

Ist die Kernenergie ethisch verantwortbar?

Autor(en): **Zünd, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **105 (1987)**

Heft 49

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76768>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ist die Kernenergie ethisch verantwortbar?

Von H. Zünd, Baden

Im Hinblick auf die bevorstehende Veröffentlichung der Ergebnisse der vom Bundesrat in Auftrag gegebenen Studien über die Konsequenzen eines Ausstieges aus der Kernenergie fand am 21./22. September 1987 in Zürich eine vielbeachtete Tagung der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie (SVA) zum Thema «Aus der Kernenergie aussteigen? Folgen eines Verzichts auf eigene Kernkraftwerke» statt (vgl. auch Berichterstattung in Heft 45/87, Seite 1323). Die Organisatoren haben diesmal bewusst – wie zu hören war – auf den Beizug von Ausstiegsbefürwortern verzichtet, da zunächst Fakten und Erkenntnisse in die eigenen Kreise getragen werden sollten. Eine kontradiktorische Gegenüberstellung könnte zu einem späteren Zeitpunkt, etwa nach Vorliegen der genannten Studien, folgen. Aus der Reihe bedeutender Beiträge erscheint hier in leicht überarbeiteter Form das Referat von Hans Zünd.

Bemerkenswert war auch die Meinung einer Diskussionsvotantin, wonach irrationalen Haltungen in der Bevölkerung nicht nur mit rationalen Argumenten entgegnet werden sollte. Die Aufforderung wurde Ernst genommen, obgleich dem rational denkenden Ingenieur die Kommunikation im irrationalen Bereich vorderhand noch wenig vertraut ist. Dieser Problembereich wird in naher Zukunft mit Sicherheit noch eingehender behandelt werden müssen.

Red.

Wie kommt es zu dieser Frage?

Eigentlich ist die Frage zu eng gefasst. Zum einen muss bei der Frage nach der Verantwortbarkeit eines Handelns immer auch nach der Verantwortbarkeit der Folgen des Nichthandelns gefragt werden. Zum anderen geht es ja längst nicht mehr nur um die Kernenergie, sondern um viel Grundlegenderes.

«Wenn das Überleben einigermaßen gesichert ist, dann gehört es zum Menschsein, dass das Überleben nicht mehr genügt und dass man dann fragt: Überleben wozu?» (Jeanne Hersch [1]). Der Sinn der Industrialisierung, der Quelle unseres Wohlstandes, wird als solcher in Frage gestellt. Damit sind wir aber bei der Frage nach dem Sinn des Lebens überhaupt, nach der Frage der ethischen Basis unseres Tuns gelangt.

Haben wir eine Antwort?

Auf die Frage nach dem Sinn des Lebens gibt es keine endgültige, rationale Antwort. Sagen wir beispielsweise: «Der Sinn des Lebens ist die Freiheit», kommt gleich die Frage: «Wozu denn Freiheit?» und so fort. Allerdings spüren wir, dass der Sinn des Lebens in dieser Richtung zu suchen ist. Etwa so, dass wir dem Wesen des Menschen näherkommen. Das Bild vom Wesen des Menschen ist allerdings je nach Weltanschauung sehr unterschiedlich, und damit sind wir beim Grundproblem unserer heutigen Gesellschaft angelangt: Wir stellen die Frage nach der Zukunft des Menschen und kommen je nach Weltanschauung zu keiner oder zu unterschiedlichen Antworten. Der

Einfachheit halber fordert man die Selbstverwirklichung und meint damit etwa die (ichbezogene) unbeschränkte Freiheit mit selbstverständlicher Gewährleistung einer absoluten materiellen Sicherheit und Gesundheit und mit dem selbstverständlichen Recht, all jene zu diffamieren, die sich bemühen, diese Wunschvorstellungen soweit möglich zu erfüllen. Ist das unsere Antwort?

Eine wegweisende Antwort kann nur gefunden werden, wenn wir die Frage stellen: «Was ist unser Auftrag?» Diese Fragestellung basiert nämlich auf der Grundhaltung, dass wir eine Verantwortung haben, dass wir Rechenschaft ablegen müssen über unser Tun im Dienste der Menschheit. «Ethik ist auf das Leben und Zusammenleben, auf das Überleben des Systems Menschheit, einschliesslich der Geo- und Biosphäre, ausgerichtet», schreibt Bruno Capol [2]. Diese praxisnahe Richtschnur für verantwortungsbewusstes Handeln dürfte im Grundsatz einen breiten Konsens finden.

Je mehr wir also unser Tun und Lassen auf diese ethische Richtschnur ausrichten, um so sinnvoller ist unser Leben.

Es kann mit Sicherheit nicht unser Auftrag sein, unsere Talente zu vergraben, statt sie für wissenschaftlich-technische Entwicklungen zur Erschliessung neuer Ressourcen zum langfristigen Überleben der ganzen Menschheit einzusetzen. Andererseits sind der Nutzung wissenschaftlicher und technischer Möglichkeiten klare Bedingungen und Kriterien zugrunde zu legen.

In diesem Lichte sind Fragen wie «Technische Entwicklung ja oder nein», «Kernenergie ja oder nein» oder «Biotechnologie ja oder nein» nicht

sinnvoll, weil zu undifferenziert. Solche Hick-hack-Fragen führen nur zur Polarisierung, sicher nicht zur Problemlösung und schon gar nicht zur Konsensbildung. Sie dienen bestenfalls einer modernen Art von «Brot und Spiele» zum Füllen von Sendezeiten.

Grenzen der verantwortbaren Anwendung von Wissenschaft und Technik

Durch die Nutzung seiner Tätigkeiten sind dem Menschen in neuester Zeit ungeahnte Möglichkeiten gegeben, das Leben, Zusammenleben und Überleben der Menschheit und der Schöpfung zu beeinflussen. Diese Entwicklung wird noch weitergehen. Der Mensch erhält dabei zunehmend Macht. Mehr Macht verlangt auch mehr Verantwortungsbewusstsein und Selbstkontrolle, will sie zum Wohle der Menschheit eingesetzt und genutzt sein.

Neu sind im Unterschied zu Zeiten vor Mitte dieses Jahrhunderts vor allem zwei Tatsachen von Bedeutung:

□ Einzelne Menschen haben ein Vielfaches an Machtpotential. Hierzu gehören nicht nur die Regierungen, sondern auch Mediziner, Biologen, Medienschaffende und viele andere.

□ In unseren Industrieländern hat ein damit verbundener nie dagewesener allgemeiner Wohlstand einer breiten Bevölkerung Möglichkeiten der Freiheitsnutzung gebracht, die in dieser Art erstmalig in der Menschengeschichte sind.

Ist deswegen die Entwicklung von Wissenschaft und Technik und damit die Entwicklung der Menschheit insgesamt zu stoppen? Ich halte solche Forderungen unseres Zeitgeistes als nicht menschengerecht und als Utopie. Jedoch werden wir nicht darum herumkommen, uns selber Grenzen zu setzen. Ich postuliere drei Fälle, wo wir an den Grenzen der verantwortbaren Nutzung von Wissenschaft und Technik angelangt sind:

□ Die Nutzung unserer Errungenschaften darf nicht zur Zerstörung der Lebensgrundlage werden. In diese Kategorie gehören die akuten grossräumigen Luft- und Gewässerverschmutzungen.

□ Die Nutzung unserer Errungenschaften darf keine unkontrollierbaren, irreversiblen Naturvorgänge von globaler Bedeutung auslösen. In diese Kategorie gehören beispielsweise der ungehemmte Raubbau an Tropenwäldern und die ungehemmte Anreicherung

von CO₂ in der Atmosphäre durch rasche Verbrennung unserer fossilen Bodenschätze.

□ Der Mensch darf nicht sein eigener Schöpfer werden. Gemeint ist die Veränderung des menschlichen Erbgutes.

Dies sind differenzierte Postulate, wo zum Schutz der Menschheit und seiner Lebensgrundlage unserer Freiheit Grenzen zu setzen sind. Falsch wäre es jedoch, daraus Absolutverbote für die Nutzung einzelner Wissenschaften und Technologien abzuleiten, beispielsweise der Biotechnologie.

Stossen wir mit der Kernenergienutzung an verantwortbare Grenzen?

Diese Frage ist zu prüfen vor dem Hintergrund der oben angeführten Begrenzungspostulate und unter Beachtung des Wesens der Kernenergie.

Postulat a) «Keine Zerstörung der Lebensgrundlage»

Die Kernenergie trägt im Normalbetrieb weder zur bedeutsamen Luft- und Gewässerverschmutzung bei, noch zu Klimaveränderungen oder zum Aussterben von Pflanzen. Relevant ist die Frage nach der vorübergehenden, längerfristigen Evakuierung im Fall der Katastrophe Tschernobyl. Diese Katastrophe wurde verursacht durch Verletzung von zwei ethisch begründeten Auslegungsgrundsätzen:

□ der RBMK-Reaktor der UdSSR ist nicht stabil, d. h. die Kettenreaktion ist nicht selbstkontrollierend.

□ Das Tschernobyl-Kraftwerk war nicht ausgerüstet mit einem Sicherheitsbehälter zum wirksamen Rückhalt radioaktiver Stoffe. Ausserdem kamen im Kraftwerksbetrieb für uns unvorstellbare Verletzungen von Betriebsregeln vor.

Aus diesen Gründen kann der Unfall nicht als Argument gegen den Einsatz der Kernenergie per se angeführt werden. Diese Auffassung wird von sämtlichen Fachgremien des Westens und auch der UdSSR vertreten. Die grundsätzlichen Unterschiede im Bau und Betrieb des KKW Tschernobyl im Vergleich zu unseren Kernkraftwerken ist allgemein anerkannt. Die Nicht-Übertragbarkeit der Tschernobyl-Katastrophe auf unsere Verhältnisse ist von verschiedenen nationalen und internationalen Gremien nachgewiesen worden und ist unbestritten, vgl. z. B. [3, 4]. Vielmehr ist die Frage zu beantworten, unter welchen Voraussetzungen die Kernenergienutzung zu verantworten ist (siehe unten).

Postulat b) «Keine unkontrollierbaren irreversiblen Vorgänge von globaler Bedeutung»

Die Kernenergienutzung verändert das Globalklima nicht. Selbst regionale klimatische Effekte sind aufgrund sehr eingehender Untersuchungen der letzten 20 Jahre vernachlässigbar, wenn von masslosen Kumulierungen von Kraftwerken (fossil- oder nukleargefeuert) abgesehen wird, wie sie bei uns nicht vorkommen.

Gelegentlich wird die unkontrollierte Verwendung des Spaltmaterials Plutonium für die Waffenproduktion als Argument gegen die Kernenergie vorgebracht. Plutonium aus Leichtwasserreaktoren zur Elektrizitätserzeugung ist aber untauglich für die Verwendung in Atomwaffen. Bestrahltes Spaltmaterial aus der Schweiz wird in Frankreich und Grossbritannien aufgearbeitet. Jeder Technologieexport aus der Schweiz untersteht dem internationalen Atomsperrvertrag und dem Atomgesetz und bedarf einer Bewilligung des Bundes und der Aufsicht der Internationalen Atomenergieagentur. Der Betrieb unserer Kernkraftwerke hat damit sowieso nichts zu tun.

Postulat c) «Der Mensch nicht als sein eigener Schöpfer» hat keinen Bezug zur Kernenergie. Was die strahlenbedingten Genmutationen betrifft, sind die Nebenwirkungen der Kernenergie vernachlässigbar im Vergleich zu der natürlichen Strahlenwirkung.

Zusammenfassend darf der Schluss gezogen werden, dass es keine Gründe gibt, die Kernenergienutzung an sich jenseits der verantwortbaren Grenzen einzuordnen. Auf die Voraussetzungen für eine verantwortbare Nutzung wird nachstehend eingegangen.

Vergleich der Kernenergie mit anderen Energieträgern

Der Vollständigkeit halber soll die Kernenergie mit anderen Optionen der Energieversorgung verglichen werden. Dabei sind sowohl Chancen wie Risiken zu betrachten [5].

Eine *Chance* ist ein möglicher *Nutzen* (Nutzen-Potential), dessen Eintritt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erreicht werden kann.

Ein *Risiko* ist ein möglicher *Schaden* (Schadens-Potential), dessen Eintritt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vermieden werden kann.

Risiken lassen sich nie völlig vermeiden, aber – mit Hilfe von Technik und sorgsamem Verhalten – beherrschen. Zur Bewertung einer Option muss also immer dreierlei abgewogen werden:

□ Wie gross ist die Chance im Verhältnis zum Risiko einer Nutzung, und inwieweit lässt sich dieses Verhältnis durch bestimmte Massnahmen verbessern?

□ Welches Risiko gehe ich ein, wenn ich eine Chance nicht nutze, und in welchem Verhältnis steht dies zu der Chance der Nutzung? (Folgen der Unterlassung).

□ Ist das Verhältnis von Chance zu Risiko günstiger oder ungünstiger als bei der/den möglichen Alternative(n) zur Deckung des gleichen Bedürfnisses?

Betreffend das Wesen der Kernenergie und ihrer Nutzung sind für die ethische Fragestellung folgende Charakteristika von Bedeutung:

□ *Nutzen:* Durch Nutzung der natürlichen Ressourcen Uran und Thorium, die sonst zu nichts nütze sind, kann die Kernenergie über Jahrhunderte einen wesentlichen Beitrag leisten zur weltweiten Energieversorgung und damit zum langfristigen Überleben und zur Entwicklung der Völker.

□ *Nebenwirkungen:* Die Belastung der Umwelt durch Beanspruchung natürlicher Ressourcen und durch Abgase und Abwasser können vernachlässigbar tief gehalten werden im Vergleich zu natürlichen oder anderen Belastungen.

□ Der Verbrauch an Land und die Belastung der Infrastruktur sind klein im Vergleich zu anderen Energieträgern.

□ An gesundheitlichen Gefährdungspotentialen ist grundsätzlich Beachtung zu schenken

- bei der Gewinnung von Uranerz
- infolge potentieller Unfälle im Kernkraftwerk
- bei der Wiederaufarbeitung von verbrauchtem Spaltstoff
- bei der Entsorgung und Endlagerung radioaktiver Rückstände.

□ Diese Gefährdungspotentiale sind bekannt. Ihr Ausmass hängt davon ab, wie sicher die Anlagen gebaut und betrieben werden.

□ Die Beanspruchung von finanziellen Mitteln und die Frage der Wirtschaftlichkeit sind von einer Bedeutung in der allgemeinen Energiediskussion, die viel zu wenig Beachtung erhält und in der Evaluation zu berücksichtigen ist. Die Frage stellt sich hier: Welchen Nutzen können wir erzeugen oder welche Bedrohung abbauen mit jedem gesparten Franken?

Zur Vergleichbarkeit von Risiken haben Inhaber [6] und Latorjet [7] einige grundlegende Überlegungen angestellt.

Ein Vergleich der Risiken ist dann zulässig, wenn der Endeffekt eines Scha-

dens der gleiche ist und die relativen Risiken (z.B. risikobezogen auf die erzeugte Kilowattstunde) verglichen werden.

Beispielsweise lassen sich die Unfallrisiken mit Todesfällen für die Gewinnung von Kohle und Uranium nach einer neueren amerikanischen Studie wie folgt vergleichen:

Kohle: 189 Tote pro Milliarde MW-Stunden
 Uran: 2 Tote pro Milliarde MW-Stunden.

Die Langzeitfolgen (Tote durch Lungenschäden) lassen sich ebenfalls vergleichen:

Kohle: 1000 Tote pro Milliarde MW-Stunden
 Uran: 20 Tote pro Milliarde MW-Stunden.

Die Langzeitschäden, verursacht durch radioaktive Strahlung, sind sehr gut erforscht, unter anderem weil der Mensch dauernd einer natürlichen Strahlung ausgesetzt ist. Ausserdem ist die Strahlung einfach messbar. Langzeitschäden aus radioaktiver Strahlung lassen sich vergleichen, unabhängig davon, ob die Radioaktivität künstlichen oder natürlichen Ursprungs ist.

Aufgrund von Radioaktivitätsmessungen wurde geschätzt, dass als Folge der Katastrophe Tschernobyl in der Sowjetunion im Laufe der nächsten 50 Jahre mit ca. 20 000 vorzeitigen Todesfällen

zu rechnen ist [4, 8]. Verglichen mit der Wirkung der natürlichen Strahlung würde dies einer Erhöhung um 1-2% entsprechen.

Mittlerweile hat Prof. Ilyin, Vizepräsident der Sowjetischen Akademie für Medizin, bekanntgegeben, dass die Strahlenexposition der Bevölkerung erheblich tiefer liegt als diese ursprünglichen Schätzungen.

Prof. Robert Gale, der seit der Katastrophe Tschernobyl in regelmässigem Kontakt mit den sowjetischen Stellen steht, hat folgenden interessanten Vergleich angestellt: Würde in der Sowjetunion die Kernenergie durch Kohleenergie ersetzt, wären im Laufe der gleichen Periode (50 Jahre) ca. eine Million Tote als Folge der Emissionen der Kohlekraftwerke zu erwarten [8]. Tschernobyl war aber eine Nuklearkatastrophe mit maximal denkbarer Freisetzung radioaktiver Stoffe, während die Schadstoffe aus den Kohlekraftwerken während des Normalbetriebs auftreten. Soweit einige zulässige Vergleiche mit der Elektrizitätserzeugung aus Kohle.

Im Laufe der letzten Jahre sind systematische Vergleiche zwischen den Risiken von Energieträgern angestellt und veröffentlicht worden. Die wohl vollständigste und fundierteste Arbeit über alle Energieträger wurde von H. Inhaber aus Kanada veröffentlicht [6]. In seinem Buch publiziert und erörtert er auch alle Einwände, die von verschiede-

denster Seite im Laufe seiner mehrjährigen Arbeit vorgebracht wurden. Die umfassende Diskussion zeigt, dass möglicherweise ein gewisser Spielraum in einzelnen Annahmen über schädigende Wirkungen vorhanden ist, dass aber die angestellten Vergleiche zulässig und die Ergebnisse aussagekräftig sind. Insbesondere würden sich auch unter Anwendung des Spielraumes die Schlussfolgerungen nicht ändern.

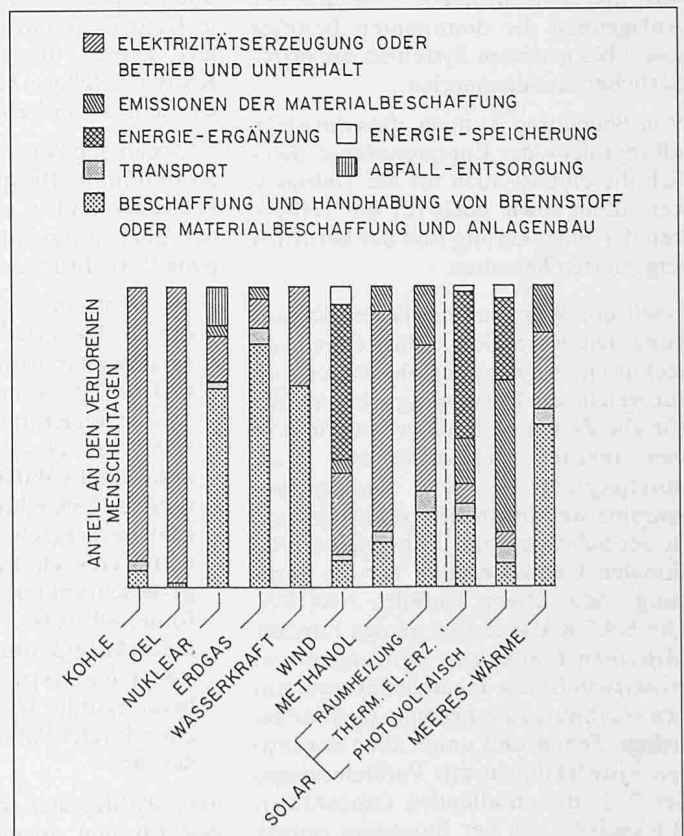
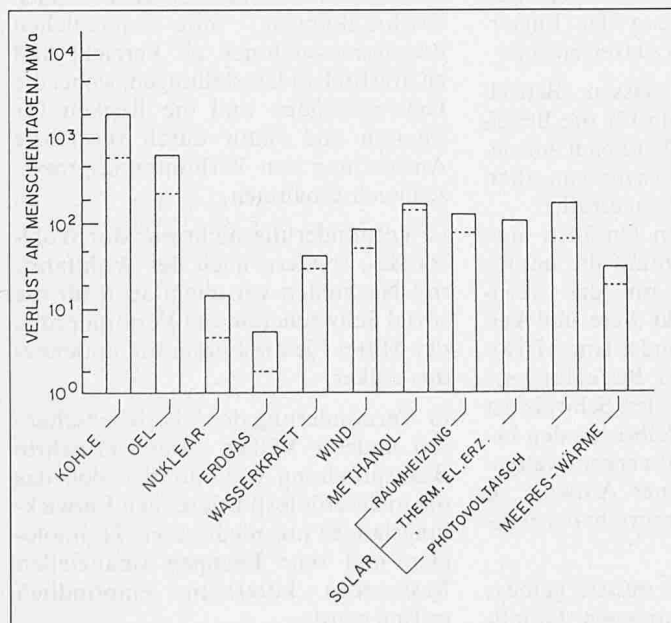
Die Untersuchung berücksichtigt sämtliche Risikobeiträge der Energiesysteme von der Rohstoffgewinnung bis zur Abfallbeseitigung, sowohl für die Energieträger (z.B. Uranerz bis Abfallendlagerung der Kernenergie) wie auch den Bau und Betrieb der Kraftwerke. Dabei wurden real anwendbare, funktionsfähige Systeme miteinander verglichen. Bei Energieformen mit stark schwankenden Leistungen beispielsweise sind die erforderlichen Speicher und Ergänzungsenergien mit berücksichtigt.

Die Untersuchung wurde für kanadische Verhältnisse angestellt. Bei der Übertragung auf Schweizer Verhältnisse wären gewisse Verschiebungen zu erwarten. Doch vermitteln die Ergebnisse der Inhaber-Studie in jedem Fall einen wichtigen Beitrag zur Frage der ethischen Verantwortbarkeit der Kernenergie.

Als Mass für das Risiko werden «verlorene Menschen-Tage» gewählt. Dieser Verlust kann auftreten durch Unfall, Krankheit oder vorzeitigen Tod. Zum

Bild 1 (unten). Spezifische Risiken der Energiesysteme, ausgedrückt als verlorene Menschentage pro Megawatt-Jahr für Bevölkerung und Berufspersonal durch Verletzung, Krankheit oder Tod. Die gestrichelten Linien in den Säulen zeigen die untere Grenze der Risikoschätzung an

Bild 2 (rechts). Risikoanteile nach Ursachen für die angegebenen Energiesysteme



anderen werden auch die vorzeitigen Todesfälle separat angegeben. Das Risiko wird also ausgedrückt durch «volkswirtschaftlichen Verlust» wie auch als «Leid»/«Beziehungsverlust» und «Verlust an (gesundem) Leben». Dies sind bedenkenswerte Ansätze, die die Wirkung von Risiken recht wirklickeitsnah wiedergeben. Nicht enthalten ist jedoch die Wirkung auf die Natur als Lebensgrundlage des Menschen.

Ohne auf die Einzelheiten der umfassenden Herleitungen und Begründungen einzugehen, sei aus der Fülle der dargestellten Ergebnisse das Schlussergebnis wiedergegeben. Bild 1 zeigt den Verlust an Menschen-Tagen pro Megawattjahr für die untersuchten Energiesysteme. Daraus ist ersichtlich, dass Naturgas die risikoärmste Energiequelle ist, gefolgt von der Kernenergie (mit der im Westen realisierten Sicherheitstechnik; die Risiken mit RBMK-Reaktoren liegen höher), etwa 10× höher liegen Sonnen- und Windenergie, 30× höher Öl und 100× höher die Kohle.

Interessant sind die Risikoursachen für die verschiedenen Energiesysteme (siehe Bild 2). Die Krankheits- und Todesfolgen ergeben sich für Öl und Kohle vor allem aus den betrieblichen Schadstoffemissionen, die allerdings bei Grossanlagen durch moderne Rauchgasreinigung (Entschwefelung, Entstickung) wesentlich reduziert werden können. Bei der Kernenergie liefert die Urangewinnung den höchsten Beitrag.

Bei der Nutzung der Sonnenenergie liefern die Rohstoffbeschaffung und der Anlagenbau die dominanten Beiträge sowie bei gewissen Systemen die erforderlichen Zusatzenergien.

Von Bedeutung ist noch, dass die obige «Rangfolge» der Energiesysteme ziemlich dieselbe ist auch für die Todesrisiken allein sowie auch für die Teilrisiken der Bevölkerung und der beruflich engagierten Personen.

Noch ein Wort zur nuklearen Entsorgung. Die Kernenergie dürfte die erste technische Anwendung überhaupt sein, für welche die Entsorgung aller Abfälle für alle Zeiten zu Ende gedacht und in den meisten Nuklearländern auch durchgeplant ist. Die Endlagerprogramme sind in Realisierung begriffen, in der Schweiz unter Führung der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, NAGRA. Die NAGRA investiert einige hundert Millionen Franken in Bohrungen und wissenschaftliche Untersuchungen, um den Nachweis zu erbringen, dass für beliebige Zeiten und unter allen denkbaren Einwirkungen mit Veränderungen der Erde die anfallenden radioaktiven Rückstände von der Biosphäre isoliert

bleiben und in keinem Fall und für keine Einzelperson zu irgendeinem Zeitpunkt zu einer Bestrahlungserhöhung von mehr als 10 Millirem/Jahr (dies sind wenige Prozent der immer und überall vorhandenen natürlichen Strahlung) führen kann. Wenn nur ein Bruchteil dieser Investitionen, Untersuchungen und Prüfungen in die Lösung unserer vielen anderen Entsorgungsprobleme investiert würde, wären jene Probleme längst unter Kontrolle. Statt dessen wird in einer breiten Öffentlichkeit, angeheizt durch Angstmacher, der irrierte Eindruck gewonnen: Wenn schon soviel Aufwand (im Verhältnis zu anderen Abfällen) getrieben wird, muss es sich um eine ganz besonders gefährliche Sache handeln, und dies bei hochaktiven Abfällen, die ich – in verglaster Form, gekapselt und genügend abgeschirmt – ohne weiteres im Keller meines Hauses einlagern würde.

Voraussetzungen für eine ethisch verantwortbare Kernenergienutzung

Die verantwortbare Nutzung jeder wissenschaftlichen und technischen Erfindung ist an gewisse Voraussetzungen geknüpft. Für die Kernenergienutzung besteht heute im Westen weitgehend Konsens über folgende Bedingungen:

- Kernkraftwerke sind so auszulegen und zu bauen, dass keine unkontrollierte Kettenreaktion möglich ist (Stabilität). Diese Voraussetzung ist in den KKW der Schweiz und in den meisten westlichen Ländern erfüllt.
- Gegen den Austritt von radioaktiven Stoffen in die Biosphäre sind im Kernkraftwerk und in sämtlichen Schritten des Spaltstoffzyklus und der Entsorgung Vorkehrungen so zu treffen, dass
 - im bestimmungsgemässen Betrieb die Strahlenerhöhung für die Bevölkerung klein ist im Vergleich zur natürlichen Strahlung (wird von allen westlichen Kraftwerken erfüllt)
 - selbst bei schwersten Unfällen eine allfällige Evakuierung auf die unmittelbare Umgebung um das Kernkraftwerk beschränkt wäre und keine ins Gewicht fallende, längerfristige Beschränkung der Besiedlung erforderlich wäre. In der Schweiz ist diese Anforderung selbst bei den bestehenden Kernkraftwerken weitgehend erfüllt. In seiner Antwort zu einer Interpellation schreibt der Bundesrat:

«Im schlimmsten Fall müsste gemäss den für den angenommenen Unfall-

ablauf durchgeführten Berechnungen die Bevölkerung in den betroffenen Gebieten bis zu einer Abwinddistanz von etwa 7 km evakuiert werden. Das Gebiet würde eine Fläche von etwa 6 km² ausmachen, also etwa 4% der ganzen Fläche mit einem Radius von 7 km. Das Gebiet, welches auch nach etwa 3 Monaten nicht wiederbesiedelt werden könnte, würde eine Fläche von etwa 1 km² umfassen».

Noch weitergehende Rückhaltmassnahmen sind in den bestehenden Kernkraftwerken in Verwirklichung begriffen und insbesondere auch für das Kernkraftwerk Kaiseraugst geplant, so dass eine kernkraftwerksspezifische Evakuationsplanung im Vergleich zu nicht-nuklearen Gefährdungen keine Berechtigung hat.

Wiederaufarbeitungsanlagen für bestrahlte Brennelemente können diese Anforderungen ohne weiteres erfüllen. Die anderen Schritte des Spaltmaterialzyklus und der Entsorgung bieten diesbezüglich keine Probleme.

Ethische Überlegungen zum Verzicht auf die Kernenergienutzung

Ein grundsätzlicher Verzicht auf die Kernenergie aus ethischen Gründen könnte nur ein Totalverzicht sein, der die laufenden und die projektierten Kernkraftwerke, aber auch den Import von Nuklearstrom, also 40–50 % unserer Elektrizitätsversorgung, umfasst. Die Folgen hieraus werden in anderen Vorträgen erörtert.

Ethisch von Bedeutung wären:

- Erhebliche Folgen für unser Leben und Zusammenleben, durch Freiheitsbeschränkungen mit staatlichen Zwangsmassnahmen zu Verzicht und zu drastischen Umstellungen, wobei die Umweltschäden und die Risiken für Mensch und Natur durch vermehrte Anwendung von Verbrennungsprozessen noch zunehmen.
- Verminderung nicht nur des Wohlstandes, sondern auch der Wohlfahrt, mit Nachteilen vor allem auch für die sozial Schwächeren und Verminderung der Mittel für die Förderung notleidender Völker.
- Verminderung der Überlebenschancen anderer Völker durch vermehrte Beanspruchung von rarem Erdöl, das die nicht-erdölexportierenden Entwicklungsländer mit niedrigeren Technologien und sehr knappen finanziellen Ressourcen kurzfristig empfindlich treffen würde.

□ Herabsetzen der Überlebens- und Entwicklungschancen eines Teils der Menschheit: Durch Verzicht auf die Nutzung der Rohstoffe Uran und Thorium, die sonst keine Verwendung finden, würden die fossilen Vorräte als billig und leicht zu handhabende Rohstoffe viel rascher verbraucht.

□ Wir würden unseren nächsten Generationen geplünderte Ölfelder hinterlassen und sie zwingen, Öl als wertvollen Rohstoff mit hohem Energie- und Kostenaufwand durch künstliche Stoffe zu ersetzen.

Schlussfolgerungen

Die Nutzung von Wissenschaft und Technik bietet Möglichkeiten, das Leben auf dieser Erde menschenwürdiger zu gestalten, das Zusammenleben und die Solidarität zu verbessern, Bedrohungen durch Hunger, Krankheiten und Naturkatastrophen abzubauen und die Überlebenschancen der Menschheit zusammen mit den natürlichen Lebensgrundlagen zu erhöhen. Es gehört zum Menschsein, dass die Wahrnehmung von Chancen auch Risiken mit sich bringt. Ethisches Handeln ist demzufolge so zu gestalten, dass die Bedrohungen insgesamt abnehmen.

Die Kerntechnik bringt die Chance, über Jahrhunderte einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung der Erdbevölkerung zu leisten und dabei die Rohstoffe Uran und Thorium zu nut-

zen, die zu nichts anderem brauchbar sind. Die Nutzung der Kernenergie ist ethisch verantwortbar, vorausgesetzt, dass einige elementare Grundregeln bei der technischen Auslegung kerntechnischer Anlagen befolgt werden.

Solche Grundregeln wurden im Unfallkraftwerk Tschernobyl eindeutig verletzt. In unseren bestehenden Kernkraftwerken werden sie jedoch befolgt. Gewisse Perfektionierungen sind in neuen Kernkraftwerken möglich.

Im Vergleich zu anderen nutzbaren Energiesystemen weist die Kernenergie nach dem Erdgas das geringste Risiko pro erzeugte Energiemenge auf. Sonnen- und Windenergiesysteme und insbesondere die Nutzung von Öl und Kohle sind mit höheren Risiken behaftet. Bei dieser Aussage ist die Bedrohung durch globale Auswirkungen der CO₂-Anreicherung der Atmosphäre durch die rasche Verbrennung unserer fossilen Bodenschätze noch nicht berücksichtigt.

Zur ethischen Verantwortbarkeit gehört auch die Frage nach den Folgen der Nicht-Nutzung der Kernenergie. Unter einem Verzicht auf die Kernenergie hätten insbesondere die sozial Schwächeren unserer Bevölkerung zu leiden. Ausserdem würden mit einem Verzicht der Industrieländer auf die Kernenergienutzung die Zukunftsaussichten der Entwicklungsländer erheblich verschlechtert.

Die weitverbreitete Angst und Verunsicherung in der Bevölkerung ist die Fol-

ge einer unsachlichen Diskussion um die Kernenergie und stellt wohl die grösste Bedrohung für das Zusammenleben unserer Bevölkerung dar. Ebenso wichtig wie die Frage der ethischen Verantwortbarkeit der Kernenergienutzung ist deshalb die Frage der ethischen Verantwortbarkeit der Angstmacherei durch Kreise der Kernenergiegegner.

Adresse des Verfassers: H. Zünd, Mitglied der Direktion, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Geschäftsbereich Nuklear- und Verfahrenstechnik, 5400 Baden.

Literatur

- [1] Jeanne Hersch: «Energie im Dienste menschlicher Möglichkeiten», Informationsbulletin INFEL, Februar 1987
- [2] Bruno Capol: «Vom Wesen der Führung», Buchmanuskript 1987
- [3] Nuclear Energy Agency, «Chernobyl and the Safety of Nuclear Reactors in OECD Countries», OECD 1987
- [4] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (BEW), «Der Unfall Tschernobyl», Ein Überblick über Ursachen und Auswirkungen
- [5] J. Grawe: «Verantwortbare Energiepolitik», Strom der Zeit, VDEW, Juni 1987
- [6] H. Inhaber: «Energy Risk Assessment», Gordon and Breach, 1982
- [7] R. Latorjet: «Le Risque de la Technique avancée», RGN 1982, No. 1
- [8] Robert Gale: Interview mit Nuclear Energy 5/87, «Chernobyl in Perspective»

Neue Erkenntnisse zur Diffusion von Wasserstoff in Metallen

Am Höchstflussreaktor (HFR) des Instituts Laue-Langevin (ILL/Grenoble) werden mit Hilfe von Neutronenstrahlen Struktur und Dynamik der Materie im atomaren Bereich untersucht. Manche dieser Untersuchungen haben über den grundlegenden Charakter hinaus auch technische Bedeutung. Dies gilt z. B. für die Experimente zum Verhalten von Wasserstoff in intermetallischen Verbindungen, die das Institut für Festkörperforschung der Kernforschungsanlage Jülich am HFR durchführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind wichtig für die Wasserstoffkorrosion in Stahlbetonbauwerken, für die Herstellung von hochreinem Wasserstoff oder die Entwicklung von Wasserstoffspeichern.

Wasserstoff wird von verschiedenen Metallen oder Verbindungen von Metallen unter Bildung sogenannter Metallhydride im Gitter der Metallatome in unterschiedlichem Mass eingelagert. Metallhydride sind spröde Verbindungen, so dass sich bei diesem Prozess die Festigkeitseigenschaften der Metalle verschlechtern. Bei Bauwerken kann dies

durch sogenannte wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion zum Versagen der Stahlarmierungen führen – wie spektakuläre Beispiele der Vergangenheit schon gezeigt haben. Ein anderer Aspekt der Hydridbildung ist die Speicherung von Wasserstoff. Hydridspeicher können mehr Wasserstoff aufnehmen als im gleichen Volumen flüssi-

gen Wasserstoffs enthalten ist. Derzeit werden solche Speicher zur Herstellung hochreinen Wasserstoffs eingesetzt, der als Trägergas für die Spurenelemente verwendet wird, mit denen Halbleiter zur Erzielung bestimmter elektronischer Eigenschaften dotiert werden. Die Anwendung der Hydridspeicher für Wasserstofffahrzeuge bedarf dagegen wegen der derzeit noch erheblichen Gewichte noch weiterer Entwicklungsarbeiten. Aussichtsreichster Kandidat für solche Speichermaterialien sind intermetallische Verbindungen auf Titan-Mangan-Basis, wie Ti_{0,98}Zr_{0,02}V_{0,45}Fe_{0,1}Cr_{0,05}Mn_{1,4}. Die komplizierten Zusammensetzungen sind die Folge der Verwendung kostengünstiger Vorlegierungen anstelle der reinen Metalle bei der technischen Herstellung. Diese Verbindungen bilden «Tiefemperaturhydride», deren Wasserstoffdruck bei 50 °C über 10 bar und bei 0 °C noch bei mehr als 1 bar liegt. Einem solchen Speicher kann also auch bei tieferen