

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 64 (1973)
Heft: 20a: Sondernummer des VSE über den UNIPEDE-Kongress in Den Haag

Artikel: Energie für die Zukunft
Autor: Went, J.J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915612>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Energie für die Zukunft

Festvortrag anlässlich der feierlichen Eröffnung des Kongresses von Prof. J. J. Went, technische Universität Delft

1. Klassische Energiequellen und der Stand ihrer Kapazität

Die Sonne liefert unserem Planeten eine grosse Menge Energie, so dass auf dem grössten Teil der Erdoberfläche das biologische Leben der Pflanzen, der Tiere und selbst des Menschen möglich ist. Dies hängt von den Klimabedingungen ab, herührend von der Sonne in den unteren Schichten der Atmosphäre. Das Sonnenlicht bewirkt auch die Photosynthese der grünen Pflanzen, durch die Wasser und Kohlendioxyd, beide in praktisch unbegrenzten Mengen vorhanden, in Kohlenhydrate – in pflanzliche Stoffe, einschliesslich Holz – umgewandelt werden. Die meisten dieser organischen Substanzen gehen nach einer gewissen Zeit zugrunde und zerfallen wieder in Wasser und Kohlendioxyd, mit Ausnahme einer kleinen Menge, die der Ernährung des Menschen und der Tiere dient. Während vieler Jahrtausende hat der Mensch das Holz als zusätzliche Energiequelle verwendet, um seine Nahrung zu kochen, um zu heizen usw. Ein sehr kleiner Teil der abgestorbenen organischen Stoffe wurde durch plötzliche Umstände der Verrottung entzogen und es konnten sich fossile Stoffe bilden. Unsere Brennstoffe wie zum Beispiel die Kohle, Erdöl und Erdgas stammen aus Versteinerungsvorgängen und werden nun vom Menschen ausgiebig als zusätzliche Energiequelle genutzt.

	Zusatzenergie Sonnenergie		
	1860	1972	2000
	1	1	1
	1 000 000	10 000	3 000

Das Verhältnis dieser Zusatzenergie zu jener, welche die Erde direkt von der Sonne erhält, war im Jahre 1860 etwa 1:1 000 000. Infolge der am Ende des letzten Jahrhunderts beginnenden «industriellen Revolution» ist dieses Verhältnis etwa hundertmal grösser geworden, d.h. 1:10 000. Auch wenn der Energieverbrauch in den schon stark industrialisierten Ländern, wie zum Beispiel in den Vereinigten Staaten, nicht mehr anwachsen sollte, so wird dieses Verhältnis noch weiter anwachsen und wird im Jahre 2000 noch dreimal grösser sein, also etwa 1:3 000; dies unter Berücksichtigung der Vermehrungsrate der Weltbevölkerung und des gesteigerten Lebensstandards, mindestens in den Entwicklungsländern. Diese Schätzung ist eher bescheiden, wenn man in Betracht zieht, dass gegenwärtig der Energieverbrauch pro Einwohner in den Vereinigten Staaten etwa fünfzigmal höher ist als in Indien, so dass eine gesteigerte Zuhilfenahme von Zusatzenergie in der ganzen Welt nicht nur wahrscheinlich, sondern geradezu wünschbar ist.

Selbst wenn man voraussetzt, dass die Menschheit intelligent genug sei, um den Energieverbrauch nach dem Jahre 2000 so einzuschränken, dass dieser nicht noch mehr steigt, so werden die Vorräte an fossilen Brennstoffen in keiner Weise genügen, um den zukünftigen Energiebedarf zu befriedigen. Dies ist offensichtlich, wenn man sich vor Augen hält, dass wir die fossilen Brennstoffe eine millionmal schneller verbrauchen, als die Natur diese produziert.

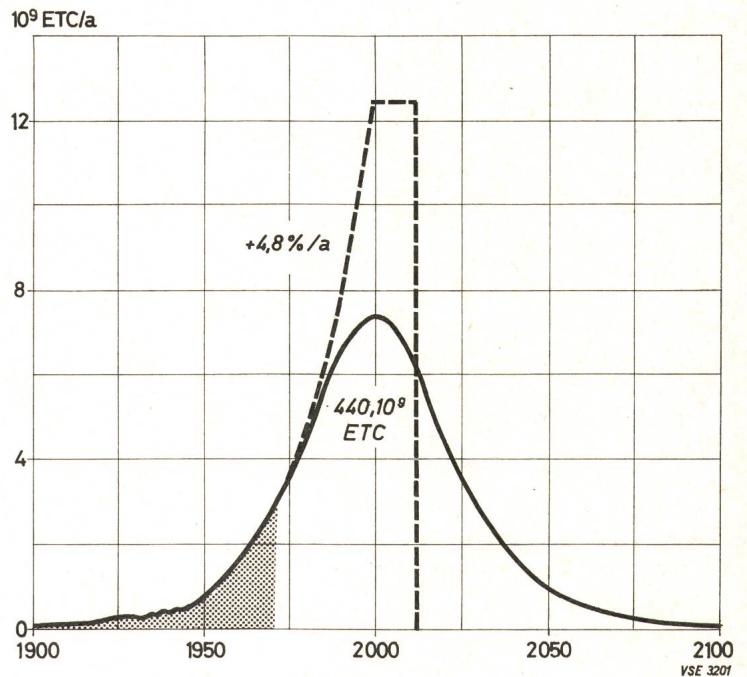


Fig. 1
Graphische Darstellung der geschätzten Weltreserven an Erdöl (ausgezogene Linie) und der Bedarf an Erdölprodukten (gestrichelte Linie) in Äquivalenztonnen Kohle (ETC) ausgedrückt

Eine einzige graphische Darstellung genügt, um die Schwere der Situation zu illustrieren. Die Abbildung 2 zeigt den Erdölverbrauch bis 1972. Für die Schätzung der vorhandenen Erdölreserven basierte man auf einem Verbrauch, wie er durch die Glockenkurve in Abb. 2 gezeigt wird, da es falsch wäre, bis zur vollständigen Erschöpfung der Erdölquellen einen steigenden Verbrauch anzunehmen, wie dies wünschbar wäre, falls keine schwerwiegenden Einschränkungen vorhanden wären und falls die Steigerung des Erdölverbrauchs sich in bescheidenen Grenzen von etwa 4,8% pro Jahr bewegen würde. Die wesentliche Schlussfolgerung daraus ist, dass in einigen Jahrzehnten das Erdöl durch einen anderen Brennstoff ersetzt werden muss.

Falls man das Erdöl auch in den bituminösen Schiefern und in teerhaltigen Sandsteinschichten ausbeuten könnte, so wäre es vielleicht möglich, die Reserven zu verdoppeln. Wenn ausserdem die Weltreserven an Kohle – von denen die Sowjetunion und die Vereinigten Staaten 84% besitzen, und nur 16% sich in der restlichen Welt befinden – auch noch zur Befriedigung unseres Energiebedarfes herangezogen werden könnten, statt dass sie der Produktion von wertvolleren chemischen Produkten vorbehalten wären, so könnte die Periode der fossilen Brennstoffe noch um anderthalb Jahrhunderte verlängert werden. In welchem Masse diese Zukunftsperspektive für die Menschheit annehmbar sein mag, ist die schwerwiegende Frage, die sich unsere Gesellschaft stellt.

Andererseits kann noch niemand mit Gewissheit die Auswirkungen auf die Atmosphäre voraussagen, welche die Verwendung von fossilen Brennstoffen im grossen Maßstab haben würde. Man hat beobachtet, dass mit der gegenwärtigen Energieproduktion nahezu 40% des durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen produzierten Kohlendioxids nicht im natürlichen Kreislauf der Atmosphäre verbraucht wird, sondern dass sich im Gegenteil der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre im Laufe der letzten Jahrzehnte um 7% erhöht hat. Die Frage, in welchem Masse dies unsere klimatologischen Verhältnisse verändern wird, ist ein strittiger Punkt unter Wissenschaftlern.

Wie es auch sei, die allgemeine Schlussfolgerung, die man daraus zu ziehen hat ist, dass andere Energiequellen benötigt werden, um die Zukunft unserer Zivilisation zu gewährleisten, und zwar in wesentlich grösseren Mengen, als es allein die geschätzten Reserven an fossilen Brennstoffen zu bieten vermögen. Der Ersatz von nur 25% unserer Energie durch eine nicht-fossile Energie würde nichts Wesentliches an der Situation ändern.

2. Nukleare Energiequelle und der Stand ihrer Kapazität

Der erste Abschnitt betreffend die Verfügbarkeit der fossilen Brennstoffe gipfelte in der Schlussfolgerung, dass es von äusserster Wichtigkeit ist, dass in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts die Kernenergie unseren zukünftigen Energiebedarf befriedigen hilft.

Man weiss, dass bis jetzt lediglich die Energie aus der Kernspaltung so entwickelt wurde, dass es technisch möglich ist, dieses Verfahren zur Gewinnung von Energie zu verwenden. In welchem Masse einmal in Zukunft auch die Kernfusion zur Energiegewinnung eingesetzt werden kann, bleibt ungewiss. Darum beschränken wir uns in diesem Teil nur auf die aus der Kernspaltung gewonnene Energie.

Die von unserer Gesellschaft in bezug auf die Kernenergie vorgebrachten Einwände sind bestens bekannt. Da diese aber viel mehr emotionell und politisch, als technisch und wissenschaftlich bedingt sind, so glaube ich, dass es wirklich wichtig ist, gewisse dringende Fragen betreffend die Kernenergie zu diskutieren.

Meiner Ansicht nach sind die drei wichtigsten Fragen die folgenden:

1. Welches ist der Stand der Lieferkapazität für Kernenergie?
2. Sind die Kernreaktoren genügend sicher für die Umwelt?
3. Ist es möglich, in aller Sicherheit die radioaktiven Rückstände einzulagern?

2.1 Liefermöglichkeiten für die nuklearen Rohmaterialien

Es ist bekannt, dass das natürliche Thorium und Uran die Rohmaterialien für die Herstellung von Kernenergie sind. Allerdings können nur etwa 0,7% aller in der Natur gefundenen Uranatome (U235) für die direkte Kernspaltung verwendet werden, während die restlichen 99,3% der Uranatome (U238) und die Gesamtheit der Thoriumatome (Th232) vorerst in andere spaltbare Atome umgewandelt werden müssen, und zwar durch einen Prozess, den man mit einem hohen Wirkungsgrad nur in einem sogenannten Brutreaktor anwenden kann. Das Uran 238 wird in solchen Brutreaktoren in Plutonium 239, und das Thorium 232 in Uran 233 umgewandelt.

Obwohl praktisch in allen Kernreaktoren die Umwandlung nur zu einem kleinen Teil geschieht, so dass nur etwa 1 bis 2% aller natürlichen Uranatome in den gegenwärtigen Leichtwasserreaktoren eine Umwandlung erfährt, wird es in den zukünftigen Brutreaktoren möglich sein, von 30 bis 70% der Uran- oder Thoriumatome eine Spaltung zu erhalten.

Dieser Unterschied von 1:30 zwischen den gegenwärtigen Leichtwasserreaktoren ohne Bruteigenschaften – mit einem Ausnutzungskoeffizienten von 1 bis 2% des Rohmaterials – und den zukünftigen Brutreaktoren – die zwischen 30 und 70% des Rohmaterials verwenden können –, ist noch wichtiger als nur eine Erhöhung der Energieproduktion um einen Faktor dreissig für die gleiche Rohstoffmenge. Wenn man mit der gleichen Rohstoffmenge dreissigmal mehr Energie produzieren kann, so ist es im Prinzip auch möglich, dreissigmal teurere Rohmaterialien zu verwenden. Was das Uran anbelangt, so bedeutet dies, dass man auch Uranvorkommen mit sehr schwachem Urangehalt ausbeuten könnte, wie z.B. die Ozeane. Es folgt daraus, dass wenn man nach dem Jahre 2000 erreichen könnte, den Verbrauch an zusätzlicher Energie auf einem konstanten Niveau von 30×10^9 Äquivalenztonnen Kohle zu halten (nachdem heute der Weltverbrauch bei 10×10^9 Äquivalenztonnen Kohle liegt), dass dann ein Prozent des Urangehaltes genügen würde, um den Energiebedarf für 2000 Jahre sicherzustellen.

Als Schlussfolgerung kann man sagen, dass der zusätzliche Energiebedarf in Zukunft durch die Atomenergie und durch Brutreaktoren gedeckt werden könnte.

2.2 Sicherheit der Kernreaktoren

Die Sicherheit der Kernreaktoren benötigt mehr Aufmerksamkeit als die Sicherheit von klassischen Kraftwerken. Dies ist durch die Tatsache bedingt, dass die Abfallprodukte von solchen Kernreaktoren radioaktiv sind, während bei den mit den traditionellen fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerken die schädlichen Abfallstoffe aus Kohlendioxidgas, aus einer kleinen Menge von schwefliger Säure und aus Stickoxyden bestehen. Wie schon erwähnt, kann das Kohlendioxid mit der Zeit die atmosphärischen Bedingungen auf weltweiter Ebene verändern, dagegen können die radioaktiven Abfälle schon nach kurzer Zeit für die unmittelbare Umgebung eines Kernkraftwerkes eine potentielle Gefahr darstellen. Nur wenn man die Abdichtung der Behälter mit radioaktivem Material garantieren kann, ist die Produktion von nuklearer Energie in aller Sicherheit möglich. Diese Garantie kann jedoch nur durch einen dreifachen Behälter erfüllt werden, und der dritte Behälter muss erst noch von den zwei anderen unabhängig sein.

Mit den schnellen Brütern, die wir heute kennen, ist der erste Behälter für die radioaktiven Spaltprodukte die Hülle der

Brennstoffelemente. Der zweite Behälter wird durch den eigentlichen Reaktor gebildet, während der dritte in Form eines gasdichten Gebäudes vorhanden ist, das den ganzen Reaktor umschliesst. Die Sicherheitsgarantie besteht also darin, dass wenn der erste Behälter defekt werden sollte, infolge von Defekten an den Brennstoffelementen oder wegen einer Panne im Reaktorsystem, es absolut unmöglich sein sollte, dass der äussere Behälter (das Gebäude) ebenfalls undicht wird. Dies läuft darauf hinaus, dass die Energieentwicklung des Reaktors durch das mechanische Steuersystem mit einer solchen Schnelligkeit abgeschaltet werden muss, dass keine thermische Beschädigung des gasdichten Behälters vorkommen kann. Praktisch bedeutet dies, dass das Steuersystem in mehr als zwei voneinander unabhängige Abschaltsysteme unterteilt werden muss.

Bei den thermischen Brutreaktoren mit flüssigem Brennstoff ist das Reaktorsystem so verschieden, dass die drei Sicherheitsbehälter ebenfalls gänzlich verschieden ausgebildet sind. In einem Reaktor mit flüssigem Brennstoff befinden sich die Spaltprodukte im umgewälzten flüssigen Brennstoff, das heisst im ganzen System. Darum sind um den Reaktor herum zwei unabhängige Sicherheitsbehälter angeordnet. Die Kontrolle eines solchen Reaktors, um jedes Entweichen von Energie zu verhindern, ist relativ einfach. Die Reaktivität des Reaktors hat einen schnellen negativen Temperaturkoeffizienten. Dies bedeutet, dass wenn die Wärmeabführung aufhört, auch die Energieproduktion aufhört, da die Innentemperatur des Systems nicht über einen bestimmten Wert steigen kann. Jeder Unterbruch am System bewirkt ebenfalls den Unterbruch der Energieproduktion, denn entsprechend den physikalischen Grundbedingungen muss jede unterschiedliche Verteilung des Kernbrennstoffes zwischen dem Reaktorkern und der Umgebung die Abschaltung des Reaktors zur Folge haben.

Selbstverständlich muss zur Vermeidung eines Lecks am eigentlichen Reaktor das Reaktorgefäss eine sehr hohe Abdichtungssicherheit aufweisen, darum wurde das den Reaktor umgebende Sicherheitsbehältersystem verdoppelt.

2.3 Lagerung der radioaktiven Abfälle

Praktisch alle aus den Spaltprozessen hervorgehenden Produkte sind radioaktiv, mit Zerfallskonstanten, die von einigen Sekunden bis zu 30 Jahren gehen. Die Zerfallskonstante wird als die Zeit definiert, während der die Hälfte eines bestimmten Spaltproduktes in ein anderes, nicht oder weniger radioaktives Spaltprodukt umgewandelt wird. Zwanzig Halbwertszeiten, das heisst zwanzigmal die Verringerung der Radioaktivität um einen Faktor 2, bedeuten also eine Gesamtabnahme der Radioaktivität um einen Faktor von 2^{20} respektive um einen Faktor von einer Million. Diese Zahl ist genügend klein, um, im Verhältnis zur ursprünglichen Radioaktivität, vernachlässigt werden zu können.

Für die Lagerung von Spaltprodukten genügt also eine Zeit von $20 \times 30 = 600$ Jahren, um den vollständigen Zerfall aller Spaltprodukte zu gewährleisten.

Wegen diesem physikalischen Phänomen des Zerfalls der radioaktiven Materialien wird eine «sichere» Lagerung während einigen hundert Jahren benötigt. Unter einer «sicheren» Lagerung versteht man einen Ort, wo es dem radioaktiven Material unmöglich ist, während der benötigten Lagerzeit mit der Erdoberfläche oder mit unterirdischen Wasseradern in Berührung zu kommen.

Es gibt zahlreiche geologische Formationen, die für eine solche Lagerung annehmbar wären, wie zum Beispiel Salzschieben von einigen Metern Dicke; allerdings dürften diese Formationen vom Menschen noch nicht für andere Zwecke genutzt worden sein, wie etwa Salzbergwerke oder zur Lagerung von Erdöl usw. Da die Salzschieben ein Alter von mehreren Millionen Jahren aufweisen und sie infolgedessen keine Auswaschung erfahren haben, ist es sicher, dass solche Salzschieben nach ihrer Bildung nicht mehr Kontakt mit Wasser hatten.

Eine der interessantesten Methoden, die Spaltprodukte in den Salzschieben einzulagern, wurde unter anderem vom Euratom-Laboratorium in Ispra in Italien vorgeschlagen; wir werden diese Methode kurz beschreiben:

Nach einigen Jahren des Betriebs eines Kernreaktors werden die Spaltprodukte in einer Wiederaufbereitungsanlage verarbeitet, um sie von den Nuklearbrennstoffen zu trennen, die zwar ein wertvolles brutfähiges Material darstellen, aber gleichzeitig auch eine gefährliche Radioaktivität aufweisen. Wenn diese Trennung mit einer Ausbeute von 100% und nicht 99% oder 99,5%, wie es heute der Fall ist, vorgenommen werden könnte, so wäre eine Lagerung der Abfälle während einigen hundert Jahren, wie schon erwähnt, genügend. Wenn man die Spaltproduktebehälter mit einer solchen Menge von radioaktivem Material füllen würde, dass die Zerfallswärme die Oberfläche des Behälters bis zum Schmelzpunkt des Salzes erwärmen würde, so würde sich der Behälter, wenn er durch ein Bohrloch in die oberste Salzschiebe verbracht würde, selbst durch den Schmelzvorgang einen Weg nach unten bahnen. Wenn man nun den Behälter nicht nur mit Spaltmaterial einer langen Halbwertszeit, sondern auch mit einer gewissen Menge von Spaltprodukten mit kurzer Halbwertszeit füllen würde, so würde die Wärmeentwicklung und die Temperatur an der Behälteroberfläche mit der Zeit kontinuierlich abnehmen und damit auch das Absinken in der Salzschiebe. Auf diese Weise ist es möglich, dass der Behälter auf eine bestimmte Tiefe absinkt, ohne je den Grund der Salzformation zu erreichen.

Allerdings ist es bis heute noch nicht möglich, die Trennung der Spaltprodukte und des transuranischen Brutmaterials mit einer 100% Ausbeute vorzunehmen, was die Situation etwas komplizierter macht.

Die schädlichen Eigenschaften von gewissen Transuranen sind einerseits die Alpha-Strahlung, die in gewisser Hinsicht gefährlicher ist als die Beta- oder Gamma-Strahlung der Spaltprodukte, andererseits die besonders langen Halbwertszeiten von gewissen Transuranen, die bis zu tausendmal länger als die Halbwertszeiten der Spaltprodukte sind. Meiner Ansicht nach sind Lagerzeiten von einer geologischen Dauer von einer halben Million Jahre nicht annehmbar.

Ein Vorschlag zur Vermeidung dieser Probleme, der aber eine grosse Menge von physikalischen Kenntnissen über die Spaltprodukte, als auch über die Transurane benötigt, wurde der EURATOM durch die niederländische Regierung unterbreitet. Dieser Vorschlag besteht darin, die in den Spaltabfällen nach der vorangehenden Abtrennung der Mehrzahl der Transurane verbleibenden transuranischen Atome mit physikalischen Mitteln zu verbrennen. Ohne auf die Einzelheiten einzugehen – was den Rahmen dieser Darlegung sprengen würde – scheint es möglich zu sein, kleine Mengen von gefährlichen Transuranen mit Hilfe von schnellen Neutronen, wie sie im Zentrum

von schnellen Brütern gebildet werden, zu verbrennen. Die Spaltung von transuranischen Elementen vollzieht sich leicht durch Einfangen von schnellen Neutronen, so dass die gefährlichen Transurane in weniger gefährliche Spaltprodukte umgewandelt werden können.

Obwohl diese Methoden für die Einlagerung im grossen Maßstab bestimmt sind, bilden sie doch eine Notwendigkeit; für die heute noch geringe Produktion an Kernenergie ist jedoch die gegenwärtige Lagerung in einem entsprechend konditionierten Behälter eine annehmbare Lösung für die Weiterentwicklung der Atomenergie.

Ich möchte deshalb den zweiten Teil meines Exposé mit der Feststellung schliessen, dass das Uran und das Thorium mit einer genügenden Sicherheit die für die Zukunft unserer Zivilisation benötigte Energie zu liefern vermögen.

3. Die Kernspaltungsenergie

Obwohl die Kernspaltung, wie dies schon erklärt wurde, der Menschheit genügend Energie in einer annehmbaren und sicheren Form geben könnte, wird sie bis jetzt ausschliesslich für die Herstellung von elektrischer Energie verwendet.

Heute werden ungefähr 25% aller primären Brennstoffe zur Produktion von elektrischer Energie verwendet. Da nun aber die Umwandlung der fossilen Brennstoffe in elektrische Energie mit einem Wirkungsgrad von 30 bis 40% erfolgt, so kann man sagen, dass gegenwärtig nicht mehr als 8% aller primären Brennstoffe dem Verbraucher in Form von elektrischer Energie geliefert werden.

Aus dem gleichen Grunde werden 75% aller fossilen Brennstoffe direkt an die Verbraucher geliefert. Dies bedeutet zwischen elektrischer Energie und fossiler Energie ein Verhältnis von etwa 1:10.

Es ist zu erwarten, dass dieses Verhältnis wegen den speziellen Anwendungsgebieten der Elektrizität und auch infolge der allgemeinen Tendenz, eine Energie von höherem Niveau zu verwenden, abnimmt. Es scheint aber auch wenig wahrscheinlich, dass dieses Verhältnis unter 1:3 oder gar 1:2 sinken könnte.

Einmal produziert, ist die Elektrizität im eigentlichen Sinne ein wirkungsvoller Energieträger und sie verschmutzt die Umwelt am Verbrauchsort absolut nicht. Es gibt jedoch zwei Aspekte, welche die Elektrizität nicht als so ideal erscheinen lassen, wie man glauben könnte. Sie kann nämlich nicht in Form von elektrischer Energie gelagert werden, was bedeutet, dass sie unmittelbar bei Bedarf hergestellt werden muss, und im Vergleich zum Erdöl und zum Erdgas ist ihr Transport in grossen Mengen um ein Mehrfaches teurer. Der Transport von grossen Mengen elektrischer Energie scheint indessen unumgänglich zu sein, wenn die Kühlwasserprobleme der grossen Atomkraftwerke dadurch gelöst werden müssten, dass diese in der Nähe der Meere gebaut werden.

Es wurden mehrfach Vorschläge unterbreitet, die alle darauf hinauslaufen, dass neben der Elektrizität auch Wasserstoffgas als zusätzlicher Energieträger verwendet wird. Einmal ist der Wasserstoff bei der Verbrennung in Luft ebenso sauber wie die Elektrizität. Nur bei sehr hohen Temperaturen werden giftige Stickoxyde gebildet. Zweitens ist der Transport von Wasserstoff nur wenig teurer als der Transport von Erdgas und somit viel billiger als der Transport von Elektrizität. Drittens

kann der Wasserstoff aus Wasser gewonnen werden, also aus einem Stoff, der überall zur Verfügung steht. Schliesslich und endlich kann er zum Beispiel in leeren Erdgaslagerstätten eingelagert werden.

Die Produktion von grossen Mengen billigen Wasserstoffs aus Wasser ist ein Problem, das man seriös studieren sollte.

Die Elektrolyse von Wasser ist ein bekanntes Verfahren. Man produziert vorerst Elektrizität und benützt dann diese zur elektrolytischen Aufspaltung des Wassers unter hohem Druck. Der Gesamtwirkungsgrad dieser zwei kombinierten Verfahren beträgt nur etwa 25 bis 30%. Mit diesen heute sehr bekannten Technologien scheint es möglich zu sein, den Wasserstoff auf wirtschaftlich annehmbare Weise mit der Überschussproduktionskapazität herzustellen, also mit jener Kapazität, welche vom Netz nicht verwendet wird, lediglich unter Ausnützung der vorhandenen installierten Kapazitätsreserven. Wir haben hier nicht die Zeit, diese Möglichkeiten näher zu untersuchen.

Eine Produktionsmethode für grosse Mengen Wasserstoff, ohne Zweifel vielversprechend, aber noch nicht zur Verfügung stehend, wäre die Aufspaltung des Wassers auf rein chemischem Wege bei hohen Temperaturen. Diese Verfahren werden in kleinem Maßstab in Europa und in den USA ausprobiert.

Das Wasser zerfällt bei Temperaturen über 2500 °C spontan. Allerdings besitzen wir noch nicht genügend widerstandsfähige Materialien, um dieses Verfahren anwenden zu können. Darum muss die Möglichkeit untersucht werden, das Wasser nicht auf einmal auf 2500 °C aufzuheizen, sondern in mehreren Schritten, mit Zwischentemperaturen, die 800 bis 900 °C nicht überschreiten. Im Prinzip könnte man für dieses Verfahren Hochtemperatur-Brutreaktoren anwenden. Obwohl man vom wirtschaftlichen und technischen Standpunkt her noch keine annehmbaren Reaktionen ausgearbeitet hat in bezug auf Korrosion, Temperatur usw., ist diese Lösung sehr bestechend; die Stimulation dieser langfristigen Forschung ist für die Zukunft unserer Energieversorgung von grösster Wichtigkeit.

Man sollte sich darüber Rechenschaft geben, dass es wichtig ist, wenn die Einführung eines neuen Energieträgers – in diesem Falle des Wasserstoffes – in naher Zukunft geschehen könnte, allenfalls in beschränktem Maßstab, unter Verwendung des bekannten Elektrolyseverfahrens, und dass man dann nach und nach Erweiterungen vorsieht, je nach dem erhaltenen Erfolg, mit Hilfe der rein chemischen Verfahren.

Man ist versucht, die Tatsache zu übersehen, dass, wenn es notwendig werden würde, grosse Mengen von Wasserstoff zu produzieren, was dann auch die Notwendigkeit von Transporten in grossem Maßstab nach sich ziehen würde, sich dann der Transport von flüssigem Wasserstoff als interessante und wirtschaftliche Möglichkeit erweisen könnte, da man dies mit dem Transport von Elektrizität bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffes kombinieren könnte. Dies ergäbe eine Verringerung des elektrischen Widerstandes im Vergleich zu Aluminium bei Normaltemperatur um einen Faktor von 100, so dass der Transport von Wasserstoff und Elektrizität durch Kabel – und nicht über Hochspannungsfreileitungen – eine technisch und wirtschaftlich realisierbare Möglichkeit darstellen würde.

Die Produktion von genügend Energie unter einer sauberen Form von Elektrizität oder Wasserstoff, dank von überall in genügenden Mengen vorhandenen Nuklearbrennstoffen, stellt eine Herausforderung dar, die der Mensch unbedingt annehmen sollte.