

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 10

Artikel: Kernenergie und Risiko: Probleme der Risikobeurteilung am Beispiele der Kernenergie
Autor: Bühler, Ruedi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77382>

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: 07.02.2026

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

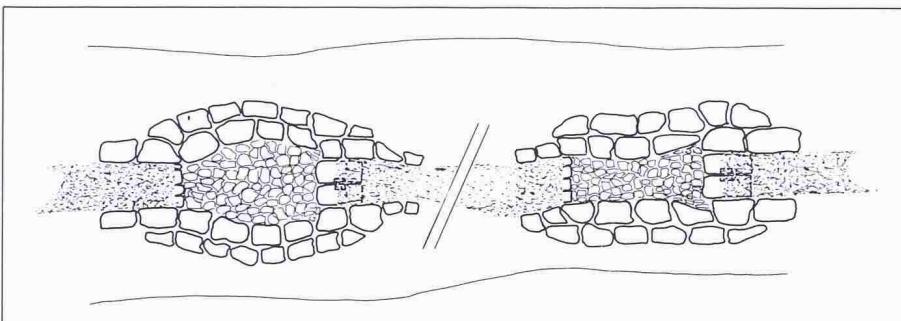


Bild 7. Situationsplan, Becken mit und ohne seitlicher Ausdehnung

lauben, wird der Beckenabschnitt mit Vorteil gegenüber der Bachsohle etwas verbreitert. Dabei ergibt sich für die Fische eine vergrösserte Ruhewasserzone.

Ganz abgesehen davon gewinnt die Bachstrecke an Bedeutung, wenn auch

auf den Zwischenstücken lokale Ausbuchtungen vorgesehen werden und wenn das Bachprofil nicht einheitlich gestaltet wird, sowohl was die Böschungsneigungen, die Sohlenbreite als auch den allfälligen Böschungsschutz betrifft.

Dieser Beitrag wurde verfasst von der Arbeitsgruppe «Kleine Bäche»:
André Chervet, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, Christian Göldi, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Zürich, Dr. André Hofmann, Amt für Raumplanung, Zürich, Claude Meier, Aqua Terra, Schwerzenbach/Goldingen, Heiner Niederer, Fischerei- und Jagdverwaltung, Zürich, Dr. Heinz W. Weiss, Basler und Hofmann, Zürich.

Kontaktadresse für diesen Artikel: Ch. Göldi, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Walchetur, 8090 Zürich.

Adresse des Autors: Ch. Göldi, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Walchetur, 8090 Zürich.

Sicherheit und Risiko

Kernenergie und Risiko

Probleme der Risikobeurteilung am Beispiel der Kernenergie

Durch mehrere grosse Unfälle sind die Risiken der modernen Technik einer breiten Öffentlichkeit bewusst geworden. Vor allem im Zusammenhang mit der Kernenergiediskussion ist die Frage in den Vordergrund gerückt: Sind Risikoanalysen ein taugliches Mittel, um die Risiken eines technischen Prozesses zu beurteilen? Die Risikobeurteilung ist - nebst den wissenschaftlichen Bestandteilen - vor allem ein gesellschaftspolitischer Prozess. In Abweichung bisheriger Risikoanalysen und Risikovergleiche müssen für die Risikobeurteilung daher neue, dem politischen Charakter angepasste Verfahren entwickelt werden.

Seit Tschernobyl hat der «Schweizer Ingenieur und Architekt» Beiträge zur Kernenergie aus unterschiedlichen Blickwinkeln veröffentlicht. Der nachfolgende Beitrag von R. Bühler enthält - ohne dass sich die Redaktion mit allen Aussagen identifiziert - einige bedenkenswerte Aspekte. Wir verstehen unsere Zeitschrift als Plattform für sachlich fundierte Abhandlungen und hoffen damit zur Entkrampfung der gegenwärtig festgefahrenen Energie-Diskussion beitragen zu können. - «Partnerschaftliche Risikoentscheidungen» könnte etwa das Leitmotiv heißen. Red.

In den letzten Jahren sind durch verschiedene Grossunfälle die technologischen Risiken einer breiten Öffentlich-

sein? Sind diese Risiken überhaupt tragbar?

Mit Risikoanalysen kann das Risiko eines technischen Prozesses ermittelt werden. Als Schwachstellenanalyse sind sie ein bewährtes und unbestrittenes Hilfsmittel. Die Kontroverse setzt dort ein, wo die mit Risikoanalysen ermittelten Zahlenwerte eingesetzt werden, um einen technologischen Prozess (z.B. die Kernenergie) zu beurteilen oder mit anderen technologischen Prozessen zu vergleichen. In den nachstehenden Abschnitten werden am Beispiel der Kernenergie die Probleme der

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

- Heft 15/88, Seiten 415-428
- Heft 18/88, Seiten 505-512
- Heft 35/88, Seiten 963-965
- Heft 39/88, Seiten 1069-1075
- Heft 4/89, Seiten 67-73
- Heft 8/89, Seiten 208-214
- Heft 10/89, Seiten 259-264
- Heft 20/89, Seiten 527-539
- Heft 35/89, Seiten 911-913
- Heft 39/89, Seiten 1035-1040

Durchführung und Anwendung von Risikoanalysen diskutiert.

Erkenntnisse der neuen Physik, umgesetzt in den Alltag

Die in diesem Abschnitt formulierten Überlegungen sind ein Versuch, die Risikoproblematik in einen grösseren Zusammenhang zu stellen. Vielen Lesern mögen diese Gedankengänge fremd sein. Diese Betrachtungsweise könnte aber einen Ausweg aus der in vielen Bereichen festgefahrenen Risikodiskussion aufzeigen.

Die Naturwissenschaften beruhen heute noch weitgehend auf dem mechanistisch-kausalistischen Weltbild, wie es im wesentlichen von Descartes formuliert wurde. Die wissenschaftliche Methode dieser Weltanschauung trennt den Beobachter vom beobachteten Gegenstand und nimmt an, dass die Welt

VON RUEDI BÜHLER,
MASCHWANDEN

keit bewusst geworden. Ein zunehmender Teil der Bevölkerung begegnet diesen Risiken mit Angst und Unsicherheit. Es besteht ein breiter Konsens darüber, dass diese Risiken möglichst klein gehalten werden sollen. Unterschiedlich sind die Reaktionen auf die Fragen: Wie gross dürfen diese Risiken

objektiv, unabhängig vom Beobachter, beschrieben werden kann. Auf die Risikoproblematik angewendet bedeutet das, dass es ein objektives Risiko gibt, das nach logisch-wissenschaftlichen Methoden unabhängig vom Beobachter (Wissenschaftler) ermittelt werden kann (vgl. auch Glossar im Kästchen).

Mit den Erkenntnissen der neuen Physik konnte dieses Weltbild nicht mehr weiter aufrecht erhalten werden. Die weitreichenden Konsequenzen dieser Erkenntnisse hat Davies in seinem Buch «Mehrfachwelten» dargestellt [1]:

- Neben unserer Welt, die wir mit unseren Sinnenorganen wahrnehmen, gibt es ungezählte Milliarden weiterer Welten in einer vielfältigen Wirklichkeit. Unsere Welt ist nur ein Diapositiv aus einem unendlich grossen Diakasten, dem Hyperraum.
- Wirklichkeit an sich gibt es nicht, sie hängt vom Beobachter ab. Ohne bewusste Beobachtung verharrt die Materie in einem Zustand des Abwartens. Erst das Bewusstsein schafft eine bestimmte Wirklichkeit.

Diese Erkenntnisse sind für den subatomaren Bereich unbestritten. Es gibt aber bisher nur wenige Versuche, diese Erkenntnisse in das alltägliche Leben einzubeziehen. Ein wichtiger Grund liegt wahrscheinlich darin, dass im normalen technisch-wissenschaftlichen Bereich die kausal-mechanistische Betrachtungsweise gute Ergebnisse liefert und unseren technischen Fortschritt überhaupt erst ermöglicht hat. Nach meiner Ansicht genügt diese kausal-mechanistische Betrachtungsweise dann nicht mehr, wenn es um die Beziehungen zwischen Mensch und Umwelt – auch der technischen Umwelt – geht. Hier geht es nicht nur um mechanistisch-technische Probleme. Noch fragwürdiger wird der kausal-mechanistische Ansatz für den geistig-seelischen Bereich. Zentraler Punkt im Bereich Mensch und Umwelt ist die Frage, wie sich die Beziehungen zwischen dem Menschen (des Beobachters) und seiner Umwelt (des beobachteten «Objektes») auf die Wahrnehmung auswirken.

Die Ergebnisse der modernen Physik haben für mich folgende *Konsequenzen*:

- Jede wissenschaftliche Aussage ist mit dem Standpunkt und dem Bewusstsein des Beobachters verknüpft. In Bereichen, wo alle Menschen einen identischen Standpunkt einnehmen (d.h. ein identisches Bewusstsein haben) sind «objektive» – vom Beobachter unabhängige – Aussagen möglich. In kontroversen Problemkreisen wie beispielsweise der Kernenergie sind die Aussagen nicht mehr zu trennen von demje-

GLOSSAR

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

(Red.)

nigen, der die Aussage macht. Dies gilt auch für mich: Mein Bewusstsein ist geprägt durch meine Ablehnung der Kernenergie. Ich kann mich bemühen, mein Bewusstsein möglichst zu erweitern und so dem Bewusstsein eines Kernenergiebefürworters näher zu kommen. Ein identisches Bewusstsein und damit «objektive Aussagen» sind aber nicht möglich.

□ Daher bemühe ich mich, gemäss den Erkenntnissen der neuen Physik meinen eigenen Standpunkt *nicht als objektive Erkenntnisse* auszugeben. Was in diesem Bericht dargestellt wird, ist «meine Wahrheit». Jeder Leser und jeder andere Bericht hat wieder eine andere Wahrheit. Es bestehen unzählige Wahrheiten nebeneinander.

Industriegesellschaft entzündeten sich die gesellschaftlichen Konflikte bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts (und in der vom Hunger bedrohten Dritten Welt noch heute) hauptsächlich am Problem der Verteilung des produzierten Reichtums. Diese Art der Konflikte ist typisch für eine Mangelgesellschaft. In den hochentwickelten Wohlfahrtsstaaten verliert dieser Kampf um das «tägliche Brot» an Bedeutung. Er wird überlagert vom Wissen, dass als Nebenwirkung der wachsenden Reichtumsproduktion auch wachsende Risiken produziert werden. Zudem wird erkennbar, dass die neu entstehenden Risiken von umfassenderer Bedeutung sind als früher. Ihr Gefährdungspotential macht nicht halt vor geografischen, nationalen oder gesellschaftlichen Grenzen. Aus dieser Analyse leitet Beck seine These ab, dass die bisherigen gesellschaftlichen Konflikte um Reichtumsverteilung überlagert werden von Konflikten der Risikoverteilung. Da der Nutzen von technisch-industriellen Prozessen und die dabei als Nebenprodukt anfallenden Risiken oft ungleich verteilt werden, entstehen Spannungen. Je grösser für das Individuum die Diskrepanz zwischen Nutzen und Risiko ist, desto höher wird es die Risiken bewerten.

Stellenwert der Risiken in unserer modernen Gesellschaft

Die Akzeptanz der technologischen Risiken ist in den letzten Jahren offensichtlich gesunken. Wo liegt der Grund? Beck liefert in seinem Buch «Risikogesellschaft, Auf dem Weg in eine andere Moderne» [2] eine plausible Begründung dieses Phänomens: In der

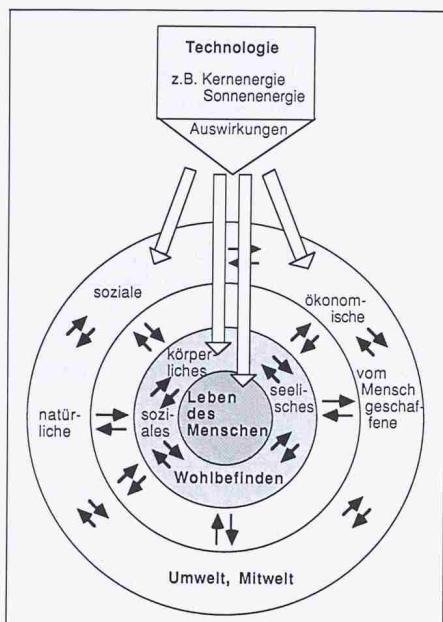


Bild 1. Modell für das Erfassen aller Wirkungen einer Technologie auf das Wohlbefinden des Menschen

Eine weitere Charakteristik der neu entstehenden, umfassenderen Risiken: Die Wirkungen sind oft mit unseren Sinnen nicht direkt erfahrbar. Der Laie muss sich auf Interpretationen der Wissenschaftler stützen. In diesem Interpretationsprozess können die Wirkungen verkleinert oder vergrössert, dramatisiert oder verharmlost werden. Die Risikodefinition und Risikoforschung erhält damit gesellschaftspolitische Dimensionen. Es ist daher wichtig, den Stellenwert der bestehenden Risikoanalysen zu hinterfragen.

Risikobeurteilung als Entscheidungshilfe

Der Begriff *Risiko* wird im allgemeinen verwendet, um die Grösse einer Gefährdung durch ein mögliches Schadeneignis auszudrücken, welches nicht mit Sicherheit eintreten wird (vgl. auch Glossar im Kästchen). Es besteht im allgemeinen Übereinstimmung, dass das Risiko zwei Komponenten beinhaltet: Das *Schadensausmass* des möglicherweise eintretenden Ereignisses einerseits und die *Wahrscheinlichkeit* für das Eintreten dieses Ereignisses anderseits. Wie sollen nun die beiden Größen «*Schadensausmass*» und «*Wahrscheinlichkeit*» miteinander zur Grösse «*Risiko*» verknüpft werden?

Es entspricht zu einem grossen Teil dem Empfinden des Menschen, dass ein Schadeneignis als weniger gefährlich eingestuft wird, je kleiner das *Schadensausmass* und je kleiner die Eintretenswahrscheinlichkeit ist. Diese Aus-

sage gilt aber nicht absolut. Es hängt davon ab, von welchem Standpunkt aus die Bewertung vorgenommen wird.

Ein Beispiel: Alle Einwohner der Schweiz und alle Einwohner eines Landes X seien zu gleichen Bedingungen bei der gleichen Versicherungsgesellschaft versichert. Für die Versicherung ist ein Schadenereignis in der Schweiz mit 1000 toten Schweizern von gleicher Bedeutung wie 1000 Ereignisse in X mit je einem Toten. Schweizer Behörden werden aber wahrscheinlich die Ereignisse in X in ihren Entscheiden weniger stark gewichten als die Katastrophe in der Schweiz.

Daraus ergibt sich folgende Konsequenz: Risikoanalysen und -vergleiche sind Entscheidungshilfen für Entscheidungsinstanzen. Die Wertungen in den Risikountersuchungen müssen daher – angefangen bei der Risikodefinition bis zur Wertung verschiedener Schadewirkungen – von der jeweiligen Entscheidungsinstanz gemacht werden oder mindestens bewusst akzeptiert werden können. Zentrale Frage der Risikoanalysen und -vergleiche wird damit: Wie kann sichergestellt werden, dass alle Wertungen mit den Wertvorstellungen der Entscheidungsinstanz übereinstimmen?

Modell für das Erfassen aller Schadenwirkungen

Wie können bei einer Risikobeurteilung alle risikorelevanten Schadenwirkungen ermittelt werden? Die in bestehenden Risikoanalysen berücksichtigten Wirkungen «Todesfälle» oder «verlorene Manntage» (= verlorene Arbeitstage von Männern und Frauen) genügen für eine umfassende Betrachtung nicht. Der nachstehend skizzierte Ansatz zeigt eine Möglichkeit für eine weiter gefasste Betrachtungsweise:

Das Wohlbefinden des Menschen hängt nicht allein von seiner körperlichen und geistig-seelischen Gesundheit ab, sondern ist eng verknüpft mit dem «Gesundheits»-Zustand seiner Umwelt (Menschen, Natur). Ist die Umgebung krank, so ist auch der Mensch krank. Dies bezieht sich nicht nur auf die kausalen Zusammenhänge wie z.B. die Luftverschmutzung, sondern umfasst vor allem auch den geistig-seelischen Bereich, was wiederum mit der körperlichen Gesundheit gekoppelt ist. Die Beurteilung der Wirkung von Technologien auf das Wohlbefinden des Menschen sollte daher auch die Wirkung der Technologien auf seine gesamte Umwelt miteinbeziehen. Bild 1 zeigt, wie ein solcher ganzheitlicher Ansatz aussehen könnte:

- Das gesundheitliche Wohlbefinden des Menschen kann in vier Bereiche gegliedert werden (körperliches, geistig-seelisches, soziales Wohlbefinden sowie das Wohlbefinden bezüglich der natürlichen und der vom Menschen geschaffenen Umwelt).

- Der Mensch ist eingebettet in sein Umfeld, welches in die Bereiche soziale Umwelt (Familie, Dorf, Staat usw.), Ökonomie, vom Menschen geschaffene Umwelt und natürliche Umwelt (Fauna, Flora, Erde, Luft, Wasser) aufgeteilt werden kann.

- Die Bereiche des Umfeldes stehen in enger Wechselbeziehung zueinander und auch in enger Beziehung mit dem Wohlbefinden des Menschen. Beispiele solcher Beziehungen: Ein gestörtes soziales Wohlbefinden kann sich negativ auswirken auf das Verhalten des Menschen gegenüber der Natur. Oder gestörtes geistig-seelisches Wohlbefinden kann sich auswirken auf das Verhalten gegenüber der sozialen Umwelt (z.B. Terrorismus).

- Jede Technologie (als Teil der vom Menschen geschaffenen Umwelt) hat im Normalbetrieb und bei Unfällen mehr oder weniger grosse direkte Auswirkungen auf einzelne Bereiche des menschlichen Wohlbefindens und/oder seines Umfeldes. Durch die enge Verflechtung beschränkt sich eine solche Störung aber nicht nur auf die direkt betroffenen Bereiche, sondern kann sich auf alle Bereiche auswirken. Dabei kann es auch zu Rückkopplungen kommen, die sich stabilisierend oder destabilisierend auf das Gesamtsystem auswirken können.

Folgerung: Risikobeurteilungen und Risikovergleiche von Technologie-Systemen (z.B. der Kernenergie und anderen Systemen der Energiegewinnung) dürfen sich nicht nur auf die Untersuchung der direkten Auswirkungen auf die körperliche Gesundheit beschränken. Sie müssen alle direkten und indirekten Wirkungen auf das Wohlbefinden des Menschen miteinbeziehen. Dies ist allerdings ein sehr aufwendiges Unterfangen, welches interdisziplinäre Forschungsarbeit in allen Bereichen der Wissenschaft (Natur-, Geistes- und Wirtschaftswissenschaft) erfordert. In einem solchen Vergleich müssen neben den Risiken auch alle möglichen Nutzen miteinbezogen werden.

Es ist klar, dass in der praktischen Ausführung nicht alle Wirkungen bis ins Detail ermittelt werden können. Ein sinnvolles Vorgehen wäre: Basis für eine Beurteilung einer Technologie müsste eine umfassende Risiko-Nutzen-Beurteilung sein, in welcher alle Wertungen und ihre Konsequenzen

transparent gemacht werden. Diese Beurteilung sollte in enger Zusammenarbeit von Betroffenen und von Forschern durchgeführt werden. Im Verlaufe der Bearbeitung könnten dann, nach eingehender Diskussion aller Vor- und Nachteile im Bearbeitungsgremium, Abgrenzungen vorgenommen werden.

Die Wahrscheinlichkeit seltener Ereignisse: Beispiel Kernschmelzunfall

Für die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit *seltener Ereignisse* stehen keine direkten statistischen Daten zur Verfügung. Mit Hilfe umfangreicher Modelle (z.B. Fehlerbaum- und Ereignisablaufanalyse) werden die Systemausfallwahrscheinlichkeiten rechnerisch ermittelt. Am Beispiel Kernschmelzunfall ist die Problematik solcher Berechnungen ersichtlich.

Mit umfangreichen Risikoanalysen versuchen Spezialisten, die Wahrscheinlichkeiten eines Kernschmelzunfalls und der möglichen Folgen eines solchen Unfalles zu berechnen. In diesen Berechnungen sind aber wichtige, unfallauslösende Ereignisse gar nicht berücksichtigt. Beispiele solcher nicht berücksichtigter möglicher Ereignisse: Sabotage, Terroranschläge, vorschriftswidrige Eingriffe des Betriebspersonals. Außerdem handelt es sich bei diesen Berechnungen zu einem grossen Teil um Abschätzungen, welche mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. Ein Beispiel dazu: Im Jahre 1982 erhielten 10 Forschungsteams von Atomforschungszentren und Reaktorlieferanten der EWG folgende Aufgabe: In einem Parallelversuch sollen diese Forschungsteams unabhängig voneinander die Wahrscheinlichkeit ermitteln, dass bei einem französischen Reaktor ein bestimmtes, wichtiges Hilfskühlsystem ausfällt [3]. Die Resultate dieses Versuches sind ernüchternd. Die höchste berechnete Wahrscheinlichkeit war fast 50mal grösser als der kleinste berechnete Wert. Auch nach mehreren gemeinsamen Sitzungen konnten sich die Teams nicht auf ein gemeinsames Modell einigen.

Dieses Beispiel macht deutlich, dass die mit Risikoanalysen ermittelten Wahrscheinlichkeiten nur mit grossem Vorbehalt verwendet werden sollten. Trotzdem seien hier ein paar Zahlen aufgeführt: Die von amerikanischen Firmen für viele einzelne Anlagen durchgeföhrten Untersuchungen ergaben Kernschmelzhäufigkeiten von $1,5 \cdot 10^{-3}$ bis $4 \cdot 10^{-6}$ pro Reaktorjahr. Der für das Kernkraftwerk Beznau ermittelte Wert

beträgt $1,7 \cdot 10^{-3}$, d.h. ein Kernschmelzunfall in 588 Betriebsjahren. Die in der Deutschen Risikostudie [4; 5] berechneten Werte liegen bei $1 \cdot 10^{-4}$ (Phase A, 1979) und $2,9 \cdot 10^{-5}$ (Phase B, 1989) pro Reaktorjahr. Der Umstand, dass diese Zahlen sehr unsicher sind und dass zudem viele auslösende Ereignisse nicht berücksichtigt sind, begründet denn auch, dass ein Kernschmelzunfall in einem schweizerischen oder anderen westeuropäischen Kernreaktor nicht nur als theoretische, sondern als reale Möglichkeit in Betracht gezogen werden muss. Offenbar sind unsere Sicherheitsbehörden – im Gegensatz zu früher – der gleichen Ansicht: Es werden Nachrüstungsmassnahmen vorgesehen, welche die Folgen eines Kernschmelzunfalles reduzieren sollen.

Auswirkungen von Kernschmelzunfällen

Die Gefährdung durch ein Kernkraftwerk wird von zwei Komponenten beeinflusst: dem zu erwartenden Schadensausmass einerseits und der Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen anderseits. Im vorangehenden Abschnitt wurde gezeigt, dass die in Risikoanalysen ermittelten Wahrscheinlichkeiten für Kernschmelzunfälle mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Analog verhält es sich bei der Ermittlung der Schäden, die sich aus einem solchen Unfall ergeben können.

Der maximal mögliche Schaden eines Kernschmelzunfalls hängt von der maximal freigesetzten Menge an Radioaktivität ab. Die im Jahr 1989 veröffentlichten Ergebnisse von Teil B der Deutschen Risikostudie [5] zeigen, dass bei einem Kernschmelzunfall in unseren Leichtwasserreaktoren die in die Umgebung freigesetzte Menge an Radioaktivität deutlich höher sein könnte als die Freisetzung beim Tschernobylunfall. Direkte Erfahrungen über die Unfallfolgen eines schweren Kernschmelzunfalles in einem Leichtwasserreaktor westlicher Bauart haben wir glücklicherweise bisher keine. In Risikoanalysen werden solche Schäden rechnerisch ermittelt. Nach Berechnungen der Deutschen Risikostudie, Phase A, 1979 [4] muss bei *schweren* Kernschmelzunfällen mit über 100 000 Krebstodesfällen gerechnet werden. Leider wurden in der 1989 veröffentlichten Phase B [5] keine Unfallfolgerechnungen mehr durchgeführt, obwohl dies noch 1987 für den Endbericht angekündigt worden war. Im Vergleich mit den oben zitierten Ergebnissen der Phase A wären die Unfallfolgen der Phase B bei sehr schweren

Kernschmelzunfällen wesentlich höher. Die wichtigsten Gründe sind:

- Die 1989 ermittelte Menge an freigesetzter Radioaktivität von langlebigen Spaltprodukten ist bei schweren Kernschmelzunfällen ungefähr eine Größenordnung höher als der 1979 veröffentlichte Wert.
- Eine Neubewertung der Daten aus den Atombombenabwürfen von Hiroshima und Nagasaki ergibt eine höhere Wirkung von kleinen radioaktiven Strahlendosen als bisher angenommen. Um wieviel höher die Wirkung anzunehmen ist, ist heute noch umstritten. In einer Veröffentlichung der bundesdeutschen Strahlenschutzkommission [6] wird für Erwachsene von einem gegenüber den alten Annahmen 3- bis 7fach höheren Risiko ausgegangen.

Folgerung: *Die in den Risikoanalysen ermittelten Auswirkungen von Kernschmelzunfällen sind unsicher.* Es ist möglich, dass diese Auswirkungen bedeutend unterschätzt werden. Zudem ist zu beachten, dass nur ein sehr enger Schadensbereich (Todesfälle durch Unfall oder Krebs) berücksichtigt wurde.

Vergleich des russischen RBMK-Reaktors mit den schweizerischen Kernkraftwerken

Seit dem Unfall von Tschernobyl wird von unseren Sicherheitsbehörden und von den Kernkraftwerkbetreibern darauf hingewiesen, dass die Sicherheit unserer Leichtwasserreaktoren unvergleichlich höher und das Risiko dement sprechend viel tiefer sei. Dies ist aber eine subjektive Beurteilung, welche zahlenmäßig nicht belegt werden kann. Systematische Risikovergleiche – mit all den damit verbundenen Problemen der schwierigen Reproduzierbarkeit – sind bisher nicht durchgeführt worden. Es werden nur einzelne, zum Teil sehr wesentliche Unterschiede her ausgegriffen und daraus die Gesamtbeurteilung abgeleitet. Den von Sicherheitsbehörden und Kernenergiebefürwortern angeführten Argumenten möchte ich ein paar weitere Aspekte hinzufügen:

- Die Leistungsdichte im RBMK-Reaktor (d.h. die spezifische Wärme produktion pro Kernvolumen) ist etwa 20mal tiefer als bei unseren Druckwasserreaktoren. Das bedeutet, dass bei unseren Reaktortypen eine gestörte Wärmeabfuhr in viel kürzerer Zeit zum Kernschmelzen führt und dass der Kernschmelzunfall viel schneller verläuft als bei gleicher Unfallursache im RBMK-Reaktor.

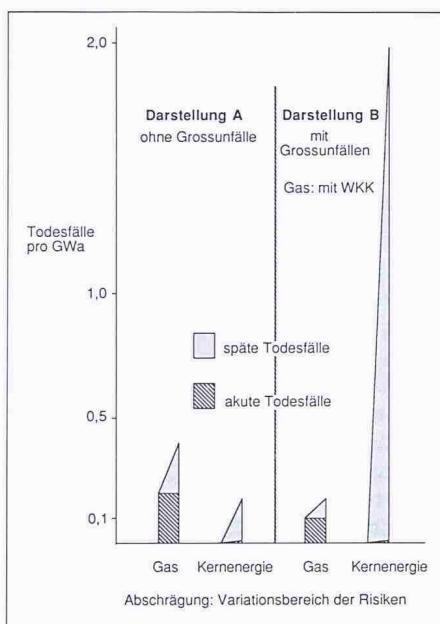


Bild 2. Vergleich der Todesfallrisiken der Elektrizitätserzeugung mit Gas und mit Kernenergie. Bei der Darstellung A sind Grossunfälle (im wesentlichen Kernschmelzunfälle) nicht berücksichtigt. Bei der Darstellung B sind sie mitberücksichtigt. Die Basisdaten entstammen der Studie Fritzsche [7]

- Auch der RBMK-Reaktor besitzt Sicherheitskammern, die im Vergleich zur Sicherheitshülle unserer Reaktoren wohl gewisse Schwachstellen aufweisen, zum Teil unserem Sicherheitsbehälter (vor allem bezüglich zulässigem Überdruck in den einzelnen Zellen) aber mindestens ebenbürtig sind. Auch die Sicherheitskammern des RBMK-Reaktors sind wie der Sicherheitsbehälter unserer Kernkraftwerke dafür ausgelegt, den Austritt von Radioaktivität bei all jenen Unfällen zu verhindern, bei denen die Sicherheitssysteme funktionieren und diese ein Kernschmelzen verhindern. Bei beiden Reaktortypen ist die Sicherheitshülle nicht dafür ausgelegt, um bei einem Kernschmelzunfall eine radioactive Verseuchung der Umgebung zu verhindern.
- Schwere Kernschmelzunfälle können nach neuesten Ergebnissen der Deutschen Risikostudie (siehe oben) auch bei unseren Leichtwasserreaktoren zu freigesetzten Mengen an Radioaktivität führen, welche höher sind als die freigesetzten Mengen im Tschernobyl-Unfall. Der Grund für die hohen Freisetzung ist das mögliche Versagen des Sicherheitsbehälters beim HD-Kernschmelzen (d.h. Kernschmelzen unter Hochdruckbedingungen im Primärkreis) schon nach drei bis fünf Stunden.

Ein entscheidender Auslöser des Tschernobyl-Unfalls war schweres

menschliches Fehlverhalten. Dies kann aber auch bei uns nicht ausgeschlossen werden, wobei man sich allerdings nicht nur auf das Fehlverhalten des Betriebspersonals konzentrieren darf. Menschliches Fehlverhalten kann sich auch äußern als kriminelles Verhalten einzelner Lieferanten oder Sicherheitsinspektoren. Der Skandal um die Transportfirma Transnuklear zeigt, dass auch im Nuklearbereich schwerer Vertrauensmissbrauch nicht ausgeschlossen werden kann. Die Sicherheit unserer Kernkraftwerke beruht – was nie ganz vermieden werden kann – zu einem grossen Teil auf solchem Vertrauen.

der Anschrägung ist der Variationsbereich der Risikowerte ausgedrückt. Beim Kernschmelzunfall wurden die Daten der Deutschen Risikostudie, Phase A, verwendet. Ich bin der Ansicht, dass keine der beiden Darstellungen eine relevante Aussage zur Risikobeurteilung macht.

Lösungsansatz für zukünftige Risikovergleiche

Wie könnte eine Risikobeurteilung aussehen, bei der die Wertvorstellungen der Betroffenen berücksichtigt werden? Die nachfolgenden Vorschläge sind als Denkanstöße gedacht und erheben nicht den Anspruch, vollständig und widerspruchsfrei zu sein.

□ Die Risikobeurteilungen sollten von einem Beurteilungsgremium durchgeführt werden. Dabei müsste die von den Technologiefolgen betroffene Bevölkerung ihre Wertvorstellungen einbringen können. Dies wird wahrscheinlich ziemlich schwierig und mühsam sein, weil dabei beispielsweise die eher gefühlbetonten Werte eines Teils der Bevölkerung mit den mehr auf technischem Wissen basierenden Wertungen

Risikovergleiche von Energiegewinnungs-Systemen

In einer umfangreichen Arbeit hat Fritzsche die bestehenden Daten über die Todesfallrisiken der verschiedenen Energiegewinnungs-Systeme zusammengetragen [7]. Diese Arbeit gibt einen guten Überblick über die bis heute publizierten Risikowerte. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind im «Schweizer Ingenieur und Architekt» dargestellt worden [8]. Die Probleme bei der Ermittlung dieser Risikozahlen wurden an anderer Stelle diskutiert [9]. Hier sei nur auf die Aussage von Ferguson – einer wichtigen und zuverlässigen Quelle der Basisdaten von Fritzsche – hingewiesen:

Alle in einer solchen Untersuchung ermittelten Risikowerte sind das Resultat einer subjektiven Auswahl von einer unter mehreren möglichen Hypothesen. Es handelt sich also dabei zu einem grossen Teil keineswegs um objektive, d.h. unabhängig vom Forscher/Beobachter reproduzierbare Daten.

Die Studie Fritzsche unterscheidet zwischen «sogenannten Routineunfällen» (Zitat Studie Fritzsche, Einleitung zu Kap. 7) und seltenen Grossunfällen. Dementsprechend werden auch in den Grafiken die Grossunfälle separat behandelt, und die daraus resultierenden Todesfälle werden in den vergleichenden Balkendiagrammen nicht berücksichtigt ([8], Seite 564–565).

Wie sich eine grafische Darstellung durch Einbezug von Grossunfällen verändern kann, zeigt Bild 2. Die Risikowerte entstammen der Studie Fritzsche [7]: Darstellung A zeigt das Risiko für die Bevölkerung (ausgedrückt in Todesfällen pro GWa) ohne Einbezug von Grossunfällen. Bei der Darstellung B sind die Grossunfälle einbezogen, wobei bei Gas zusätzlich die Wärme-Kraft-Kopplung berücksichtigt ist. Mit

Literatur

- [1] Davies P.: Mehrfachwelten, Entdeckungen der Quantenphysik, Diedrichs-Verlag, Düsseldorf/Köln 1981
- [2] Beck U.: Risikogesellschaft, Auf dem Weg in eine andere Moderne, Edition Suhrkamp, Frankfurt 1986
- [3] Amendola A. (Editor): Systems Reliability Benchmark Exercise, Final Report, Commission of the European Communities, Joint Research Centre Ispra, Oct. 1986
- [4] Gesellschaft für Reaktorsicherheit: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1979
- [5] Gesellschaft für Reaktorsicherheit: Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B, GRS-A-1600, Juni 1989
- [6] Paretzke H.G.: Folgerungen für die Risikoabschätzung, in: Aktuelle Fragen zur Bewertung des Strahlenkrebsrisikos, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 12, Stuttgart 1988
- [7] Fritzsche A.F.: Gesundheitsrisiken von Energieversorgungssystemen; Quantitative Vergleiche, Expertengruppe Energieszenarien, Schriftenreihe Nr. 21, Bern 1988
- [8] Fritzsche A.F.: Ausstieg aus der Kernenergie? SI+A (1989) H. 21/23, S. 563–566 und S. 601–607
- [9] Bühler R.: Probleme der Risikobeurteilung von Energieversorgungssystemen, Expertengruppe Energieszenarien, Schriftenreihe Nr. 21, Bern 1988

eines anderen Bevölkerungsteils kollidieren werden.

□ Diesem Gremium würde ein Team von Risikoforschern beigegeben, welche in Sachen Risikoanalyse beratend wirken würde. Alle Entscheide, beispielsweise welche Risikodefinition, welche Schadenwirkungen berücksichtigt und wie die Wertungen durchgeführt werden könnten, würden vom Beurteilungsgremium getroffen.

□ Wahrscheinlich würde innerhalb dieses Gremiums keine Einigkeit bei allen erforderlichen Entscheiden gefunden werden. Dies ist auch nicht nötig. Entscheidend ist, dass innerhalb dieses Gremiums mit Unterstützung der Risikoforscher ein gesellschaftspolitischer Prozess in Gang kommt und eine intensive Auseinandersetzung stattfindet. Da es die «einzig Wahrheit» nicht gibt, wäre es richtig und wichtig, dass die kontroversen Meinungen und Beurteilungen klar herausgearbeitet und begründet würden. Auf diese Weise wäre ein wichtiger Schritt in Sachen gesellschaftlicher Konfliktbearbeitung getan. Im Sinne der Umsetzung der Erkenntnisse der neuen Physik würde das bedeuten: Durch diesen Prozess erweitert sich bei allen Beteiligten das Bewusstsein. Erst dadurch, dass sich das Be-

wusstsein der Beteiligten annähert, ist es möglich, zu einem Konsens zu kommen.

Die grösste Schwierigkeit bei einem solchen Prozess liegt wahrscheinlich darin, dass den Wertvorstellungen der Minderheiten das gleiche Gewicht zugestanden wird wie den Mehrheiten. Dies ist für die Mehrheit schwierig und ungewohnt. Wahrscheinlich kann aber bezüglich unserer Energieversorgung nur auf diese Weise ein Konsens gefunden werden.

Schlussfolgerungen

Aus den oben dargestellten Überlegungen folgt:

- Die Beurteilung des Risikos eines technischen Prozesses (beispielsweise der Kernenergie) ist ein gesellschaftspolitischer Prozess und darf daher nicht von Risikoforschern, sondern nur von den Betroffenen, bzw. von den für einen Entscheid zuständigen Instanzen vorgenommen werden.
- Die bestehenden Risikoanalysen und Risikovergleiche sind als Entscheidungshilfe für die Wahl eines technischen Prozesses (z.B. für einen Ent-

scheid für oder gegen die Kernenergie) ungeeignet. Für die Risikobeurteilungen müssen neue, dem politischen Charakter der Risikobeurteilung angepasste Verfahren entwickelt werden.

- Ein Vergleich zwischen unseren Leichtwasserreaktoren und dem sowjetischen RBMK-Reaktor («Tschernobyl-Reaktor») zeigt: Bei einem Kernschmelzunfall in einem schweizerischen Kernkraftwerk könnte eine grössere Menge an Radioaktivität freigesetzt werden als beim Tschernobyl-Unfall. Ein solcher Unfall ist als reale Möglichkeit zu betrachten.

In Zukunft werden immer wieder politische Entscheide getroffen werden müssen, bei denen die Risikofrage ein wichtiger Faktor ist (Energieversorgung, Chemie, Gentechnologie usw.). Es sollten deshalb grosse Anstrengungen unternommen werden, um bezüglich Risikobeurteilung neue, auf einem breiten Konsens beruhende Wege zu finden.

Adresse des Verfassers: Ruedi Bühler, dipl. Masch.-Ing., ETHZ/SIA, Dörfli 5, 8933 Maschwanden.

Vertragsgestaltung bei Untertagebauarbeiten

Symposium in München

Das Institut für Bauingenieurwesen IV, Tunnelbau und Baubetriebslehre, der Technischen Universität München führte im März 1989 in München ein Symposium über «Vertragsgestaltung bei Untertagebauarbeiten» durch. Daran nahmen etwa 400 Fachleute von Bauherren und Unternehmern aus Deutschland, der CSSR, Jugoslawien, Österreich und der Schweiz teil. In 16 Referaten und Diskussionsbeiträgen wurde auf die Risikoverteilung auf Bauherrn und Unternehmer, die Organisation und Struktur, die Erkundung der geologischen und hydrologischen Gegebenheiten, den Ausbruch und das gewählte Bauverfahren, die Wahl der eingesetzten Geräte und die Finanzierung eingegangen.

Nach Prof. E. Eber, München, haben Bauverträge für Untertagebauwerke gegenüber Standardverträgen des Bauwesens ihre Besonderheiten, weil bei Stollen und Tunnels die vielfältigen Eigenschaften des Werkstoffes Gebirge im Voraus nicht eindeutig bekannt sind; außerdem variieren diese Eigenschaften im Zuge des Vortriebs noch, sind meist zeitabhängig und werden durch das gewählte Bauverfahren beeinflusst.

Die Probleme sind keineswegs neu [1] und beeinflussen die Verträge für Untertagebauarbeiten.

Verteilung des Risikos

Prof. Dr.-Ing. J. Nawrath, München, unterscheidet bei der «Risikoteilung im Bauvertrag» Funktionsfähigkeit, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und Übereinstimmung mit den gesetzlichen Auflagen. Er behandelte das Risikofeld

im Bereich des Bauwerks auf der Schnittlinie von technischen und wirtschaftlichen Einflüssen sowie die Teilung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer mit Regelungen durch zusätzliche Vertragsbedingungen mit einer Verschiebung des Risikos auf den Auftragnehmer. Ergänzend dazu berichtete Dr. iur. R. Schirmer, München, über die «Risikoverlagerung bei Sondervorschlägen», wo in bestimmten Fällen das beim Auftraggeber liegende Vergütungsrisiko auf den Auftragnehmer als Urheber des Sondervorschlags übergeht; dies gilt vor allem für das Massen- und Preisrisiko. Regelungsbedarf besteht besonders bei Teilsondervorschlägen [2]. Die Verträge sollten Einzelheiten über die Abwicklung von Streitfällen aus der Risikoverteilung enthalten.

Organisation

Nach Dr.-Ing. E.h. H. Maak, Frankfurt/Main, hat eine «aufgabengerechte Organisationsstruktur beim Tunnelbau» ein Team aus dem Planer, dem Bauausführenden und dem Prüfer, der gleichzeitig Tunnelgutachter sein muss.