

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Ingenieur und Architekt
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	107 (1989)
<b>Heft:</b>	23
<b>Artikel:</b>	Ausstieg aus der Kernenergie?. 2. Teil: Gesundheitsrisiken gemäss Energieszenarien der EGES
<b>Autor:</b>	Fritzsche, Andreas F.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-77115">https://doi.org/10.5169/seals-77115</a>

### 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:** 22.02.2026

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

# Ausstieg aus der Kernenergie?

## 2. Teil

Gesundheitsrisiken gemäss Energieszenarien der EGES

**Die Gesundheitsrisiken der Elektrizitätserzeugung wurden in einem ersten Artikel (vgl. 1. Teil im Heft 21/89 [1]) besprochen. Unter Verwendung dieser Ergebnisse sind auch die Gesundheitsrisiken bezifferbar, welche die Energieszenarien der EGES beinhalten. Dabei wird auch das Risiko von Grossunfällen erfasst. Diese Szenarien illustrieren auftragsgemäss die Konsequenzen eines Ausstiegs aus der Kernenergie, sie bieten aber keine Vergleichsmöglichkeiten zwischen äquivalenten Szenarien mit und ohne Kernenergie und bilden damit keine Entscheidungsbasis zur Beantwortung der Frage: Kernenergie - ja oder nein?**

Eine Quantifizierung der Gesundheitsrisiken bei der routinemässig ablaufenden Elektrizitätserzeugung hat gezeigt

VON ANDREAS F. FRITZSCHE,  
PONTRESINA

[1], dass die Kernenergie fast durchwegs kleinere Risiken aufweist als jede andere Alternative, und dies besonders für die Öffentlichkeit. Ein Vergleich zwischen Energieszenarien, also von Modellen für mögliche Entwicklungen der Energieversorgung eines Landes, muss dieses Ergebnis ebenfalls zum Ausdruck bringen, sofern die Szenarien unterschiedliche Beiträge der Kernenergie unterstellen. Die Expertengruppe Energieszenarien (EGES) hat kürzlich für die Schweiz solche Szenarien vorgelegt [2].

### Gesundheitsrisiken ganzer Energieszenarien

Zum Vergleich der einzelnen Optionen zur Elektrizitätserzeugung untereinander wurden alle Risiken auf die Einheit der produzierten elektrischen Energie (konkret auf 1 GWa(e)) bezogen, womit in einem Energieproduktionskomplex – jedenfalls in der Theorie – die eine Energieoption energetisch durch eine andere ersetzt werden könnte.

Nun sind einerseits viele der entstehenden Gesundheitsrisiken direkt proportional zur Menge des verwendeten Brennstoffes, und zwar unabhängig davon, in welchen Anlagen dieser Brennstoff schliesslich zur Energieerzeugung verwendet wird. Dies gilt etwa für die Unfall- und Erkrankungsrisiken der Berufsleute bei der Gewinnung und Verarbeitung dieses Brennstoffes als auch für alle Transportrisiken sowohl der Berufsleute als auch der Bevölke-

rung. Die Erkrankungsrisiken der Bevölkerung anderseits sind proportional zur Menge der emittierten Schadstoffe. Für bekannte thermische Anlagen können die spezifischen Emissionen, also die Emissionsmengen je produzierter Energieeinheit, angegeben werden, so dass auch diese Gesundheitsrisiken schliesslich proportional zur umgesetzten Brennstoffmenge sind. In beiden Fällen ist das Ergebnis die Anzahl Todesfälle, die pro Jahr aufgrund des im Szenario postulierten Energieanteils eines bestimmten Energieträgers bzw. einer bestimmten Anlage zu erwarten sind.

### Risikogliederung

Auf diese Weise wurde die zeitliche Entwicklung der Gesundheitsrisiken für die vier Hauptzenarien der EGES, Referenz (R), Moratorium (M), Ausstieg 2025 (A 25) und Ausstieg 1990 (A 90), abgeschätzt [3]. Bild 3 zeigt für das Referenzszenario, das einen weiteren Ausbau der Kernenergie voraussetzt, wie sich die Todesfallrisiken der Berufsleute zufolge von Unfällen auf die einzelnen im Szenario postulierten Energieoptionen verteilen.

Die Risikobilanz wird hier dominiert von der Wasserkraft und dem Öl. Mit einem Risikoanteil von rund 35% spielt die Wasserkraft in unserer Energiebilanz nicht nur eine erhebliche Rolle (1986: 20,6%), sondern die Unfallrisiken beim Bau der grossen Stauanlagen sind vergleichsweise hoch. Das Öl und seine Derivate, mit Risikoanteilen von 32% im Jahre 1990, abnehmend auf 24% im Jahre 2025, beherrschen unsere Energiebilanz mit einem heutigen Energieanteil von 66% (1986), und die Unfallrisiken bei deren Gewinnung sind beträchtlich. Auch das Holz belastet die Risikobilanz trotz kleinem

Energieanteil (1986: 1,6%) wegen der Unfallträchtigkeit der Holzgewinnung erheblich, denn das Holzfällen und der Holztransport gehören zu den gefährlichsten Berufen überhaupt. Die Kernenergie ist in diesem Szenario für 7% (1990) bis 12,5% (2025) des beruflichen Unfallrisikos verantwortlich.

### Berufliche Unfälle

Bild 4 zeigt nun oben den Verlauf der Anzahl beruflicher Todesfälle für alle vier genannten Szenarien. Es fällt hier auf, dass die Risiken beim Moratorium, das einen konstanten, nicht mehr anwachsenden Kernenergieanteil postuliert, mit der Zeit zunehmend kleiner werden als beim Referenzszenario. Dies widerspricht den früher besprochenen Ergebnissen, wonach die Kernenergie (pro Energieeinheit) kleinere berufliche Unfallrisiken aufweist als alle anderen Energieoptionen. Die ungefähr gleich hohe (A 90) bzw. etwas höher verlaufende Kurve (A 25) bei den Ausstiegsszenarien entspricht da eher den Erwartungen, denn Kernenergie, auf welche verzichtet worden ist, musste hier zumindest teilweise aus anderen, ungünstigeren Energieoptionen ersetzt werden.

### Einfluss des Energiesparens

Geht man dieser Frage nach, so stellt man fest, dass die hier behandelten Szenarien miteinander nicht vergleichbar sind. Der herausragende, zwischen diesen Szenarien variierte Parameter, ist nämlich nicht etwa der Energieanteil Kernenergie, wie dies aus der Benennung angenommen werden könnte, sondern das Ausmass des vorausgesetzten Energiesparens. Zunehmend einschneidendere energiepolitische Massnahmen ermöglichen steigende Einsparungen. So soll die Ersparnis an Elektrizität gegenüber einer unveränderten Status-quo-Politik im Jahre 2025 beim Referenzszenario 13,2%, beim Moratorium 33,9%, beim Ausstieg 2025 53,1% und beim Sofortausstieg 1990 gar 59,1% ausmachen ([2], 77). Dieser starke positive Spareinfluss verdeckt den negativen Einfluss einer Einschränkung bzw. eines Ausstiegs aus der Kernenergie völlig.

### Referenzszenario mit verstärktem Sparen

Im Bericht der EGES ist allerdings auch ein Referenzszenario mit verstärktem Sparen und Substituieren untersucht worden ([2], 213 ff). Die postulierten energiepolitischen Sparmassnahmen sind bei diesem Szenario (R) allerdings noch nicht so griffig wie jene

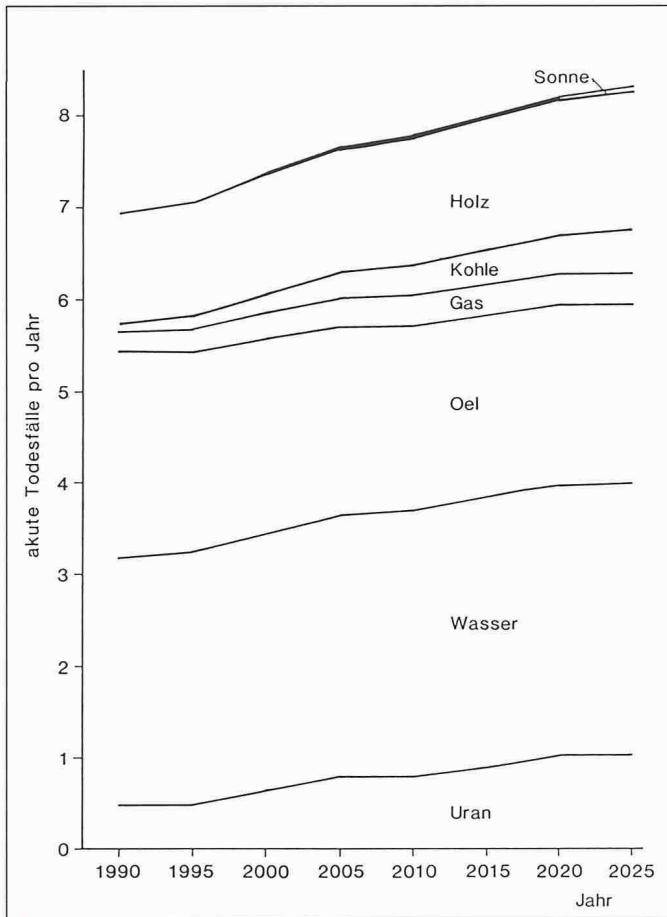


Bild 3. Akute Todesfälle unter den Berufsleuten zufolge von Unfällen, EGES-Referenzszenario, Gliederung nach Energiesystemen

Bilder 1 und 2 erschienen im 1. Teil [1]

des Moratoriums, und der Anteil der Kernenergie – ab 2015 eine vorübergehende Zunahme um bis zu 35% – ist weder mit dem Kernenergieanteil im Referenzszenario noch mit jenem des Moratoriums identisch.

Wie Bild 4 zeigt, sind die beruflichen Unfallrisiken für dieses Referenzszenario mit verstärktem Sparen kleiner als jene aller anderen Szenarien. Bei Nutzung der vollen Kernenergiiekapazität gemäss Referenzszenario sowie aller beim Moratorium vorausgesetzten Sparmassnahmen würde die entsprechende Risikokurve noch erheblich mehr unter der Kurve «Moratorium» zu liegen kommen und demnach vom Standpunkt des beruflichen Unfallrisikos her klar das günstigste Szenario sein.

### Berufliche Erkrankungen

Im unteren Teil von Bild 4 sind die Todesfälle zufolge beruflicher Erkrankungen aufgetragen. Sie sind um rund eine Größenordnung kleiner als die berufli-

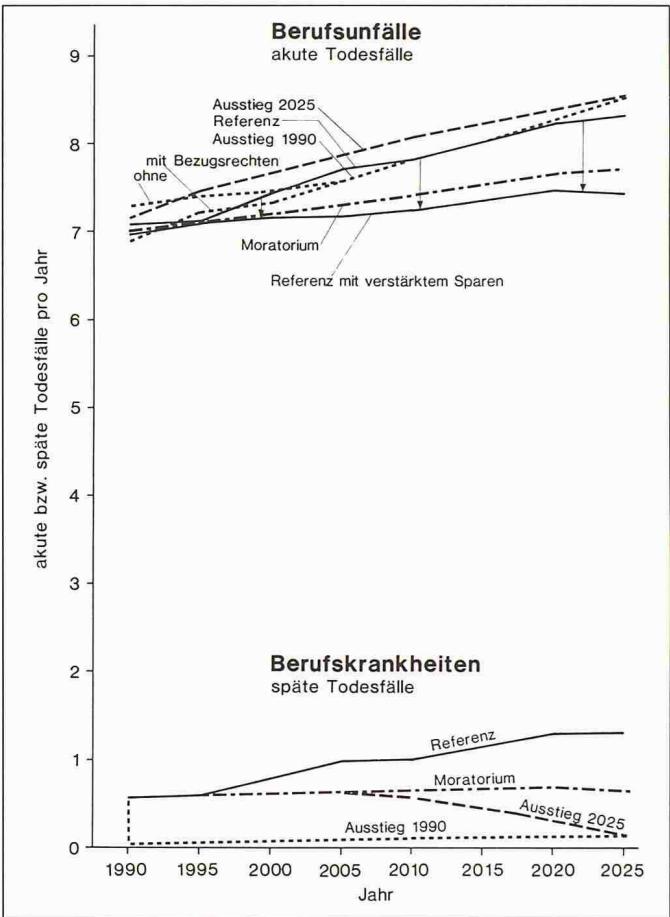


Bild 4. Todesfälle unter den Berufsleuten gemäss EGES-Szenarien

chen Unfallrisiken. Die Erkrankungsrisiken spielen nur bei der Kohle und der Kernenergie eine grössere Rolle (vgl. Bild 1, [1]). Beim geringen Anteil der Kohle in den Szenarien bestimmt im wesentlichen die Kernenergie dieses Risiko.

### Unfälle unter der Bevölkerung

Die durch Transporte bedingten Todesfälle unter der allgemeinen Bevölkerung erreichen nur einen Bruchteil eines Todesfalles pro Jahr und unterscheiden sich wenig zwischen den einzelnen Szenarien, weshalb sie hier nicht näher betrachtet werden.

### Erkrankungen unter der Bevölkerung

Wie bereits erwähnt, gehen die Erkrankungen unter der Bevölkerung, die zu späten Todesfällen führen können, auf die Schadstoffemissionen insbesondere aus den Energieerzeugungs- oder Umwandlungsanlagen zurück. Massgebend ist aber nicht direkt die Höhe dieser Emissionen am Standort der entsprechenden Anlage, sondern die Höhe der daraus im Lebensbereich der Menschen entstehenden Immissionen. Diese werden durch die Verbreitung der Schadstoffe in der Umgebung der Emissions-

quelle bestimmt, und das Risiko der Bevölkerung hängt zudem von der Bevölkerungsverteilung in der betroffenen Region ab.

### Immissionen

Die aufgrund von Bild 2 (siehe [1]) besprochenen Erkrankungsrisiken gingen zurück auf stromerzeugende Grosskraftwerke, die in einem gewissen Abstand von grösseren Bevölkerungsaggregationen stehen und ihre Abgase über ein Hochkamin abgeben. Für solche Anlagen können die Immissionen und die Gesundheitsrisiken mit gewissen Vorbehalten aus den Emissionen abgeschätzt werden.

In den Energieszenarien spielen nun aber solche Grossanlagen – außer die Kernkraftwerke und die Raffinerien – nur eine kleine und zudem mit der Zeit abnehmende Rolle. Ausser mittelgrossen fossil-thermischen Anlagen, welche wohl eher am Rande grösserer Aggregationen stehen werden (Industriegasturbinen, WKK-Anlagen für die Industrie und externe Siedlungs-Wärmeverteilnetze, kohlebefeuerte Fernwärmesysteme), figurieren Heizungsanlagen der verschiedensten Art, welche dezentral, inmitten der Wohngebiete, ihre Abgase im wesentlichen auf Dachhöhe

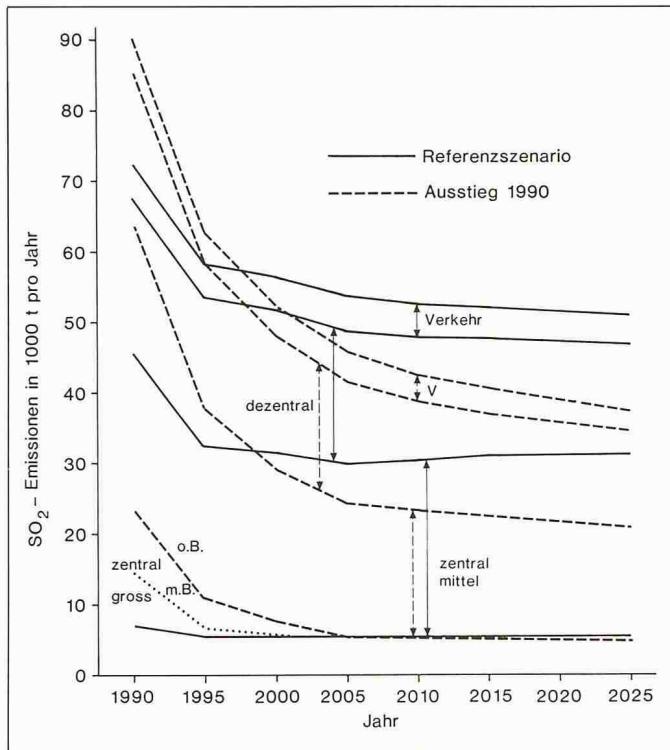


Bild 5.  $\text{SO}_2$ -Emissionen gemäss EGES-Szenarien, Gliederung nach Anlagekategorien

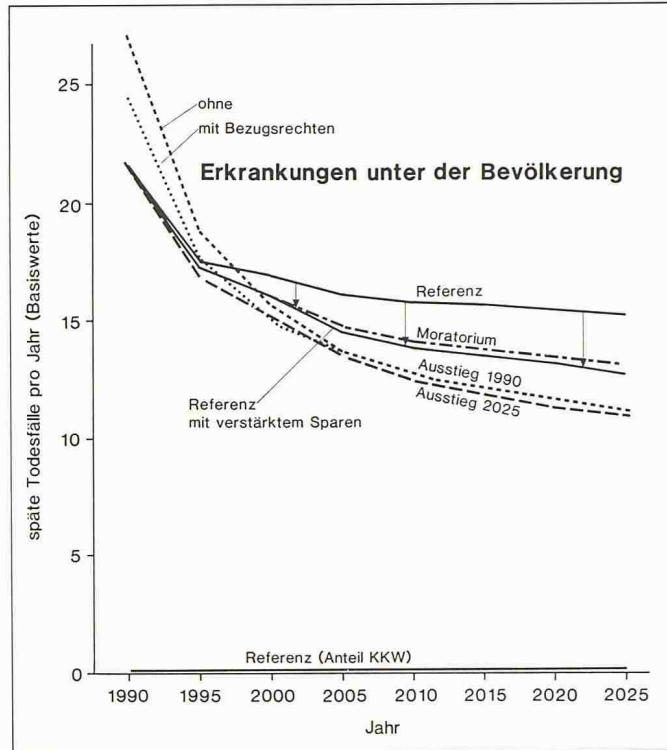


Bild 6. Späte Todesfälle unter der Bevölkerung zufolge von Erkrankungen gemäss EGES Szenarien

*Basiswerte:* Anzahl Todesfälle, wenn die Emissionen von einem abgelegenen Standort aus einem Hochkamin erfolgen würden. Tatsächlich ist mit dem Mehrfachen dieser Zahl zu rechnen.

emittieren, ebenso wie der *motorisierte Strassenverkehr*, der unseren Lebensraum völlig durchdringt. Unter solchen Voraussetzungen sind Abschätzungen der Immissionen und des Gesundheitsrisikos aus den jeweiligen Emissionen erfahrungsgemäss nicht mehr durchführbar, so dass hier nur gewisse halbquantitative Aussagen gemacht werden können.

Für eine gegebene Emissionsmenge nimmt die die Bevölkerung belastende Immission in der Reihenfolge der aufgeführten Anlagekategorien immer mehr zu. Die mit der Verbreitung der Schadstoffe aus einem entfernt aufgestellten Kamin eines Grosskraftwerks einhergehende Verdünnung in der Atmosphäre ist bei mittelgrossen Anlagen am Rande von Agglomerationen weit weniger wirksam und bei dezentralen Heizungsanlagen und beim Strassenverkehr überhaupt kaum vorhanden. Eine Emissionseinheit ist also in der letztgenannten Konstellation weit schädlicher, als wenn sie aus einer zentralen Grossanlage stammen würde. So gesehen ist also der in den Energieszenarien zum Ausdruck kommende Trend zu einer *dezentralen Energieversorgung*, die der verbreiteten Aversion gegenüber den Grosstechnologien entgegenkommen soll, vom Standpunkt des Schadens für den Menschen als auch für die Umwelt kontraproduktiv.

## Emissionen

Bild 5 zeigt, wie sich die  $\text{SO}_2$ -Emissionen beim Referenzszenario und beim Sofortausstieg auf die vier oben genannten Anlagekategorien verteilen, die mit den Stichworten «zentral gross», «zentral mittel», «dezentral» und «Verkehr» bezeichnet worden sind. Sie gehen alle zwischen 1990 und 1995 stark zurück, was auf die Reduktion der Emissionsfaktoren gemäss Luftreinhaltegesetzgebung zurückzuführen ist. Der spätere langsamere Rückgang beruht hauptsächlich auf den postulierten Energieeinsparungen. Auffallend ist der geringe Beitrag des Verkehrs. Er ist auf die strengen  $\text{SO}_2$ -Abgasvorschriften zurückzuführen. Eine Bilanz der Stickoxyde und der Kohlenwasserstoffe würde sehr viel ungünstiger ausfallen; hier überwiegt der Beitrag des Verkehrs eindeutig ([2], 205, 333).

## Basiswert der Todesfälle

Da die Immissionen dezentraler Anlagen nicht mehr abgeschätzt werden können, stellt Bild 6 für die vier Hauptzonen nur einen *Basiswert* für die Anzahl Todesfälle unter der Bevölkerung zufolge immissionsbedingter Erkrankungen dar. Dieser Basiswert unterstellt, dass sämtliche Emissionen aus allen in einem Szenario berücksichtigten Anlagen, wie jene aus Grosskraft-

werken, in einem grösseren Abstand von Bevölkerungsagglomerationen und über ein Hochkamin erfolgen. Gemäss dem oben Gesagten muss für den Hauptteil der Emissionen in Wirklichkeit mit einer um das Mehrfache höheren Zahl von Todesfällen gerechnet werden.

Auch in diesem Bild überrascht zunächst, dass mit Ausnahme des Ausstiegsszenarios 1990 das Referenzszenario zur grössten Zahl von Todesfällen führt. Der Grund ist derselbe, der bei der Diskussion der beruflichen Unfallrisiken erläutert wurde. Für das Referenzszenario mit verstärktem Sparen liegt die Kurve bereits unter jener für das Moratorium. Bei Realisierung derselben Einsparungen wie dort und unter voller Ausnutzung der Kernenergiekapazität des Referenzszenarios würde sie noch tiefer verlaufen, wohl im Bereich der Ausstiegsszenarien mit ihren weit extremeren energiepolitischen Sparmassnahmen oder noch darunter.

Bild 6 zeigt auch die Folgen des Versuchs, kurzfristig auf die Kernenergie zu verzichten. Der sofortige Ausfall der einheimischen Kernenergieproduktion verlangt den Einsatz von mit Heizöl befeuerten Gasturbinenkraftwerken. Das führt zu einer wesentlichen Erhöhung der immissionsbedingten Todesfälle während des ersten Jahrzehnts, dies insbesondere dann, wenn konsequenter-

Energiequelle	Anzahl	Grossunfälle Ursache	Anlagen	Anzahl akute Todesfälle pro Ereignis	Anzahl akute Todesfälle pro Jahr
Kohle	62	Grubenunglück	Kohlengruben	10...434	über 200
	6	Kentern	Bohrinseln	6...123	
	15	Brand/Explosion	Raffinerien/ Tanklager	5...145	ca. 25
	42	Brand/Explosion, Transportunfälle	b. Transport	5...500	über 90
Erdgas	24	Brand/Explosion	verschiedene	6...452	über 80
	8(13?)	Überflutung	Talsperren	11...2500	über 200
	1		Tschernobyl	31	

Tabelle 1. Grossunfälle mit akuten Todesopfern bei den einzelnen Energiesystemen im Zeitraum 1969 bis 1986, weltweit

weise auch auf den Bezug von durch Kernenergie erzeugter Elektrizität aus dem Ausland verzichtet wird («ohne Bezugsrechte»).

Zuunterst auf Bild 6 sind noch die späten Todesfälle aufgetragen, die im Referenzszenario auf die radioaktiven Emissionen aus den Kernkraftwerken zurückgehen. Sie erreichen im Jahre 2025 0,15 Todesfälle, was lediglich 1% des Basiswerts und damit einen Bruchteil eines Prozents der durch alle fossil-thermischen Anlagen bedingten späten Todesfälle ausmacht.

Überblickt man diese Ergebnisse, so fällt es schwer, vom gesundheitlichen Standpunkt aus den Wunsch nach einem Verzicht auf die Kernenergie zu verstehen. Mit Ausnahme der Erkrankungsrisiken der Bergarbeiter in den Uranminen sind die Gesundheitsrisiken der Bevölkerung wie die der Berufsleute in jedem Energieszenario mit Kernenergie erheblich kleiner als im äquivalenten Szenario ohne Kernenergie. Dass die Gesundheitsrisiken darüber hinaus weiter vermindert werden können, wenn der Energiekonsum durch eine rationellere und sparsamere Verwendung reduziert wird, ist eine Selbstverständlichkeit. Die Verwirklichung von Energiesparmassnahmen ist aber völlig unabhängig von der Frage, ob die Kernenergie genutzt werden soll oder nicht.

## Grossunfälle

Der Gedanke an einen Ausstieg aus der Kernenergie ist allerdings durch die zwei schweren Unfälle in den Kernkraftwerken Three Mile Island bei Harrisburg (USA) und in Tschernobyl (UdSSR) stark gefördert worden. So ist für eine abschliessende Beurteilung der Kernenergieerzeugung die zusätzliche Frage zu stellen, wie sich das Risiko eines Grossunfalles in einem Kernkraftwerk zum Risiko solcher Unfälle bei anderen Energieoptionen verhält. Als Grossunfall wird im allgemeinen

ein Ereignis bezeichnet, bei dem es zu 10 oder mehr gleichzeitigen Todesopfern kommt.

## Konventionelle Energien

Die Erfahrungen mit den konventionellen Energieoptionen können leider auch hier eine erste Antwort liefern. Nimmt man sich die Mühe, eine *Statistik über Grossunfälle* im Zusammenhang mit den Energieträgern Kohle, Erdöl, Erdgas und Wasser aufzustellen [4], so ergibt sich das in der Tabelle 1 zusammengefasste Bild.

Im dort betrachteten Zeitraum von 1969 bis 1986 sind weltweit in *Kohlengruben* mindestens 62 Grossunfälle mit jeweils 10 bis 434 akuten Todesopfern eingetreten, durchschnittlich über 200 Opfer pro Jahr. Die neuesten Ereignisse waren eine Explosion in einer Braunkohlengrube bei Borken (BRD) im Mai letzten Jahres, die 47 Opfer forderte, und eine Grubengasexplosion in China (Kreis Liandan) im August mit 44 Todesopfern.

Die *Erdöl-* und *Gasförderung* auf der Hochsee hat durch das Kentern von 6 Bohrinseln 6 bis 123 Menschenleben gefordert. Anfang Juli letzten Jahres kamen bei einer Explosion auf der Ölplattform «Piper Alpha» erneut 166 Menschen um. Dazu sind Grossbrände und Explosions in Ölraffinerien, Öltanklagern und beim Transport, vorwiegend in Tankschiffen, relativ häufig. Im genannten 18jährigen Zeitraum sind mindestens 57 solche Ereignisse eingetreten mit jeweils zwischen 5 und 500 Todesopfern, durchschnittlich über 100 Opfer pro Jahr. Grossbrände und Explosions kennzeichnen auch den Energieträger *Erdgas*. Bei mindestens 25 solchen Ereignissen im gleichen Zeitraum (ohne Gas-Feinverteilung und kommunalen Verbrauch) waren 6 bis 452 Todesopfer zu beklagen, was erneut fast 100 Opfern pro Jahr entspricht.

An *Talsperren* für die hydraulische Elektrizitätserzeugung sind verschiedentlich besonders schwere Grossun-

fälle eingetreten, so in der Nähe der Schweiz an den Sperren Malpasset (1959, in Fréjus (F) 421 Todesopfer) und Vajont (1963, in Longarone (I) etwa 2000 Todesopfer). Während des genannten Zeitraumes sind weltweit bei mindestens 8 schweren Talsperrenunfällen zwischen 11 und 2500 Menschen ums Leben gekommen, durchschnittlich über 200 pro Jahr.

## Kernenergie

Mit diesen Angaben wird der nach Tschernobyl gelegentlich aufgekommene subjektive Eindruck, wonach es vor allem die Kernenergie ist, welche sich durch ein Potential für Grossunfälle auszeichnet, etwas relativiert. Die Todesfallbilanz seit Beginn der kommerziellen Kernenergienutzung sind die 31 akuten Todesfälle unter den Berufsleuten in Tschernobyl und eine nur aufgrund einer Schadenhypothese zu berechnende Zahl später Todesfälle, auf welche noch eingegangen wird.

Dabei ist noch zu beachten, dass gemäss der übereinstimmenden Meinung der Sicherheitsfachleute westlicher Länder dieses Ereignis keine Rückschlüsse erlaubt auf das Risiko eines Grossunfalles an den hiesigen Reaktoren, insbesondere den in der Schweiz ausschliesslich eingesetzten Leichtwasserreaktoren. Bei diesen sind vor allem in bezug auf die inhärenten reaktorphysikalischen Eigenschaften sowie auf die Konstruktion und die sicherheitstechnischen Ausrüstungen des Reaktors und nicht zuletzt auf die Organisation des Betriebes und die Ausbildung und Arbeitsdisziplin des Betriebspersonals entscheidend günstigere Voraussetzungen gegeben als beim sowjetischen RBMK-Reaktor in Tschernobyl.

## Todesfallrisiken zufolge Grossunfällen

Die hier zitierten statistischen Zahlen allein geben erst einen unvollständigen Eindruck vom Todesfallrisiko, das auf Grossunfälle zurückgeht. Die Todesbilanzen der einzelnen Energieträger müssten, um einen Vergleich zu erlauben, auf die jeweilige Energieproduktion bezogen werden, die jedoch nicht unmittelbar bekannt ist.

Für Kernkraftwerke liegen nun aber die Ergebnisse ausführlicher *probabilistischer Risikoanalysen* vor, und für die konventionellen Energieträger sind zumindest einige grobe Risikoabschätzungen gemacht worden, die alle in den Bildern 7 bis 9 dargestellt sind. Für die Kernenergie sind die Ergebnisse von Rasmussen aus den USA und jene der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke (DRS) wiedergegeben. Diese Risiko-

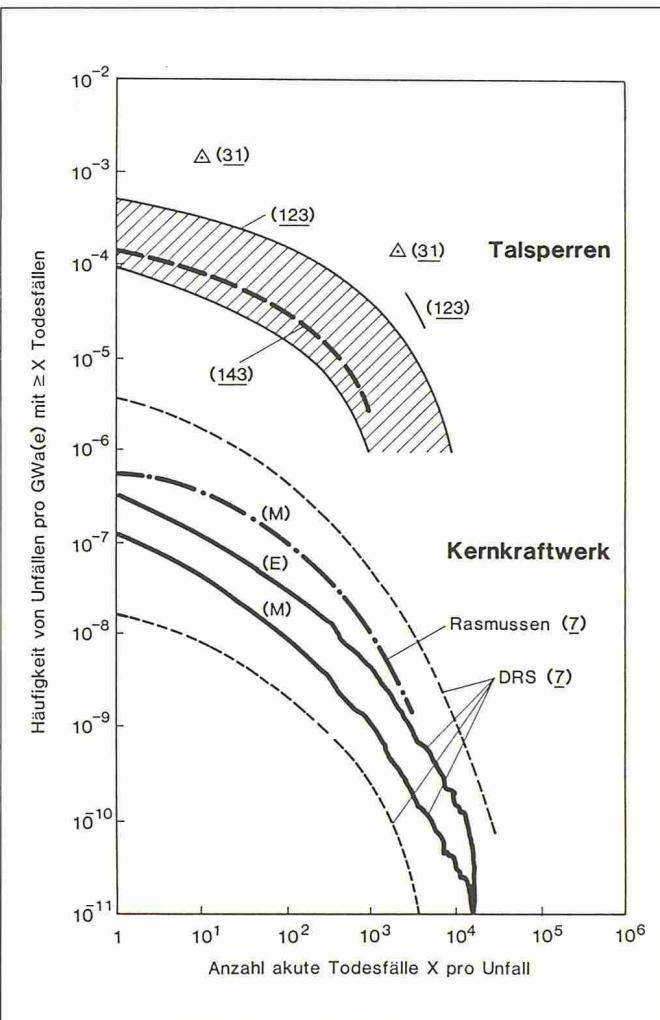
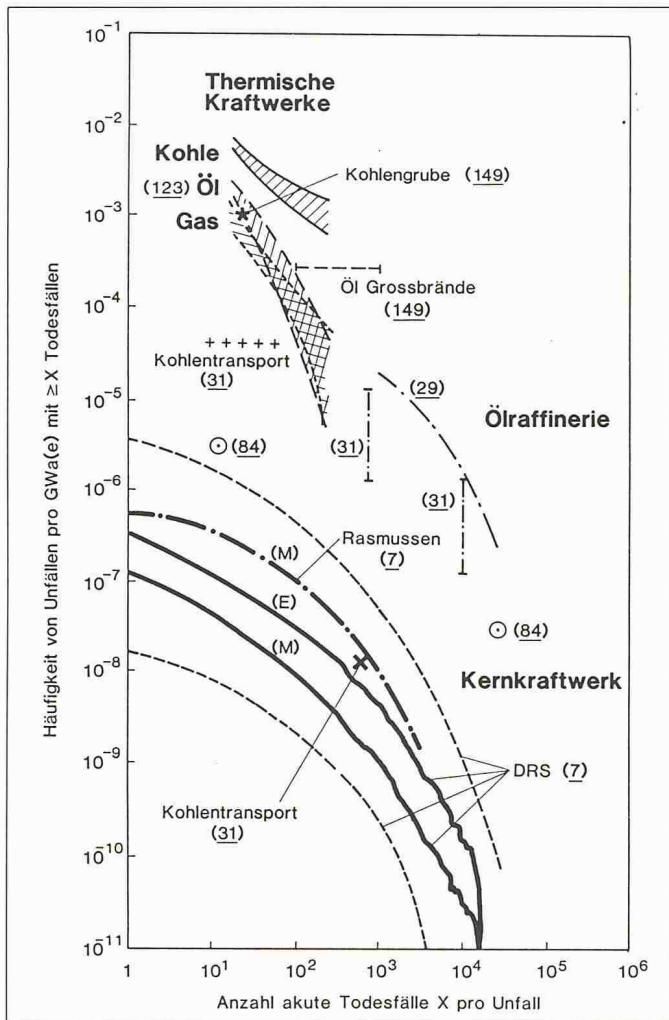


Bild 8 (oben rechts). Häufigkeit akuter Todesfälle zufolge von Grossunfällen pro GWa elektrischer Energieerzeugung, Kernenergie und hydraulische Energie

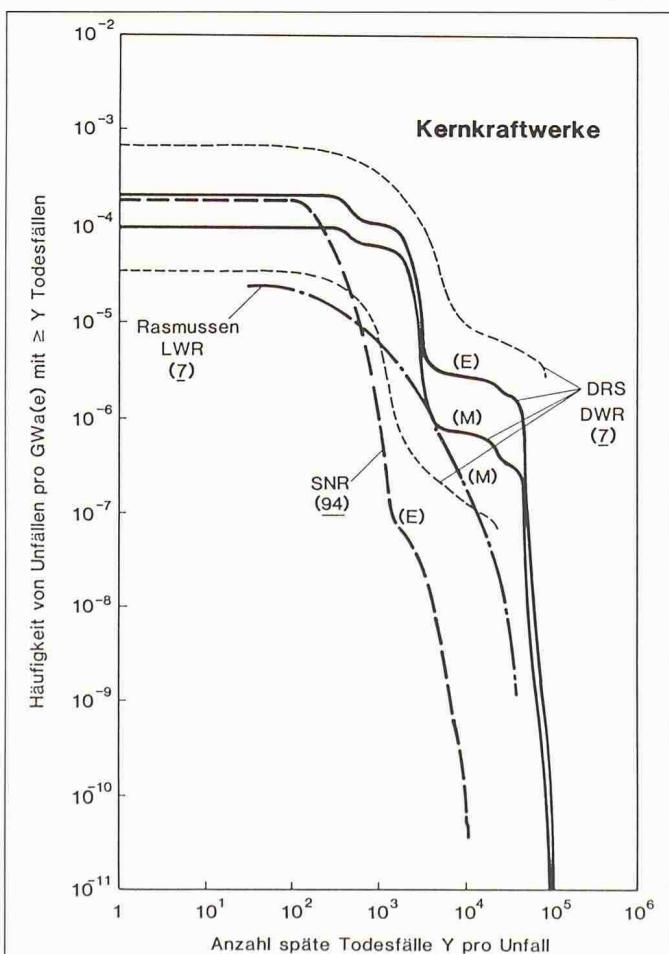


Bild 7 (oben links). Häufigkeit akuter Todesfälle zufolge von Grossunfällen pro GWa elektrischer Energieerzeugung, Kernenergie und fossilthermische Systeme

Bild 9 (links). Häufigkeit später Todesfälle zufolge von Grossunfällen pro GWa elektrischer Energieerzeugung, Leichtwasserreaktoren (LWR, DWR) und schneller Brutreaktor (SNR)

werte, welche erneut auf die einheitliche Produktion von 1 GWa elektrischer Energie bezogen sind, können nicht Anspruch auf hohe Genauigkeit erheben. Erfahrungsgemäss pflegen Abschätzungen jedoch eher auf der vorsichtigen Seite zu liegen. Nach neueren Erkenntnissen über das Ausmass der Freisetzung radioaktiver Spaltstoffe nach einem schweren Unfall in einem Kernkraftwerk wird heute angenommen, dass auch die Kurven der DRS um bis zu einer Grössenordnung zu hoch sind.

### Akutes Todesfallrisiko

Demnach sind Grossunfälle mit einer bestimmten Zahl von akuten Todesopfern in Kohlengruben um rund 4 Grössenordnungen, also 10'000mal häufiger zu erwarten als beim Betrieb eines Kernkraftwerks. In einer Ölraffinerie – nur eine der bei der Energieoption Erdöl massgebenden Prozessstufen – ist ein Grossunfall etwa um 2 Grössenordnungen wahrscheinlicher als ein ebenso schwerer Reaktorunfall. Das Gesamtrisiko von Grossbränden wird bis zu 4 Grössenordnungen höher geschätzt. Über den Erdgaszyklus ist weniger Konkretes bekannt. Die Grossbrandrisiken dürften ähnlich sein wie diejenigen des Ölzyklus. Bei der hydraulischen Energieerzeugung schliesslich müssen gemäss Bild 8 Grossunfälle vergleichbaren Schweregrades, was die akute Todesbilanz betrifft, gegen 3 Grössenordnungen häufiger erwartet werden als bei der Kernenergieerzeugung.

Ausser bei den Grubenunfällen, die bei der heutigen Mechanisierung kaum mehr als einige hundert Todesopfer verursachen können, sind bei allen anderen Energiesystemen Folgen katastrophalen Ausmasses bis zu einer Grössenordnung von Zehntausenden von Opfern möglich, wenn auch ausserordentlich unwahrscheinlich.

Einen Sonderfall bilden die *erneuerbaren Energiequellen* Sonne, Wind und Biomasse (ausgenommen Holz). Im Gegensatz zu allen anderen Energieoptionen weisen sie praktisch keinerlei Potential für schwere Unfälle oder für katastrophales Versagen auf.

### Risiko später Todesfälle

Schliesslich muss noch auf die Möglichkeit später Krebstodesfälle eingegangen werden, welche nur bei einem Grossunfall eines Kernkraftwerks auftreten können (Bild 9). Bei der nuklearen Erzeugung von 1000 GWa(e), was der Produktion des ganzen heutigen schweizerischen Strombedarfs durch Kernenergie während 200 Jahren entspricht, sind demnach keine späten Todesfälle zu erwarten. Gemäss DRS wäre bei der

Produktion von einer Million GWa(e) ein ausserordentlich schwerer Unfall möglich, der im Verlauf der darauf folgenden 50 Jahre rechnerisch bis zu etwa 50'000 Krebstodesfällen führen könnte. Gegenüber den Krebstodesfällen, welche in der vom Ereignis betroffenen Bevölkerung aus natürlichen Ursachen mit statistischer Gewissheit zu beklagen sein werden, würde dies eine Zunahme um rund 0,1% bedeuten. Dieser Zahl liegt die bereits erläuterte Schadenhypothese zugrunde, welche späte Todesfälle ausweist, auch wenn es sich um minimale, weit unter der natürlichen Strahlung oder gar deren Schwankungsbreite liegenden Dosen handelt, denen jedoch grosse Bevölkerungsanteile ausgesetzt wären. Deshalb sind ein Teil der so berechneten «Todesfälle» hypothetische und nicht wirklich eintretende Todesfälle.

Anhand des sogenannten «Erwartungswertes», also des durchschnittlichen Risikos, kann eine Brücke von den Grossunfällen zu den routinemässig eintretenden Schäden geschlagen werden. Gemäss DRS beträgt dieser Erwartungswert  $4 \cdot 10^{-5}$  akute bzw. 0,40 späte Todesfälle pro GWa(e). Vergleicht man die erste Zahl mit den auf Bild 2 (siehe [1]) wiedergegebenen routinemässigen Risiken, so erweist sich das akute Grossfallrisiko als vernachlässigbar klein. Das verzögerte, auf Grossunfälle zurückgehende Todesfallrisiko ist hingegen grösser als das entsprechende Routinerisiko, was allerdings auch hier die Relation zu den anderen Energieoptionen nicht entscheidend verändert (man beachte den logarithmischen Massstab).

Nun ist allerdings ein so gerechnetes durchschnittliches Risiko für ein so seltenes Ereignis, wie es ein Grossunfall darstellt, etwas problematisch, denn dieses Ereignis tritt wahrscheinlich gar nie ein; wenn es aber eintritt, dann unter Umständen mit sehr schweren Konsequenzen. Dies ist der Grund für die verbreitete Aversion gegenüber irgend einem Grossereignis, auch wenn sich regelmässig wiederholende Ereignisse, an die man sich gewöhnt hat, schliesslich für weit mehr Todesfälle verantwortlich sein mögen.

### Risikovergleich

So muss denn auch eine Beurteilung der Gesundheitsrisiken der Energieversorgung sehr differenziert vorgenommen werden. Bis auf die mit der Kohle vergleichbaren Erkrankungsgefahren für die Grubenarbeiter sind die routinemässigen Risiken bei der Kernenergie kleiner als bei jeder anderen Energieop-

tion. Die Wahrscheinlichkeit akuter Todesfälle aufgrund von Grossunfällen ist bei der Kernenergie sogar um Grössenordnungen kleiner als bei den Energieoptionen Kohle, Öl, Gas oder Wasser.

Ein abschliessendes Urteil hängt dann noch von der Einschätzung der Möglichkeit später Krebstodesfälle als Folge eines Kernkraftwerk-Grossunfalles ab. Neigt man dazu, aufgrund einer vor allem emotionell bedingten Aversion gegenüber einem derart schweren, aber unwahrscheinlichen Ereignis den fossil-thermischen Energieträgern dennoch den Vorzug zu geben, so muss dies in Kenntnis der Tatsachen geschehen, dass diese wegen den entstehenden Schadstoffimmissionen in der Schweiz Jahr für Jahr von der Grössenordnung 100 späte Todesfälle verursachen und darüber hinaus auch noch mit weit grösserer Häufigkeit Grossunfälle zu beklagen haben. Wäre ein so unwahrscheinlicher Grossunfall eines Kernkraftwerkes tatsächlich schlimmer?

### Zu den EGES-Szenarien

Angesichts der Tatsache, dass es nach Tschernobyl die Gesundheitsrisiken waren, die den Anstoß zur Ausarbeitung von Energieszenarien gaben ([2], Seite 457), ist es bedauerlich, dass der Bericht der EGES mit Bezug auf die Kernenergie einen falschen Eindruck von diesen Risiken – und dabei auch von den emissionsbedingten Umweltrisiken – vermittelt.

An mehreren Stellen finden sich Feststellungen des Inhalts, die Todesfallrisiken oder die Emissionen seien in den Ausstiegsszenarien kleiner als im Referenzszenario ([2], Seiten 471, 504 bzw. 451, 504). Diese Aussagen sind streng genommen richtig, sie sind jedoch missverständlich und irreführend. Insofern als das Referenzszenario als das «Kernenergieszenario» verstanden wird – eine naheliegende Annahme, denn es ist das einzige Szenario, in welchem die nukleare Energieerzeugung nicht eingeschränkt wird – ist die Botschaft dieser Feststellungen: Ein Verzicht auf die Kernenergie sei bezüglich Gesundheit und Umwelt vorteilhaft.

Dass diese falsche, vielleicht ungewollte Botschaft auch so verstanden wurde, bezeugt die Berichterstattung in den Medien, als Anfang Februar 1988 die Ergebnisse der EGES erstmals bekanntgegeben wurden. Da konnte man etwa lesen: «der langfristige Ausstieg aus der Atomenergie (wirke sich) günstiger auf Natur und Volkswirtschaft aus als die Erhaltung oder der Ausbau der Kernenergie» [5].

Die vorangegangenen Ausführungen haben nachgewiesen, dass dies für die Gesundheitsrisiken unrichtig ist. Ergänzt man die Tabellen auf den Seiten 450 und 452 des EGES-Berichts durch die entsprechenden Werte für das Referenzszenario mit verstärktem Sparen, so ist auch der Nachweis für die Unrichtigkeit bezüglich der Emissionen erbracht. Auch hier würde eine Ausnutzung der den Ausstiegsszenarien unterstellten strengen Sparmassnahmen in einem vergleichbaren Kernenergieszenario zu noch kleineren Emissionen führen als bei diesen.

### Kernenergie oder Sparen

Ohne erhebliche Energiesparmassnahmen wäre ein Ausstieg aus der Kernenergie nicht machbar, und je rascher der anvisierte Ausstieg erfolgen soll, je einschneidender müssen die Sparmassnahmen sein. So sind denn auch die EGES-Szenarien entstanden. Zwar hat die EGES selbst festgestellt: «Die schweizerische Energiediskussion dreht sich im wesentlichen um den Einsatz der Kernenergie und die Rolle der rationellen Energieverwendung», sie hat aber diese zwei Hauptparameter nicht als freie, von einander unabhängige Parameter aufgefasst, sondern sie glaubte hier ein Entweder-Oder zu erkennen. Sie spricht denn auch von einer «Weichenstellung»: Wird weniger gespart, so muss mehr auf die Kernenergie zurückgegriffen werden ([2], 507). Dennoch hat die EGES auch erkannt, dass die vergleichsweise günstigen Auswirkungen der Ausstiegsszenarien nicht eine Folge des Ausstiegs aus der Kern-

energie, sondern vor allem eine solche der rationelleren Energieverwendung sind, welche sich grundsätzlich auch mit einer weiteren Kernenergienutzung vertragen würde (Seite 403f.). Aus dieser Erkenntnis hat sie aber nicht die notwendige Konsequenz gezogen.

Die Schweizerische Energiestiftung scheint sich ausdrücklich zu dieser Entweder-Oder-Anschauung zu bekennen. So hat ihr Präsident anlässlich einer öffentlichen Kritik an der bundesrätlichen Energiepolitik die Doppelstrategie: Sparen und Kernkraftnutzung als «eine unzulängliche bürgerliche Föfer-und-Weggli-Politik» apostrophiert. Es ist sehr zu hoffen, dass auch bei einem eventuellen künftigen Weiter-einsatz der Kernenergie die dringendste und wichtigste energiepolitische Massnahme – das Energiesparen – nicht aufgrund einer solch einseitigen Anschauungsweise vernachlässigt wird.

### Literatur

- [1] Fritzsche, A.F.: Ausstieg aus der Kernenergie? (1. Teil); Gesundheitsrisiken der Elektrizitätserzeugung, Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 21/1989
- [2] Expertengruppe Energieszenarien (EGES): Energieszenarien: Möglichkeiten, Voraussetzungen und Konsequenzen eines Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie, Hauptbericht, EDMZ Bern, Februar 1988
- [3] Fritzsche, A.F.: Gesundheitsrisiken von Energieversorgungssystemen; Quantitative Vergleiche, in Nr. 21 der Schriftenreihe der EGES, EDMZ Bern, August 1988
- [4] Fritzsche, A.F.: Gesundheitsrisiken von Energieversorgungssystemen; Von der Kohle bis zu Energien der Zukunft und den Rohstoffen bis zur Entsorgung, Verlag TÜV Rheinland, 1988
- [5] Bündner Zeitung, 5. Februar 1988

### Ungenügende Entscheidungsbasis

Eine sparsamere und rationellere Energieverwendung ist das erste Gebot einer glaubhaften Energiepolitik, welches mit oder ohne Kernenergie befolgt werden muss. Die EGES hat wohl im Sinne ihres Auftrages die Voraussetzungen, Möglichkeiten und Konsequenzen eines Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie beleuchtet. Die erarbeiteten Szenarien liefern aber *keine Entscheidungsgrundlage*, um die gewiss vorrangige Frage zu beantworten, ob auf die Kernenergie überhaupt verzichtet werden soll. Sie bieten nämlich kei-

ne Möglichkeit, die Konsequenzen einer Beibehaltung der Kernenergie mit jenen eines Ausstiegs zu vergleichen, dies unter gegebenen, gleichbleibenden Voraussetzungen was das Energiesparen anbelangt. Es wäre sehr zu wünschen, dass diese schwerwiegende Lücke in den energiepolitischen Entscheidungsgrundlagen durch die Erarbeitung mindestens eines weiteren Szenarios nachträglich noch geschlossen würde.

Adresse des Verfassers: A.F. Fritzsche, Dr. sc. techn., dipl. Masch.-Ing. ETHZ, Chesa Crast'ota, 7504 Pontresina.