

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 46 (1955)
Heft: 13

Rubrik: Energie-Erzeugung und -Verteilung : die Seiten des VSE

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: 03.04.2025

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Zukunftsprognosen

von P. Ailleret, Paris

621.311.003

Die nachfolgenden Betrachtungen, die wir mit Erlaubnis des Verfassers dem «Bulletin de l'Union des Exploitations Electriques en Belgique»¹⁾ entnehmen, sind von so allgemeiner und weittragender Bedeutung, dass wir sie unsern Lesern nicht vorenthalten möchten.

Vom Gedanken ausgehend, dass nicht nur die Zukunftsaussichten zahlenmässig anzugeben sind, sondern dass auch die Ungewissheit, mit der die Zukunft behaftet ist, in die Rechnung einbezogen werden muss, betrachtet der Verfasser nacheinander alle Faktoren, die auf die Entwicklung des Bedarfes an elektrischer Energie einen Einfluss ausüben. Er stellt fest, dass die Gültigkeitsdauer zuverlässiger menschlicher Voraussagen immer kürzer wird, dass aber diese Tatsache für die Elektrizitätswirtschaft nicht so schwerwiegend ist, weil diese immer noch die Möglichkeit hat, den Ausbau ihrer Anlagen der Zunahme des Bedarfes, wenn auch allfällig mit kleineren Phasenverschiebungen anzupassen.

Les considérations qui suivent sont d'une valeur si générale et ont une telle portée qu'il nous a semblé nécessaire de les faire connaître à nos lecteurs; elles ont paru dans le Bulletin de l'Union des Exploitations Electriques en Belgique, et leur auteur nous a permis de les reproduire ici.

Partant de l'idée qu'il est nécessaire non seulement de chiffrer l'avenir, mais aussi les aléas de l'avenir, l'auteur examine successivement tous les facteurs qui ont une influence sur le développement des besoins en énergie électrique. Il constate que la durée pour laquelle l'homme peut formuler des prévisions de quelque valeur diminue de plus en plus, mais que ce phénomène n'a pas de conséquences trop graves pour l'économie électrique, car celle-ci a toujours la possibilité d'adapter la cadence de ses travaux d'aménagements à celle de la croissance des besoins en énergie, quand bien même y aurait-il parfois de petits décalages de temps.

Ziffernmässige Zukunftsprognosen haben sich mit den Plänen und Programmen auf allen Gebieten verbreitet, aber die Aufmerksamkeit muss jetzt auf die Notwendigkeit, auch die Ungewissheit der Zukunft ziffernmässig zu erfassen, gerichtet werden.

Die Kenntnis der Ungewissheit ist übrigens die unumgängliche Voraussetzung, um die Grenzen der Gültigkeit eines Planes beurteilen zu können und um nicht notwendige Anpassungen im Zeitpunkt, da der Plan mit der Wirklichkeit in Kontakt tritt, zu verkennen.

Prognosen über die Bedarfsentwicklung haben auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft zu vielen Studien Anlass gegeben; es wird interessant sein, diese Fragen unter dem Gesichtspunkt der Ungewissheit wieder aufzuwerfen.

Erinnern wir uns zunächst an den Charakter des Energieverbrauchs.

Die Bedürfnisse der Energieverbraucher sind eine Tatsache, worauf die Elektrizitätsunternehmen und die Behörden kaum einen Einfluss haben.

Dagegen ist einzuwenden, dass die von nahezu allen Energieverteilunternehmen unternommene Propaganda sich nur erklären lässt, wenn diese glauben, die Höhe des Bedarfs beeinflussen zu können. Gewiss vermag eine geschickte Propaganda gewisse Anwendungen zu fördern und andere konkurrenzierende Energieträger in einem gewissen Ausmass zu verdrängen.

Aber die Förderung einer Anwendung durch die Propaganda ist im allgemeinen nur eine Vorwegnahme dessen, was sich ohne sie ergeben hätte, und einige Jahre später wird die Entwicklung ungefähr gleich sein bei Verteilorganisationen, die grosse Propagandaanstrengungen vornahmen und bei solchen, welche die Entwicklung einfach abgewartet haben.

Ohne die Erfolge der Propaganda, die übrigens immer auf eine kleine Anzahl von Anwendungen

beschränkt ist, zu unterschätzen, kann man sagen, dass sie zu einer gesamten Verbrauchserhöhung in einem Absatzgebiet um 10...20% führen kann, aber solche Erhöhungen sind gering im Vergleich zur Erhöhung des Gesamtverbrauchs pro Kopf der Bevölkerung von einem Land zum andern oder im Vergleich zur Entwicklung des Gesamtverbrauchs in einem Zeitraum von 10 Jahren.

Man wird auch erklären, die Höhe des Energieverbrauchs hänge vom Stand der Energiepreise ab. Diese wiederum sinken ganz von selbst, wenn der Verbrauch zunimmt. Es besteht hier eine Wechselwirkung, welche bei der Bedarfsentwicklung eine wichtige Rolle spielt.

Die Elastizität des Verbrauchs in Bezug auf die Energiepreise ist aber nicht sehr gross und preisliche Veränderungen von einigen Prozenten haben nur einen zu vernachlässigenden Einfluss auf die Haushaltverbraucher und auf die Mehrheit der Industrien, wo die Elektrizität nur mit einem unbedeutenden Prozentsatz in die Preise der Fabrikate eingeht.

Um den Verbrauch wesentlich zu erhöhen, müsste man die Preise im Verhältnis von 2 : 1 ermässigen, d. h. in einer ganz andern Grössenordnung, als sie den Schwankungen der Gesteinskosten und des Gewinnes von einem Wärmekraftwerk zum andern entspricht. So setzen die elektrochemische und die metallurgische Industrie grosse Energiemengen um, aber nur dort, wo die Energiegestehungskosten örtlich sehr niedrig sind wegen der günstigen hydraulischen Energieerzeugungsmöglichkeiten.

Es wird auch eingewendet werden, dass der Energiebedarf keine unabänderliche Grösse ist, weil er wohl oder übel eingeschränkt werden muss, wenn ein Mangel an Anlagen es unmöglich macht, die notwendige Leistung bereitzustellen. Aber gerade die Erfahrungen während des Krieges und in ein paar nachfolgenden Jahren haben gezeigt, dass schon ein geringer Mangel an Erzeugungsmöglichkeit im Verhältnis zum Bedarf sehr ernsthafte

¹⁾ Bull. Union Exploit. Electr. Belg. t. 25 (1954), n° 5, p. 3...10.

Störungen hervorrufen kann: Beim Fehlen von wenigen Prozenten der notwendigen Leistung sind sehr schwere Einschränkungen notwendig, deren Wirksamkeit aber wegen zahlreicher Ausnahmen, die man davon machen muss, geringer ist, als vorzusehen war. Es muss daher zu Energiesperren Zuflucht genommen werden, aber weil der Verbrauch, der während der Sperrzeit stattgefunden hätte, sich zum grössten Teil auf die Stunden der Belieferung überträgt, muss man jedem Abnehmer den Energiebezug jeden 4. Tag sperren, nur um den Gesamtverbrauch um 5...10 % zu senken.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass selbst geringe Einschränkungen und Sperren der Wirtschaft enormen Schaden zufügen.

Das heisst, dass der Verbrauch ohne ernste wirtschaftliche Folgen fast nicht einschränkbar ist.

Ein Mangel an Erzeugungsanlagen ist daher in einem Land mit gesunden Wirtschaftsverhältnissen praktisch unzulässig.

Wohl muss eine zu geringe Erzeugung, aber nicht eine *Reserve* an Erzeugungsmöglichkeit ausgeschlossen sein. Eine solche wirkt sich aber in keiner Weise auf die Höhe des Bedarfs aus. Wenn die Reserve das zur Sicherung des Bedarfes notwendige Ausmass überschreitet, können die Verkaufspreise nicht wesentlich gesenkt werden; das Gegenteil wäre wohl eher zu erwarten, weil das zu verzinsende Kapital höher ist.

Der Elektrizitätsverbrauch bleibt somit bei zu hohen Erzeugungsreserven unverändert. Das will nicht heissen, dass solche Reserven in gewissen Fällen nicht gerechtfertigt sind, besonders wenn es darum geht, den Brennstoffverbrauch zu verringern. In der Tat bringt jede Erneuerung der Werke eine Einsparung an Kalorien mit sich und die Schaffung einer Reserve an Wärmekraftwerken kann wenigstens teilweise gerechtfertigt sein, um den Verbrauch an Kalorien zu vermindern.

Deshalb kommt man zum Schluss, dass — der Kriegsfall ausgeschlossen, und ohne der Volkswirtschaft ernsthafte Störungen beizufügen — die Entwicklung des Verbrauchs einen unwiderstehlichen Fortgang nimmt, worauf wir nur einen geringen Einfluss haben.

Da wir darauf nicht einwirken können, bleibt nichts anderes zu tun, als die Entwicklung zu prognostizieren.

Die Energiebedarfszunahme lässt sich in 2 Teile trennen:

Der eine davon ist konjunkturbedingt und macht das Auf und Ab der wirtschaftlichen Verhältnisse mit. Die Schwankung des gesamten Energieverbrauchs eines Landes beträgt zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$ %, wenn die allgemeinen wirtschaftlichen Indices dieses Landes eine Schwankung um 1 % aufweisen.

Der andere Teil ist im Gegenteil an die Entwicklung der Elektrizitätsverwendung gebunden. Hierbei ergibt sich seit Beginn des Jahrhunderts eine jährliche durchschnittliche Zunahme um 4...5 %.

Die Überlagerung dieser beiden Teile hat zu einer Entwicklung im Rhythmus einer Verdoppelung des Verbrauchs innerhalb von 10 Jahren geführt.

Zweifellos haben die Kriege und die grossen Wirtschaftskrisen einen grossen Einfluss auf den Energiebedarf ausgeübt und eine konstante Entwicklung gestört; wahrscheinlich werden diese Auswirkungen zu einem sehr wesentlichen Teil wieder ausgeglichen, und die Verhältnisse zwischen Ländern mit durch den Krieg gestörten Verbrauchsverhältnissen und solchen, die davon verschont geblieben sind, neigen nach einer gewissen Anzahl von Jahren dazu, zu den frühern Proportionen zurückzukehren.

Die Konjunkturschwankungen haben kontinuierliche Ausschläge der Energiebedarfskurve zur Folge.

Die der Konjunktur am meisten unterworfenen Länder sind jene, deren Industrie am stärksten der internationalen Konkurrenz ausgesetzt ist. Jeder Export der Fabrikate eines Landes ist eine Energieausfuhr im Rahmen der in die exportierten Produkte eingegangenen Energie.

So existiert ein unsichtbarer Energieexport, dessen Auf und Ab auf Grund der Schwankungen der internationalen Wirtschaftsbeziehungen verhältnismässig stark ist und dies wirkt sich notwendigerweise auf die Elektrizitätsunternehmungen aus.

Dies sind die in der Vergangenheit über die Entwicklung des Energiebedarfes gemachten Beobachtungen.

Als sicherste Methode zur Schätzung der zukünftigen Energiebedürfnisse erscheint die Erfassung der Entwicklung jeder einzelnen Elektrizitätsanwendung auf Grund besonderer Prognosen. Aber die Erfahrung hat zur Genüge gezeigt, dass solche Einzelprognosen nur für die nahe Zukunft Geltung haben können.

Sie sind nützlich, wenn es darum geht, den Ausbau der Verteilnetze entsprechend der Lokalisierung, der zukünftigen Bedürfnisse zu planen. Sie haben sich aber immer als abwegig erwiesen für Prognosen, die 2 oder 3 Jahre übersteigen.

Falls man weiter in die Zukunft blicken will, muss man eine für eine grosse Anzahl von verschiedenen Elektrizitätsverbrauchern *globale* Prognose anstellen, indem man die Ablösung von gesättigten Anwendungen durch neue Verwendungen abschätzen muss. Die Erfahrung hat diese Methode in der Vergangenheit gerechtfertigt; wird sie es auch in Zukunft tun? Bevor man diese Frage weiter verfolgen kann, wird es nützlich sein, den Einfluss der Grössenverhältnisse der Zonen, deren Verbrauch untersucht wird, zu prüfen, z. B. werden im sehr kleinen Rahmen eines Dorfes oder einer kleinen Stadt keine globalen Prognosen gemacht werden können, weil die Zukunft nur auf Grund der Untersuchung der einzelnen Lokalverbraucher abschätzbar und auf lange Sicht gesehen voll von Unsicherheiten ist.

Je grösser das untersuchte Gebiet ist, desto mehr gestattet der Ausgleich unter den einzelnen Teilen des Gebietes eine globale Prognose. Die Unsicherheit dieser Methode ist somit abhängig von der Grösse des untersuchten Gebietes. Diese Grösse ist im übrigen komplex; sowohl der Gesamtverbrauch, als auch die rein räumliche Ausdehnung spielt eine Rolle. So ist z. B. in Frankreich die Grössenord-

nung eines Departements ein wenig zu klein für globale Voraussagen auf lange Sicht, aber es genügt, Gebiete von der Grösse eines halben Dutzend Departemente zu untersuchen, um Einheiten mit regelmässiger Entwicklung zu bilden, die untereinander keine grossen Entwicklungsunterschiede mehr aufweisen und sich besser zu globalen Prognosen eignen.

Die Zusammenfassung von noch grösseren Gebieten dürfte zu einem weiteren Gewinn an Regelmässigkeit führen, aber bei der Genauigkeit der vorhandenen Statistiken scheint dieser Gewinn nicht bedeutungsvoll zu sein. Somit scheint es eine Schwelle der Grösse und der Unterschiede zu geben, von welcher an globale Prognosen möglich sind: So erreicht z. B. Belgien bei weitem diese notwendige Grösse, während Luxemburg im Gegenteil wahrscheinlich nur sehr zufällige globale Prognosen machen kann wegen seiner kleinen Grösse und der geringen Unterschiede seiner Industrie. Beschränken sich aber diese globalen Voraussagen nicht auf eine einfache Extrapolation der Vergangenheit und besteht daher nicht die Gefahr einer allzugrossen Simplifizierung?

Die Extrapolation lässt sich auf verschiedene Weise durchführen: Die Annahme, dass die exponentielle Progression der Vergangenheit sich in der Zukunft fortsetzen wird, ist nur die einfachste der möglichen Extrapolationsformeln.

Es wäre leicht, andere Formeln aufzustellen, aber würden wir damit etwas anderes tun, als unsere Unwissenheit hinter einer mittelmässigen mathematischen Konstruktion verbergen, wenn wir eine Kurve berechnen, die wohl in der Vergangenheit mit einer exponentiellen Entwicklung übereinstimmt, sich in Zukunft aber verflachen und in eine zunehmende Sättigung übergehen würde? Da der Verlauf dieser Verflachung vollständig unbekannt ist, würden wir durch diese Komplizierung der Extrapolationsformel keine wirklichen Erkenntnisse gewinnen.

Keine mathematische Formel kann unsern Überlegungen über die Gültigkeit der Extrapolation fördern und indem wir diese unter der einfachsten Form anwenden, riskieren wir am wenigsten einen Missbrauch.

Als erstes sollten wir wissen, *ob* wir am Anfang einer Sättigung sind. Einige globale Statistiken vermochten diesen Eindruck zu erwecken: z. B. findet man, dass der Energieverbrauch unmittelbar nach dem Krieg zwischen 46 und 51, in Europa in denjenigen Ländern, die am Anfang dieser Periode den geringsten Verbrauch pro Kopf der Bevölkerung aufwiesen, ein wenig stärker war.

Aber dieser Eindruck hält einer nähern Prüfung nicht stand. Alle Studien zeigen, dass keine bedeutende Übereinstimmung zwischen der mittleren jährlichen Zunahme und dem Verbrauch pro Kopf der Bevölkerung besteht.

Tatsächlich findet man z. Z. noch keine Anzeichen einer Sättigung, nicht einmal in den am stärksten elektrifizierten Ländern.

Eine Sättigung hat sich schon in verschiedenen Anwendungen der Elektrizität gezeigt. Aber diese sind bisher immer durch andere Verwendungen

abgelöst worden. Der Elektrizitätsverbrauch verteilt sich ja auf eine Vielzahl von Anwendungen.

Falls eine Verbrauchskategorie, wie z. B. der Haushalt, bedeutungsvoll ist und je nach Land 10...25 % des Gesamtverbrauchs erreicht, so setzt sie sich in Wirklichkeit aus sehr verschiedenen Verwendungen zusammen (Licht, Kälte, Heizung, Fernsehen, Kleinmotoren usw.), welche jede wieder ihre eigenen Entwicklungsgesetze aufweist und für sich allein wieder nur einen kleinen Teil des Gesamtverbrauchs an Elektrizität ausmacht.

Es ergab sich somit bisher, dass eine grosse Zahl von gesättigten Verwendungen durch neue Anwendungen abgelöst wurde.

Warum werden solche Ablösungen auch in Zukunft mannigfach vorkommen oder warum wird dieser Rhythmus sich verlangsamen?

Vom philosophischen Standpunkt aus ist es eine Gewissheit, dass die Elektrizität einmal durch etwas anderes ersetzt oder aufgehoben werden muss, genau so wie die Eisenbahn durch die Strasse oder das Schiff durch das Flugzeug. Heute gestattet uns aber nichts anzunehmen, dass diese Erscheinung bereits in den nächsten 5...20 Jahren, für welchen die Elektrizitätsfachleute Voraussagen zu machen wagen, eintreten wird.

Eine seit längerem bekannte Überlegung geht dahin, dass eine Fortdauer der gegenwärtigen Zunahme nicht auszudenken ist, weil die Elektrizitätswirtschaft bereits Arbeitskräfte und Kapitalien von einer solchen Grössenordnung benötigt, dass es für die Volkswirtschaft nicht tragbar wäre, diesen Teil sich nochmals mehrmals verdoppeln zu lassen.

Die Gültigkeit dieser Überlegung ist durch zwei bedeutende Tatsachen vermindert: Einerseits ist die Verteilung von 2 mal soviel kWh pro Kopf der Bevölkerung selbst bei gleicher Technik weit davon entfernt, die dafür notwendigen Arbeitskräfte und die Investitionen zu verdoppeln. Andererseits vermindert der technische Fortschritt rasch den für die Erzeugung und Verteilung einer gleichen Energiemenge notwendigen Brennstoff und die dafür notwendigen Arbeitskräfte.

Wenn wir diese beiden Tatsachen berücksichtigen, so könnte die exponentielle Entwicklung noch lange andauern, bis die Elektrizitätswirtschaft die Volkswirtschaft zu stark in Anspruch nehmen wird, länger jedenfalls, als wir die Verbrauchsentwicklung vorauszusagen suchen. Wenn Aussagen über die Zukunft aber derart empirisch bleiben müssen, soll man sich einfach damit abfinden, dass ein grosses Zweifeln jede Vorausberechnung ersetzen muss; oder sind wir im Gegenteil genötigt, Prognosen zu machen, wohlverstanden ohne uns über deren Aussagewert Illusionen hinzugeben?

Mit andern Worten, besteht ein *Bedürfnis* nach Prognosen?

Eine erste Prognose, dass unsere Industrie im *Zunehmen* begriffen bleibt, machen wir gewöhnlich ohne uns dessen bewusst zu werden.

Für einen öffentlichen Dienst ist der Unterschied zwischen einer Zunahme von 1 % und einem Rückgang um 1 % je Jahr viel ausgesprochener, als der Unterschied zwischen einer Zunahme um 1 % und einer solchen um 8 % je Jahr.

Tatsächlich hat eine kleinere oder grössere Zunahme einfach zur Folge, dass sich die Geschwindigkeit, mit welcher das Netz ausgebaut werden muss, ändert. Sie ändert nichts daran, dass die Investitionen auf Grund der Zunahme des Verbrauchs erfolgen. Marginale Überlegungen geben daher eine gültige Grundlage für eine Verteilung der Aufwendungen auf die einzelnen Verbrauchskategorien und daher auch für die Tarifierung.

Wenn aber der Verbrauch im Rückgang begriffen ist, sei es auch nur gering, so fallen die marginalen Überlegungen in sich zusammen; die Besorgnis um den Rechnungsausgleich dauert fort, aber mit einer willkürlichen Verteilung der Ausgaben zu Lasten der einzelnen Verbrauchskategorien.

Hingegen verhindert eine auch noch so langsame Entwicklung nicht, dass die neuen Werke möglich werden; jede Aussicht auf einen weiteren Rückgang wird aber eine Erhöhung der installierten Leistung, die nur für wenige Jahre unbedingt notwendig ist, als äusserst drückend scheinen lassen.

Glücklicherweise sind die Aussichten für die Elektrizität sehr verheissungsvoll, so dass niemand in Zweifel ziehen wird, dass sich die Elektrizitätswirtschaft noch lange aufwärts entwickeln wird.

Man könnte sich nun fragen, ob es notwendig ist, mehr zu wissen und ob wir nicht weiterleben können, indem wir die neuen Werke und Übertragungsanlagen vorweg entsprechend den Bedürfnissen ohne langfristige Planung ausbauen.

Wir können zeitlich unbestimmte Programme aufstellen unter der Annahme, dass kein Rückgang stattfinden wird, und Örtlichkeiten für neue Zentralen vorbereiten, die Arbeiten aber nicht vorher aufnehmen, als es auf Grund einer Verbrauchsprognose, die auf die Dauer dieser Arbeiten begrenzt ist, notwendig erscheint. So würde es genügen, in einem Land mit hydraulischer Energieproduktion auf 4 Jahre, in einem Land mit thermischer oder gemischter Produktion auf 2 Jahre vorzuschauen.

In diesem Sinne hat die Elektrizitätswirtschaft nicht das gleiche Bedürfnis nach Prognosen wie jene Industrien, die grosse Investitionen vornehmen müssen anstatt nur vorzu zu investieren. Um ein extremes Beispiel zu nennen, hat man den Suezkanal nicht in Angriff nehmen können ohne Prognosen über den zukünftigen Verkehr mindestens für die Dauer der Anleihe rückzahlungen zu machen; entsprechend dem Aussagewert dieser Prognosen konnte der Bau sowohl als rentabel als auch als unrentabel erscheinen.

Im Gegensatz dazu muss ein Elektrizitätsunternehmen nur wissen, dass es keinen Rückgang der Leistung während 30 Jahren geben wird, um Geld für 30 Jahre zu leihen, aber die Zuwachsrate ist wenig bedeutungsvoll.

Dies gilt aber nur, wenn man bloss die Erzeugung und Verteilung berücksichtigt; aber dies ist nur ein Teilaspekt: sie bedingen und fördern das Baugewerbe und die Elektroindustrie, welche einen grösseren Umsatz und mehr Arbeitskräfte aufweisen.

Zweifellos setzen diese Industrien im Verhältnis zu ihrem Umsatz geringere Kapitalien ein und hät-

ten von diesem Gesichtspunkt aus ein geringeres Bedürfnis nach Zukunftsprognosen.

Eine regelmässige Zunahme des Verbrauchs um 8% wird nahezu den doppelten Einsatz der Elektroindustrie bedingen gegenüber demjenigen, der sich in einer Periode mit nur 4%iger jährlicher Verbrauchszunahme ergeben würde.

Deshalb wird z. B. die Erstellung neuer Turbinen- und Schalterwerkstätten eine Prognose auf lange Sicht bedingen.

Vom finanziellen Standpunkt aus haben alle Zukunftsprognosen immer einen gewissen *relativen* Aspekt. Es ist nicht notwendig, die absolute Rendite der in der Elektrizitätswirtschaft investierten Kapitalien zu kennen, als vielmehr zu wissen, ob sie hier mehr Sicherheit geniessen als in andern möglichen Verwendungen.

In dieser Beziehung ergibt sich eine positive Antwort aus der Tatsache, dass die Elektrizität im technischen Fortschritt eine sehr bedeutende Rolle spielt, so dass das Risiko einer Stagnation in der Elektrizitätswirtschaft bestimmt geringer ist, als in der Mehrzahl aller übrigen Industriezweige.

So sind vom Gesichtspunkt der Energieerzeugung und -verteilung aus ziffernmässige Prognosen wirklich nur notwendig für die Zeit, die es braucht, um neue Anlagen zu erstellen. Für eine weitere Zukunft genügen qualitative Voraussagen, wobei es am Wichtigsten ist, das Risiko eines andauernden Rückganges vernachlässigen zu können.

Um diese Prognosen festzuhalten, kann man Zahlen verwenden, indem man diesen nur einen *qualitativen* Aussagewert beimisst. Die Amerikaner haben uns an einen solchen Gebrauch der Zahlen gewöhnt und wir halten uns nicht mehr darüber auf, zu vernehmen, dass in der Eignung für eine Aufgabe der Charakter zu 40% und die Intelligenz zu 25% den Ausschlag gibt. Obschon wir es mit viel besser definierten Grössen zu tun haben, so ist den Prognosen auf lange Sicht nur der Wert einer Grössenordnung beizumessen. Keine Einzeluntersuchung kann eine Schätzung, dass sich der Verbrauch in 20 Jahren verdreifacht oder vervierfacht haben wird, rechtfertigen, und die Verwendung von Extrapolationsformeln ohne sichere Basis kann nur trügerisch sein.

Solche Schätzungen gehören naturgemäss in das Grenzgebiet zwischen Wissenschaft und Kunst.

Aus der Tatsache, dass genaue Prognosen unmöglich sind, geht nicht hervor, dass der Mensch hilflos ist. Er ist fähig, die mächtige Anhäufung von Angaben verschiedenster Art über die Industrie, in welcher er lebt, aus einer langen Beobachtungsperiode auszuwerten.

In den meisten Ingenieurberufen (ausgenommen vielleicht im Bauwesen) haben Zahlen nicht auf Grund der Autorität eines Mannes mehr Geltung als auf Grund zahlenmässiger Berechnungen, und wir haben oft das Bedürfnis, den zahlenmässigen Beweis schriftlich zu verlangen. Aber wenn ein berühmter Chirurg eine grosse Operation für notwendig hält, wer würde es dann wagen, von ihm eine Rechtfertigung zu verlangen, mit Hinweis auf die verschiedenen Möglichkeiten im vorliegenden Fall?

Genau gleich steht es mit den meisten grossen Entscheidungen auf industriellem Gebiet. Wer hätte z. B. zahlenmässig das militärische Interesse an der Atomforschung rechtfertigen wollen, als diese ihren Platz in den amerikanischen Kriegsanstrengungen einnahm, und wer kann heute eine Bilanz zwischen den Kosten der Forschung auf Kerngebiet und dem gegenwärtigen Wert des wahrscheinlichen Unterschiedes zwischen den Gesteuerpreisen der Atomkraftwerke und der traditionellen Kraftwerke ziehen?

Die Gewohnheit verlangt für alle Entscheidungen nach rechtfertigenden Berechnungen; wir haben die Tendenz, das Gebiet, wo die Berechnungen einen Sinn haben, zu überschätzen.

Für die Schätzungen der Verbrauchstendenzen auf lange Sicht gibt es keine Rechenschaft und es ist unmöglich, die Wahrscheinlichkeiten aller möglichen Verbrauchswerte genau zu erfassen.

Zweifellos wird die Verbesserung der statistischen Daten dazu beitragen, den Zeitraum, wofür wir Prognosen von einigem Wert stellen können, zu verlängern.

Aber es besteht auch die Tendenz einer Verkürzung dieses Zeitraumes durch die *Beschleunigung der industriellen Entwicklung*, welche der Beschleunigung des technischen Fortschrittes folgt.

Ganz allgemein verkürzen sich die Zeiten für menschliche Voraussagen; wir können uns das Leben unserer Ururenkel nicht mehr so leicht vorstellen, wie das vergangenen Generationen möglich

war. Halten wir beiläufig fest, dass die gleiche technische Evolution den Zeitraum für die Vergegenwärtigung noch ferner Werte verkürzen sollte:

Der Zeitraum, in welchem ein Kapital nur noch die Hälfte ursprünglichen Wertes ist, hat die Tendenz, sich mit der Beschleunigung des Fortschrittes zu verkürzen. Der Zinssatz, der z. Z. im umgekehrten Verhältnis steht, sollte daher im Laufe des Jahrhunderts steigende Tendenz aufweisen, wenn die Auswirkung dieser Tendenz nicht durch viele andere Ursachen, die für den Kapitalzins bestimmend sind, unterdrückt würde.

Zukunftsprognosen sind daher immer heikler und entziehen sich vereinfachender Rechenschaft.

Daraus entstehen aber für die Elektrizitätswirtschaft keine schwerwiegenden Folgen, weil diese die Möglichkeit hat, sich in ihrem Ausbau dem wirklichen Wachstum des Verbrauchs anzupassen, nur mit der Verschiebung, die nötig ist für die Erstellung der Anlagen.

Obschon die notwendigen Kapitalien in Erzeugung und Verteilung eine weit grössere Rolle spielen als in der Elektroindustrie, so verlangen sie eine relative und nicht eine absolute Sicherheit. Sowohl in einer freien als auch in einer dirigierten Wirtschaft handelt es sich immer darum, zwischen den Investitionsmöglichkeiten zu *wählen*, und diese Wahl bietet nur eine relative Sicherheit.

Adresse des Autors:

P. Ailleret, Directeur des Etudes et Recherches de l'Electricité de France, 12, Place des Etats-Unis, Paris 16°.

Der zukünftige Energiebedarf der Welt und seine Deckung

[Nach: «Energy in the Future». By Palmer Cosslet Putnam. New York, Nostrand 1953; 8°, X, 556 p., 160 fig., 152 tab., 18 pl.]

621.311.003

Die fortschreitende Erschöpfung der fossilen Welt-Energievorräte lässt es ratsam erscheinen, eine Standortbestimmung vorzunehmen und einen Blick in die Zukunft zu werfen. Die hier zusammengefasste, im Auftrage der amerikanischen Atomenergiekommission aufgestellte Studie ist ein Versuch in dieser Richtung. Wir geben diesen Ausführungen Platz in der Meinung, damit zur sachlichen Abklärung des uns alle beschäftigenden Problems der zukünftigen Gestaltung unserer Energiewirtschaft beizutragen.

Die natürlichen Grenzen, die der thermischen Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen gesetzt sind, bestätigen die Notwendigkeit des Vollausbaues aller Wasserkräfte und deren baldige Ergänzung durch neue Energiequellen, vor allem durch Verwertung der Kernenergie.

Vu l'épuisement progressif des réserves mondiales de combustibles fossiles, il semble judicieux de faire le point dans ce domaine et d'essayer d'établir des prévisions pour l'avenir. L'étude que nous résumons ici a été entreprise aux Etats-Unis à l'instigation de l'«Atomic Energy Commission» (AEC); elle représente un essai dans cette direction. Nous reproduisons les idées de l'auteur en pensant contribuer ainsi à éclaircir le problème de la structure future de notre économie de l'énergie, problème qui nous préoccupe tous.

Les limites naturelles qui sont fixées à la production thermique d'énergie électrique basée sur les combustibles fossiles confirment la nécessité qu'il y a d'aménager complètement nos forces hydrauliques et de remplacer bientôt les dits combustibles par de nouvelles sources d'énergie, grâce notamment à l'utilisation de l'énergie nucléaire.

Obwohl Putnam im Titel seines Buches das Wort «Zukunft» anführt, so möchte er sich nicht als Prophet verstanden wissen. Die Zukunft der Menschheit ist ungewiss. Dies darf uns aber nicht daran hindern, den Fall zu prüfen, dass sich das Leben für ein weiteres Jahrhundert mit der Beschleunigung, woran wir uns bereits gewöhnt haben, weiter entwickeln würde. Dem Autor geht es daher um einen vorläufigen Versuch, den höchsten zukünftigen Welt-Energiebedarf abzuschätzen, womit in den kommenden 50 bis 100 Jahren mutmasslich gerechnet werden muss. Auf die Tatsache, dass es um die Schätzung des wahrscheinlich höchsten Energiebedarfs und nicht etwa um diejenige eines möglichen Minimums geht, legt Putnam immer wieder besonderen Nachdruck. Nachdem das Werk im

Auftrag der Atom-Energie-Kommission (AEC) verfasst wurde, zielt es im Endzweck auf eine Untersuchung der höchsten Ansprüche hin, welche Kernenergie in den nächsten 50 bis 100 Jahren sollte befriedigen können.

Systematisch ist das Werk so aufgebaut, dass zunächst das Wachstum der Bevölkerung der Erde in der Vergangenheit untersucht wird, um die Frage abklären zu können, ob die zukünftige Entwicklung der Bevölkerung voraussehbar ist. Nachdem die mutmasslich höchste Zunahme festgestellt ist, folgt eine Schätzung des wahrscheinlich höchsten Energiebedarfs, sowohl pro Kopf als auch für das Total der berechneten Maximalbevölkerung. Sodann gibt das Werk einen Ueberblick über die wirtschaftlich abbaubaren Vorräte an fossilen Brennstoffen und

über die Möglichkeit, andere Energiequellen ausserhalb der Atomenergie — vor allem die verschiedenen Formen der Sonnenenergie — zur Deckung des Energiebedarfs zu niedrigen Gestehungskosten heranzuziehen. Daraus kann gefolgert werden, wie dringend die Notwendigkeit zur Entwicklung neuer Energiequellen zu niedrigen Kosten ist, und es lassen sich die höchsten Bedürfnisse, welche Kernenergie sollte befriedigen können, beurteilen.

Das Werk ist charakterisiert durch ein reiches Quellenmaterial. Allein die Bibliographie der veröffentlichten und unveröffentlichten Werke umfasst 60 Seiten. Im Nachwort wird betont, dass an der Sammlung dieses Materials ein ganzer Stab von Mitarbeitern der AEC mitgewirkt hat.

1. Die bisherige und die zukünftige Entwicklung der Weltbevölkerung

Auf Grund archäologischer Funde lässt sich die Weltbevölkerung im Jahre 10 000 vor Christus auf rund 1 Million schätzen. Die Entwicklung bis zu Kaiser Augustus' Zeiten kann nur sehr langsam gewesen sein, mit einer durchschnittlichen jährlichen Zuwachsrate von ungefähr 0,5 %. So stieg die totale Bevölkerung bis zu Christi Geburt auf ungefähr 275 Millionen an. In den folgenden sieben Jahrhunderten des Mittelalters kann die Zunahme vernachlässigt werden. Erst vom Jahre 1000 an setzte eine spürbare Aufwärtsentwicklung ein, die vom 17. Jahrhundert an explosiven Charakter annahm, und zwar ziemlich gleichmässig sowohl in der östlichen als auch in der westlichen Hemisphäre. Das Tempo des Zuwachses wurde immer rascher; die durchschnittliche Rate stieg von 2 % im Jahre 1650 auf 11 % im Jahre 1951 und ist weiter in Erhöhung begriffen. Im Jahre 1950 erreichte die Weltbevölkerung 2,4 Milliarden Seelen.

Die bisherigen Versuche zur Voraussage der Bevölkerungsentwicklung haben sich als unzuverlässig erwiesen. Die vom englischen Philosophen Malthus im Jahre 1798 vorausgesagten Hemmnisse einer Zunahme infolge Anstiegs der Bevölkerung in geometrischer Reihe und der Nahrungsmittelproduktion in arithmetischer Reihe sind durch den wissenschaftlichen Fortschritt bisher ausgeschaltet worden. Andere Schätzungen, die sich auf die Ein- und Auswanderung sowie auf Geburts- und Sterbeziffern stützen, waren ebenfalls unbefriedigend, vor allem auf Grund der Unmöglichkeit einer Vorhersage der Geburtenziffer. Interessant ist eine mathematische Methode auf Grund von S-Kurven, die von einer unteren zu einer oberen Asymptote verlaufen. Verschiedene Völker haben sich nach dieser Gesetzmässigkeit entwickelt, andere aber wieder nicht. Die Schwierigkeit bei dieser Methode liegt in der Feststellung des Wendepunktes der Kurve.

So kommt Putnam zum Schlusse, dass gültige Vorhersagen der wirklichen Bevölkerungsentwicklung heute noch nicht möglich erscheinen. Diese Unmöglichkeit schliesst aber eine Schätzung der wahrscheinlich höchsten Bevölkerung in 50 oder 100 Jahren nicht aus.

Um dieses Maximum zu berechnen, werden zwei Wege beschritten. Zunächst einmal eine rein mathematische Projektion der bisherigen Entwicklung in

die Zukunft und dann eine Überprüfung der Resultate auf Grund einer Unterteilung der Weltbevölkerung in sechs Gruppen und der Untersuchung der spezifischen mutmasslichen maximalen Zuwachsraten für jede dieser Gruppen.

Sicher ist, dass das gegenwärtige Tempo der Zunahme der Bevölkerung vorübergehend sein muss und nicht noch einige tausend Jahre andauern kann, sonst müsste die ganze Erdoberfläche von Menschen geradezu übersät werden. Es sind aber keine zwingenden Gründe dafür vorhanden, dass das Entwicklungstempo bereits in den kommenden 100 Jahren langsamer werden muss. Als einzige unmittelbare Grenzen, die einer genügenden Ernährung der Bevölkerung gesetzt sind, müssen das Kapital, welches wir für die Produktion der Nahrungsmittel einsetzen wollen, und die politischen und wirtschaftlichen Massnahmen, die für deren Verteilung notwendig sind, betrachtet werden. So wird als ein Zufall, der aber zu wahrscheinlich sein kann, um nicht berücksichtigt zu werden, eine Weiterentwicklung der Bevölkerung im Rhythmus von jährlich 11 % für die nächsten 50 bis 100 Jahre angenommen. Auf Grund dieser Annahme — ausgehend von einer Basis von $2,33 \pm 0,17$ Milliarden pro 1950 — ist im Jahre 2000 bei rein mathematischer Projektion mit einer Bevölkerung von $3,9 \pm 0,3$ Milliarden und im Jahre 2050 von $7,2 \pm 1,0$ Milliarden zu rechnen.

Eine derartige Zunahme der Bevölkerung könnte nur eintreten, wenn ein grosser Teil der Völker, die heute noch in ungebildeten bäuerlichen Lebensformen ihre Existenz fristen, eine demographische Wandlung durchmachen zu gebildeten, industriellstädtisch-landwirtschaftlichen Lebensformen hin. Das Analphabetentum, das gegenwärtig noch die Hälfte der Weltbevölkerung kennzeichnet, würde zurückgehen. Eine solche Wandlung ist nicht möglich ohne einen Anstieg der Bevölkerung. Sie ist gekennzeichnet auf Grund der Erfahrung zunächst durch ein Sinken der Sterblichkeit und — allerdings erst später — durch einen Rückgang der Geburtenhäufigkeit. Eine zunehmende Bevölkerung wäre auf der Basis primitiver bäuerlicher Lebensformen nicht möglich, weil nur wenige ausserhalb der Landwirtschaft Tätige überhaupt erhalten werden könnten. Daher ist mit grosser Wahrscheinlichkeit zu rechnen, dass eine Wirklichkeit werdende, gebildete, industrialisierte und verstädterte Weltbevölkerung grösser sein muss als die gegenwärtige. Dies will nicht heissen, dass die heute schon bestehenden Entwicklungsunterschiede zwischen den Völkern sich verringern müssten.

Anhand von schematischen Darstellungen mittels S-Kurven wird gezeigt, auf welcher Stufe sich die einzelnen Völker der Erde — in 6 Gruppen zusammengefasst — im Zuge der erwähnten demographischen Wandlung befinden. Am wenigsten weit fortgeschritten ist die Wandlung in den grössten Teilen Afrikas, Chinas, Indiens und Indonesiens, am weitesten in Europa, Kanada und den USA. Gewisse Völker oder Teile davon werden allerdings diese Transformierung möglicherweise überhaupt nicht durchmachen. Charakteristisch für die unterhalb des Wendepunktes der Kurve liegenden Völker-

gruppen ist eine relativ hohe und für die oberhalb liegende eine relativ niedrigere Wachstumsrate.

Für jede dieser Völkergruppen werden spezifische Multiplikatoren und die Zunahme innerhalb der einzelnen Gruppen berechnet. Die auf diese Weise resultierende Weltbevölkerung von 6,3 Milliarden ist etwas niedriger als die auf Grund mathematischer Ableitung errechnete von $7,2 \pm 1$ Milliarden. Immerhin bestätigt die Grössenordnung, dass in den nächsten 100 Jahren die wahrscheinlich höchste Bevölkerung gegenüber 1950 auf ungefähr das Dreifache ansteigen und zwischen 6 und 8 Milliarden zu stehen kommen dürfte. Dies ist nicht das höchst denkbare Bevölkerungsmaximum für 2050 überhaupt; es handelt sich nur um ein wahrscheinliches Maximum.

Die Mittel, um diese Menschen mit Nahrung, Kleidung und Obdach zu versehen, sind vorhanden. Es wird im Anhang ein Ueberblick gegeben über die Schätzungen des kultivierbaren Bodens der Erde und über die Ertragssteigerungen, die auf dem heute bereits genutzten Boden möglich sind, wobei die Mechanisierung der Landwirtschaft und die Düngung des Bodens eine grosse Rolle spielen werden.

Für die folgenden Untersuchungen über den Energiebedarf wurden auf Grund dieser Untersuchungen über die Bevölkerungsentwicklung für das Jahr 2000 3,7 Milliarden und für das Jahr 2050 6 Milliarden Seelen angenommen. Derart grosse Menschenmassen wären notwendigerweise charakterisiert durch einen grösseren Energiebedarf pro Kopf.

2. Der Energiebedarf in Vergangenheit und Zukunft

Der Überblick über den Roh- und den Nutzenergiebedarf der Welt, aufgeteilt nach Zonen und Ländern, wie Argentinien, Frankreich, Deutschland, Indien, Japan, das Vereinigte Britische Königreich, USA- und USSR, wird für die Zeit von 1860 bis 1950 gegeben, wobei auf die Fehlermöglichkeit der Statistiken für gewisse Gebiete hingewiesen wird. Die zur Darstellung gewählte Energieeinheit ist die britische Wärmeeinheit BThU¹⁾.

Während der Rohenergiebedarf der Welt für das ganze Jahrhundert von 1850 bis 1950 rund $4 Q^2$) betrug, erhöhte er sich im Jahr 1947 auf $0,093 Q$ oder $9,3 Q$ für hundert Jahre, und im Jahr 1950 auf über $10 Q$ für hundert Jahre. Im Jahre 1950 hat der jährliche Weltrohenergiebedarf ungefähr $0,003 \%$ der auf die Erdoberfläche fallenden Sonnenenergie erreicht.

Unter den einzelnen Energieträgern war Brennholz bis zum Jahre 1880 die Hauptenergiequelle. In jenem Zeitpunkt wurde es von der Kohle überflügelt. Diese erreichte ihren grössten Anteil mit 88% im Jahre 1910; seither hat sich dieser wieder zurückgebildet auf 53% im Jahre 1947. Bis zum Jahre 1940 trugen landwirtschaftliche Abfälle mehr zur Deckung des Rohenergiebedarfs bei als alle flüssigen Brennstoffe (inklusive Gas) zusammen. Der Anteil der flüssigen Brennstoffe ist allerdings in jüngerer

Zeit in starkem Anwachsen, von 3% im Jahre 1900 auf 12% 1925 und 25% im Jahre 1947. Für 1950 wird er auf 30% geschätzt. Obwohl der Anteil der Wasserkraft seit der Jahrhundertwende ebenfalls ansteigende Tendenz zeigt, erreichte er noch nicht einmal 1% des Ganzen.

Um von den Zahlen des Rohenergieaufwandes zu solchen über die Nutzenergieerzeugung zu gelangen, enthält das Buch ausführliche Erörterungen über den Wirkungsgrad der Umwandlung der Rohenergieträger in Wärme für konsumtive Zwecke, Wärme für produktive Zwecke und Energie für Kraftzwecke in den einzelnen Ländern. Der Autor kommt dabei zum Schluss, dass sich durchschnittlich der Wirkungsgrad für alle Nutzenergieformen in den USA von 1900 bis 1950 nahezu verdreifacht hat bei einem Anstieg von rund 11% auf rund 30% , während derjenige der ganzen Welt sich in der gleichen Zeit von 11% auf 22% verdoppelt hat. An letzter Stelle stehen Indien und Japan mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 6% bzw. 13% .

Diese Steigerungen des Wirkungsgrades sind der Grund dafür, dass sich der Rohenergiebedarf pro Kopf der Bevölkerung in den vergangenen Jahrzehnten in verschiedenen Ländern und in der Welt nur sehr langsam oder überhaupt nicht mehr aufwärts entwickelt hat, trotzdem der Nutzenergiebedarf in ständigem Anwachsen war. So stieg der Rohenergieaufwand pro Kopf in den USA von 1917 bis 1947 nur um ganze 7% , während sich die Nutzenergieerzeugung pro Kopf im gleichen Zeitraum um 260% erhöhte. Ausgehend vom Jahre 1860 erforderte die erste Verdoppelung des Nutzenergieverbrauches pro Kopf für die ganze Welt durchschnittlich 39 Jahre, die zweite ungefähr 37 Jahre und die dritte rund 16 Jahre. 1950 betrug der durchschnittliche Nutzenergieverbrauch pro Kopf der Weltbevölkerung rund 10 Millionen BThU (2,52 Millionen kcal).

Der totale Nutzenergieverbrauch der Welt stieg von 1860 bis 1950 um durchschnittlich $2,2 \%$ je Jahr, wobei die Zuwachsrate im Anstieg begriffen ist. Seit 1935 steht sie auf etwa 3% . Nachdem eine Steigerung des Wirkungsgrades im bisherigen Ausmass kaum mehr in Frage kommen wird, dürfte der zukünftige Anstieg im Nutzenergieverbrauch zu einem relativ stärkeren Anstieg im Rohenergieverbrauch führen als bisher.

Die zukünftig angenommene starke Steigerung der Weltbevölkerung wird nicht eintreten können ohne einen mutmasslich starken Anstieg des Nutzenergiebedarfs pro Kopf, weil die beschriebene demographische Wandlung mit höherer Produktivität, höherem Realeinkommen und höherer Nachfrage pro Kopf verbunden sein wird. Ein Maximum verlangt somit nach einem andern.

Die Schätzung des zukünftigen Maximums an Energieverbrauch wird abgeleitet, indem zunächst auf Grund einer prozentualen jährlichen Zunahme der Anstieg des durchschnittlichen Nutzenergieverbrauchs pro Kopf der Weltbevölkerung bestimmt wird. Dann folgt eine Schätzung über die wahrscheinlich geringste Zunahme des durchschnittlichen Wirkungsgrades. Auf Grund einer Division mit diesem Wirkungsgrad lässt sich dann der erforderliche

¹⁾ British Thermal Unit; 1 BThU = 1 lb (water), 1 °F = 0,252 kcal.

²⁾ 1 Q = 10^{18} BThU = $0,252 \cdot 10^{18}$ kcal = $0,252 \cdot 10^9$ Tkal = $2,92 \cdot 10^{14}$ kWh; 1 Q = 38 Milliarden Tonnen Kohle.

derliche Rohenergiebedarf pro Kopf bestimmen und daraus durch Multiplikation mit den für die Zukunft geschätzten Bevölkerungsziffern der totale Rohenergiebedarf errechnen. Eine Kumulierung der jährlichen Verbrauchsmenge erlaubt ferner einen Vergleich mit den vorhandenen Vorräten an Kohle, Öl und andern Energieträgern.

Alle Überlegungen sprechen dafür, dass die jährliche Nutzenergie-Nachfrage pro Kopf in den nächsten fünfzig Jahren nicht unter den erreichten durchschnittlichen Zuwachs von 3 % fallen wird. Im Gegenteil muss eine Zunahme von jährlich über 3 % als wahrscheinlich gelten. Deutschland, USSR, USA und Japan kannten schon während längerer Zeiträume jährliche Zunahmen zwischen 3,2 % bis 4,4 % im jährlichen Nutzenergieverbrauch pro Kopf.

In 100 Jahren dürfte der Wirkungsgrad der USA mindestens 43 % und der durchschnittliche der ganzen Welt 36 % erreicht haben.

Auf Grund dieser Schätzungen lässt sich bei einer jährlichen Zunahme des Nutzenergieverbrauchs pro Kopf um 3 % und bei einer Weltbevölkerung von 6 Milliarden der gesamte Rohenergiebedarf im Jahre 2050 zu 2,6 Q berechnen, d. h. er wäre rund 28mal höher als derjenige von 1950 in Höhe von 0,09 Q. Der durchschnittliche Rohenergiebedarf pro Kopf würde auf jährlich 500 Millionen BThU oder ungefähr das Doppelte des Verbrauchs der USA pro 1950 ansteigen. Der kumulative Rohenergieverbrauch bis zum Jahre 2050 würde 72 Q betragen. Sollte aber die Zuwachsrate auf 5 % steigen und die Bevölkerung auf 8 Milliarden, so müssten in den nächsten 100 Jahren 487 Q bereitgestellt werden.

3. Die wirtschaftlich ausnutzbaren Energiequellen (ohne die Kernenergie)

Ein Überblick über die bisher bekannten Vorkommen an fossilen Brennstoffen, wie Kohle, Erdöl, Erdgas, Teer, unter Berücksichtigung der Entwicklung der Einheitskosten der Ausbeutung, soll die Frage beantworten, für wie lange die Menschheit auf Grund dieser sogenannten «Kapitalenergie» noch einen hohen Lebensstandard erwarten darf. Unter «wirtschaftlich ausnutzbar» versteht Putnam eine Ausbeutung, die höchstens mit einer Verdoppelung der Einheitskosten gegenüber denjenigen von 1950 (unter Einrechnung einer Verbesserung des zukünftigen Wirkungsgrades) kalkulieren muss. Durch diese Einschränkung wird die Frage nach den in den verborgensten Schichten der Erde überhaupt vorhandenen Mengen dieser Energieträger hinfällig. Energiekosten in Höhe eines Mehrfachen der gegenwärtigen würden sich hemmend auf die Wirtschaft auswirken und würden den Tag, an welchem andere Energieträger den Energiestrom speisen müssten, näher rücken lassen.

Die Kohle ist der älteste mineralische Brennstoff der Menschheit. Bis zum Jahre 1950 sind ungefähr 55 % des gesamten Rohenergiebedarfs durch Kohle gedeckt worden. Bis Ende 1948 sind rund 2,3 Q an Kohle verbraucht worden, wovon drei Viertel allein seit 1900 und die Hälfte seit 1923.

Der Wärmeinhalt der wirtschaftlich ausbeutbaren Weltvorkommen an Kohle wird auf 32 Q ver-

anschlagt. Sowohl in Europa als auch in den USA sind die Gewinnungskosten gegenüber der Zeit zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts stark gestiegen, z. T. um die Hälfte, zum Teil auf das Doppelte. Bis vor kurzem wurde dieser Anstieg durch die Verbesserung des Wirkungsgrades der Umwandlung allerdings mehr als ausgeglichen. Zum Beispiel hat sich in den USA in den letzten 50 Jahren der Wirkungsgrad der thermischen Elektrizitätserzeugung verdreifacht, während die Kohlenkosten auf das 1,5fache anstiegen.

Der Wärmeinhalt aller bekannten und unbekanntem und wirtschaftlich ausbeutbaren Weltvorkommen an Rohöl (inklusive das damit vorkommende Naturgas) wird auf 5 Q geschätzt. Nachdem dem flüssigen Brennstoff immer mehr der Vorzug gegeben wird und anzunehmen ist, dass in den nächsten 50 Jahren darnach ein Bedarf in Höhe von 6,3 Q besteht, ist damit zu rechnen, dass der Bedarf an flüssigen Brennstoffen noch vor dem Jahre 2000 vollständig auf synthetischem Wege gedeckt werden muss. Die Erzeugung von Öl aus Kohle ist im Zuge des Anstieges der Erdölproduktionskosten und im Hinblick auf die sinkenden Kosten synthetischer Herstellung in greifbare Nähe gerückt. Wenn angenommen wird, dass bis zum Jahre 2000 10 Q Kohle in bisheriger Art und Weise verbraucht sein würden, so stünden noch 22 Q für die synthetische Herstellung von flüssigen Brennstoffen zur Verfügung. Die Umwandlungsverluste würden rund 11 Q betragen, so dass die 1950 wirtschaftlich gesicherten Kohlenvorkommen auf 21 Q zu veranschlagen sind. Zusammen mit allen wirtschaftlich nutzbaren Vorkommen an flüssigen Brennstoffen ist eine Weltreserve von rund 27 Q an fossilen Brennstoffen anzunehmen.

Ein Vergleich dieser Zahlen mit den auf Grund der Bevölkerungsentwicklung gewonnenen Energiebedarfsgrößen führt zum Schluss, dass die Menschheit nur noch für eine relativ kurze Zeit ihren Lebensstandard auf Grund einer Versorgung mit fossilen Energieträgern hochhalten können. Wenn das Risiko ernsthaft steigender Einheitskosten ausgeschaltet werden soll, so müssen in den USA bereits um 1975 und in der ganzen Welt nicht viel später neue und billige Energieträger einen grossen Teil der Energiebedarfsdeckung übernehmen.

In weiteren Untersuchungen prüft Putnam die Frage, inwieweit zu erwarten ist, dass die Menschheit in Zukunft auf Grund der sogenannten «Einkommensenergie», d. h. periodisch und kurzfristig sich erneuernder Energieträger, mit billiger Energie versorgt werden können, und zwar handelt es sich um eine Prüfung des Minimalbeitrages, der von diesen Energiequellen mutmasslich zu erwarten sein dürfte.

Zehn zur Bedarfsdeckung bereits benützte Energiequellen dieser Art, wie das Brennholz, landwirtschaftliche Abfälle, die Wasserkraft, die Windkraft, direkte Ausnützung der Sonnenwärme für Wärme- und Kraftzwecke, Wärmepumpen, Temperaturunterschiede in tropischen Gewässern, die Gezeiten und Natur-Wasserdampf, werden der Reihe nach eingehend beurteilt, mit dem Resultat, dass der Beitrag jeder einzelnen Energiequelle (mit Ausnahme der direkten Ausnützung der Sonnenwärme für

Wärmezwecke) an den zukünftigen Energiebedarf der Welt nur gering sein kann. Vom niedrigsten geschätzten kumulativen Rohenergiebedarf bis 2050 von 72 Q werden alle diese Energiequellen zusammen 5...10 Q oder 7 bis 15 % decken können, wovon die Hälfte allein auf die direkte Ausnützung der Sonnenwärme für Wärmeanwendungen entfallen dürfte.

Der jährliche Beitrag der Wasserkraft an den Weltrohenergiebedarf beträgt zur Zeit 0,7 %. Die Ausnützung der Wasserkraft ist wohl noch weiter im Zunehmen begriffen, aber die Zuwachsrate ist sinkend. Sie ist gefallen von 22 % im Jahrzehnt 1890 bis 1900 auf 4,75 % im Jahrzehnt 1940 bis 1950. Falls die Zuwachsrate im Zuge eines weiteren Rückganges nicht unter 1 in 100 Jahren fallen würde, dann könnte die aus Wasserkraft erzeugbare Energie bis zum Jahre 2000 auf das Fünffache und bis 2050 auf das Siebenzehnfache gesteigert werden.

Im Jahre 1950 leisteten die Wasserkraften ungefähr 75 Millionen kW (die installierte Generatorenleistung betrug rund 70 Millionen kW) und die Erzeugung erreichte ungefähr 50 Millionen kW an stets verfügbarer Leistung. Wenn angenommen wird, dass die jährliche Benützungsdauer gleich bleiben wird, dann würde der fünffache Zuwachs eine Leistung von 375 Millionen kW im Jahre 2000 und der siebenzehnfache Zuwachs eine Leistung von 1275 Millionen kW im Jahre 2050 bedingen. Die insgesamt ausnutzbaren Wasserkraften der Erde werden aber auf weniger als 400 Millionen kW geschätzt:

- 100 Millionen kW im Osten Russlands, in Indien, China, Japan, Australien und Neuseeland,
- 104 Millionen kW in Nord- und Südamerika,
- 175 Millionen kW in Europa, im europäischen Russland, im Mittleren Osten und in Afrika.

Diese Angaben beziehen sich auf eine minimale verfügbare Laufwerkleistung. Bei Speicherung könnte die jährliche Erzeugung im Vollausbau 1 Milliarde kW im Jahre erreichen, wozu eine installierte Leistung von ungefähr 2 Milliarden kW erforderlich wäre.

Wenn die Versiebzehnfachung der Erzeugung bis zum Jahre 2050 verwirklicht werden könnte, dann würde sich der kumulative Beitrag der Wasserkraften bis zu jenem Zeitpunkt auf 0,6 Q oder 0,8 % des niedrigsten geschätzten Rohenergiebedarfs der Welt stellen. Dabei ist nicht berücksichtigt, dass dieser potentiellen Zunahme der Wasserkraftnutzung progressive Verluste an Leistung infolge der Auffüllung der Speicherbecken entgegenstehen. So wird z. B. der Lake Mead (Bolder Dam) im Colorado in 127 Jahren aufgefüllt sein und das Werk nur noch als Laufwerk mit der halben Leistung betrieben werden können.

Auch für den Fall, dass die Wasserkraftausnützung raschere Fortschritte machen würde als angenommen, ist es nicht wahrscheinlich, dass diese Energiequelle je mehr als wenige Prozente an den Weltenergiebedarf beitragen könnte.

Neben den bereits praktisch ausgenützten «Einkommensenergien» werden noch verschiedene an-

dere erwähnt. Hierüber wird aber erst experimentiert. Interessant ist die beschriebene Ausnützung der Sonnenenergie mittels der Assimilation durch eine Algenart, der *Chlorella pyrenoidosa*. In Amerika sind bereits Versuche in dieser Richtung gemacht worden. In einer bestimmten Lösung und unter Anreicherung der Luft mit Kohlensäure wird diese Algenspecies in Laboratorien kultiviert, wobei ein Wirkungsgrad der Ausnützung der Sonnenenergie von beinahe 10 % erreichbar ist. Pro Jahr und pro acre (0,4 ha) ist ein Ertrag von 75 Tonnen eines gelblich-grünen Pulvers möglich, das 54 % Protein enthält. Dieses Pulver kann in Kraftwerken als Brennstoff dienen. Die dabei freiwerdende Kohlensäure und andere Stoffe liessen sich wieder fassen und weiterverwenden.

Die Produktionskosten für eine Gewinnung auf breiter industrieller Basis sind noch nicht bekannt. Auf Grund der Laboratoriumsversuche ist zu erwarten, dass die Gesteungskosten für die gleiche Energiemenge 150mal so gross sein werden wie die Gewinnungskosten der Kohle. Das würde heissen, dass die Elektrizitätserzeugung mit diesem *Chlorella*-Brennstoff 40- bis 50mal teurer würde als bei der Verbrennung von Kohle.

Obschon der Ertrag dieser Algen, der auf einem gleich grossen Gebiet wie das heute bepflanzte erzielbar wäre, genügen könnte, um den Energiebedarf von 6 Milliarden Menschen im Jahre 2050 zu decken, und obwohl sich das Protein für die Ernährung von Mensch und Tier verwenden liesse, besteht wenig Hoffnung, dass diese Art der Umwandlung der Sonnenenergie wirtschaftlich werden kann.

Es besteht somit nur geringe Hoffnung, dass die «Einkommensenergien» der Menschheit in Zukunft einen hohen Lebensstandard garantieren könnten. Ihr Beitrag zu wirtschaftlich tragbaren Kosten wird sich wahrscheinlich in engen Grenzen halten. Die Sicherung eines hohen Lebensstandards verlangt daher nach neuen und billigen «Kapitalenergien».

4. Die zukünftige Bedeutung der Atomenergie

Obwohl die technischen Fragen in bezug auf die Ausnützung der Atomenergie rasch gefördert werden konnten, enthält die wirtschaftliche Seite, die Kapitalkosten, die Lebensdauer, der Unterhalt usw. noch viele Unbekannte. Die Frage der Konkurrenzfähigkeit der Atomenergie ist somit heute nur noch eine Kostenfrage, wobei sich die Ungewissheit in engerem Rahmen hält und sich zwischen einem Kostenniveau bewegt, das um wenig unterhalb der bei Verwendung von Kohle möglichen Energiekosten bis auf ein solches in doppelter Höhe der auf Kohlenbasis gewonnenen Energie liegt. Die Grössenordnung des Kostenunterschiedes ist somit wesentlich geringer, als bei der Ausbeutung der *Chlorella*-Alge zu erwarten wäre. Auch ohne ein Atomwaffenprogramm würde das im Reaktor als Nebenprodukt anfallende Plutonium als Brennstoff weiter verwendet werden können.

Die Erzeugung elektrischer Energie scheint die geeignetste Anwendung der Kernenergie zu sein. Die Eingliederung der Atomenergie in ein grundsätzlich gegenüber dem heutigen nicht verändertes

Energiestatistik

der Elektrizitätswerke der allgemeinen Elektrizitätsversorgung

Bearbeitet vom eidgenössischen Amt für Elektrizitätswirtschaft und vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Die Statistik umfasst die Energieerzeugung aller Elektrizitätswerke für Stromabgabe an Dritte, die über Erzeugungsanlagen von mehr als 300 kW verfügen. Sie kann praktisch genommen als Statistik *aller* Elektrizitätswerke für Stromabgabe an Dritte gelten, denn die Erzeugung der nicht berücksichtigten Werke beträgt nur ca. 0,5 % der Gesamterzeugung.

Nicht inbegriffen ist die Erzeugung der Schweizerischen Bundesbahnen für Bahnbetrieb und der Industriekraftwerke für den eigenen Bedarf. Die Energiestatistik dieser Unternehmungen erscheint jährlich einmal in dieser Zeitschrift.

Monat	Energieerzeugung und Bezug											Speicherung				Energieausfuhr	
	Hydraulische Erzeugung		Thermische Erzeugung		Bezug aus Bahn- und Industriekraftwerken		Energie-Einfuhr		Total Erzeugung und Bezug		Veränderung gegen Vorjahr	Energieinhalt der Speicher am Monatsende		Änderung im Berichtsmonat — Entnahme + Auffüllung			
	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55		1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55
	in Millionen kWh											%	in Millionen kWh				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober ...	897	940	12	3	32	51	26	62	967	1056	+ 9,2	1369	1533	- 43	- 6	100	135
November ..	797	829	17	14	19	26	101	120	934	989	+ 5,9	1183	1360	-186	-173	67	73
Dezember ..	719	901	34	8	18	19	192	131	963	1059	+10,0	872	1210	-311	-150	61	86
Januar	699	924	27	3	21	25	221	99	968	1051	+ 8,6	596	1049	-276	-161	51	91
Februar	636	949	33	1	16	20	213	55	898	1025	+14,1	324	766	-272	-283	51	124
März	701	1067	17	3	19	21	166	67	903	1158	+28,2	187	398	-137	-368	46	144
April	807	1019	5	1	24	28	73	10	909	1058	+16,4	146	294	- 41	-104	69	151
Mai	958		2		34		40		1034			313		+167		126	
Juni	1048		1		60		27		1136			695		+382		203	
Juli	1123		1		65		39		1228			949		+254		240	
August	995		1		71		47		1114			1357		+408		201	
September ..	1011		2		72		52		1137			1539 ⁴⁾		+182		209	
Jahr	10391		152		451		1197		12191							1424	
Okt.-März ..	4449	5610	140	32	125	162	919	534	5633	6338	+12,5					376	653

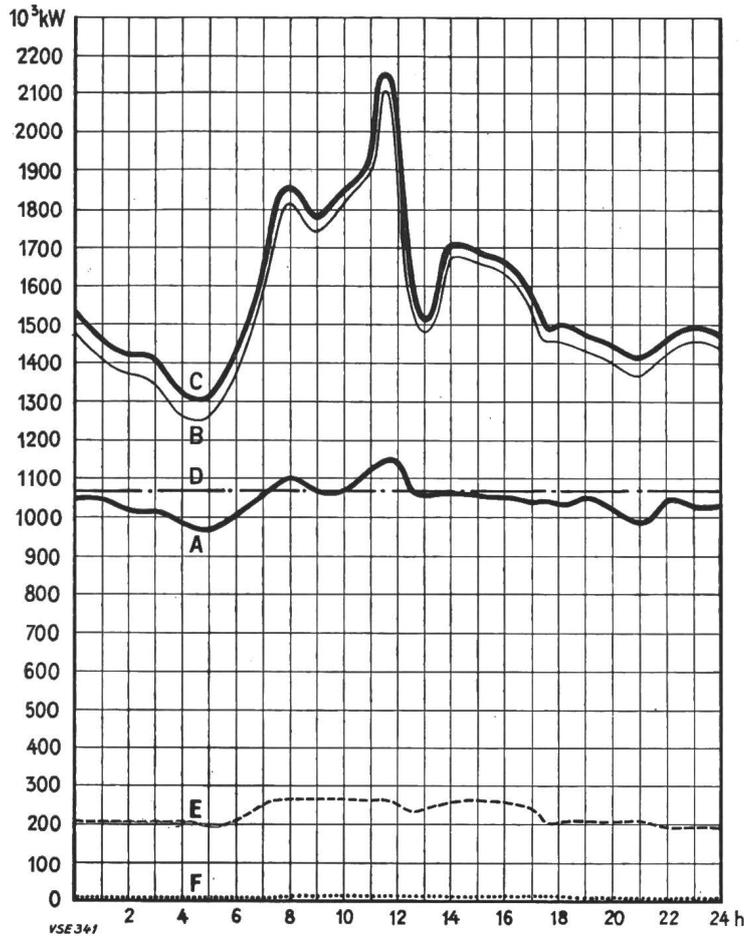
Monat	Verwendung der Energie im Inland																
	Haushalt und Gewerbe		Industrie		Chemische, metallurg. u. thermische Anwendungen		Elektrokessel ¹⁾		Bahnen		Verluste und Verbrauch der Speicherpumpen ²⁾		Inlandverbrauch inkl. Verluste				
													ohne Elektrokessel und Speicherpump.		Veränderung gegen Vorjahr ³⁾ %	mit Elektrokessel und Speicherpump.	
	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55	1953/54	1954/55		1953/54	1954/55
in Millionen kWh																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oktober ...	394	413	162	168	112	118	24	30	43	55	132	137	834	881	+ 5,7	867	921
November ..	411	431	161	178	101	111	10	9	58	59	126	128	851	903	+ 6,1	867	916
Dezember ..	435	459	166	174	97	119	4	9	67	75	133	137	895	958	+ 7,0	902	973
Januar	445	465	164	170	96	114	5	12	71	69	136	130	907	944	+ 4,1	917	960
Februar	407	417	158	162	91	111	4	26	63	66	124	119	839	874	+ 4,0	847	901
März	404	456	160	181	106	143	5	34	61	67	121	133	847	978	+15,5	857	1014
April	379	396	148	158	125	138	22	46	56	48	110 (5)	121 (8)	813	853	+ 4,9	840	907
Mai	379		151		128		68		47		135		819			908	
Juni	351		154		127		116		42		143		793			933	
Juli	357		154		137		136		52		152		831			988	
August	368		152		130		65		53		145		824			913	
September ..	378		158		124		66		55		147		839			928	
Jahr	4708		1888		1374		525		668		1604 (150)		10092			10767	
Okt.-März ..	2496	2641	971	1033	603	716	52	120	363	391	772 (32)	784 (27)	5173	5538	+ 7,1	5257	5685

1) D. h. Kessel mit Elektrodenheizung.

2) Die in Klammern gesetzten Zahlen geben den Verbrauch für den Antrieb von Speicherpumpen an.

3) Kolonne 15 gegenüber Kolonne 14.

4) Energieinhalt bei vollem Speicherbecken: Sept. 1954 = 1714.10⁶ kWh.



Tagesdiagramme der beanspruchten Leistungen.

Mittwoch, den 13. April 1955

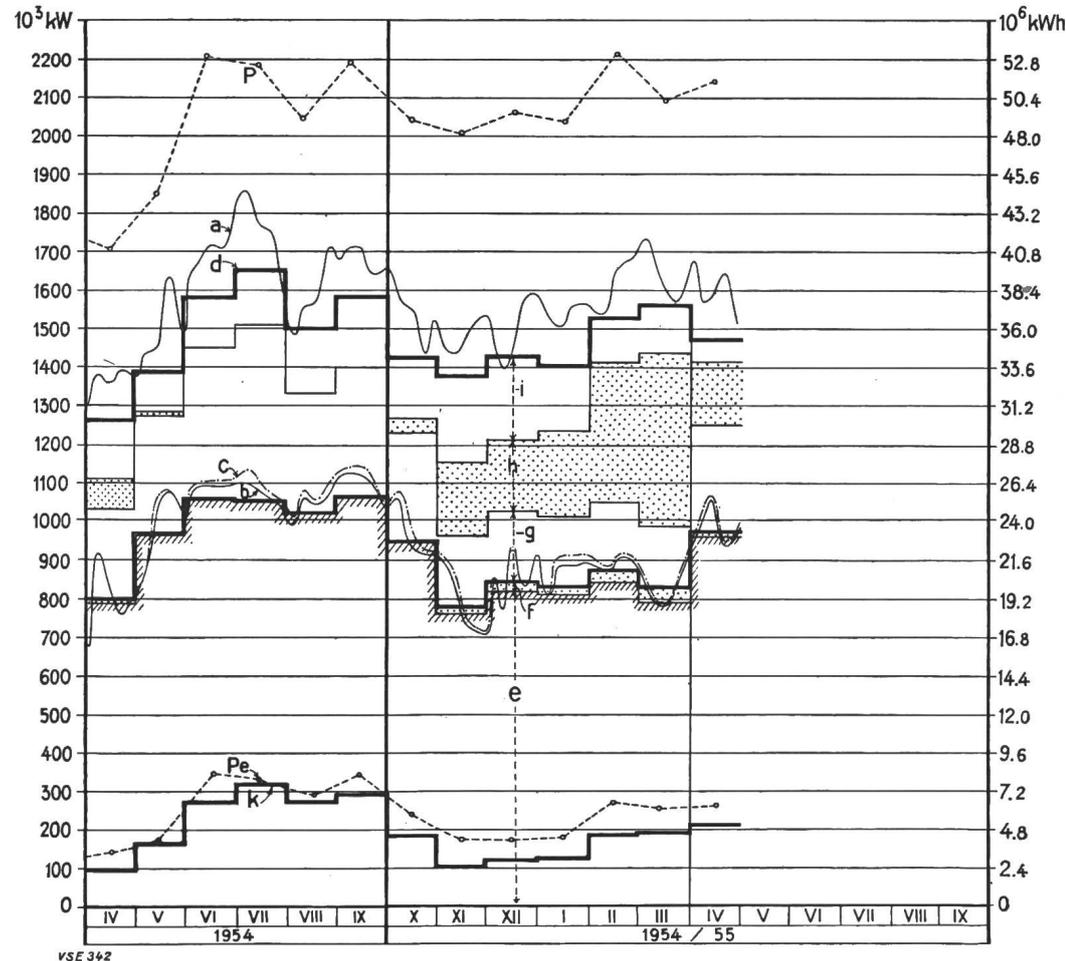
Legende:

1. Mögliche Leistungen:		10³ kW
Laufwerke auf Grund der Zuflüsse (0—D) . . .	1067	
Saisonspeicherwerke bei voller Leistungsabgabe (bei maximaler Seehöhe)	1367	
Total mögliche hydraulische Leistungen	2434	
Reserve in thermischen Anlagen	155	

2. Wirklich aufgetretene Leistungen	
0—A Laufwerke (inkl. Werke mit Tages- und Wochenspeicher).	
A—B Saisonspeicherwerke.	
B—C Thermische Werke, Bezug aus Bahn- und Industrie-Kraftwerken und Einfuhr.	
0—E Energieausfuhr.	
0—F Energieeinfuhr.	

3. Energieerzeugung		10⁶ kWh
Laufwerke	25,3	
Saisonspeicherwerke	12,0	
Thermische Werke	0	
Bezug aus Bahn- und Industrie-Kraftwerken	0,8	
Einfuhr	0,2	
Total, Mittwoch, 13. April 1955	38,3	
Total, Samstag, 16. April 1955	36,2	
Total, Sonntag, 17. April 1955	28,9	

4. Energieabgabe	
Inlandverbrauch	32,9
Energieausfuhr	5,4



Mittwoch- und Monatserzeugung

Legende:

- 1. Höchstleistungen:** (je am mittleren Mittwoch jedes Monates)
 P des Gesamtbetriebes
 P_e der Energieausfuhr.
- 2. Mittwoch-erzeugung:** (Durchschnittl. Leistung bzw. Energiemenge)
 a insgesamt;
 b in Laufwerken wirklich;
 c in Laufwerken möglich gewesen.
- 3. Monatserzeugung:** (Durchschnittl. Monatsleistung bzw. durchschnittl. tägliche Energiemenge)
 d insgesamt;
 e in Laufwerken aus natürl. Zuflüssen;
 f in Laufwerken aus Speicherwasser;
 g in Speicherwerken aus Zuflüssen;
 h in Speicherwerken aus Speicherwasser;
 i in thermischen Kraftwerken und Bezug aus Bahn- und Industriewerken und Einfuhr;
 k Energieausfuhr;
 d-k Inlandverbrauch.

Energiesystem wird am Beispiel der USA näher illustriert.

In den vergangenen 40 Jahren hat sich die Energieerzeugung grosso modo jedes Jahrzehnt verdoppelt, d. h. seit 1910 ist eine Versechzehnfachung eingetreten. Davon sind über 90 % in Wärmekraftwerken produziert worden. Infolge der ständigen Verbesserung des Wirkungsgrades bedingte diese Steigerung der Erzeugung nur einen 10mal grösseren Rohenergieaufwand. Im Jahre 1947 betrug der Rohenergieaufwand für die Elektrizitätserzeugung in den USA 4300×10^{12} BThU bei einem Total-Rohenergieaufwand von $33\,700 \times 10^{12}$ BThU. Von den 4300×10^{12} BThU sind rund 30 % in hydraulischen oder ganz kleinen thermischen Kraftwerken verbraucht worden, so dass noch 3000×10^{12} BThU oder 9 % des Total-Rohenergieaufwandes für die Anwendung der Kernenergie geeignet gewesen wären. Wenn für die nächsten 50 Jahre mit einer Verachtfachung der Elektrizitätserzeugung bei einer Versechsfachung des dafür notwendigen Rohenergieverbrauchs gerechnet wird (dies würde einem jährlichen Zuwachs an installierter Leistung um 4,25 % entsprechen), so würde die Elektrizitätserzeugung im Jahre 2000 einen Rohenergieaufwand von rund $25\,000 \times 10^{12}$ BThU oder ungefähr 17 % des für dazumal geschätzten Total-Rohenergiebedarfs erfordern. Wenn 70 % davon in Kernreaktoren erzeugbar wären, so liessen sich noch 12 % des gesamten Rohenergiebedarfs der USA durch Atomenergie decken.

Die Erzeugung von 3000×10^{12} BThU im Jahre 1947 durch Kernreaktoren hätte eine Wärmeleistung von rund 100 Millionen kW bedingt, die Erzeugung von $17\,500 \times 10^{12}$ BThU im Jahre 2000 würde eine Wärmeleistung von rund 600 Millionen kW erfordern.

In den USA ist damit zu rechnen, dass im Jahre 2000 auch ein Zehntel des Wärmebedarfs für konsumtive und für produktive Zwecke durch Kernenergie mit Leistungen von 100 Millionen kW bzw. 50 Millionen kW gedeckt werden könnte, so dass ungefähr 15 % des Total-Rohenergiebedarfs durch Atomenergie bereitgestellt werden könnten. Um die Leistung von 750 Millionen kW im Jahre 2000 zu erreichen, müssten ab 1970 durchschnittlich jährlich 25 Millionen kW ausgebaut werden.

Wenn die Versorgung mit billiger Energie eine der Hauptvoraussetzungen einer gesunden Volkswirtschaft ist, so muss ein Energiesystem, bei welchem 85 % des Bedarfs nicht geeignet sind, um aus Atomenergie gedeckt zu werden, nicht mehr das Richtige sein. Solange aber ein grosser Teil des gesamten Energiesystems aus kleinen Einheiten wie Autos, Autobussen, Flugzeugen, Eisenbahnen, Schiffen, Häusern besteht, würden wir in Zukunft einem Anstieg der Energiekosten, der unseren Lebensstandard reduzieren müsste, nicht entgehen können. Wir werden daher vielleicht einen starken wirtschaft-

lichen und sozialen Drang zur Wandlung unseres Energiesystems erleben, um es für die Ausnützung der Atomenergie geeigneter zu machen. Eine Lösung wäre durch eine starke Ausdehnung der Elektrifizierung gegeben. In Ländern, die dem heutigen Energiesystem noch nicht so stark verhaftet sind, wie z. B. die USSR, Indien, die Mandschurei, Brasilien und China, wäre ein solcher Übergang noch leichter zu bewerkstelligen.

Bestimmt wären die Kosten einer Elektrifizierung der Eisenbahnen und der Haushaltheizungen hoch, und sicher würde eine Elektrifizierung der Hauptstrassen und eine Ausrüstung der Motorfahrzeuge mit Elektromotoren und mit Batterien für die Befahrung der Zufahrts- und Nebenstrassen noch teuer zu stehen kommen. Auch die Ausrüstung der Schiffe und der Flugzeuge mit Kernreaktoren wäre teuer. Immerhin würde die Verteuerung kaum die Grössenordnung einer Vervierzigfachung erreichen wie für den Fall, dass wir in grossem Ausmass auf die Ausnützung der Sonnenenergie für Kraftzwecke angewiesen wären. Vielleicht liesse sich auf diese Weise im Jahre 2050 der Beitrag der Kernenergie an den gesamten Rohenergiebedarf der Welt auf 60 % erhöhen.

Die bis heute entdeckten und wirtschaftlich ausbeutbaren Vorkommen an Uran und Thorium lassen sich auf 25 Millionen t Uran und 1 Million t Thorium schätzen. Pro Pfund ist im Zuge fortschreitender Technik mit Gewinnungskosten von 100 \$ zu rechnen. Die durch Spaltung eines Pfundes Uran freiwerdende Wärme beträgt $3,3 \times 10^{10}$ BThU. Wenn eine vollständige Verbrennung der wirtschaftlich abbaubaren Vorkommen angenommen wird, ergeben sich $26 \times 10^6 \times 2 \times 10^3 \times 3,3 \times 10^{10} = 1716 \times 10^{18}$ BThU = 1716 Q. Wenn es wirtschaftlich sein sollte, nur einen Drittel des Wärmeinhalts auszunützen, so würde in der Welt eine Reserve an Spaltungsmaterial von 575 Q bestehen, d. h. 25mal mehr als an wirtschaftlich abbaubarer Kohle und über 100mal mehr als die Vorkommen an Erdöl und Gas. Somit könnten diese Vorkommen voraussichtlich den Weltenergiebedarf für einige Jahrhunderte decken.

Die totalen Kosten der Atomenergie sind noch ungewiss, die direkten Brennstoffkosten plus die Kosten für den Transport und die wiederholte Durchführung des Prozesses kamen im Jahre 1953 auf 0,001 \$ pro kWh zu stehen.

Heute bestehen bereits Hoffnungen, die Wasserstoff-Spaltung auch für friedliche Zwecke ausnützen zu können. Die Spaltung des in einer Kubikmeile³⁾ Meerwasser enthaltenen Wasserstoffes würde den Energiebedarf der Welt für viele hundert Jahre sicherstellen können.

Die Verhältnisse zwingen uns, neue und billige Energiequellen zu entdecken.

W. Goldschmid.

³⁾ $4,2 \cdot 10^9$ m³.