

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Band:** 77 (1959)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Die Bewirtschaftung der Brennstoffe im Zeitalter der Atomenergie:  
Vortrag  
**Autor:** Winiger, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84211>

### **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:** 19.11.2024

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

## Die Bewirtschaftung der Brennstoffe im Zeitalter der Atomenergie

DK 621.039:662.6

Vortrag gehalten am 28. Januar 1959 im Zürcher Ingenieur- und Architektenverein von Dr. h. c. A. Winiger, Zürich

### I.

Die Bevölkerung unseres Planeten ist in raschem Ansteigen begriffen. Die jährliche Zuwachsrates liegt zur Zeit über 1%, und es ist vorauszusehen, dass die heute rund 2,7 Milliarden Seelen zählende Erdbevölkerung am Ende dieses Jahrhunderts die 5 Milliarden-Grenze überschreiten wird. Im 17. Jahrhundert betrug sie schätzungsweise rund 400 Millionen, d. h. etwa siebenmal weniger als heute. Neben Südamerika sind es hauptsächlich die Menschenmassen Chinas und Indiens, die in beängstigender Weise zunehmen. Der Bevölkerungsdruck hat im Verlauf der Geschichte der Menschheit immer wieder Umwälzungen und Katastrophen grössten Ausmasses hervorgerufen. Sollen solche verhütet werden, so müssen Landwirtschaft und Industrie dafür sorgen, dass die Lebenshaltung der Erdbewohner über der Elendsgrenze liegt. Das bedingt eine ausreichende Versorgung mit Nahrungsmitteln und lebenswichtigen Konsumgütern. Was es braucht, um dieses Ziel zu erreichen, geht aus der Tatsache hervor, dass heute noch rund  $\frac{2}{3}$  der Erdbewohner unterernährt sind.

In einer bemerkenswerten Studie «Unsere ausgeplünderte Erde» hat Fairfield Osborn auf den Ernst des Ernährungsproblems für die Zukunft hingewiesen, dessen Lösung durch Raubbau am Boden, Rodungen der Wälder, Winderosionen und andere Ursachen ernstlich in Frage gestellt ist. Osborn fasst die Schlussfolgerungen seines Warnrufes in die Worte zusammen: «Der Mensch muss erkennen, dass er genötigt ist, mit der Natur zusammenzuarbeiten. Er muss seine Begierden zügeln und die natürlichen, lebendigen Schätze unserer Erde in der Art nutzen und erhalten, die allein eine Gewähr für die Fortdauer unserer Kultur bietet.»

Ein menschenwürdiges Dasein erfordert neben einer ausreichenden Ernährung eine Menge von Gegenständen des täglichen Gebrauchs und je nach den klimatischen Verhältnissen Schutz vor Kälte und Witterungsunbilden. Je nach Zivilisationsgrad und Kulturstand unterscheiden sich der Verbrauch an Konsumgütern und die Ansprüche an deren Qualität in den weitesten Grenzen. Sicher ist nur, dass die Tendenz zur Verbesserung der Lebenshaltung bei allen Völkern nach oben weist und ihr besonders in den unterentwickelten Ländern in steigendem Masse Rechnung getragen werden muss, um politische Unruheherde nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Erzielung einer vernünftigen Lebenshaltung mit allen ihren Folgen auf Handel und Verkehr ist aber gleichbedeutend mit der Zurverfügungstellung von Energie, sei es direkt oder über die Erzeugungsstätten der Industrieprodukte. Die Energie in allen ihren Formen erlaubt dem Menschen, seine eigenen Kräfte zu vervielfachen und sich sein Leben angenehm zu gestalten. Neben den Rohstoffen, die zu Konsumgütern verarbeitet werden, ist zweifelsohne die Energie der wichtigste Faktor der modernen Wirtschaft.

Alle Energie, die in verschiedenen Formen dem Menschen zur Verfügung gestellt wird, geht zurück auf die Wärme und Lichtstrahlung der Sonne, und die Anbetung dieses Gestirns, die von gewissen Kulturvölkern geübt wurde, hat einen durchaus realen Hintergrund. Ohne die Sonnenenergie ist das Leben auf unserm Planeten undenkbar. Leider ist es noch nicht gelungen, auf wirtschaftliche Art die Sonnenenergie direkt nutzbar zu machen. Fast der gesamte Energiebedarf der Menschheit wird heute durch Holz, Kohle, flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe und durch Wasserkraftanlagen gedeckt. Die Letztgenannten

spielen leider in der Energiebilanz nur eine untergeordnete Rolle. Sie haben den grossen Vorteil, unerschöpflich zu sein und sich mit einem sehr hohen Wirkungsgrad in die edelste Energieform, in die Elektrizität überführen zu lassen.

Holz und fossile Brennstoffe, die durch einen Oxydationsprozess zur Erzeugung von Wärme benützt werden, welche nur mit schlechtem Wirkungsgrad in edlere Energieformen umgewandelt werden kann, sind nicht unerschöpflich und sollten deshalb möglichst geschont werden. Sie dienen gleichzeitig als Ausgangs- und Grundstoffe für die synthetische Chemie, die sie zu Produkten verarbeitet, welche zur Herstellung der Gebrauchsgegenstände und Heilmittel des täglichen Lebens dienen. Ein vorzeitiges Versiegen dieser Rohstoffe und Energiequellen müsste zu den schwersten Störungen im Lebenshaushalt des Menschen führen. Es ist absurd, unentbehrliche und nur in beschränkter Masse vorhandene Grundstoffe durch Verbrennung zu vernichten, wenn die Möglichkeit besteht, Energie auf andere Weise zu erzeugen. Seit dem Jahre 1942, als es Fermi und seinen Mitarbeitern gelang, den ersten Kern-Reaktor in Betrieb zu setzen, sind wir in der Lage, Energie zu erzeugen, ohne gleichzeitig wertvolle Grundstoffe vernichten zu müssen. Es darf wohl als eine der grössten Errungenschaften der modernen Wissenschaft betrachtet werden, dass es möglich geworden ist, durch Kernspaltung und Kernverschmelzung eine neue Energiequelle zu erschliessen, die den Verbrauch an fossilen Brennstoffen, soweit er nur der Erzeugung von Wärme dient, ersetzen und damit die Lebensdauer der vorhandenen Reserven entsprechend verlängern kann.

Im folgenden soll versucht werden, sich auf Grund der greifbaren Unterlagen ein Bild zu machen über den zukünftigen Einfluss der Atomenergie auf die Bewirtschaftung der Brennstoffe sowie den Umfang der noch zur Verfügung stehenden abbauwürdigen Lagerstätten und deren voraussetzliche Lebensdauer.

Ich möchte an dieser Stelle meinem Mitarbeiter, *Werner Wild*, Ingenieur der Elektro-Watt, verbindlich danken für die sehr mühsame Arbeit, der er sich unterzogen hat, um aus dem vorhandenen unvollständigen statistischen Material und einschlägigen Publikationen den Anteil der verschiedenen Brennstoffarten an der Energieerzeugung und die Möglichkeiten des teilweisen Ersatzes durch Atomenergie schätzen zu können. Es liess sich nicht vermeiden, die Lücken in den zur Verfügung stehenden Unterlagen durch Analogierechnungen zu schliessen und das Bild durch Vornahme von sorgfältig abgewogenen Extrapolationen zu vervollständigen. Die monatelange Bearbeitung dieser Hilfsquellen hat wiederum den Beweis erbracht, dass die zur Verfügung stehenden Statistiken lückenhaft und völlig ungenügend sind, um eine einwandfreie Analyse der Verwendung der einzelnen Energieträger durchführen zu können. Dass die Beurteilung der Verhältnisse hinter dem Eisernen Vorhang besondere Sorgfalt erforderte, versteht sich von selbst. Ich muss hervorheben, dass die zahlenmässigen Angaben zum grossen Teil Schätzungen sind. Sie geben die Grössenordnung richtig wieder und kommen der Wahrheit näher als die bis jetzt publizierten Daten. Die Erzeugung von Energie durch das fallende Wasser, die Gezeiten, den Wind und die direkte Sonnenstrahlung sind unberücksichtigt geblieben, da sie zur Zeit die Energiebilanz der Erde nicht wesentlich beeinflussen. Als Bezugsjahr wird auf 1956 abgestellt, das letzte Jahr, für das die statistischen Unterlagen der UNO und anderer Institutionen und Verbände nachgeführt sind.

Es werden nun der Reihe nach die wichtigsten Energieträger, die sowohl als Brennstoff wie auch als Roh- oder Grundstoffe für die Industrie dienen können, untersucht und die Möglichkeit des Ersatzes durch Kernenergie erörtert.

### Brennholz

Im Jahre 1956 wurden auf der ganzen Welt etwas über 400 Mio t Brennholz verfeuert. Theoretisch wäre es denkbar, den gesamten Brennholzverbrauch, der nur der Erzeugung von Wärme dient, durch Atomenergie zu ersetzen. Das eingesparte Brennmaterial könnte beispielsweise zur Herstellung von Papiermasse und zur Erzeugung von Zellulosefasern verwendet werden. Im Jahre 1956 betrug die Produktion von

mechanischer Papiermasse	
(Holzschliff)	rd. 16,0 Mio t
chemischer Papiermasse	rd. 32,4 Mio t
Zellulosefasern	
(Rayon, Zellwolle, Acetatseide, Acetatfasern usw.)	rd. 2,4 Mio t
(Lufttrockenes Material) zusammen	50,8 Mio t

Unter Berücksichtigung der entsprechenden Umrechnungsfaktoren würde das eingesparte Brennholz genügen, um den heutigen jährlichen Verbrauch an Papiermasse und Zellulosefasern 6 bis 7 fach zu decken und damit die Versorgung an diesen Grundstoffen auch bei weiterer Schonung der Waldbestände und starker Bedarfszunahme sicherzustellen.

### Kohle

Wir wenden uns nun einem der wichtigsten Energieträger, der Kohle, zu. Im Jahre 1956 wurden auf der Welt rund 1580 Mio t Anthrazit, Stein- und Magerkohle erzeugt. Demgegenüber dürften die Kohlenvorkommen 836 Mrd bis 4000 Mrd t betragen. Die niedrigere Ziffer entspricht den bereits aufgeschlossenen «sicheren» Reserven, während die obere Grenze die wahrscheinlichen, nur auf Grund von geologischen Gutachten geschätzten Vorräte umfasst. Bei einem Verbrauch, wie er im Jahre 1956 bestand, wäre mit einer Erschöpfung der Vorkommen in 460 bis 2500 Jahren zu rechnen. Diese Zahlen zeigen, wie wichtig es ist, der Verschleuderung dieses Rohstoffes Einhalt zu gebieten.

Grundsätzlich können die folgenden Kohlenverbraucher auf Kernenergie in Form von Wärme und Elektrizität umgestellt werden: Thermische Kraftwerke, Heizung in Industrie, Gewerbe und Haushalt, Bahnen, Schifffahrt. Der Verbrauch an Kohle und Koksgas für die Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken kann für die ganze Welt im Jahre 1956 auf rund 490 Mio t geschätzt werden, wovon annähernd 200 Mio t auf die USA entfallen.

Für die Wärmeerzeugung in Industrie, Gewerbe und Haushalt sind im gleichen Jahr rund 220 Mio t verbraucht worden, während die Meerschiffahrt nur rund 4 Mio t beanspruchte. Der Kohlenkonsum der Bahnen bewegte sich 1956 in der Grössenordnung von 100 Mio t.

Die theoretisch mögliche Einsparung an Stein- und Magerkohle durch den Einsatz von Kernenergie hält sich in den Grenzen von 723 Mio t bis 810 Mio t, oder zwischen 46 % bis 51 % der Kohlenproduktion, je nachdem, ob man das zur Elektrizitätserzeugung verwendete Koksgas miteinrechnet oder nicht. Gas wie auch Koks sind in weitgehendem Masse Nebenprodukte der Kohlschwelereien und Kokerereien geworden und teilweise auch Rohstoffe für die chemische Industrie. Bei dem zur thermischen Stromerzeugung verwendeten Koksgas handelt es sich wohl in den meisten Fällen um ein Abfallprodukt, das nicht «einsparfähig» ist.

Die Kohle ist der Grundstoff für die Erzeugung einer Menge technischer und pharmazeutischer Chemikalien. Die eingesparte Kohle würde beispielsweise ausreichen, um entweder rund 24 % des Jahresbedarfs an Motorbenzin oder 117 % der Erzeugung von Rohbenzol zu decken.

Wird die durch den Einsatz von Kernenergie mögliche Einsparung zur Schonung der Vorräte benützt, so entspräche

das einer Verlängerung der Lebensdauer der Kohlenvorkommen bei einem auf dem Jahr 1956 basierenden Verbrauch von 460 auf 965 Jahre, d. h. um 110 % bei den sicheren Reserven, und von 2500 auf 4600 Jahre, d. h. um 84 % bei den wahrscheinlichen Reserven.

### Erdöl

Bei einem weiteren wichtigen Energieträger, dem Erdöl, lassen sich durch die Einführung der Kernenergie vorerst nur Einsparungen erzielen in der Gruppe der Destillat- und Rückstandsheizöle, zu denen auch Diesel- und Gasöl gehören. Das im Haushalt zu Heiz- und Kochzwecken verwendete Leuchtpetroleum oder Kerosin liegt mit einem Anteil von etwa 5 % innerhalb der Schätzungstoleranzen für die ganze Gruppe und ist deshalb nicht besonders berücksichtigt worden.

Im Jahre 1956 wurden auf der ganzen Welt 418 Mio t Destillat- und Rückstandsheizöle erzeugt. Die nachgewiesenen Vorkommen an Erdöl werden auf etwa 33 Mrd t beziffert und würden bei den heutigen Raffinerie-Verhältnissen einen Ausstoss von 19 Mrd t Destillat- und Rückstandsheizöle ergeben. Die auf Grund der geologischen Gutachten geschätzten wahrscheinlichen Vorkommen an Erdöl werden zurzeit mit rd. 205 Mrd t angenommen und würden einer Produktion an Destillat- und Rückstandsheizölen von 116 Mrd t entsprechen.

Wenn man vorerst annimmt, dass der Einsatz von Kernenergie in Motorfahrzeugen und Flugzeugen wahrscheinlich auf längere Sicht keinen nennenswerten Umfang annehmen wird, so kommen für Einsparungen an Erdölprodukten durch Anwendung der Atomenergie folgende Verbrauchergruppen in Frage:

Haushalt und Heizung mit einem Konsum im	
Jahre 1956 von . . . . .	82 Mio t
Meerschiffahrt . . . . .	72 » »
Küsten- und Binnenschiffahrt . . . . .	13 » »
Bahnen . . . . .	24 » »
Thermische Kraftwerke . . . . .	23 » »
Zusammen rd.	214 Mio t

Auf Grund der im Jahre 1956 erzeugten Menge Destillat- und Rückstandsheizöle und der bestehenden Raffinerie-Verhältnisse ergäbe sich eine Lebensdauer von etwa 45 Jahren für die nachgewiesenen Reserven und etwa 280 Jahren für die wahrscheinlichen Reserven, d. h. die Oelvorkommen wären bei den heutigen Erzeugungs- und Verbrauchsverhältnissen neun- bis zehnmal rascher erschöpft als die Kohlenlager. Diese Proportion kann natürlich verändert werden durch die Anwendung der Kohleverflüssigungsverfahren, die gestatten, Kohle in flüssige Kohlenwasserstoffe überzuführen.

Gelänge es, den gesamten Konsum der genannten Verbrauchergruppen an Destillat- und Rückstandsheizöl durch Kernenergie zu ersetzen, so liesse sich dadurch eine Einsparung von etwas über 50 % erzielen, was einer Verdoppelung der Lebensdauer der Oelvorkommen gleichkäme. Die eingesparten Destillat- und Rückstandsheizöle könnten beispielsweise durch thermisches und katalytisches Cracken zu Motorbenzin aufgearbeitet und die dabei anfallenden Abgase und Oelrückstände in Kunststoffe, beispielsweise Polyäthylen und Petrolkoks übergeführt werden.

Es ist auch denkbar, die Erdölvorkommen im Hinblick auf den zukünftigen Bedarf der chemischen Industrie noch weiter zu strecken, indem man mit Motorbenzin betriebene Fahrzeuge durch Elektrofahrzeuge ersetzt. Dies würde unter anderem eine ganz wesentliche Verbesserung der heutigen Akkumulatoren bedingen, soweit nicht die Zuleitung der Elektrizität von aussen erfolgt.

### Naturgas

Rund 90 % des Naturgases werden in den USA erzeugt und verbraucht, während in Italien rund 75 % des europäischen Naturgases gefördert werden. Das Naturgas ist ein besonders wertvoller Grundstoff für die Petrochemie und sollte deshalb nicht durch Verbrennung der Vernichtung an-

heimfallen. Im Jahre 1956 wurden auf der ganzen Welt rund 330 Mrd m<sup>3</sup> Erdgas gefördert. Die nachgewiesenen Vorkommen können auf 40 000 Mrd m<sup>3</sup> geschätzt werden, die wahrscheinlichen Vorkommen auf 160 000 Mrd m<sup>3</sup>. Bezogen auf den Verbrauch des Jahres 1956 liesse sich eine Lebensdauer von 120 Jahren für die nachgewiesenen und von 480 Jahren für die wahrscheinlichen Reserven berechnen. Dies entspräche in grossen Zügen den Verhältnissen beim Erdöl und ist zum Teil dadurch begründet, dass die Oel- und Erdgas-Vorkommen in vielen Fällen aneinander gebunden sind.

Fragen wir nun nach den Einsparungsmöglichkeiten durch Einschaltung der Kernenergie für alle Wärmeanwendungen des Naturgases, so hätten die von den nachfolgenden Verbrauchergruppen im Jahre 1956 konsumierten Naturgas-mengen praktisch ganz durch Kernenergie ersetzt bzw. eingespart werden können, nämlich:

für den Haushalt	70,7 Mrd m <sup>3</sup>
für Wärmeanwendungen in Industrie, Handel und Gewerbe	43,9 Mrd m <sup>3</sup>
für die Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken	35,1 Mrd m <sup>3</sup>
zusammen	149,7 Mrd m <sup>3</sup>

oder rund 45 % der gesamten Produktion an Naturgas.

Neben dem Erdöl ist das Naturgas heute einer der wichtigsten Grundstoffe der technischen Chemie. Das durch die Anwendung von Kernenergie eingesparte Naturgas könnte beispielsweise zur Erzeugung von Gasruss, Aceton und Aethylalkohol verwendet werden. Würde es gespeichert, so ergäbe dies eine Verlängerung der theoretischen Lebensdauer auf 220 Jahre für die nachgewiesenen und auf 880 Jahre für die wahrscheinlichen Reserven.

Durch den Einsatz der Kernenergie liessen sich unter Zugrundelegung der Verhältnisse des Jahres 1956 und in Wärmewerten ausgedrückt Ersparnisse erzielen, die über 50 % des heutigen Verbrauchs an Naturgas liegen. Unter Zugrundelegung der untern Heizwerte lässt sich für das Jahr 1956 — für die ganze Welt — eine Erzeugung an Rohenergie aus einsparfähigen Brennstoffen, wie Brennholz, Kohle, Oel und Naturgas von 17,4 Mio Tcal<sup>1)</sup> berechnen. Von dieser Menge könnten 9,1 Mio Tcal durch Kernenergie aufgebracht werden, entsprechend 52,5 %. Für die Verhältnisse in den USA wäre sogar mit einer Einsparung an Rohenergie von 58,6 % zu rechnen.

Selbstverständlich haben diese Ueberlegungen nur akademischen Wert. Es brauchte wohl Jahrzehnte, wenn nicht Jahrhunderte, um die technischen Anlagen und Einrichtungen zu schaffen, die es ermöglichen würden, die gezeigten Sparmöglichkeiten an Brennstoffen durch den Einsatz von Atomenergie zu verwirklichen. Es kann aber nicht früh genug mit der Umstellung begonnen werden, welche vor allem die Entwicklung geeigneter, wirtschaftlich arbeitender Reaktoren nach dem «Breeder-Prinzip» voraussetzt. Das im Natururan mit über 99 % vorhandene Isotop U 238 muss unter allen Umständen in spaltbares Material verwandelt und zur Energieerzeugung herangezogen werden können.

Im weitern drängt sich der Bau eines Reaktors auf, der besonders geeignet ist, den Wärmebedarf für industrielle Anlagen und Raumheizung zu decken. Rund 1/3 der verbrauchten Rohenergie dient der Erzeugung von Wärme. Auf diesem Gebiet könnte somit durch den Einsatz von Kernenergie am schnellsten eine Entlastung des Brennstoffmarktes zugunsten chemisch-industrieller Verwendungsarten oder im Sinne eines Sparprogrammes erzielt werden.

## II.

Die bisherigen Untersuchungen über die Möglichkeiten eines Ersatzes von Brennstoff durch Kernenergie beruhen auf dem Stand der heutigen technischen Entwicklung. Die Durchführung geeigneter Massnahmen, um wertvolle Brennstoffe edleren Zwecken als blosser Wärmeerzeugung zuzuführen, wäre somit nur begrenzt durch wirtschaftliche Ueberlegungen, die einer Umstellung unseres industriellen

1) 1 Teracalorie = 1 Milliarde kcal.

Rüstzeuges und deren Finanzierung Rechnung zu tragen hätten.

Man kann sich aber auch fragen, in welcher Weise die in Zukunft voraussehbare technische Entwicklung das Bild ändern würde. Es ist vor allem denkbar, dass über kurz oder lang Motoren-brennstoffe vollsynthetisch hergestellt werden können, womit dem Einsatz von Kernenergie ein weiteres Feld geöffnet würde. Die moderne organische Chemie ist heute schon in der Lage, Naturstoffe wie Steroidhormone, die mit ihren verzweigten Molekülketten im Aufbau mindestens so verzwickelt sind wie Motorbenzin, vollsynthetisch zu erzeugen. Der strukturelle Aufbau dieser Produkte ist erheblich komplizierter als beispielsweise beim Benzol, das als vorzüglicher Treibstoff gilt. Der Grund, warum die meisten technischen und pharmazeutischen Chemikalien der organischen Chemie heute noch nicht vollsynthetisch, sondern aus natürlichen Grundstoffen hergestellt werden, liegt in der Kostenfrage. Es darf angenommen werden, dass die Chemie in absehbarer Zeit in die Lage kommt, durch Vollsynthese alle jene Stoffe zu erzeugen, die heute aus Kohle, Erdöl und Naturgas gewonnen werden. Sie bestehen ausschliesslich aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff mit vereinzelter Addition von Metallen oder Metalloiden, wobei das Gewicht der C-H-O-Atome im Molekül meist um ein Vielfaches grösser ist als der Anteil der Zusätze. Diese Stoffe liessen sich somit praktisch aus der Luft (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> usw.) und aus Wasser (H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>) gewinnen. Es scheint also nicht ausgeschlossen, in Zukunft einmal sogar Brennstoffe vollsynthetisch herzustellen. Bei dieser Gelegenheit darf an die vor einigen Jahren eingesetzte Entwicklung neuartiger Raketentreibstoffe erinnert werden, die zum Teil Heizwerte von annähernd 20 000 kcal/kg besitzen, aber wie zum Beispiel das Diboran kohlenstoff-frei sind.

Die Verwertung der in der Luft vorhandenen Kohlen-säure erfolgt heute bereits über lebende pflanzliche Organismen. Die technische Gewinnung ist theoretisch möglich, sei es durch Destillation flüssiger Luft oder durch katalytische Reduktion mit Leicht- und Alkalimetallen. Auch die Einrichtung von Algenkulturen, die in einer mit Kohlen-säure angereicherten Atmosphäre aufgezogen würden, ist denkbar. Sie könnte kombiniert werden mit der Gewinnung von Nahrungsmitteln für die wachsende Bevölkerung unserer Erde. Um die Schwierigkeiten zu umgehen, die sich einer Verwertung der nur in äusserster Verdünnung in der Luft enthaltenen Kohlen-säure entgegenstellen, wäre es vielleicht möglich, Feuerungen synthetischer Brennstoffe an noch zu entwickelnde Absorber anzuschliessen, welchen die Kohlen-säure in verhältnismässig hoher Konzentration entnommen werden könnte.

Zur Erzeugung der im Jahre 1956 verbrauchten Menge an Brennstoffen wären bei der hypothetisch angenommenen Vollsynthese 2,9 Mrd t reiner Kohlenstoff notwendig gewesen, was rund 0,5 % des in der Lufthülle enthaltenen Kohlenstoffes entspricht.

Versucht man, sich auf Grund der Unterlagen für das Jahr 1956 ein Bild zu machen über die vollständige Energiebilanz unserer Erde, unter Berücksichtigung der nicht einsparfähigen, durch Atomenergie ersetzbaren Brennstoffe, so ergeben sich folgende Zahlen, bei denen als Masstab wiederum die Teracalorie = 1 Milliarde kcal gewählt wurde.

Die Weltproduktion an Brennstoffen und Wasserkraft, ausgedrückt als Rohenergie, betrug für:

Steinkohle	9,48 Mio Teracalorien
Braunkohle	2,19 Mio Teracalorien
Roh-Erdöl	8,23 Mio Teracalorien
Naturgas	2,65 Mio Teracalorien
Brennholz	1,32 Mio Teracalorien
Wasserkraft	0,61 Mio Teracalorien

2) zusammen 24,48 Mio Teracalorien

2) Kohle von 6000 kcal/kg. Bei 20 t pro Wagen und 50 Wagen pro Zug entspräche dies rund 4 Millionen Zügen. Bei einer Wagenlänge von 9,8 m und einer Zuglänge von rund 500 m würden diese Züge 2 Millionen km lang, das entspräche 50 mal dem Erdumfang oder rund 5 mal der Distanz Erde — Mond.



Diese Zusammenstellung zeigt, dass der Anteil der Wasserkraft an der Rohenergie vernachlässigbar klein ist. Brennholz und Wasserkraft zusammen decken weniger als 10 % der Weltproduktion an Rohenergie.

Nehmen wir nun den Idealfall an: sämtliche Brennstoffe wären zu ersetzen einerseits direkt durch Atomenergie, was für ungefähr  $\frac{1}{3}$  zutrifft, und andererseits durch vollsynthetisch hergestellte künstliche Brennstoffe. Diese erfordern zu ihrer Erzeugung einen Aufwand an Energie, welcher auf das Doppelte des Energieinhaltes der zu ersetzenden natürlichen Brennstoffe geschätzt wurde und durch Kernreaktionen geliefert werden müsste. Auf der Basis des Jahres 1956 betrüge der

Aufwand an Kernenergie zur Deckung	
einsparfähiger Brennstoffe	4,57 Mio Teracalorien
und zur synthetischen Erzeugung	
nicht direkt einsparfähiger Brennstoffe	29,46 Mio Teracalorien
zusammen	34,03 Mio Teracalorien

oder rund 140 % der gesamten wirklichen Welterzeugung von Rohenergie.

Es fällt auf, dass selbst bei Erzeugung eines grossen Teils der Brennstoffe durch Vollsynthese (mit dem doppelten Aufwand an Energie im Verhältnis zum Heizwert der ersetzten Brennstoffe) der gesamte Energieverbrauch der Welt auf der Basis des Jahres 1956 nur rund 1,4 mal grösser gewesen wäre als der wirkliche Aufwand an Rohenergie. Dies rührt davon her, dass die direkt einsparfähigen Brennstoffe weniger Kompensationsenergie beanspruchen würden, weil sich infolge der Elektrifikation des Haushalts und der Bahnen, bei denen ein grosser Teil der Brennstoffe mit einem Wirkungsgrad von etwa 25 % verfeuert wurden, der Wirkungsgrad der Umsetzung von Roh- in Nutzenergie auf etwa 50 bis 60 % erhöhen liesse.

#### Atomenergie

Im erwähnten Idealfall des vollständigen Ersatzes der Brennstoffe wäre es im Jahre 1956 notwendig gewesen, 34 Mio Teracalorien, entsprechend rund 40 Billionen kWh oder 1650 Millionen MW-Tage<sup>3)</sup> Rohenergie, durch Kernreaktionen zur Verfügung zu stellen. Die zur Erzeugung dieser Energie erforderliche Menge an Natururan, das 0,7 % U 235 und 99,3 % U 238 enthält, ist verschieden je nach den angewandten Reaktorsystemen.

Als erster typischer Fall und untere Grenze sei ein mit schwerem Wasser (D<sub>2</sub>O) moderierter und mit Natururan beschickter Reaktor angenommen, wie er beispielsweise in Kanada am Chalk River in Betrieb steht. Es wird vorausgesetzt, dass es gelinge, die Energieausbeute auf 10 000 MW-Tage/t Natururan zu steigern. Unter diesen Annahmen würden zur Deckung der 1650 Millionen MW-Tage 165 000 t Natururan benötigt, was eine Lebensdauer der heute bekannten Reserven an Uran von etwas über 150 Jahren ergäbe.

Der zweite typische Fall und die obere Grenze würde die Anwendung eines Kernenergiesystems mit «Breeder»-Reaktoren bilden, die mit einer Energieausbeute von rund 250 000 MW-Tagen/t Natururan betrieben werden könnten. In diesem Fall ergäbe sich eine Reduktion der in einem Jahr benötigten Menge Urans auf 6600 t, und die Lebensdauer der bekannten Vorkommen an diesem Metall, die zu 25 Mio t geschätzt werden, stiege auf fast 3800 Jahre oder fast 25 mal mehr als im ersten Fall. Man erkennt aus diesem Vergleich die ungeheure Ueberlegenheit des «Breeders», sobald es sich um reine Energieerzeugung handelt.

Es ist anzunehmen, dass im Laufe der kommenden Jahre noch weitere abbauwürdige Uranvorkommen entdeckt werden, wie das bisher auch beim Erdöl und Naturgas der Fall war. Auch der Verwendung des Thoriums als Brutmaterial ist Rechnung zu tragen. Vor allem darf man aber erwarten, dass die Kernfusion vor der Erschöpfung der spaltbaren Materialien für die Energieerzeugung eingesetzt werden kann. Damit stiege die Lebensdauer der Reserven an nutzbarer Energie in die Hunderttausende von Jahren.

<sup>3)</sup> 1 MW-Tag entspricht 24 000 kWh.

#### Zukünftige Struktur der Weltenergiewirtschaft

Die bisherigen Ueberlegungen beruhen auf den Verhältnissen des Jahres 1956. Frägt man nach der zukünftigen Gestaltung der Weltenergiebilanz, so muss man sich darüber klar sein, dass alle Prognosen einen sehr spekulativen Charakter aufweisen müssen, weil niemand die Entwicklung der Menschheit und der Technik mit Sicherheit voraussagen kann. Es ist aber wahrscheinlich, dass in den kommenden Jahrzehnten weder eine einseitige Anwendung der Vollsynthese für Treib- und Brennstoffe, noch eine einseitige Ausnützung der natürlichen Brennstoffe, wie das heute geschieht, erfolgt. Mit grosser Wahrscheinlichkeit werden beide Möglichkeiten kombiniert, um ein Optimum an Wirtschaftlichkeit zu erreichen, wenn nicht politische Ueberlegungen einer vernunftgemässen Regelung entgegenstehen. Der Abbau der Kohlenvorkommen, die noch eine Lebensdauer von 2000 bis 3000 Jahren aufweisen, dürfte vorläufig im gleichen Rhythmus weitergehen wie bis anhin. Dagegen müssten die Erdöl- und Naturgasvorkommen, deren Lebensdauer bei weitem nicht an diejenige der Kohle heranreicht, geschont werden, sei es durch direkten Einsatz von Kernenergie, sei es, dass ein Teil dieser Energieträger durch Vollsynthese erzeugt wird. Infolge einer weiteren starken Nutzung der Wälder durch Holzschlag für die Bau-, Papier- und Zelluloseindustrie könnte das verbleibende Abfall- oder Brennholz nur noch einen unbedeutenden Beitrag an die Deckung des Energiebedarfes liefern. Die Wasserkräfte wären bis zu dem ins Auge gefassten Zeitpunkt wahrscheinlich voll ausgebaut. Es wurde der Versuch gemacht, unter folgenden Annahmen den Zustand der Weltenergiewirtschaft in 200 Jahren, d. h. für das Jahr 2150, zu skizzieren.

Die Bevölkerung der Erde umfasse in diesem Zeitpunkt 15 Milliarden Menschen, welche pro Kopf viermal mehr Energie verbrauchen, als das heute der Fall ist. Unter dieser willkürlichen Voraussetzung läge der spezifische Energieverbrauch etwas über der heute für europäische Verhältnisse gültigen Zahl. Im weiteren sei angenommen, es gelinge, den Wirkungsgrad der Umwandlung von Roh- in Nutzenergie von heute 25 % allmählich auf etwas über 50 % zu steigern. Damit ergäbe sich für das Jahr 2150 ein gesamter Bedarf an Rohenergie von rund 250 Millionen Tcal.

Der stark anwachsende Bedarf der Chemie an Brennstoffen, die durch chemische Prozesse veredelt werden, sei auf 6 % des Rohenergiebedarfes der Bevölkerung geschätzt, d. h. in Wärmeeinheiten ausgedrückt rund 15 Mio Tcal. Der gesamte Bedarf an Rohenergie für den menschlichen Verbrauch und die chemische Industrie beläuft sich somit auf 265 Mio Tcal. Er könnte gedeckt werden durch

Stein- und Braunkohle mit	35 Mio Tcal
durch die zu 95 % ausgebauten Wasserkräfte mit	9 Mio Tcal
durch Kernenergie für direkt ersetzbare Brennstoffe	67 Mio Tcal
zusammen	111 Mio Tcal

Die Vorkommen an Erdöl und Naturgas dürften bis 2150 praktisch erschöpft sein, so dass 154 Mio Teracalorien durch synthetischen Brennstoff gedeckt werden müssten, dessen Herstellung einen Aufwand an Kernenergie von 308 Mio Teracalorien erforderte. Der Gesamtverbrauch an Atomenergie betrüge somit  $308 + 67 = 375$  Millionen Teracalorien oder 18 200 Millionen MW-Tage.

Aus naheliegenden Gründen darf wohl damit gerechnet werden, dass die Wiederaufbereitung der Rückstände der Reaktoren an Spaltmaterial, wie auch der Einsatz von «Breedern» zukünftig zu den Selbstverständlichkeiten gehören. Des weiteren sei angenommen, dass die abbauwürdigen Vorkommen an Uran sich um zwei- bis dreimal grösser erweisen, als heute angenommen wird.

Bei Wiederaufbereitung und «Breeding» kann mit einer Energieausbeute von 250 000 MW-Tagen pro t Uran gerechnet werden. Es wären somit 73 000 t Uran notwendig, um den Jahresbedarf 2150 von 18 200 Millionen MW-Tagen zu decken. Nimmt man zur Vereinfachung an, dass der Uranverbrauch von 1950 bis 2150 und darüber hinaus linear zu-

nimmt, so würden die heute bekannten Uranvorkommen von 25 Millionen t für 360 Jahre, also bis zum Jahre 2320, und die doppelten Vorkommen von 50 Millionen t während 510 Jahren, also bis zum Jahre 2460 ausreichen. Ueber das Jahr 2500 hinaus wäre nach dem in groben Zügen skizzierten Beispiel kein wesentlicher Energiebeitrag mehr aus der Kernspaltung zu erwarten.

Die Menschheit dürfte also einige Jahrhunderte vor sich haben, um den Aufbau eines neuen Energiesystems vorzubereiten. Als mögliche neue Energiequellen sind heute schon bekannt: die Kernfusion, die direkte Gewinnung von Sonnenenergie, die Ausnützung der Gezeiten, der Temperaturdifferenzen des Meerwassers, der geothermischen Energie und andere mehr. Die Kernfusion allein wäre in der Lage, aus dem in der gesamten Wassermenge der Erde von 1,25 Mrd km<sup>3</sup> enthaltenen Deuterium und Tritium bei nur 5 %iger Ausnützung 138 Trillionen ( $138 \times 10^{15}$ ) Teracalorien zu erzeugen. Aus dieser Energiemenge könnte der gesamte Verbrauch an Rohenergie des Jahres 2150 während 330 Mio Jahren gedeckt werden. Ob zu dieser Zeit die Erde noch von Menschen bewohnt sein wird, ist eine müssige Frage.

### Schlussbetrachtungen

Es sind schon mehr als 100 000 Jahre verflossen, seit die ersten Menschen auf dieser Erde ihr Dasein fristeten. Bis vor wenigen Jahrhunderten sind die in der Tiefe der Erdkruste verborgenen Schätze kaum berührt worden. Seit etwa 100 Jahren aber hat es die Menschheit verstanden, in zunehmendem Masse die von der Natur zur Verfügung gestellten Rohstoffe und Energieträger auszubeuten, in einer Weise, die an Vergeudung grenzt. Selbst wenn man annimmt, dass infolge der Entdeckung neuer Vorkommen die auf den heutigen Untersuchungen beruhenden Schätzungen viel zu tief gegriffen sind, muss der sorglosen weiteren Verschleuderung wichtigster Grundstoffe Einhalt geboten werden. Andernfalls ist damit zu rechnen, dass so unentbehrliche Ausgangsstoffe der synthetischen Chemie wie die flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffe schon in weniger als 100 Jahren erschöpft sein werden und durch synthetische Produkte zu ersetzen sind, deren Preisniveau das heutige um ein Vielfaches übersteigt. Es ist erschreckend, wie gedankenlos oft mit den kostbaren und unersetzlichen Gütern dieser Erde umgegangen wird, besonders in den Ländern, die von der Natur am reichsten ausgestattet wurden und deshalb die Pflicht hätten, auch etwas Rücksicht zu nehmen auf ihre ärmern Nachbarn und auf spätere Generationen.

Die Lage wird noch verschärft durch den weiter wachsenden Bedarf an billiger Energie. Die Massenproduktion von Gütern zur Befriedigung der Bedürfnisse einer stark zunehmenden Bevölkerung, die Bestrebungen zur Rationalisierung und Automatisierung der industriellen Fertigung rufen nach immer grösseren Energiemengen. Das Inventar der uns zur Verfügung stehenden Energiequellen zeigt, dass es keine grundsätzlichen Schwierigkeiten bietet, den steigenden Energiebedarf zu decken. Ob es möglich ist, nach Erschöpfung der klassischen Energiequellen die Ersatzenergie zu Preisen zu liefern, die nicht entwicklungshemmend wirken, kann noch nicht beurteilt werden. Mit Sicherheit aber darf man behaupten, dass das Problem einer ausreichenden Energieversorgung in der Zukunft nicht auf der technischen, sondern auf der ökonomischen Seite liegt und in stärkstem Masse davon abhängen wird, ob es gelingt, durch die Anwendung der Kernfusion eine Quelle wohlfeiler Energie zu erschliessen. Unser Land darf sich glücklich schätzen, einen verhältnismässig hohen Anteil seines Energiebedarfes aus Wasserkraftanlagen decken zu können, deren «Betriebsstoff» sich nie erschöpft und unsere Devisenbilanz in keiner Weise belastet.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass das weitere Wachstum der Erdbevölkerung und das allgemeine Lebensniveau von der Energieseite her nicht beeinträchtigt werden. Im Gegensatz dazu könnten sich bei der Ernährungslage infolge der begrenzten Reserven an Kulturland schon in den kommenden Jahrzehnten Mangelerscheinungen zeigen, wenn man der heutigen Unterernährung weiter Bevölkerungskreise steuern will. Die Auffrischung von erschöpftem Kulturboden

durch chemische Produkte ist keine einfache Sache, da es sich hier um ein Leben enthaltendes Medium handelt, dessen Gehalt an Fermenten und Bakterienkulturen eine ebenso grosse Rolle spielt wie der rein chemische Aufbau. Die Natur lässt sich in diesem Falle nicht vergewaltigen.

Gestatten Sie mir, meine Ausführungen mit ein paar allgemeinen Bemerkungen abzuschliessen. Wenn man die Entwicklung der Technik aus der Vogelschau betrachtet, so kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass sie teilweise zum Selbstzweck geworden ist. Nach dem Ausspruch «après moi le déluge» wird ohne Rücksicht auf die geistigen und moralischen Kräfte des Menschen, die mit der technischen Entwicklung gar nicht Schritt halten können, weiter geforscht, untersucht, erfunden und kombiniert, um den Forschungsdrang, die menschliche Neugierde und den Spieltrieb zu befriedigen. An die Stelle des Tanzes um das «goldene Kalb» ist vielerorts der Tanz um die Technik getreten, die sich aus einem Diener des Menschen immer mehr zu seinem Herrscher entwickelt. Diese Vorgänge sind besonders ausgeprägt in den Ländern, in denen die materialistische Dialektik zur Religion geworden ist und die man zum Teil als «unterentwickelt» zu bezeichnen pflegt. Es scheint mir eine Pflicht jedes verantwortungsbewussten Ingenieurs zu sein, gegen die Tendenz zu kämpfen, aus der Technik statt eines Helfers einen Gott machen zu wollen. Der Mensch ist im Begriff, nach den Sternen zu greifen. Hoffen wir, dass er nicht Schaden nimmt an seiner Seele!

Adresse des Verfassers: Dr. h. c. A. Winiger, Direktor und Delegierter der Elektro-Watt, Zürich 1, Talacker 16.

## Gewinnung von Trinkwasser aus radioaktiv-verseuchtem Wasser

Von H. Roshard, Küssnacht ZH

DK 628.16:539.16

Infolge von Atombombenversuchen und erst recht bei kriegsmässigem Einsatz von Atombomben oder radioaktiven Kampfmitteln kann, wie allgemein bekannt ist, eine mehr oder weniger weitreichende Verseuchung des Trinkwassers eintreten. Sowohl für die Zivilbevölkerung wie für die Armee besteht dann die dringende Notwendigkeit, aus derart verseuchtem Wasser Trinkwasser zu gewinnen, das ohne Schädigung mindestens während beschränkter Zeit genossen werden kann. Die vorhandenen Einrichtungen zur normalen Trinkwasseraufbereitung sind aber für eine solche Wasserbehandlung unzureichend. Radioaktiv-strahlende Bestandteile können im Wasser vor allem auch echt gelöst enthalten sein und werden in dieser Form in den üblichen Filteranlagen gar nicht oder nur ungenügend zurückgehalten. Bei der Entwicklung von Geräten für die Aufbereitung von Trinkwasser aus radioaktiv-verseuchtem Wasser können verschiedene Ziele angestrebt werden. In manchen Fällen dürfte es genügen, mit sehr einfachen Mitteln zu arbeiten. Dies gilt z. B. für schwach verseuchtes oder besonders salzarmes Wasser (Regenwasser). Salzreicheres Trinkwasser, wie es in den meisten Gegenden der Schweiz vorliegt, erfordert jedoch eine weitgehende Entfernung radioaktiver Verunreinigungen und damit einen höheren Reinigungsaufwand. Es wird hier im allgemeinen die Benützung von Ionen-Austausch-Geräten notwendig.

Mit Ionen-Austauscher arbeitende Reinigungsgeräte gestatten eine sehr weitgehende Entfernung der radioaktiven Stoffe, insbesondere dann, wenn zugleich eine totale Entsalzung des Wasser durchgeführt wird, d. h. also auch eine Befreiung des Wassers von allen nicht radioaktiven Beimengungen. Dies macht es allerdings notwendig, dem Wasser nachträglich wieder einen gewissen Mineralsalzgehalt künstlich zu geben, um Schädigung der Verdauungsorgane durch den Genuss allzu salzarmen Wassers zu vermeiden. Man kann zwar durch geeignete Vorbehandlung der Austauschharze eine solche volle Entsalzung des Wassers verhindern, geht jedoch damit auch gewisse Nachteile ein. So weist derart behandeltes Wasser einen nur aus einer ein-