Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 80 (1989)

Heft: 2

Artikel: Die Umweltaspekte in der Kernenergiediskussion am Beispiel Baden-Württemberg

Autor: Voss, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903625

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: 10.12.2025

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

Die Umweltaspekte in der Kernenergiediskussion am Beispiel Baden-Württemberg

A. Voss

Ein Ausstieg aus der Kernenergie würde zu einem Anstieg der Stromerzeugungskosten führen und hätte erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt. Zu diesen Schlussfolgerungen gelangt ein für die Baden-Württembergische Landesregierung erarbeitetes Energiegutachten, aus dem nachfolgend vor allem die Umweltkonsequenzen eines Ausstiegs vorgestellt werden.

Un abandon du nucléaire entraînerait une hausse des coûts de production d'électricité et aurait de lourdes conséquences pour l'environnement. Telle est la conclusion à laquelle aboutit une expertise énergétique réalisée pour le gouvernement de Baden-Wurttemberg. L'article présente notamment les incidences d'un abandon sur l'environnement.

Vortrag, gehalten anlässlich der SVA-Informationstagung am 17. Oktober 1988 in Zürich.

Adresse des Autors
Prof. Dr.-Ing. *Alfred Voss*, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE), Universität Stuttgart, D-7000 Stuttgart 80.

Einleitung

Die öffentliche energiepolitische Diskussion in der Bundesrepublik Deutschland ist zurzeit mehr von der Auseinandersetzung um die Erdgassteuer und den europäischen Binnenmarkt bestimmt als von der Diskussion der Frage der weiteren Nutzung der Kernenergie. Dies darf aber keineswegs so gedeutet werden, dass die Kernenergiediskussion nun mehr oder weniger abgeschlossen oder dass gar ein Konsens in dieser Frage erreicht worden sei. Von beidem, so ist zu befürchten, sind wir noch meilenweit entfernt. Unter anderem aus diesem Grund erscheint es gerechtfertigt und begrüssenswert, sich mit der Frage nach den Konsequenzen eines Ausstiegs aus der Kernenergie und hier insbesondere mit jenen für die Umwelt zu befassen.

Die Diskussionen und Auseinandersetzungen über die weitere Nutzung der Kernenergie werden sicher noch eine Weile andauern, und der politische Ausgang dieser Diskussion in der Bundesrepublik Deutschland ist nicht vorhersehbar. Angesichts der Bedeutung, die der Frage einer Nutzung oder Nichtnutzung der Kernenergie für die weitere Entwicklung unserer Industriegesellschaft, aber auch für die der Dritten Welt zukommt, sind möglichst verlässliche und umfassende Folgenabschätzungen für den einen oder anderen Weg von Bedeutung, wenn man die Ratio bei der Entscheidung nicht völlig ausklammern will.

In diesem Kontext kommt den Umweltauswirkungen – neben den energiewirtschaftlichen und gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen – eines Kernenergieverzichts eine zentrale Rolle zu. Dies lässt sich beispielhaft mit einer Passage aus dem Energiebericht der Bundesregierung [1] vom September 1986 belegen, wo es heisst, ein Verzicht auf die Kernkraftwerke bedeute «gravierende zusätzliche Belastungen für die Umwelt... Selbst bei einer – gegenwärtig nicht gegebenen – Stromerzeugung aus entschwefelten und entstickten Kraftwerken würden nicht vertretbare zusätzliche Schadstoffmengen anfallen. Hierdurch würden die aufgrund der Grossfeuerungsanlagen-Verordnung erwarteten Emissionsminderungen teilweise wieder rückgängig gemacht.»

In den letzten beiden Jahren sind von verschiedenen Institutionen Untersuchungen in Auftrag gegeben bzw. durchgeführt worden, die sich mehr oder weniger umfassend mit den Auswirkungen eines Kernenergieverzichts auf die Energieversorgung, die Gesamtwirtschaft und die Umwelt in der Bundesrepublik Deutschland befassen. Das Spektrum der Befunde über die ökonomischen und ökologischen Folgen eines Kernenergieverzichts, das von den vorliegenden Studien aufgespannt wird, ist gross, und die Aussagen und Schlussfolgerungen sind keineswegs übereinstimmend. So werden einmal die Auswirkungen auf die Stromerzeugungskosten als vernachlässigbar klein ermittelt und in einem anderen Fall mit mehr als 8 Pf/kWh angegeben. Die Spannweite der Umweltwirkungen, exemplarisch verdeutlicht an der Emissionsentwicklung von Schwefeldioxid und Stickoxiden, reicht von einer langfristigen Zunahme dieser Emissionen im Zusammenhang mit der Stromversorgung um mehr als 70% bis zu nur unbedeutend zunehmenden bzw. sogar geringeren Emissionen im Falle eines Kernenergieverzichts.

Die Ursachen für die divergierenden Aussagen über die Folgewirkungen eines Kernenergieverzichts sind vielschichtig und können im einzelnen hier nicht dargelegt werden, sie lassen sich aber in zwei Kategorien einord-

nen: Die erste Kategorie umfasst dabei unterschiedliche Annahmen für wesentliche, ergebnisbestimmende Rahmendaten, z.B. bezüglich des Stromverbrauchs und der Energiepreisentwicklung. In die zweite Kategorie sind die Unterschiede in der Ausgestaltung der Ausstiegsszenarien, z.B. hinsichtlich des Zeitpunkts und des Umfangs der Stillegung der Kernkraftwerke oder der Ersatzstrombeschaffung, einzuordnen. Hierzu gehört auch das Problem, die Ausstiegsszenarien so anzulegen, dass sie eine analytisch saubere Ermittlung der mit dem Ausstieg verbundenen Effekte erlauben.

Eine umfassende Analyse der Machbarkeit und der Konsequenzen eines Kernenergieverzichts hat natürlich eine Vielzahl unterschiedlicher Auswirkungsbereiche zu betrachten. Da wären zunächst einmal die direkten elektrizitätswirtschaftlichen Konsequenzen auf die Versorgungssicherheit, die Investitionen, die Stromerzeugungskosten sowie auf die Emissionen von Luftschadstoffen und andere Umwelteffekte zu nennen. Diese direkten elektrizitätswirtschaftlichen Konsequenzen strahlen aber auf die übrige Energiewirtschaft, die Gesamtwirtschaft und die Weltwirtschaft aus, was wiederum zu Rückwirkungen auf die nationale Elektrizitätswirtschaft führen wird. Des weiteren wären die Auswirkungen eines Kernenergieverzichts auf den technischen Fortschritt und davon ausgehende Innovationen für ander Wirtschaftsbereiche sowie auf das Investitionsklima zu erfassen. Eine derartig umfassende und möglichst noch quantitative Konsequenzenanalyse eines Kernenergieverzichts ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht durchführbar und sieht sich mit einer Reihe von Analyseproblemen konfrontiert. Auf drei wesentliche sei nachfolgend kurz eingegangen:

● Das erste wesentliche Analyseproblem eines Kernenergieverzichts ergibt sich aus der *räumlichen Abgrenzung*. Alle Untersuchungen, die bisher durchgeführt wurden, betrachten auftragsgemäss nur die Bundesrepublik oder einzelne Bundesländer. Die Energieversorgung unseres Landes hängt aber in einem hohen Masse von Energieimporten ab, und unsere Wirtschaft ist eng mit der Weltwirtschaft verflochten. Damit stellt sich die Frage nach den Auswirkungen eines Kernenergieverzichts bei uns auf die Weltenergiemärkte und nach den davon ausgehenden Rückwirkungen auf unsere importabhängige Energieversorgung. Die in diesem Zusammenhang zentrale Frage nach den Preiswirkungen eines Kernenergieverzichts, der gegebenenfalls nicht nur auf die Bundesrepublik begrenzt ist, lässt sich heute quantitativ nicht beantworten. Wie sensitiv aber die Energiepreise auf eine Verschiebung der Nachfrage- und Angebotsrelationen reagieren, hat ja gerade die Entwicklung seit 1985 mit dem Preisverfall beim Öl und bei der Kohle gezeigt. Preisveränderungen wie wir sie seit 1985 erlebt haben, bedeuten allein für die Bundesrepublik eine Reduzierung der Aufwendungen für die Energieimporte um mehr als 50 Mrd DM pro Jahr. Ein durch Verzicht auf Kernenergie induzierter Preisschub auf den Weltenergiemärkten könnte somit erhebliche Auswirkungen auf die Energie- und Gesamtwirtschaft haben.

● Ein zweites Analyseproblem hängt mit der Wahl des *Betrachtungszeitraumes* zusammen, für den die Konsequenzen des Kernenergieverzichts ermittelt werden. Die Wahl eines mittelfristigen Zeitraums, etwa bis zum Jahr 2000 oder 2010, sieht sich mit der Frage konfrontiert, ob damit nicht die eigentlichen Probleme eines Kernenergieverzichts, die sich erst nach diesem Zeitpunkt mit der Verknappung und Verteuerung von Erdöl und Erdgas in aller Schärfe stellen, ausgeklammert werden.

● Die begrenzten Möglichkeiten der *Quantifizierung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen* eines Kernenergieverzichts stellen das dritte wesentliche Analyseproblem dar. Gegenwärtig existiert keine geschlossene, empirisch abgesicherte volkswirtschaftliche Theorie oder ein Methodengebäude, die es erlauben würde, die einzel- und gesamtwirtschaftlichen Effekte, d.h. die Veränderung von Nachfrage und Investitionen, die Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit oder die resultierenden Produktions- und Beschäftigungseffekte eines Kernenergieverzichts quantitativ gesichert zu ermitteln. Allenfalls möglich sind bedingte Aussagen zu Einzelaspekten, deren Aussagekraft eng begrenzt ist.

Diese Ausführungen zu den unterschiedlichen Befunden der verschiedenen Ausstiegsuntersuchungen und ihren Ursachen sowie über die Analyseprobleme der Ermittlung der Auswirkungen eines Kernenergieverzichts machen deutlich, dass einer umfassenden Quantifizierung der mit einem Ausstieg aus der Kernenergie verbundenen Effekte enge Grenzen gesetzt sind und dass die Ergebnisse von Ausstiegsanalysen immer nur im Zusammenhang mit den getroffenen Annahmen über die Entwicklung unsicherer Bestimmungsfaktoren zu werten und zu beurteilen sind. Auch im Hinblick auf die Umwelteffekte eines Kernenergieausstiegs kann es nicht um exakte Zahlen, sondern nur um ein Aufzeigen und eine grössenordnungsmässige Quantifizierung relevanter Effekte gehen. Bei einer Diskussion der Umweltauswirkungen eines Kernenergieausstiegs sollte man sich immer wieder verdeutlichen, dass die Umweltaspekte nur einen Teilaspekt der Gesamtproblematik eines Kernenergieverzichts ausmachen.

Energiegutachten Baden-Württemberg

Die Landesregierung von Baden-Württemberg hat, nach dem Unglück von Tschernobyl, im Sommer 1986 ein Gutachten [2] in Auftrag gegeben, um die technisch möglichen Wege einer langfristig gesicherten Energieversorgung Baden-Württembergs umfassend zu analysieren und hinsichtlich ihrer ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Auswirkungen zu bewerten. Dabei war insbesondere zu untersuchen, ob und in welchem Umfang und in welchen Schritten auf den Einsatz der Kernenergie verzichtet werden kann und welche Konsequenzen damit verbunden wären.

Es sei hier eingeflochten, dass die energiewirtschaftliche Situation Baden-Württembergs mit der der Schweiz durchaus Gemeinsamkeiten aufweist. Der Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg liegt etwa 30% über dem der Schweiz und die installierte elektrische Leistung der Kernkraftwerke ist mit 3284 MW nur um rund 300 MW höher als in der Schweiz.

Ziel des Gutachtens war es, der Politik fundierte Entscheidungshilfen für eine sachgerechte, an den Belangen der Bürger sowie einer modernen Industriegesellschaft und den Enwicklungsnotwendigkeiten der Dritten Welt orientierten Energiepolitik bereitzustellen, um heute diejenigen Entscheidungen treffen bzw. die Entwicklungen einleiten zu können, die zur langfristigen Sicherung einer ausreichenden, preisgünstigen, umwelt- und sozialverträglichen Energieversorgung notwendig sind. Darüber hinaus sollte

das Gutachten eine fundierte, möglichst breit akzeptierte Faktengrundlage für die notwendigen energiepolitischen Abwägungs- und Wertungsprozesse bereitstellen.

Für die systematische Analyse möglicher energetischer Zukünfte sowie der energiepolitischen Gestaltungs- und Handlungsmöglichkeiten wurde ein Szenarioansatz benutzt. Mit Hilfe der Szenarien, die zukünftige Entwicklungen auf der Basis vernünftiger, in sich konsistenter Annahmen quantitativ beschreiben, sollten

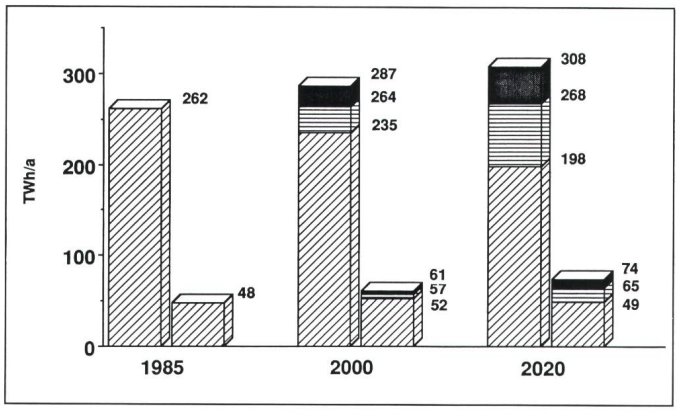
- die Auswirkungen unterschiedlicher, exogener Einflussfaktoren auf die Energieversorgung aufgezeigt werden, deren Entwicklung unsicher ist (Beispiel: Ölpreise) und die primär nicht von den Entscheidungen über ein zukünftiges Energiesystem in Baden-Württemberg mitbestimmt werden,
- unterschiedliche Vorstellungen über die zukünftige Energieversorgung, z.B. hinsichtlich einer Nutzung oder Nichtnutzung der Kernenergie, quantitativ expliziert werden, um sie damit rational diskutierbar zu machen, und schliesslich
- Möglichkeiten und Wege zur Erreichung energiepolitischer Ziele aufgezeigt werden.

Die mit den Szenarien beschriebenen möglichen zukünftigen Entwicklungen von Energiebedarf und Energieversorgung dürfen dabei nicht als Prognosen missverstanden werden. Sie dienen vielmehr dazu, Informationen und Erkenntnisse über mögliche Zukunftsentwicklungen und ihre Zusammenhänge und Konsequenzen zu gewinnen, die notwendig und hilfreich bei der Festlegung der heute zu treffenden Entscheidungen sind.

Ein wesentlicher Schritt jeder Szenarioanalyse ist die Festlegung der Rahmen- und Umfeldbedingungen der zu untersuchenden Entwicklung des Energiesystems. Den Annahmen über die Entwicklung externer Einflussfaktoren wie z.B. der Wirtschaft oder der Preise auf den internationalen Energiemärkten kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

Um die bestehenden Unsicherheiten der Entwicklung dieser Einflussfaktoren einzufangen, wurde von drei Varianten der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung ausgegangen, die durch ein durchschnittliches Wachstum des Bruttoinlandsproduktes von 0,6% p.a., 2% p.a. bzw. 2,6% p.a. gekennzeichnet sind. Was die Entwicklung der weltweiten Energiepreise betrifft, wurden - orientiert an einer Analyse der langfristigen Grenzproduktionskostenentwicklung - drei Preisvarianten betrachtet, die durch eine Änderung des Preises für das leichte Heizöl von heute 32 Pf/l auf 50, 75 bzw. 160 Pf/l (realer Geldwert des Jahres 1986) charakterisiert werden können.

Figur 1
Entwicklung des Endenergie- und Stromverbrauchs in Baden-Württemberg (Referenzszenarien)

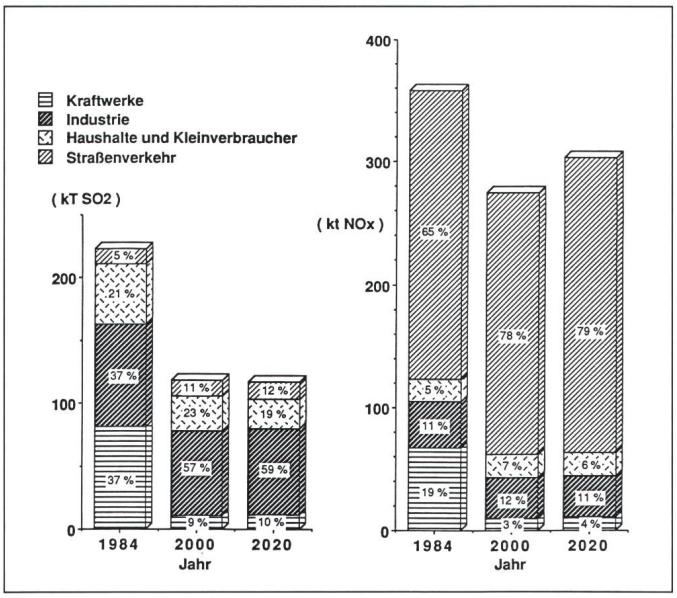


Figur 1 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den sogenannten Referenzszenarien. Diese gehen von einem Fortbestehen der gegenwärtigen energiepolitischen Rahmenbedingungen aus und dienen als Vergleichsmassstab für die Ermittlung der quantitativen Veränderungen in anderen Szenarien. Der Endenergieverbrauch bleibt bei mittlerer Wirtschaftsentwicklung und mittleren Energieträgerpreisen nahezu konstant auf dem Niveau des Jahres 1985, bei der unteren Wirtschaftsentwicklung und den oberen Energieträgerpreisen kommt es zu einem Rückgang des Endenergieverbrauchs um 25% gegenüber 1985, und bei der oberen Wirtschaftsentwicklung, gekoppelt mit den unteren Energieträgerpreisen, steigt der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 um 17% an, d.h. die durchschnittlichen Wachstumsraten des Endenergieverbrauchs liegen zwischen −0,8 und +0,5% p.a. Die Wachstumsraten des Stromverbrauchs liegen mit 0%, 0,9% bzw. 1,3% p.a. deutlich höher als die des Endenergieverbrauchs. Sie sind aber auch deutlich geringer als in der Vergangenheit. So ist z.B. der Stromverbrauch zwischen 1980 und 1985 durchschnittlich um 2,8% jährlich gewachsen.

In den Referenzszenarien wird der Strombedarfszuwachs vor allem durch die Kernenergie gedeckt. Bis 2020 werden zwischen ein und drei Kernkraftwerken mit einer Nettoleistung von 1258 MW zugebaut. Die realen, auf die Preisbasis von 1986 bezogenen Stromerzeugungskosten bleiben in allen Referenzszenarien über den gesamten Betrachtungszeitraum nahezu konstant bei 11 Pf/kWh.

Figur 2 verdeutlicht exemplarisch

Figur 2
Entwicklung der SO_2- und NO_X-Emission nach Emittentengruppen (mittleres Referenzszenario)



an der Entwicklung der SO_2- und NO_x-Emissionen die zukünftigen Umweltbelastungen aus der Nutzung fossiler Energieträger im mittleren Referenzfall bei einer weiteren Nutzung der Kernenergie. Dabei ist unterstellt, dass die heute beschlossenen Umweltgesetze bzw. -verordnungen weiter fortbestehen und nicht verschärft werden. Die SO_2-Emissionen gehen um rund 50% zurück, was im wesentlichen auf die bereits 1988 wirksam werdende, vollständige Entschwefelung der Kraftwerksrauchgase zurückzuführen ist. Bei den NO_x-Emissionen sind die Minderungen deutlich geringer. Zwar werden auch hier die Emissionen aus den Kraftwerken drastisch reduziert, die NO_x-Emissionen aus dem Verkehrssektor steigen nach einem Rückgang bis zum Jahr 2000 aber wieder an. Dies wird durch die zunehmende Verkehrsleistung der Diesel-Personen- und -Lastwagen verursacht, für die die gegenwärtig geltende Umweltschutzgesetzgebung keine Absenkung der spezifischen NO_x-Emissionen vorsieht. Die CO_2-Emissionen gehen aufgrund der Zurückdrängung der fossilen Energieträger von 71 Mio t (1985) auf 68 Mio t (2020) pro Jahr zurück.

Umwelteffekte eines Kernenergieausstiegs

Die Umweltfolgen eines Ausstiegs aus der Kernenergie hängen ebenso wie die energie- und gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen vom Zeitverlauf der Stillegung der Kernkraftwerke und der Art der Anpassungsstrategie ab, d.h. davon, wie der mit Abschaltung der Kernkraftwerke sich ergebende Leistungs- und Arbeitsausfall kompensiert wird. Stromeinsparung, Nutzung erneuerbarer Energiequellen, Wärme-Kraft-Kopplung und die Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen sind Optionen, die hierfür allein oder in Kombination zur Verfügung stehen. Es ist unmittelbar einsichtig, dass die Umwelt- und Kostenwirkungen eines Kernenergieverzichts bei einer Ausstiegsstrategie, die primär auf Stromeinsparung und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen setzt, andere sind als bei einer, die auf einen Ersatz der Kernenergie durch Kohle abhebt. Zwischen den Zielen, die einzel- und gesamtwirtschaftlichen Folgen bzw. die Umweltfolgen eines Kernenergieausstiegs zu minimieren, gibt es offensichtlich einen Zielkonflikt. Beides gleichzeitig ist wohl nicht erreichbar.

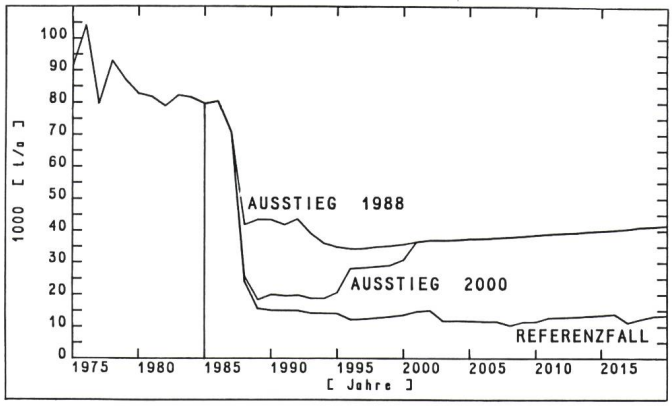
Allgemeine Regeln für die Ausgestaltung von Ausstiegsszenarien gibt es nicht, ausser der Forderung, dass sie im Hinblick auf die Fragestellung sinnvoll angelegt sein sollten, damit die Ausstiegseffekte analytisch sauber ermittelt werden können. Im Hinblick hierauf erscheint es wenig zielführend, wenn z.B. in einem Referenzszenario mit Kernenergienutzung die Möglichkeiten einer wirtschaftlichen Energieeinsparung oder der wirtschaftlichen Wärme-Kraft-Kopplung nicht ausgeschöpft werden und dann in einem Verzichtsszenario die Umwelt- und Kostenkonsequenzen mit diesen Massnahmen ermittelt werden.

Eine sinnvolle Festlegung der Ausstiegsstrategie sollte sich an den energiepolitischen Zielen einer ausreichenden, kostengünstigen, umweltschonenden sowie sozial- und nachweltverträglichen Energieversorgung orientieren. Im Referenz- wie im Ausstiegsszenario sind vergleichbare Anforderungen im Hinblick auf die Erreichung dieser Ziele zu unterstellen, z.B. die Minimierung der Gesamtkosten der Energiebereitstellung einschliesslich der Kosten der Massnahmen zur Einsparung von Energie bei gleicher Entwicklung der Gesamtwirtschaft und vergleichbaren Umweltschutzanforderungen, z.B. in Form von Emissionsstandards. Nur bei Beachtung derartiger Ceteris-paribus-Bedingungen ist eine analytisch saubere Ermittlung der Folgen eines Ausstiegs aus der Kernenergie möglich. Anzumerken ist noch, dass eine derartige Vorgehensweise natürlich Raum für die Durchrechnung unterschiedlicher, aber konsistenter Szenarien lässt, die sich in bezug auf die Erreichung der verschiedenen Ziele durchaus unterscheiden.

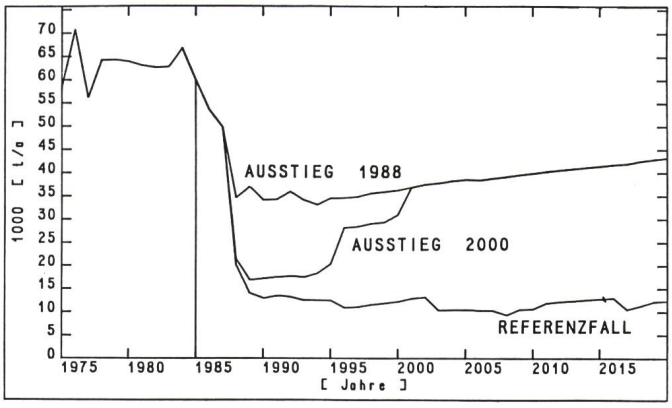
Ausstiegsszenarien, die diesen Anforderungen nicht genügen, werden gelegentlich damit begründet, dass eine weitere Nutzung der Kernenergie mit einer rationellen Energieverwendung, der Nutzung erneuerbarer Energiequellen und dem Ausbau der Wärme-Kraft-Kopplung nicht vereinbar sei. Ohne auf die dabei angeführten Begründungen im einzelnen eingehen zu können, sei dazu nur angemerkt, dass diese postulierte Inkompatibilität aus historischer Sicht falsch, technisch gesehen nicht existent und wirtschaftlich betrachtet unvernünftig ist.

Nach diesen grundsätzlichen Anmerkungen wird im folgenden auf die Umwelteffekte eines Kernenergieverzichts näher eingegangen. Das Schwergewicht liegt dabei auf dem Bereich der Luftschadstoffe; auf Fragen der Entsorgung von Reststoffen, z.B. der Asche oder von Produkten der Rauchgasreinigung, wird hier nicht eingegangen. Ebenso wird der Bereich der Risiken für die Gesundheit und das Leben, die von verschiedenen Energiesystemen ausgehen, ausgeklammert.

Die Figuren 3 und 4 zeigen die Auswirkungen zweier Kernenergieaus-



Figur 3 SO_2-Emissionen aus öffentlichen Kraftwerken in Baden-Württemberg



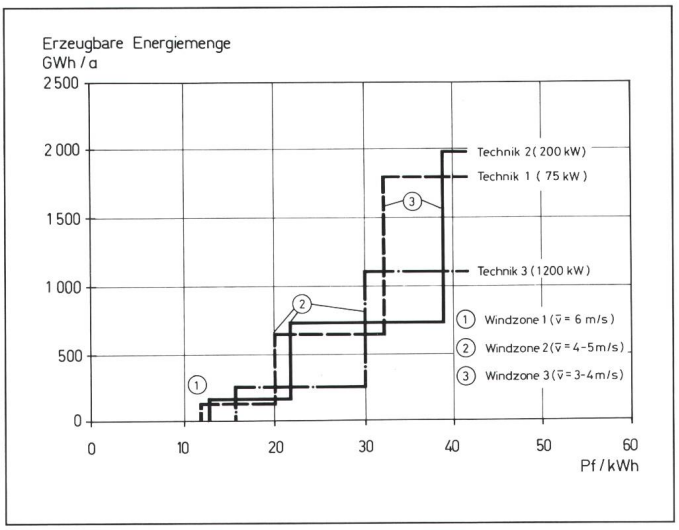
Figur 4 NO_X-Emissionen aus öffentlichen Kraftwerken in Baden-Württemberg

stiegsvarianten auf die Entwicklung der SO_2- und NO_x-Emissionen in Baden-Württemberg. Mit «Ausstieg 1988» ist dabei ein Szenario bezeichnet, in dem alle Kernkraftwerke am Ende des Jahres 1988 stillgelegt werden, während in der Variante «Ausstieg 2000» die Kernkraftwerke schrittweise bis zur Jahrhundertwende ausser Betrieb genommen werden.

In beiden Ausstiegsszenarien ist unterstellt, dass bei Erfüllung der Umweltschutzauflagen die elektrizitäts- und gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen eines Kernenergieverzichts sowohl durch nachfrageseitige als auch angebotsseitige Massnahmen minimiert werden sollen. Dabei ergibt sich, dass der überwiegende Teil des nicht mehr verfügbaren Kernenergiestroms ersetzt wird durch Strom aus mit Importkohle gefeuerten Kraftwerken (~96%). Die Ausweitung der Wärme-Kraft-Kopplung und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen übernehmen mit 2,5% bzw. 1,4% nur einen geringen Teil der zu ersetzenden Stromerzeugung. Dies führt dazu, dass in beiden Ausstiegsszenarien die SO_2- und NO_x-Emissionen aus Kraftwerken deutlich über denen des Referenzfalles liegen. Am Ende des Betrachtungszeitraumes ist das Emissionsniveau für beide Schadstoffe etwa dreimal höher als im Fall mit Kernenergienutzung, aber dennoch deutlich niedriger als das des Jahres 1985. Bezogen auf die Gesamtemissionen an NO_x und SO_2 bedeutet dies einen Anstieg der SO_2-Emissionen um 25% und bei den NO_x-Emissionen um 10%. Dabei ist noch zu erwähnen, dass die Stromerzeugungskosten sich im Falle eines Kernenergieausstiegs langfristig um 4 bis 8 Pf/kWh entsprechend 35 bis 70% erhöhen, je nachdem, ob eine preissteigernde Wirkung der durch den Kernenergieverzicht induzierten verstärkten Nachfrage nach Importkohle unterstellt wird oder nicht.

Eine Ausstiegsstrategie, die darauf abzielt, die zusätzlichen Schadstoffemissionen möglichst gering zu halten, dafür aber höhere Kostenwirkungen in Kauf nimmt, wird natürlich zu mengenmässig anderen Umwelteffekten führen als die zuvor erläuterten. Welche Bedeutung in diesem Zusammenhang die erneuerbaren Energiequellen und der Ausbau der Wärme-Kraft-Kopplung spielen können, soll im folgenden kurz angesprochen werden.

Figur 5
Das Windstrompotential in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von den Stromgestehungskosten



Erneuerbare Energiequellen

Im Rahmen der Arbeiten zum Energiegutachten Baden-Württemberg wurden unter Berücksichtigung der Entwicklungsfortschritte bei den Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen die technischen und wirtschaftlichen Potentiale dieser Energiequellen ermittelt. Das technische Potential gibt dabei die unter Berücksichtigung des Dargebots, der Umwandlungswirkungsgrade und von sonstigen Restriktionen technisch maximal bereitstellbare Energiemenge der jeweiligen Energiequelle an, während das wirtschaftliche Potential den möglichen Beitrag der erneuerbaren Energiequellen bezeichnet, der im Vergleich zu konkurrierenden Systemen zu gleichen oder geringeren Kosten bereitgestellt werden kann. Zur Ermittlung der wirtschaftlichen Potentiale wurden Potential-Kosten-Funktionen für die Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energiequellen verwendet,

	TWh/a
Technisch möglicher Beitrag	12,5
davon durch	
Wasserkraft	6,3
Windenergie	2,4
Photovoltaik	2,8
Biomasse	0,6
Müllverbrennung	0,4
Wirtschaftlich nutzbares Potential	5,7
davon heute bereits genutzt	4,1

Tabelle I Technisches und wirtschaftliches Potential der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Baden-Württemberg

die in Abhängigkeit von den Energiegestehungskosten die erzeugbare Energiemenge angeben. Figur 5 zeigt exemplarisch diese Potential-Kosten-Funktion für die Elektrizitätserzeugung aus Windenergie in Baden-Württemberg.

Der aus technischer Sicht, d.h. unter Nichtbeachtung von Wirtschaftlichkeitsaspekten, maximale Beitrag der erneuerbaren Energiequellen in Baden-Württemberg liegt langfristig bei rund 12,5 TWh/a (siehe Tab. I). Dies entspricht etwa 20% des in den Referenzszenarien ausgewiesenen Stromverbrauchs. Von diesem technischen Potential ist aber nur ein Teil auch wirtschaftlich nutzbar. Dieser wurde in den Referenzszenarien zu 5,7 TWh/a ermittelt, wovon heute schon 4,1 TWh/a genutzt werden.

Selbst eine Ausschöpfung des gesamten technischen Potentials der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Baden-Württemberg im Falle eines Kernenergieausstiegs könnte den Anstieg der NO_x- und SO_2-Emissionen im Zusammenhang mit der Stromerzeugung nur geringfügig reduzieren (~10%), auf keinen Fall aber auf einem Niveau stabilisieren, wie es sich bei Nutzung der Kernenergie einstellt. Die jährlichen Mehrkosten der Stromerzeugung würden rund 1000 Mio DM/a betragen. Bezieht man diese Mehrkosten auf die vermiedenen Schadstoffemissionen, so wird deutlich, dass sie erheblich höher liegen als bei anderen Möglichkeiten der SO_2- und NO_x-Emissionsminderung. Eine Reduktion der SO_2- und NO_x-Emissionen liesse sich durch andere Massnahmen wie z.B. Brennstoffentschwefelung oder Rauchgasreinigung wesentlich kosteneffizienter er-

zielen als durch eine massiv verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

Wärme-Kraft-Kopplung

Der Ausbau der Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) wird häufig als ein Weg genannt, den Anstieg der Schadstoffemissionen im Falle eines Kernenergieausstiegs zu vermeiden oder zumindest zu begrenzen.

Zunächst einmal ist festzuhalten, dass der Vorteil der Wärme-Kraft-Kopplung darin liegt, dass für die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme rund 30% weniger Energie eingesetzt werden muss als für die getrennte Erzeugung von Strom in einem Kraftwerk und von Wärme in einem Heizwerk oder in einem dezentralen Hausheizungskessel. Ob damit bei der Wärme-Kraft-Kopplung auch geringe Emissionen verbunden sind, hängt vom verwendeten Brennstoff und der WKK-Technik ab. In Tabelle II sind die SO_2- und NO_x-Emissionen verschiedener WKK-Anlagen denen eines Vergleichssystems für eine getrennte Erzeugung von Strom und Wärme, bestehend aus einem Kohlekraftwerk mit Entschwefelungs- und Denox-Anlage und einer Ölzentralheizung, gegenüberstellt. Die verschiedenen WKK-Anlagen weisen dabei teils höhere, teils niedrigere SO_2- bzw. NO_x-Emissionen als das Vergleichssystem auf. Ob durch einen Ausbau der Wärme-Kraft-Kopplung im Falle eines Kernenergieverzichts überhaupt Minderungen der Emissionen erreicht werden können, hängt somit davon ab, welche WKK-Techniken und welche Brennstoffe verwendet bzw. substituiert werden. Wenn durch geeignete WKK-Anlagen Emissionsminderungen erzielt werden können, dann stellt sich auch hier, wie bei den erneuerbaren Energiequellen, die Frage, ob diese Emissionsminderungen nicht durch andere Massnahmen kosteneffizienter erreichbar sind. Eine Frage, die für den jeweils konkreten Einzelfall zu beantworten ist.

Die Einsparung von Strom als Mittel zur Reduzierung der Umwelteffekte eines Kernenergieausstiegs ist nach genau denselben Prinzipen zu beurteilen wie die erneuerbaren Energiequellen und die Wärme-Kraft-Kopplung. Hinzu kommt, dass dabei zwischen einer echten Stromeinsparung und einer Stromsubstitution zu unterscheiden ist. Letztere ist nicht notwendigerweise mit einer Emissionsreduktion verbunden. An dieser Stelle wird auf die Stromeinsparung nicht näher eingegangen.

	Kohleheizkraftwerk mit Spitzenkessel, 70 MW_{th}, 11 MW_{el}					Blockheizkraftwerk, 35 MW_{th}, 16 MW_{el}	
	Rostfeuerung[1] t/a	Statische Wirbelschichtfeuerung t/a	zirk. Wirbelschichtfeuerung t/a	grosse Kohlestaubfeuerung[5] t/a	Vergleichssystem t/a	Blockheizkraftwerk t/a	Vergleichssystem t/a
SO_2-Emissionen							
- WKK-Anlage	413	165[6]	165[6]	83	41[2]	0	58[2]
- Spitzenkessel	8	8	8	8	60[3]	4	32[3]
Summe	421	173	173	91	101	4	100
NO_x-Emissionen							
- WKK-Anlage	165	124	83	83	41[2]	151/75[4]	57[2]
- Spitzenkessel	9	9	9	9	32[3]	4	17[3]
Summe	174	133	102	102	73	155/79[4]	74

[1] mit Trockenadditivverfahren
[2] Emissionen der Stromerzeugung in Kohlekraftwerken
[3] Emissionen der Wärmebereitstellung mit Ölzentralheizungen
[4] Grad der NO_x-Rückhaltung 80%/90%
[5] anteilige Emissionen
[6] Entschwefelungswirkungsgrad 80%

Tabelle II Jährliche SO_2- und NO_x-Emissionen von WKK-Anlagen sowie anteilige Emissionen eines Vergleichssystems aus Kohlekraftwerken und Ölfeuerungen

Kernenergieausstieg und das Kohlendioxidproblem

Der Problemkreis Kernenergieausstieg und Umweltfolgen wurde bisher exemplarisch am Beispiel der NO_x- und SO_2-Emissionen diskutiert. Abschliessend seien noch einige Anmerkungen zum Thema der globalen Umwelt- und Klimaprobleme gemacht, bei dem ggf. der Kernenergie eine wichtigere Rolle zukommt als bei der Lösung der NO_x- und SO_2-Problematik.

Generell gilt, dass jeder Verzicht auf eine weitere Kernenergienutzung, der mit einem Mehrverbrauch an fossilen Energieträgern verbunden ist, die Emissionen an CO_2 erhöht. Im Falle der zuvor erläuterten Kernenergieausstiegsszenarien für Baden-Württemberg führt der Verzicht auf die weitere Nutzung der Kernenergie zu einem Anstieg der CO_2-Emissionen um rund 50% im nächsten Jahrhundert. Weltweit betrachtet werden gegenwärtig durch die Nutzung der Kernenergie CO_2-Emissionen in der Grössenordnung von etwa 1400 Mio t/a vermieden, was rund 7% der gesamten CO_2-Freisetzung durch fossile Energienutzung entspricht. Das langfristig erschliessbare weltweite CO_2-Minderungspotential der Kernenergie ist wesentlich grösser, insbesondere dann, wenn die Möglichkeiten des Einsatzes von Kernenergie zur Erzeugung nichtelektrischer Sekundärenergie wie Fernwärme und Wasserstoff mit in die Betrachtungen einbezogen werden. Wichtiger als das grosse, prinzipiell vorhandene CO_2-Minderungspotential, das natürlich auch die erneuerbaren Energiequellen besitzen, scheint aber das Faktum zu sein, dass die Kernenergie bereits heute Möglichkeiten einer besonders kosteneffizienten CO_2-Emissionsminderung bietet. Diesem Aspekt kommt insbesondere dann eine zentrale Bedeutung zu, wenn weltweite CO_2-Minderungsziele erreicht werden sollen, die auch die Entwicklung der Energieversorgung in den Ländern der Dritten Welt direkt oder indirekt tangieren. Erste Untersuchungen der CO_2-Emissionsminderungsmöglichkeiten und der damit verbundenen Auswirkungen für die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland zeigen, dass eine Reduzierung der CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2030 auf rund ein Drittel bei Nichtnutzung der Kernenergie zu Gesamtkosten der Energieversorgung führt, die doppelt so hoch wie bei weiterer Nutzung der Kernenergie sind [3]. Weitere Arbeiten und Untersuchungen zu diesem Problemkreis, die auch der weltweiten Dimension Rechnung tragen, scheinen dringend geboten.

Zusammenfassung

Die Auswirkungen eines Kernenergieausstiegs auf die Umwelt sind ein wesentlicher Gegenstand der öffentlichen Diskussion über die weitere Nutzung der Kernenergie. Es wurde hier der Versuch gemacht, die Umweltfolgen eines Kernenergieausstiegs exemplarisch für einige wichtige Luftschadstoffe am Beispiel von Baden-Württemberg darzulegen. Natürlich sind die Umweltfolgen nur ein Teilaspekt der im Zusammenhang mit einem Kernenergieverzicht zu betrachtenden Auswirkungsbereiche.

Die nachfolgenden Schlussfolgerungen stellen daher nicht nur auf die Frage der Umweltwirkungen eines Kernenergieausstiegs, sondern auf die Gesamtproblematik eines Kernenergieverzichts ab. Obwohl diese Schlussfolgerungen auf Analysen für Baden-Württemberg aufbauen, lassen sie sich zum grossen Teil auch auf andere Länder und Regionen übertragen. Sie orientieren sich an der Vorstellung, dass Energiepolitik und Energiewirtschaft zur Verwirklichung eines Energiesystems beitragen sollen, das

- ein auf die Bedürfnisse der Bürger ausgerichtetes und ausreichendes Energieangebot sicherstellt,
- die erforderliche Energie möglichst effizient bereitstellt und nutzt, so dass die langfristigen volkswirtschaftlichen Gesamtkosten möglichst gering sind,
- mit der Ressource Umwelt effizient und schonend umgeht,
- Leben und Gesundheit der Menschen möglichst wenig beeinträchtigt,
- mit der sozialen Ordnung und Entwicklung verträglich ist und
- den Belangen der Völker der Dritten Welt sowie der zukünftigen Generationen Rechnung trägt.

Schlussfolgerungen

1. Die Entwicklung des Energie- und Stromverbrauchs in Baden-Württemberg wird durch vergleichsweise geringe Zuwachsraten geprägt sein. Dennoch besteht eine beachtliche Unsicherheitsbandbreite, die den energiepolitischen Entscheidungen und Planungen zugrunde zu legen ist.
2. Die Möglichkeit einer grundsätzlichen Umstrukturierung der Energieversorgung Baden-Württembergs ist gegenwärtig nicht existent, wenn man sich nicht am prinzipiell technisch Machbaren, sondern am Ziel einer effizienten Bereitstellung und Nutzung der Energie zu gesamtwirtschaftlich vertretbaren Kosten orientiert.
3. Es ist heute keine neue Energiequelle oder Energietechnik verfügbar, die es aufgrund ihres Versorgungspotentials und ihrer Kosten und Kostenerwartungen erlaubt, sie heute als tragende Säule eines zukünftigen Energiesystems anzusehen, um bereits jetzt Schritte zur Umstrukturierung der Energieversorgung einzuleiten.
4. Allein aus versorgungstechnischer Sicht betrachtet, ist ein Verzicht Baden-Württembergs auf Kernenergie machbar.
5. Ein Kernenergieverzicht hätte beachtliche Kosten- und gesamtwirtschaftliche Wirkungen
   - Erhöhungen der Stromerzeugungskosten um 30 bis 70%.
   - Verlust der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der stromintensiven Industrie.
6. Ein Kernenergieausstieg, der die negativen wirtschaftlichen Konsequenzen möglichst klein halten will, hat erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt. Als wesentliche Umweltwirkungen ergeben sich Erhöhungen der NO_x-, SO_2- und Staub-Emissionen aus Kraftwerken um rund 300%. Die Kohlendioxidemission nimmt um 50% zu.

Literatur

[1] Energiebericht der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft, 24.9.1986.

[2] *Voss, A.* (Projektleitung): Perspektiven der Energieversorgung. Möglichkeiten der Umstrukturierung der Energieversorgung Baden-Württembergs unter besonderer Berücksichtigung der Stromversorgung. Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, Stuttgart, November 1987.

[3] *Wagner, H.J.*: Kernenergieausstieg und CO_2-Emission. Vortrag KFA-Kolloquium, Jülich, 10. Juni 1988.

[4] *Voss, A., Friedrich, R., Kaltschmitt, M.*: Folgen eines Kernenergieverzichts. Eine kritische Analyse vorliegender Ausstiegsuntersuchungen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 12, Dezember 1986.

[5] *Wiesner, G.*: Verzicht auf die Nutzung der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland – Vergleich zehn aktueller Studien. ifo-Schnelldienst 8/88.

Ausstieg aus der Kernenergie: Ein Rückschlag für den Umweltschutz?

Zu diesem Thema veranstaltete die Schweizerische Vereinigung für Atomenergie (SVA) am 17. Oktober 1988 eine Informationstagung in Zürich-Oerlikon. Die nachfolgend aufgeführten Referate, von denen zwei in diesem Bulletin veröffentlicht werden, sind auch als Tagungsband bei der SVA, Postfach 2613, 3001 Bern, zum Preis von Fr. 30.– erhältlich.

- Energy and the Environment – A Global View and Strategies
  Energie und Umwelt – eine globale Sicht und Strategien
  (Deutsche Kurzfassung des englischen Referats)
  Janos Pasztor, Programme Officer, responsible for the Energy Unit, United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi
- Das Luftreinhalte-Konzept Schweiz – Ziele und Massnahmen
  Prof. Dr.sc.nat. *Hans-Urs Wanner*, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Eidg. Technische Hochschule Zürich, Präsident der Eidg. Kommission für Lufthygiene
- Globale Umweltprobleme – wie der Treibhauseffekt – und Folgerungen für die Energiepolitik[1]
  Prof. Dr. *Hans Oeschger*, Physikalisches Institut der Universität Bern
- Elektrizitätserzeugung, Gesundheit und Umwelt
  Dr.sc.techn. *Andreas F. Fritzsche*, Pontresina
- What Would the Environemental Problems Be in Sweden Should it Abandon Nuclear Power?
  Wie löst Schweden im Falle eines Ausstiegs die Umweltprobleme?
  (Deutsche Übersetzung des englischen Referats)
  Carl-Erik Wikdahl, Secretary General, Swedish Atomic Forum, Stockholm
- Die Umweltaspekte in der Kernenergiediskussion in der Bundesrepublik Deutschland – am Beispiel Baden-Württemberg[1]
  Prof. Dr. Ing. *Alfred Voss*, Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE), Universität Stuttgart

[1] In diesem Bulletin veröffentlicht