse untersucht dagegen beide Anforderungen. Sie liefert als Ergebnis einen Überblick über die funktionalen Schwachstellen des Gesamtsystems.

Eine Risikoanalyse *per se* ist nicht sinnvoll. Wichtig ist, wie durch geeignetes Handeln möglichst umfassende Sicherheit erreicht werden kann. Dazu ist aber eine Prioritätensetzung notwendig und damit auch der Vergleich verschiedener Risiken. Genau das liefert die Erfassung der Systemschwachstellen: eine einheitliche, nach demselben Prozedere gewonnene Darstellung aller betrachteten Risiken.

Risikoanalyse als Methodik steht nicht in Konkurrenz zu bisherigen Erkenntnissen und Modellen zur Beurteilung von Naturgefahren. Sie bietet vielmehr die Möglichkeit, bestehendes Wissen aus verschiedenen Bereichen in systematischer Weise miteinander zu kombinieren. Sie stellt damit einen Überbau dar über bereits vorhandene, aber nur einzelne Aspekte betreffende Lösungsansätze, indem sie Gefahrenprozesse und die Schadenobjekte integriert betrachtet. Wird Sicherheit im definierten Sinne verstanden, so muss das akzeptable Risiko von der Art und Menge der exponierten Objekte abhängig gemacht werden. Dazu dient in einer Risikoanalyse die Trennung von Gefährdung und Exposition sowie die Definition geeigneter Schadenindikatoren, auf die später eingegangen wird.

Eine Frage bleibt: Kann ein Instrumentarium, das ursprünglich für völlig andere Risikoarten entwickelt wurde, zur Behandlung von Naturereignissen überhaupt herangezogen werden? Es ist denkbar, dass sich letztere physikalisch so stark von technischen Anlagen unterscheiden, dass sie die einer Risikoanalyse zugrunde liegenden Annahmen nicht mehr erfüllen. Hier

kommt nun aber der Vorteil des abstrakten Konzeptes aller Analysemethoden zum Zug: Sie kommen praktisch ohne einschränkende Rahmenbedingungen aus. Das einzige, was definiert werden muss, ist das Analyseobjekt. Gegenüber Modellen, Daten, Interaktionen im System usw. verhalten sie sich weitgehend neutral. Das heisst nicht, dass alle Methoden für jedes Problem gleich gut geeignet sind; grundsätzlich ist man aber nicht eingeschränkt in der Auswahl.

5. Vorgehen und Methoden für die Durchführung von Risikoanalysen

Der Begriff «systematisch» in der Definition der Risikoanalyse weist darauf hin, dass nach einem einheitlichen Muster vorgegangen wird. Dieses Vorgehen, nicht aber die Details einzelner Methoden, wird nachstehend erläutert.

Eine Risikoanalyse lässt sich grob in vier Arbeitsschritte gliedern:

- Systemabgrenzung und -beschreibung,
- Analyse der gefährlichen Ereignisse (Gefahrenbeurteilung),
- Expositionsanalyse,
- Folgenabschätzung.

In der Systemabgrenzung und Systembeschreibung werden relevante Komponenten und Interaktionen erfasst. Dieser Schritt ist der wichtigste im ganzen Analyseprozess, alle späteren Schritte bauen auf den hier bereitgestellten Informationen auf. Eine mangelhafte Systembeschreibung führt unweigerlich zu falschen oder unvollständigen Resultaten.

Technische Systeme lassen sich meist aufgrund klar bestimmbarer Bauteile, Stoff- oder Energieflüsse beschreiben; allenfalls sind nicht alle Interaktionen direkt ersichtlich. Natürliche Systeme oder ganze Raumeinheiten können dagegen selten als endliche Menge von abgegrenzten Systemelementen dargestellt werden. Es ist Aufgabe von Fachleuten, diese anspruchsvolle Arbeit durchzuführen.

In der Definition von Risiko wird nirgends festgehalten, wo in einer Kausalkette Schaden gemessen wird. Diese Grenze zwischen noch betrachteten und nicht mehr bestimmten Ursache-Wirkungsgefügen ist ebenfalls Teil einer Systembeschreibung.

Der zweite Schritt lässt sich aufteilen in Gefahrenidentifikation und Ereignisabschätzung. Erstere soll alle gefährlichen Zustände oder Vorgänge unabhängig von Ausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit aufzeigen. Je nach Aufgabenstellung der Analyse sind dabei einer oder mehrere Gefahrenprozesse zu betrachten. Bei Naturereignissen wird dieser Schritt oft als Dispositionsanalyse bezeichnet. Zu diesem Schritt gehört auch eine räumliche Abgrenzung möglicher Entstehungsgebiete.

Die Ereignisabschätzung liefert die Relation zwischen Ausmass und Häufigkeit für alle identifizierten Gefahrenereignisse. Sie basiert soweit möglich auf statistischen Informationen. Es kann aber auch bei Naturereignissen notwendig sein, ergänzend oder ersetzend probabilistische Grundlagen hinzuzuziehen. Dies ist der Fall, wenn keine statistischen Aufzeichnungen für ein Gebiet oder für die aktuellen Umweltbedingungen vorliegen. Im Zusammenhang mit möglichen Klimaänderungen kommt diesem Aspekt in Zukunft vermutlich immer grössere Bedeutung zu. Das Resultat der Ereignisanalyse ist eine zeitliche und räumliche Verteilung der relevanten Auswirkungen der untersuchten Ereignisse.

Die Expositionsanalyse untersucht, wie sich mögliche Schadenobjekte zeitlich und räumlich verhalten. Sie schlüsselt aufgrund von abstrakten Schadenindikatoren (Geldwert, Fläche, Personen usw.) oder nach konkreten Objektkategorien (z.B. geschlossene Siedlung, Landwirtschaftsland) auf. Letzteres ist bis heute der bei Naturgefahren fast ausschliesslich verwendete Ansatz. Sein Vorteil ist die Einfachheit, sein Nachteil die begrenzte Quantifizierbarkeit des Risikos. Bei technischen Risiken wird die Exposition häufig nach Schadenindikatoren erfasst.

Die Expositionsanalyse hängt insofern mit der Ereignisanalyse zusammen, als dass sie sich meist auf jene Gebiete beschränkt, in denen mit Auswirkungen von Ereignissen zu rechnen ist. Werden viele Gefahrenursachen gleichzeitig betrachtet, kann eine vollflächige Erhebung sinnvoll sein.

Der letzte Schritt, die Folgenabschätzung, liefert das zentrale Resultat der ganzen Analyse, d.h. das Risiko. Es wird bestimmt durch eine Verschneidung der beiden Grössen Ereignis und Exposition. Je nach dem, wie letztere erhoben wurde, ergibt sich auch hier wieder die Unterscheidung zwischen Schadenindikatoren oder Objektkategorien.

Wie ersichtlich wird, ist auch Risiko eine zeitliche und räumliche Verteilung einer Grösse, nämlich des zu erwartenden Schadens innerhalb des betrachteten Systems. Werden bei der Analyse verschiedene Gefahrenprozesse betrachtet, so kann deren Bedeutung verglichen werden. Die Integration über die verschiedenen Schadensausmasse oder die Wahrscheinlichkeiten liefert das Gesamtrisiko.

Das soeben skizzierte generelle Vorgehen ist für alle spezifischen Analyseverfahren gültig. Die Verfahren selbst lassen sich nach verschiedenen Kriterien unterteilen. Die naheliegendste Unterscheidung ist jene in qualitative und quantitative Verfahren.

Qualitative Verfahren gehen von einer primär verbalen Systembeschreibung aus. Je nach Methode werden einzelne Systemkomponenten oder Verknüpfungen von Komponenten und Interaktionen auf ihr Gefahrenpotential hin untersucht. Dabei können verschiedene Fragen gestellt werden:

- Welche Gefahren birgt Systembestandteil X in sich?
- Wie wirkt sich ein Versagen von Bestandteil X auf das System aus?

- Wie verhält sich Bestandteil X unter dem Einfluss Y?

Diese unterschiedlichen Fragestellungen machen die Eignung der jeweiligen Methoden für spezifische Problemstellungen aus. Bei Naturgefahren ergeben sich bei der Anwendung qualitativer Verfahren insofern Probleme, als die Systemelemente meist nicht abschliessend aufzählbar sind. Damit ist die Wahrscheinlichkeit von Lücken relativ hoch.

Teilweise lassen sich auch mit qualitativen Verfahren gewisse quantitative Schlüsse ziehen, z.B. eine Rangierung möglicher Schadensausmasse. Eine wirkliche numerische Berechnung von Risiken erlauben sie aber nicht.

Quantitative Verfahren stellen höhere Ansprüche an den Informationsinput. Sie basieren auf logischen Verknüpfungen bestimmter Zustände oder Vorgänge und erfordern Wahrscheinlichkeiten für deren Realisierung. Aus diesen ermittelt man dann das Risiko. Die Verknüpfung kann in zwei Richtungen erfolgen:

- rückwärts, d.h. es wird untersucht, wie ein Resultat zustande kommen kann,
- vorwärts, dabei werden ausgehend von einem auslösenden Ereignis die möglichen Entwicklungen des Systems abgeschätzt.

Natürlich können verschiedene Verfahren kombiniert werden. In der Praxis werden oft einzelne Teilfragen mit besonders geeigneten Ansätzen behandelt und die entsprechenden Resultate (z.B. Wahrscheinlichkeiten) als Input für die übergeordnete Methode verwendet. Damit können auch für spezielle Problemstellungen «massgeschneiderte» Lösungen entwickelt werden. Die Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Methoden sind in der Literatur dargestellt (z.B. *Bell,* 1989/2).

6. Generelle Aspekte der Risikobewertung

Parallel zur Risikoanalyse erfolgt die Risikobewertung. Ihre Basis ist nicht mathematisch-naturwissenschaftlich, sondern politisch-ökonomisch. Die Einschätzung, ob ein Risiko akzeptiert werden soll, weicht eventuell stark von dessen «objektiver» Bedeutung ab. Bekannte Abweichungen sind:

- höhere Akzeptanz freiwillig eingegangener Risiken,
- höhere Akzeptanz gegenüber vertrauten Gefahren,
- höhere Akzeptanz bei Risiken, die mit einem persönlichen Nutzen verbunden sind,
- geringere Akzeptanz gegenüber Ereignissen mit grossen Schadensausmassen (sogenannte Aversion),
- höhere Akzeptanz gegenüber chronischen Risiken.

Damit ist klar, dass sich nicht ein fester Wert für das akzeptierte bzw. das akzeptable Risiko herleiten lässt.

Die Risikobewertung kann entweder aufgrund eines ausgehandelten Konsenses oder nach fest vorgegebenen Richtlinien vorgenommen werden. Bei Naturgefahren wird fast ausschliesslich letzteres praktiziert. Mit ein Grund dafür ist, dass keine direkten Verursacher oder Nutzniesser der Gefahr bestehen. Damit wird primär der Staat bzw. das Gemeinwesen für die Gewährleistung der Sicherheit verantwortlich gemacht. Er muss, unter anderem auch aus rechtlichen Überlegungen (Gleichheitsgebot), schliesslich meist feste Werte für die Akzeptabilität vorgeben. Anhaltspunkte zur Festlegung der Höhe der akzeptablen Risiken können z.B. folgende Prinzipien liefern (vgl. *Abbildung 3*):

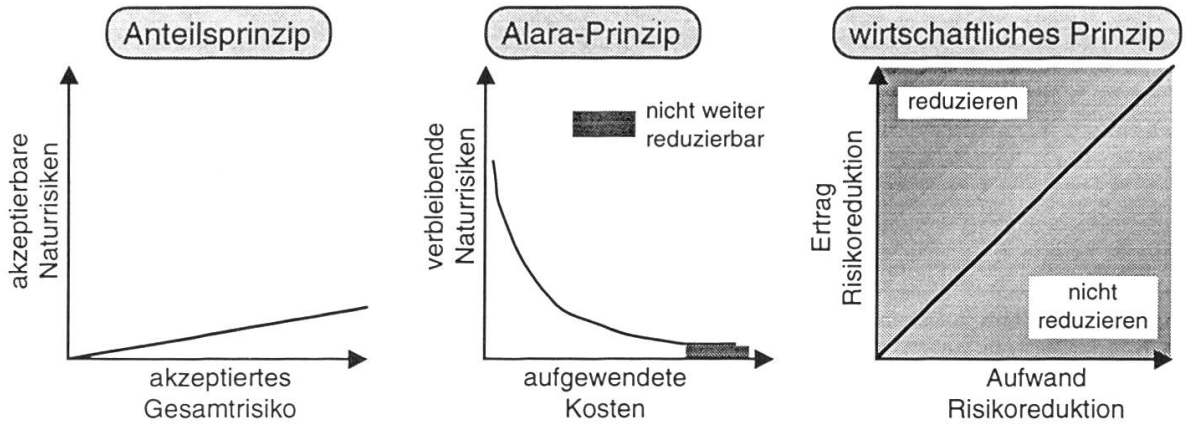

Abbildung 3. Prinzipien zur Festlegung des akzeptierbaren Risikos.

- Anteilsprinzip, bei dem die Naturrisiken nicht mehr als einen gewissen Anteil am Gesamtrisiko ausmachen dürfen.
- Alara-Prinzip (as low as reasonably achievable), bei dem nur jene Risiken akzeptabel sind, die mit vernünftigem Aufwand nicht weiter reduziert werden können.
- Ökonomisches Prinzip, nach welchem Risiken zu reduzieren sind, wenn der Ertrag (d.h. verminderte Risikokosten) grösser ist als der Aufwand (Massnahmenkosten).

Eine praktikable und zugleich «rational» fundierte Methode, wie Naturrisiken bewertet werden sollen, existiert zur Zeit nicht. Angesichts der Vielzahl an relevanten Interessen und Einflussfaktoren ist auch nicht damit zu rechnen, dass eine solche jemals entwickelt werden kann.

7. Aktivitäten an der ETH Zürich

Im Rahmen des WEP/FLAM-Projektes wird an der Professur für forstliches Ingenieurwesen der ETHZ die Anwendbarkeit von Konzepten und Methoden aus dem technischen Bereich für Naturrisiken untersucht. Vorläufige Ergebnisse weisen darauf hin, dass viele dieser Ansätze gewinnbringend eingesetzt werden können. Damit liesse sich längerfristig die Vergleichbarkeit zwischen natürlichen und anderen Risiken verbessern und auch eine transparentere Prioritätensetzung im Bereich der Massnahmen vornehmen.

Eines der weiteren Ziele des Projektes ist die Entwicklung eines allgemein verwendbaren, möglichst standardisierten Vorgehens für Naturrisikoanalyse. Dabei soll die Modellneutralität strikte eingehalten werden. Es soll also den Benutzern überlassen bleiben, wie sie ein Ereignis oder dessen Auswirkungen berechnen. Vielmehr soll ein Rahmen zur Verfügung gestellt werden, mit dem diese Informationen weiterverarbeitet werden können. Dieser ist so zu gestalten, dass verschiedene Risiken in vergleichbarer Form darstellbar und das Resultat als Grundlage für das Risikomanagement brauchbar sind.

8. Schlussfolgerungen

Die zunehmende Diskrepanz zwischen Schäden und Sicherheitsansprüchen verlangt optimierte Lösungen für die Erkennung und den Umgang mit Naturrisiken. In anderen Bereichen wurde mit den Konzepten der Sicherheitswissenschaft, insbesondere mit der Gliederung in Risikoanalyse, -bewertung und -management gute Erfolge erzielt. Dieses strukturierte Vorgehen bietet eine Grundlage für die Optimierung und Prioritätensetzung. Es ist grundsätzlich auch für alle Naturgefahren anwendbar. Gegenüber bisherigen Ansätzen erlaubt es eine saubere Trennung zwischen naturwissenschaftlich-technischen (Analyse) und sozioökonomischen Fragestellungen (Bewertung). Das klare, einheitliche Vorgehenskonzept bei der Risikoanalyse ermöglicht einen Vergleich und macht die Güte der Resultate ersichtlich. Lücken im Prozessverständnis können dagegen nicht geschlossen werden. Ebenso unklar ist zur Zeit, wie die Risikobewertung konkret erfolgen soll. In diesen Gebieten liegen die Schwerpunkte der zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Zusammenfassung

Wachsende Schäden durch Naturereignisse bei gleichzeitig steigenden Sicherheitsansprüchen erfordern eine Optimierung des Ressourceneinsatzes. Risikoanalysen sind

ein möglicher Ansatz. Sie erlauben eine systematische Darstellung der zu erwartenden Schäden und Vergleiche zwischen verschiedenen Ursachen. Ursprünglich für Hochtechnologiebereiche entwickelt, wurden sie ab den fünfziger Jahren zunehmend auch in anderen Branchen angewandt und perfektioniert.

Die Methodik der Risikoanalyse lässt sich auch für Naturgefahren anwenden. Die strukturierte Betrachtungsweise stellt funktionale Aspekte des Untersuchungsobjektes ins Zentrum und kann wichtige Hinweise für die Prioritätensetzung bei Massnahmen liefern.

Die Hauptarbeitsschritte bei einer Risikoanalyse sind die Systemabgrenzung und -beschreibung, die Gefahrenidentifikation und -abschätzung, die Expositionsanalyse und die Folgenabschätzung. Die sachlichen Inhalte der einzelnen Schritte werden jeweils durch die Anwendung spezifischer Modelle bestimmt. Risikoanalysen stellen also keinen Ersatz, sondern eine methodische Ergänzung der bestehenden Wissensbasis dar.

Im technischen Sektor stehen heute viele Verfahren für die Risikoanalyse zur Verfügung. Grob kann zwischen qualitativen und quantitativen Verfahren unterschieden werden. Erstere sind oft einfacher anzuwenden, liefern dafür weniger genaue Resultate. Die Eignung der spezifischen Verfahren für die Analyse von Naturrisiken wird zur Zeit abgeklärt.

Besonderheiten von Naturrisiken (keine Verursacher, keine Nutzniesser) machen sie zu einer Angelegenheit der öffentlichen Hand. Diese nimmt an Stelle der Betroffenen die Risikobewertung vor und entscheidet über deren Akzeptabilität.

Résumé

Analyse et évaluation du risque et de la sécurité dans le domaine des risques naturels

L'augmentation des dégâts dus aux phénomènes naturels et le besoin croissant de sécurité de l'homme exigent une optimalisation des moyens disponibles. La méthode de l'analyse du risque est une des possibilités de résolution de ce problème. Cette méthode permet de représenter systématiquement les dégâts et de faire une comparaison entre les différentes causes. A l'origine, elle a été développée pour des domaines de haute technologie. Par la suite, elle fut perfectionnée et à partir des années cinquante, elle a également trouvé son application dans d'autres secteurs.

La méthode de l'analyse du risque peut être aussi appliquée aux risques naturels. Grâce à sa manière structurée de considérer le problème, cette méthode permet de placer les aspects fonctionnels de l'objet d'étude au centre des considérations et elle peut ainsi donner des indications importantes pour les mesures à prendre en priorité.

Les étapes principales d'une analyse du risque sont: la délimitation et la description du système, l'identification et l'évaluation des risques, l'analyse de l'exposition et l'appréciation des conséquences. Le contenu matériel des différentes étapes est déterminé par l'application de modèles spécifiques.

Ainsi, l'analyse du risque ne remplace pas le savoir existant, mais elle en est un complément méthodique.

Dans le secteur technique, de nombreux procédés d'analyse du risque sont disponibles. D'une manière sommaire, on distingue les procédés qualitatifs et quantitatifs. L'application des procédés qualitatifs ne présente pas trop de difficultés dans la plupart des cas. Toutefois, les résultats obtenus ne sont pas toujours très précis. Le but de la recherche actuelle est d'établir les procédés adéquats pour l'analyse des risques naturels.

Les particularités des risques naturels font qu'ils sont une affaire du domaine public. Celui-ci effectue pour les intéressés l'evaluation des risques et décide de son acceptabilité.

Traduction: *Denise Burlet*

Literatur

Bell, T. E.: The limits of risk analysis; in: Managing risk in large complex systems: an IEEE Spectrum compendium, S. 51, Piscataway 1989.

Bell, T. E.: Managing Murphy's law: engineering a minimum-risk system; in: Managing risk in large complex systems: an IEEE Spectrum compendium, S. 24–27, Piscataway 1989.

DHA: Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management; United Nations Department of Humanitarian Affairs 93/36, Geneva 1992.

PPR&S: Begriffe für das Polyprojekt; Arbeitspapier der Gruppe Terminologie des Polyprojektes Risiko und Sicherheit technischer Systeme der ETH Zürich, Zürich 1993 (nicht veröffentlicht).

NUREG: Reactor safety study: an assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants; U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington 1975.

SIA: Norm 160: Einwirkungen auf Tragwerke: Ausgabe 1989, Zürich 1990.

Verfasser: Kurt Hollenstein, dipl. Forsting. ETH, Professur für forstliches Ingenieurwesen, Departement Wald- und Holzforschung der ETHZ, CH-8092 Zürich.