

Die Veröffentlichungen in der Beilage „Aus Politik und Zeitgeschichte“ stellen keine Meinungsäußerung der herausgebenden Stelle dar. Sie dienen lediglich der Unterrichtung und Urteilsbildung.

## Die Kernenergie in der zukünftigen Energiebildung der Welt

Zusammengestellt von der Abteilung für Wirtschaftliche und Soziale Angelegenheiten der Vereinten Nationen

### Einleitung <sup>1)</sup>

1. Die für die internationale Konferenz zur Verwendung von Atomenergie für friedliche Zwecke aufgestellte Tagesordnung sah auch die Abfassung einer Übersicht vor über die dem Sekretariat von den verschiedenen Ländern gelieferten Informationen betr. ihrer Energiequellen und ihres Bedarfs auf dem Gebiet der Energie- und Wärmewirtschaft in den nächsten 50 Jahren. Diese Übersicht hatte den Zweck, die Notwendigkeit einer neuen Energiequelle, und zwar der Atomenergie, aufzuzeigen und eine Gliederung der Länder nach dem Grade ihres Energiebedarfs vorzunehmen. Es wurde schließlich auch angeregt, die relative Bedeutung der Kernenergie für die nichtindustrialisierten Länder, für die Länder, die sich in einer Phase des Übergangs von der Agrar- zur Industriegewirtschaft befinden, und schließlich für die schon industrialisierten Länder hervorzuheben.

2. Zweiundzwanzig Länder <sup>2)</sup> haben Material für die Untersuchung geliefert, aber da ihnen kein Fragebogen vorgelegt worden war, sind die im Sekretariat eingegangenen Informationen fragmentarisch und ungleichartig. Einige Länder haben in erster Linie einen Überschlagn ihrer zukünftigen Bedarfs für einen bei den einzelnen Ländern verschiedenen Zeitraum gemacht. Andere wieder, die sich auf solche Schätzungen nicht einlassen wollten, haben sich auf eine Übersicht über ihre herkömmlichen Energiequellen beschränkt. Mit Ausnahme des Gebietes der Wärmewirtschaft haben die meisten vor allem das Gebiet der Energiewirtschaft und hier im besonderen das der Elektroenergie eingehend behandelt. Um einen Gesamtüberblick über die Probleme zu geben, haben wir diese Informationen unter Zuhilfenahme anderer Informationsquellen ergänzt <sup>3)</sup>.

3. Die Einteilung der Länder nach ihrem Industrialisierungsgrad als Grundlage für die Feststellung der wirtschaftlichen Bedeutung der Kernenergie hat sich als willkürlich erwiesen. Das Land, das 1954 pro Einwohner die meiste Elektroenergie verbraucht hat (6 450 kWh), verfügt über herkömmliche Energiequellen, deren Ausbau ihm noch auf lange Zeit vorteilhafter zu sein scheint, als die Errichtung von Kernspal-

tungsanlagen. Gewisse Gebiete eines anderen Landes, dessen durchschnittlicher Jahresverbrauch nur 20 kWh beträgt, verfügen schon jetzt nicht mehr über die notwendigen herkömmlichen Energiequellen. Übrigens kann die Atomenergie, ganz abgesehen vom Industrialisierungsgrad eines Landes, für alle Länder die Grundlage eines neuen Aufschwungs bilden, wenn sie zu einem angemessenen Preis geliefert wird. Aus diesem Grunde haben wir deshalb eine andere Gliederung wie die ursprünglich vorgesehene gewählt, wie gleich zu ersehen ist.

#### INHALT DIESER BEILAGE:

**Die Kernenergie in der künftigen Energiebildung der Welt**

**Das Atomenergieprogramm der Britischen Regierung (S. 577)**

Abel Wolman — Arthur E. Gorman:

**Die Kontrolle und Beseitigung von radioaktiven Abfällen (S. 583)**

4. Die relative Notwendigkeit, während der vor uns liegenden 50 Jahre zu einer Integration der Atomenergie in das Energiesystem der Welt zu kommen, geht vor allem aus einer quantitativen und qualitativen Bilanz der Schätzungen des Bedarfs und der Ergiebigkeit der Energiequellen hervor, die diesen Bedarf decken können.

Die Integration hängt im übrigen von dem Wettbewerb zwischen den entsprechenden Gesteungskosten der Produktionsmittel ab.

Wir werden diese beiden Punkte der Reihe nach in den beiden Teilen dieser Untersuchung einer Prüfung unterziehen. Wir betonen, daß derartige, einen Zeitraum von 50 Jahren umfassende Voranschläge zwangsläufig nur auf unsicheren Hypothesen beruhen müssen. Wir sind daher bestrebt gewesen, mehr die Tendenzen aufzuzeigen als ein genaues Bild der zukünftigen Situation zu geben.

Vor allem in Anbetracht der unterschiedlichen wirtschaftlichen Verhältnisse der einzelnen Länder würden derartige Schätzungen eingehendere Untersuchungen auf nationaler oder in vielen Fällen sogar auf regionaler Ebene erfordern. Wegen der Kürze der uns zur Verfügung stehenden Zeit waren solche Untersuchungen leider nicht möglich. Es handelt sich hier nur um einen ersten Aufriß, der von Zeit zu Zeit überarbeitet werden sollte, und sei es auch nur zu dem Zwecke, über die Entwicklung anderer, nicht herkömmlicher Energiequellen, wie der Sonnenenergie, zu berichten, die in Kürze den Energiehaushalt einiger Länder, unabhängig von der Kernenergie, verändern können.

1) In vorliegender Studie sind folgende Zeichen verwendet worden:

.... = nicht verfügbare Zahl

— nicht vorhandene oder unerhebliche Menge.

2) Am 24. Juli 1955 haben folgende Länder beim Konferenzsekretariat eingereicht:

— den vollständigen Text ihrer Antworten: Burma, England, Jugoslawien, Kanada, Vereinigte Staaten.

— Nur eine summarische Übersicht: Argentinien, Australien, Belgien, Brasilien, China, Dänemark, Indien, Israel, Italien, Japan, Norwegen, Niederlande, Philippinen, Schweden, Tschechoslowakei, Thailand.

3) In den folgenden Tabellen wird ein Unterschied gemacht zwischen den Informationen, die die verschiedenen Länder auf Anfrage gegeben haben, und denen, die aus anderen Quellen stammen.

# Bilanz der Energiequellen und des Energiebedarfs

Erster Teil:

## 1. Die Bilanzposten

### A. Der Bedarf

6. In einem von den Vereinten Nationen<sup>4)</sup> herausgegebenen Bericht ist der Energiebedarf für 1952 festgestellt worden. Tabelle 1 bringt

daraus die wichtigsten Zahlen. Es geht aus ihr die ungleiche Verteilung des Bedarfs in den einzelnen Ländern hervor.

Tabelle I

Bruttoverbrauch aus kommerziellen und nicht-kommerziellen Energiequellen 1952. Der totale Heizwert ist in elektrischen Einheiten angegeben und zwar in Milliarden kWh.

Land	Feste Brennstoffe <sup>1)</sup>	Flüssige Brennstoffe <sup>2)</sup>	Erdgas <sup>3)</sup>	Hydro-Elektroenergie <sup>4)</sup>	Gesamtsumme d. kommerziellen Energiequellen	Nicht-kommerzielle <sup>5)</sup> Energiequellen	Gesamtsumme aller Energiequellen	Je Einwohner Megawattstunden
Afrika	265,1	112,1	0,1	1,7	379,0	386,9	765,9	3,7
Nordamerika	3 562,2	3 824,3	2 516,6	172,3	10 075,3	364,8	10 440,0	60,8
Mittelamerika	12,0	194,6	27,0	3,9	237,5	128,2	365,7	6,9
Südamerika	72,2	273,0	28,1	13,1	386,4	318,4	704,8	6,1
Asien <sup>6)</sup>	745,4	251,9	14,0	46,1	1 057,3	1 457,2	2 514,6	3,1
(China) + (Festland)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(1400)	(3,0)
Europa <sup>7)</sup>	4 262,0	671,9	22,7	136,4	5 093,0	395,4	5 488,4	18,1
(Osteuropa) +	.....	.....	.....	.....	.....	.....	(1461,0)	(16)
(Sowjetunion) +	.....	.....	.....	19,0	.....	.....	(3500,0)	(16)
Ozeanien	180,2	88,8	—	5,1	274,2	39,4	313,5	24,4

1) Aus Kohle und Braunkohle gewonnene Menge plus Nettomenge aus Briketts und Koks.

2) Benzin, Kerosin, Heizöl, verflüssigtes Erdöl-gas.

3) Erdgas und Raffineriegas, plus Nettoeinfuhren von synthetischem Gas.

4) Einbegriffen die Nettoeinfuhren an Elektrizität.

5) Brennholz, Holz zur Gaserzeugung, Abfälle von Sägewerken von Zuckerrohr und andere pflanzliche Brennstoffe.

6) Festlandchina, Nordkorea und Sowjetunion nicht einbegriffen.

7) Osteuropa und die Sowjetunion nicht einbegriffen.

### B. Die herkömmlichen Energiequellen

7. Tabelle II enthält für alle Länder der Welt die derzeitigen Schätzungen ihrer Vorräte an Kohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas und an Wasserkraft. Sie sind in kWh<sup>5)</sup> ausgedrückt worden, um einen späteren Vergleich mit dem Bedarf zu erleichtern. (Um den Unterschied zwischen den

erschöpfbaren Mineralvorräten und den Vorräten an Wasserkraft zu berücksichtigen, sind die letzteren mit 1000 multipliziert worden, bevor sie in die Gesamtsumme einbezogen worden sind<sup>6)</sup>).

Tabelle II

Gesamtbilanz der Vorräte an Kohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Hydroelektroenergie und andere Energievorräte je Einwohner in elektrischen Einheiten des totalen Heizwertes.

Land	Gesamtmenge an festen Brennstoffen — Kohle und Braunkohle	Erwiesene Erdölvorräte	Erdgasvorräte in erschlossenen Vorkommen	Hydro-Elektroenergie	Gesamtenergievorrat	
	in Milliarden kWh	in Milliarden kWh	in Milliarden kWh	in Milliarden kWh pro Jahr	10 kWh	pro Einwohner in 10 kWh
Afrika	614 345	243	—	1 531	2 145 636	10 159
Nordamerika	12 406 064	50 642	66 157	442	13 120 862	75 140
Mittelamerika	26 098	2 832	354	95	124 284	2 255
Südamerika	139 800	18 610	199	368	526 619	4 459
Asien	3 191 426	131 892	849	1 228	4 552 167	3 171
Europa	5 106 831	2 070	3 482	574	5 711 019	14 231
Sowjetunion	10 447 732	16 284	10 261	464	11 045 677	53 358
Ozeanien	240 002	155	—	47	287 372	20 976
Gesamtmenge auf der Welt	32 172 298	222 738	81 302	4 749	37 513 635	14 337

(Elektrizitätsäquivalent des totalen theoretischen Energiewertes in Kilowattstunden je angegebener Einheit):

Kohle	8,0 je Kilogramm
Braunkohle	2,5 je Kilogramm
Erdgas	10,6 je Kubikmeter
Erdöl	12,0 je Kilogramm

4) Energiebedarf der Welt, 1975—2000 (A/CONF. 8/P/902 (Vereinte Nationen) 28. Juni 1955).

5) In anderen Elektroeinheiten oder Energiemaßsystemen ausgedrückt hat die Megawatt-Stunde folgenden Wert:

Eine Megawatt-Stunde = 1 000 Kilowattstunden (kWh)  
 = 1 000 000 Wattstunden  
 = 860 000 Kilokalorien (K. kal.)  
 = 3 412 000 Englische Wärmeinheiten (btu)

6) Die Berechnung ist aufgestellt worden, um eine Schätzung der Energiequellen je Einwohner zu ermöglichen und ihre ungleichmäßige Dichte zu betonen. In diesem Bericht ist daraus keine Schlußfolgerung gezogen worden.

## 2. Allgemeine Betrachtungen

8. „Gewißheit gibt es nur über Gegenwärtiges, sie nimmt ab, je mehr man sich bemüht, ihre Auswirkungen in der Zukunft zu verfolgen“).“ Diese Feststellung trifft hier um so mehr zu, als es sich um eine Energiebilanz handelt, deren sehr verschiedenartige Komponente Berechnungen für die Gegenwart und Voraussagen für den so langen von der Konferenz gewünschten Zeitraum von 50 Jahren schwierig machen.

Darum ist es zweckmäßig, zuerst die Faktoren, von denen die Bilanz abhängt, zu analysieren, bevor man versucht eine Bilanz aufzustellen.

### A. Bedarfsschätzung

9. Berichte, die der Konferenz unterbreitet worden sind<sup>8)</sup>, haben sich mit Schätzungen des Energiebedarfs auf globaler Ebene beschäftigt. Die Schätzungen stellen eine jährliche durchschnittliche Wachstumsrate fest, die zwischen 2 und 3,5 % zu schwanken scheint. Wir werden auf diese Frage nicht zurückkommen. So paradox es scheinen mag, eine solche auf Weltebene vorgenommene Schätzung ist ein verhältnismäßig geringes Wagnis, denn sie basiert auf dem Gesetz der großen Zahlen.

Will man jedoch eine Bilanz für jedes Land aufstellen, so muß die Schätzung natürlich auf nationaler und oft sogar auf den noch kleineren regionalen Ebenen, aus denen sich das Land zusammensetzt, aufgebaut werden. Ein einheitlicher Durchschnittswert kann daher mangels einer gründlicheren Analyse nur eine Hypothese sein.

10. Die Methoden, die bei einer solchen Schätzung verwendet werden, können in zwei Kategorien zerfallen:

— Die erste beruht auf der Annahme eines Durchschnittswertes, zu dem man auf verschiedene Weise gelangen kann.

Einige benutzen mehr oder weniger verwickelte mathematische Formeln. Andere ziehen Schlüsse aus den Relationen zwischen dem Verbrauch einerseits und der Demographie und der wirtschaftlichen Aktivität des betreffenden Landes andererseits. In den meisten Fällen geben sie nur die Extrapolation des in den vergangenen Jahren festgestellten Bedarfs wieder.

— Die zweite besteht in einer Addition der Ergebnisse, die man durch eine eingehende Prüfung der verschiedenen Anteile erhält, aus denen sich der Verbrauch zusammensetzt. (Es muß hier auch die hauptsächlich in den Vereinigten Staaten angewendete, sogenannte „input-output“-Methode erwähnt werden.)

Wenn auch die Annahme einer Durchschnittsrate die am weitesten verbreitete Methode zu sein scheint, so benutzt doch jedes Land in der Praxis mehrere Methoden nebeneinander, wobei dann das eine Ergebnis zur Verbesserung des anderen beiträgt.

Die vorzugsweise Verwendung einer bestimmten Methode hängt von folgenden Faktoren ab::

- von dem Grad der Wirtschaftsplanung;
- von dem Zeitraum, auf den sich die Voraussage erstreckt;
- von dem Grad der Industrialisation;
- und schließlich von der Struktur der Energiequellen.

Aber obgleich diese Methoden schon seit langem Gegenstand eingehender Untersuchungen sind, hauptsächlich auf dem Gebiete der Elektroenergie, bleiben die erzielten Ergebnisse weiterhin unsicher, und ein gewisses Risiko, das keine Formel voraussehen kann, muß in Kauf genommen werden. Übrigens verringert die Beschleunigung der industriellen Entwicklung auf Grund des technischen Fortschrittes im allgemeinen die Zeitspanne, für die gültige Schätzungen gemacht werden können. Schätzungen über den Rahmen einer gewissen Zeitspanne hinaus, die wohl immer kleiner werden wird, gehören „in das Gebiet, wo Wissenschaft und Kunst sich begegnen“<sup>9)</sup>.

Der einzige Schluß, den die Anwendung dieser Methoden zu ziehen erlaubt, ist vielleicht der, daß nirgendwo Zeichen einer Sättigung im Energieverbrauch zu bemerken sind. Dieser Punkt ist in den meisten erteilten Antworten von neuem hervorgehoben worden.

11. Die unterschiedliche Schätzung der Wachstumsrate des Energieverbrauchs rührt hauptsächlich von den drei folgenden Faktoren her:

a) **Demographie.** Die jährliche Wachstumsrate der Weltbevölkerung in den nächsten 50 Jahren wird von den Verfassern auf 0,6 %<sup>10)</sup> bis 1,5 %<sup>11)</sup> geschätzt. Die von den verschiedenen Ländern angestellten Schätzungen weichen nicht unerheblich voneinander ab.

Land	Jährliche Zunahme (in %)	Zeitraum
Belgien	0,39	—
Japan	0,43	1954—1965
Schweiz	0,49	1955—2000
Finnland	0,9	1954—2000
Holland	0,96	1951—2000
Jugoslawien	1,34	—
Australien	2,6	1950—1975
Israel	3,9	1955—2000

1) Zahlenangaben aus den dem Sekretariat eingereichten Antworten.

b) **Wirtschaftliche Aktivität.** Zahlen erübrigen sich, um an die unterschiedliche wirtschaftliche Aktivität der verschiedenen Länder zu erinnern. Da außerdem die Entwicklung dieser Aktivität vorausgesagt werden soll, muß besonders bei kurzfristigen Schätzungen auch die Wirtschaftskonjunktur berücksichtigt werden<sup>12)</sup>.

Land	Prozentsatz des gesamten Energieverbrauchs		Jährliche durchschnittliche Wachstumsrate des Energieverbrauchs je Einwohner (1938—1952)
	1938	1952	
Afrika	0,9	1,1	2,48
Nordamerika	39,2	44,2	2,85
Südamerika	4,6	7,1	2,85
Asien	9,2	10,7	3,64
Europa	35,4	24,5	0,57
Ozeanien	0,9	0,9	2,47
Sowjetunion	9,8	11,5	3,27
	100	100	

c) **Ertrag.** Nur ein geringer Teil der Bruttoenergieproduktion wird schließlich verwendet. Der Durchschnittsertrag aus der Umbildung dieser Bruttoenergie in verwendbare Energie hat sich in der Welt zwischen 1900 und 1950 von 11 auf 22 % gehoben. Die Entwicklung ist in den einzelnen Ländern verschieden verlaufen. Der Durchschnittsertrag hat sich in der gleichen Zeit in den Vereinigten Staaten von 11 auf 30%, in der Schweiz<sup>13)</sup> von 40 auf 58 % gehoben, während er 1950 in Japan nur bei 13 % und in Indien bei 6 % lag<sup>14)</sup>.

Aber dieser Ertrag ist schließlich begrenzt und der Verbrauch an Bruttoenergie, der in den letzten Jahren langsam zugenommen hat, läuft also besonders in den industrialisierten Ländern Gefahr, von nun an mehr der Verbrauchsentwicklung an „Netto“-Energie zu folgen, was Belgien besonders betont. Belgiens gegenwärtiger Ertrag beläuft sich auf 34 % und

10) A/CONF. 8/P/757.

11) A/CONF. 8/P/902.

12) Die von der Schweiz für die übrigens relativ kurze Zeitspanne von fünf Jahren angestellten Schätzungen fassen drei Fälle ins Auge: Krisenperiode, normale Wirtschaftslage und Hochkonjunktur. Für diese drei Fälle werden in den Schätzungen Zahlen im Verhältnis von 1 zu 1,3 und 1,6 genannt.

13) Die hohe Ertragsrate der Schweiz rührt von der sehr ausgedehnten Verwendung der elektrischen Energie auf allen Sektoren, besonders im Transportwesen her (Gesamtübersicht des gegenwärtigen Energieverbrauchs in der Schweiz und Schätzungen des zukünftigen Bedarfs. Energieausschuß des Schweizer Nationalausschusses der Weltkonferenz 1954).

14) P. Putnam, Energie in der Zukunft, 1953.

7) Paul Langevin (Statistik und Determiniertheit).

8) Namentlich: A/CONF. 8/P/902—A/CONF. 8/P/757.

9) P. Ailleret, Voraussagen für die Zukunft.

es glaubt, er könne sich nur auf 37 % im Jahre 1980 und auf 38 oder 39 % im Jahre 2000 steigern. Dies ist übrigens einer der Gründe dafür, warum sich die ungleichmäßige Lokalisierung des Verbrauchs an Bruttoenergie, über die im ersten Kapitel gesprochen worden ist, vermutlich kaum in den vor uns liegenden 50 Jahren bessern wird.

12. Es ist in diesem Zusammenhang interessant festzustellen, wie sich der Verbrauch in der Vergangenheit auf den einzelnen Kontinenten prozentual entwickelt hat. (Vgl. Tabelle IV.)

13. Die unterschiedliche Schätzung des Energiebedarfs wird durch die Wachstumsraten betont, die in den dem Sekretariat eingereichten Antworten enthalten und auf Tabelle V zu finden sind.

Land	Gesamte Energiemenge	Elektroenergie	Zeitraum
Österreich	2,5	5,3	1950–1980
Belgien	1,7	5,3	1955–1980
Burma	...	11,0	1957–2005
Kanada	...	5,5	1955–1960
	...	5,0	1960–1965
	...	4,5	1965–1975
China	...	10,5	1955–2000
	...	6,0	1965–2000
Dänemark	2,5	7,5	1955–1975
	1,8	3,5	1975–2000
	(2,0)	(5,0)	(1955–2000)
Ägypten	...	16,5	1955–1965
	...	4,2	1965–1975
Finnland	...	11,0	1954–1960
	...	8,0	1960–1970
Israel	10,0	14,5	1954–1965
Italien	...	7,0	1955–1960
	...	6,0	1960–1975
Neu-Seeland	...	7,6	1955–1965
	...	6,0	1965–1975
Niederlande	2,0	...	1954–1975
	1,7	...	1954–2000
Bundesrepublik	1,7	...	1954–1970
England	2,0 <sup>1)</sup>	...	1954–1975
Schweden	...	6,5	1954–2000
Schweiz	1,4	3,6	1951–1975
	1,3	2,0	1951–2000
Thailand	...	8,7 <sup>2)</sup>	1965–1975
	...	7,5 <sup>2)</sup>	1975–1995
Jugoslawien	...	12,0	1954–1960
	...	7,0	1960–1975
	...	6,0	1975–2000
	3,6	...	1954–2000

1) Vermutliche Zahl — mögliche Höchstgrenze : 2,8.  
2) Nur für die Industrie.

### B. Schätzung der Energiequellen

14. Schätzungen der Energiequellen sowie deren vermutliche zukünftige Verwendung sind ebenfalls sehr unsicher.

#### a) Erschöpfbare Energiequellen

##### (i) Feste Brennstoffe

15. Wie Tabelle II zeigt, machen die festen Brennstoffe fast die Gesamtheit der mineralischen Energiequellen aus. Wenn man ihre Vorratshöhe mit dem derzeitigen Verbrauch vergleicht, scheint es, daß sie groß genug sind, um diesen noch sehr viele Jahre zu befriedigen, was zum Beispiel aus einer für die ganze Welt angefertigten Bilanz hervorgehen würde.

Tabelle VI

Brennstoffe	Vorräte in 10 <sup>15</sup> kWh ausgedrückt	Nach dem Verbrauch im Jahr 1952 berechnete Dauer der Vorräte (in Jahren)
Feste Brennstoffe	32,172	2.500
Erdöl (erwiesene Vorräte)	0,223	32
Erdgas	0,081	30
	32,476	1.400

16. Aber die jährliche Kohlenförderung ist schließlich begrenzt. Der Fortschritt in den Förderungsmethoden wird in den meisten Fällen durch die immer tiefer liegenden Flöze und eine rückläufige Tendenz der Anzahl der dem Bergbau zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte aufgewogen. In England z. B., wo 1924 die durchschnittliche Tiefe der Flöze bei 330 Meter lag, liegt sie jetzt bei 400 Meter. Seit 1947 sind Genehmigungen für den Grubenabbau bis zu einer Tiefe von 550 bis 900 Meter erteilt worden. Der Zunahme der Tiefe entspricht eine Zunahme der Temperatur, was oft zu Lüftungsschwierigkeiten führt. Übrigens ist die von der Nachfrage verlangte Vielfalt an Kohlequalitäten ziemlich groß, was einige Länder trotz ihrer bedeutenden Vorräte veranlaßt, besondere Kohlequalitäten zu importieren oder sie durch eine andere Energiequelle zu ersetzen.

Diese Tatsachen gehen aus den Antworten einiger Länder hervor. So betont Großbritannien, daß „die jährliche Zunahme von 1,2 % des Kohlepreises (in exponentieller Form) — was einer Verdoppelung alle 60 Jahre entspricht — in Beziehung zum allgemeinen Großhandelspreisniveau bemerkenswert konstant geblieben ist“.

Die vermutlichen Grenzen der Jahresförderung gehen aus Tabelle VII hervor.

Land	Kohlevorräte (in millionenmetrischen Tonnen)	Größtmögliche Jahresförderung (in millionenmetrischen Tonnen)	Dauer der Vorräte bei größtmöglicher Jahresförderung (in Jahren)
Belgien	11 000	35	310
Japan	18 600	55	340
Großbritannien	172 000	260	600
Frankreich	12 000	55	220 <sup>1)</sup>

1) Diese Grenze veranlaßt zum Beispiel Frankreich, seit neuestem jedes Jahr ungefähr 15 Mill. Tonnen Kohle zu importieren, um seinen Bedarf zu befriedigen.

##### (ii) Erdöl

17. Über die Weltvorräte an Erdöl herrscht beträchtliche Unsicherheit. Die Schätzungen der vermutlichen Vorräte belaufen sich ungefähr auf das Fünffache der erwiesenen Vorräte.

Da das Erdöl in den meisten Fällen an Orten verbraucht wird, die von den Förderungszentren weit entfernt sind, hängt die jährliche Produktion tatsächlich nur von der Kapazität der Transportmittel ab.

##### (iii) Erdgas

18. Dasselbe trifft für Erdgas zu. Kürzliche Ergebnisse von Erdbohrungen in einigen Ländern, wie Italien und Frankreich zum Beispiel, haben dies weitgehend bestätigt.

#### b) Unerschöpfliche Energiequellen

19. Eine genaue Berechnung der Wasserkraftquellen ist schwierig. Nur die theoretischen obersten Grenzen können mit einer gewissen Genauigkeit bestimmt werden. Eine solche Bestimmung ist Gegenstand neuerer, nach einheitlicher Methode angestellter Untersuchungen gewesen, wodurch man zu miteinander vergleichbaren Zahlen gekommen ist<sup>15)</sup>.

15) Bericht E/ECE/EP 131: „Das hydro-elektrische Potential Europas, seine theoretischen, technischen und wirtschaftlichen Grenzen“, Genf, Mai 1953.

Jedoch ist die Abschätzung der Wasserkraftquellen, die sich technisch und vor allem wirtschaftlich als ausbeutbar erweisen, besonders schwierig. Man hat sich oft bemüht, eine Beziehung zwischen den verschiedenen Potentialen zu ermitteln. Nach der oben angeführten Untersuchung stellen das technische und wirtschaftliche Potential ungefähr 30 beziehungsweise 20 % des theoretischen Potentials dar. Solche Beziehungen geben aber nur eine Größenordnung. Die Bestimmung des wirtschaftlichen Potentials hängt in einzelnen Ländern von der Zahl der angefertigten Vorentwürfe, vom technischen Fortschritt, von dem Grad der schon erstellten Ausrüstung, vom Verbrauchsbedarf und schließlich vom Vorhandensein anderer gemeinschaftlicher Energiequellen ab. Eine solche Übersicht sollte jedoch in regelmäßigen Abständen überprüft werden. Es genügt das Beispiel Schwedens anzuführen, wo nationale Berechnungen 1923 auf ein Potential von 32 Milliarden kWh gekommen sind. Die Zahl erhöhte sich 1938 auf 40 Milliarden kWh und wird gegenwärtig auf 80 Milliarden kWh geschätzt.

Dem jährlichen Ausbau dieses Wasserkraftpotentials sind ebenfalls Grenzen gesetzt, hauptsächlich durch die Höhe der erforderlichen Kapitalien und die lange Arbeitsdauer, die zur Errichtung jedes hydroelektrischen Werkes notwendig ist.

### C. Mangelhafter Ausgleich zwischen Vorkommen der Energiequellen und Lokalisierung des Bedarfs

20. Energiequellen und Energiebedarf sind nicht nur ungleichmäßig auf der Erdoberfläche verteilt, es besteht außerdem ein nur geringer lokaler Ausgleich zwischen ihnen. Afrika zum Beispiel besitzt 30 % der Hydro-Elektroenergiequellen der Welt, aber sein Verbrauch an Hydro-Elektroenergie hat 1952 nur 0,4 % des Weltverbrauchs betragen. Asien besitzt ungefähr 50 % der Erdölvorräte, sein eigener Verbrauch erreichte 1952 aber nur 4,5 % des Weltverbrauchs.

A priori hat es den Anschein, als ob der Transport von Energie und ein gewisser Ersatz der einen Energiereform durch eine andere diese Unterschiede mildern und zu einem besseren Gleichgewicht verhelfen könnten. Doch ist die Bedeutung dieser beiden Faktoren verhältnismäßig gering.

#### a) Energietransport

21. Der Prozentsatz der transportierten Energie ist im Vergleich zur Gesamterzeugung nicht hoch.

Nur 10% der Kohlenerzeugung werden nach außerhalb des Ursprungslandes transportiert. Berücksichtigt man nur die interkontinentalen Transporte, dann machen die gesamten Nettoeinfuhren 1952 nur 2,3 % der Weltproduktion aus. Der Transport von Rohöl ist relativ größer, denn die 1952 ausgeführte Menge betrug 30 % der Gesamterzeugung, aber das Rohöl macht nur 28 % der gesamten kommerziellen Energiemengen aus. Das gleiche gilt für Gas. Die Elektroenergie überschreitet nicht nur die kontinentalen Grenzen nicht, sondern auch innerhalb der Kontinente sind die Transporte sehr gering. Der Prozentsatz der in Europa nach außerhalb der Ursprungsländer ausgeführten Energie schwankte zwischen 1937 und 1953 zwischen 1,3 und 1,5 %. Eine eingehendere Analyse der Lage würde ergeben, daß letzten Endes in nur sehr wenigen Ländern von einiger Bedeutung das Gleichgewicht zwischen Energieein- und -ausfuhr einen wichtigen Teil ihrer Produktion bildet.

22. Die Gründe für diese Situation lassen sich in drei Kategorien einteilen.

#### 23. (i) Transportbedingungen.

— Der Transport gewisser Energieformen auf größere Entfernung stößt vor allen Dingen auf technische Schwierigkeiten und manchmal sogar Unmöglichkeiten. Die derzeitige Beschaffenheit der Unterwasserkabel zum Beispiel erlaubt es nicht, Elektroenergie weiter als ungefähr 100 km unter See zu transportieren. Die Beschaffenheit des Überlandleitungsnetzes für sehr hohe Spannung (400 kV) begrenzt die Entfernung auf 1000 oder 1200 km.

Diese Begrenzung führt übrigens zu einem gewissen Transportwettbewerb der verschiedenen Energieformen. Wenn das Meer ein Hindernis bildet, kann die Elektroenergie indirekt in Form von Fertigfabrikaten (wie zum Beispiel Aluminium) transportiert werden, zu deren Herstellung eine große Menge Elektroenergie erforderlich ist. Der Überlandtransport auf große Entfernung kommt nur für Hydro-Elektroenergie

in Frage. Der Preis für den Kohletransport macht dem Preis für den Transport thermischer Energie Konkurrenz, vor allem je besser man die Heizkraft der Kohle auszunutzen versteht. Solche Schwierigkeiten gibt es für Erdöl und Erdgas nicht, die mittels Rohrleitungen (pipe-lines) oder auf dem Wasserwege leicht über sehr große Entfernungen transportiert werden können.

— Der Energietransport erfordert vor allem sehr teure Einrichtungen.

Für Elektroenergie machen in Anbetracht der Kosten für die Errichtung der Leitungen und der Energieverluste (Verluste in den Leitungen, in Transformatoren und Verluste auf Grund der notwendigen Kompensation für die Stabilität und die Regulierung des Netzes), die Transportkosten von 150 000 kW auf 400 km zum Beispiel genau die Hälfte der Kosten für die Errichtung eines Wärmeenergiewerkes der gleicher Stärke aus.

Für die Kohle macht der Transport im Durchschnitt 12 % des Verkaufspreises an den Verbraucher aus.

Die Unkosten für Überseetransporte machen ungefähr 25 % des aus Rohöl vom Mittleren Orient gewonnenen raffinierten Erdöls (berechnet ab Raffinerie) aus.

Die Transportkosten für Erdgas in Rohrleitungen (pipelines) sind ungefähr zweimal so hoch wie die für Erdöl, wenn beide nach Kalorien berechnet werden, doch ist der Preis für den Transport flüssigen Gases sehr viel geringer.

Da die Transportmittel erhebliche Investitionen erfordern, ist es außerdem notwendig, daß genügend große Energiemengen transportiert werden, um eine vernünftige Amortisierung des angelegten Kapitals zu gestatten. Die relativ begrenzte Zahl der Gebiete, die solches Potential besitzen, ist einer der Gründe für die Begrenzung des Transportes.

#### 24. (ii) Verwendung der Energie.

Während die Erzeugung von Kohle, Erdgas und Erdöl bemerkenswert beständig ist, läßt sich das von ihrem Verbrauch nicht in demselben Maße sagen, da er teilweise von den Jahreszeiten abhängt. Nun ist die Lagerung dieser Produkte, wodurch übrigens zusätzliche Unkosten entstehen, in den meisten Fällen schwierig.

Die Elektroenergie kann nur in Form von Kohle auf den Lagerungsplätzen der Wärmeenergiewerke oder in Form gestauten Wassers in den Reservoirs gelagert werden. Hingegen sind nicht nur die saisonbedingten Verbrauchsschwankungen, sondern auch die Schwankungen innerhalb ein und desselben Tages sehr groß (1953 betrug die Staukapazität der Wasserreservoirs in Europa ungefähr 10 % der hydroelektrischen Erzeugung).

#### 25. Die politischen Grenzen.

Der Energieaustausch führt zwischen den ein- und ausführenden Ländern zu einer gewissen Abhängigkeit. Die ersteren neigen zu einer größtmöglichen Ausbeutung ihrer eigenen Energiequellen, bevor sie sich ans Ausland wenden. Der Energiebedarf kann sich bis zu einem gewissen Ausmaß den Energiequellen ziemlich leicht anpassen, allerdings lassen sich Störungen in der Ausnutzung nicht vermeiden.

Die derzeitige Tendenz geht jedoch dahin, die Verwaltungs- und Zollschranken abzubauen, die sich als Hindernis für einen Austausch erweisen könnten, und dabei aber auch der Entwicklung des örtlichen Bedarfs Rechnung zu tragen.

26. Es erhebt sich die Frage, ob sich die Lage auf diesem Gebiet in den nächsten 50 Jahren erheblich entwickeln wird.

Auf dem Gebiet der Elektroenergie liegt es mit Ausnahme der Unterwasserkabel, deren technische Vervollkommnung nur langsame Fortschritte macht, nicht etwa an einer zu geringen Leistungsfähigkeit der Transportmittel, denn nichts würde die Erstellung von Leitungen mit noch höherer Spannung hindern, sondern im Gegenteil an der zu transportierenden Energiemenge. Der Ausbau der Wasserkraftquellen nimmt ständig zu in Anbetracht vor allem des Tempos, in dem sich der Bedarf entwickelt.

Unter den neuen in Betracht kommenden Energiequellen gibt es nur wenige, die für große Transporte geeignet sind. Die Energie der Gezeiten läßt sich nur an wenigen Stellen ausbeuten, wo die Gezeiten genügend stark sind (Die Verwirklichung der französischen Pläne würde nur die Hälfte des derzeitigen Landesverbrauchs decken.).

Die wirtschaftliche Ausnutzung der Windenergie kann nur durch Windmühlen von relativ schwacher Kapazität erfolgen, deren Erzeugung daher nur örtliche Bedeutung hat. Selbst die Ausbeutung der Wärmeenergie der Meere oder die Entwicklung der Technik des künstlichen Regens ist örtlich bedingt. Nur die Sonnenenergie könnte die Energiestruktur der tropischen Länder verändern.

Hingegen wird der Transport von Erdöl und Erdgas in den kommenden Jahren zunehmen. Die augenscheinlichen Grenzen der bekannten Energiequellen dürfen nicht täuschen, und außerdem wächst der Bedarf beträchtlich. Der Weltverbrauch an Erdöl macht gegenwärtig 29 % des Weltenergieverbrauchs aus. Er hat sich während der letzten 20 Jahre verdoppelt, und einige Länder wie Belgien zum Beispiel geben an, daß ihr Erdölverbrauch sich bis 1980 um ungefähr 6 % im Jahr steigern wird.

27. Es ist klar, daß das Aufkommen von Kernenergie das Bild erheblich verändern wird, da die Transportkosten für den Brennstoff in diesem Fall unerheblich sind und die Anlagen leicht bei den Verbrauchszentren errichtet werden können.

#### b) Ersatz einer Energieform durch eine andere

28. Tabelle VIII zeigt den in den verschiedenen Teilen der Welt verbrauchten Anteil an kommerzieller Energie.

Tabelle VIII

Land	Verbrauch an kommerzieller Energie in Beziehung zum gesamten Energieverbrauch (a) (1952) (in %)
Asien	42
Afrika	50
Südamerika	55
Mittelamerika	65
Ozeanien	88
Europa	93
Nordamerika	97
Welt	85

(a) China, Nordkorea, Sowjetunion und osteuropäische Länder ausgeschlossen.

Mit fortschreitender Industrialisierung der Länder werden die nicht-kommerziellen Energiequellen<sup>16)</sup> durch kommerzielle Energiequellen<sup>17)</sup> ersetzt. Das geht ganz klar aus Tabelle IX hervor.

Tabelle IX

#### Weltverbrauch aus kommerziellen Energiequellen (Feste Brennstoffe, Erdöl, Erdgas, Wasserkraftenergie im Verhältnis zum gesamten Energieverbrauch)

Jahr	Verbrauch kommerzieller Energiequellen (nichtkommerzielle Quellen = 100)	Verbrauch kommerzieller Energiequellen im prozentualen Verhältnis zum totalen Energieverbrauch
1860	37,7	27,4
1870	54,8	35,4
1880	79,4	44,3
1890	114,0	53,3
1900	167,0	62,5
1910	212,2	68,0
1920	267,2	72,7
1930	276,1	73,4
1940	372,9	78,9
1950	395,8	79,8
1953	511,9	83,7

16) Feste und flüssige Brennstoffe, Erdgas und Wasserkraftenergie.

17) Brennholz, Holz zur Gasgewinnung, Abfälle aus Sägewerken und von Zuckerrohr und andere pflanzliche Brennstoffe.

29. Tabelle X zeigt die Entwicklung der im Laufe der letzten Jahre in der Welt verbrauchten verschiedenen Energieformen.

Tabelle X  
Weltverbrauch aus kommerziellen Energiequellen (in %)

Jahre	Kohle	Braunkohle	Erdöl	Erdgas	Wasserkraftenergie	Gesamt	Elektroenergie im Vergleich z. Ges.-Verbrauch
1860	98,0	1,4	—	—	0,6	100	...
1870	97,2	1,8	0,5	—	0,5	100	...
1880	95,6	2,2	1,6	—	0,6	100	...
1890	93,5	2,4	2,7	1,0	0,4	100	...
1900	92,0	2,9	3,5	1,2	0,4	100	...
1910	90,0	2,9	5,1	1,7	0,3	100	...
1920	84,5	3,5	9,1	2,3	0,6	100	...
1930	74,5	3,8	16,2	4,4	1,1	100	2,0
1940	69,0	5,0	19,3	5,5	1,2	100	3,0
1950	56,7	4,4	27,1	10,2	1,6	100	4,3
1953	51,3	4,8	30,1	12,0	1,8	100	5,4

Tabelle XI gibt die jährlichen Wachstumsraten des Verbrauchs je Energiequelle von 1949 bis 1953 in % an.

Tabelle XI

#### Mittlere jährl. Wachstumsrate des Energieverbrauchs (1948—1953) in %

Kohle	Braunkohle	Erdöl	Erdgas	Wasserkraftenergie	Gesamtenergie	Elektroenergie
1,0	8,4	7,1	10,3	8,6	4,0	3,6

Der Kohlenverbrauch hat also stationäre Neigungen und seine Bedeutung in der Weltbilanz verringert sich fortgesetzt. Während er 1860 98 % der Weltbilanz bildete, stellt er nunmehr nur noch 51 % dar. Gleichzeitig hat sich der Verbrauch an Erdölprodukten und an Erdgas beträchtlich erhöht.

Der Verbrauch an Elektroenergie steigt besonders schnell, vor allem wenn man ihn mit dem gesamten Energieverbrauch vergleicht, aber der Anteil der Hydro-Elektroenergie weist eine fallende Tendenz zu Gunsten der Wärmeenergie auf, wenigstens in den am stärksten industrialisierten Gebieten.

Tabelle XII

#### Prozentsatz der Erzeugung von Hydroelektrizität im Verhältnis zur Gesamterzeugung an elektrischer Energie

Jahr	Welt	Nordamerika	Europa	Asien	Afrika	Ozeanien	Andere Länder:
							davon Sowjetunion
1929	43,5	45,8	39,9	72,4	2,8	27,5	21,6 7,0 *
1937	40,7	43,5	38,0	76,0	7,3	29,8	23,8 12,0
1951	35,0	32,5	38,0	71,0	10,0	33,4	23,8 14,0
1952	34,6	32,5	38,0	70,0	9,2	33,0	22,0 16,0
1953	—	—	37,0	—	—	—	— 17,0(a)

(a) Die Schätzungen für 1955 für Wasserkraftenergie belaufen sich nach dem Fünfjahresplan auf einen Prozentsatz von 25 %.

30. Man kann auch auf diesem Gebiet nur Tendenzen aufzeigen, da das Problem des Ersatzes der einen Energieform durch eine andere ein genaueres Studium für sich erfordert, das den Gebieten Rechnung trägt, die den jeweiligen Energien vorbehalten sind und auf denen nur ein beschränkter Ersatz möglich ist.

### 3. Versuch einer Bilanz

31. Wir glauben, in genügendem Masse die Schwierigkeiten bei der Aufstellung einer Energiebilanz für die Zukunft aufgezeigt zu haben, wollen aber nichtsdestoweniger versuchen, einige Tendenzen der vermutlichen Verwendung herkömmlicher Energiequellen aufzuzeigen. Das ist um so wichtiger, als die Kernenergie hauptsächlich zur Erzeugung von Elektroenergie verwendet wird.

Die Erzeugung von Hydro-Elektroenergie bildet ungefähr ein Drittel der Welterzeugung an Elektroenergie. Die Wasserkraftenergiequellen sind zu keiner anderen Energieerzeugung geeignet. Zur Schätzung ihrer Grenzen ist eine Berechnung auf der Grundlage der beiden folgenden Hypothesen angestellt worden:

— Der Elektroenergieverbrauch wird sich weiterhin alle 10 Jahre verdoppeln.

Das Verhältnis zwischen Wärmeenergie und Hydro-Elektroenergie wird sich nicht ändern; das heißt mit anderen Worten, daß sich die Erzeugung von Hydroelektroenergie alle zehn Jahre verdoppeln wird.

Die Erschöpfung der fossilen Brennstoffe ist berechnet worden, wobei eine Verbrauchserhöhung um 3 % vorausgesetzt worden ist (die durchschnittliche Zunahme des Weltverbrauchs ist dem von den Vereinigten Nationen vorgelegten Bericht entnommen. Die Berechnungen stützen sich auf die Verbrauchszahlen des Jahres 1952, die ebenfalls in diesem Bericht enthalten sind). Die Ergebnisse stehen in der Tabelle XIII.

Trotz der im vorangegangenen Kapitel begründeten Ungenauigkeit, vermittelt diese Tabelle einen Eindruck von der vermutlichen Erschöpfung der herkömmlichen Energiequellen. Sie erlaubt es, die Länder ganz grob in drei Kategorien einzuteilen: In diejenigen, deren gesamte herkömmliche Energiequellen in kürzester Frist ausgebaut oder erschöpft sein werden, und im Gegensatz dazu in diejenigen, die selbst nach dem Jahr 2000 noch über genügende Energiequellen verfügen werden; und schließlich in diejenigen, deren Energiequellen im Laufe der fraglichen Zeitspanne nicht mehr ausreichen werden, um den steigenden Bedarf zu befriedigen.

Auf diese Einteilung wird im zweiten Teil näher eingegangen.

Tabelle XIII  
Erschöpfung der Vorräte an Kohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas unter der Voraussetzung einer jährlichen Erhöhung von 3 % ihrer jährlichen Verbrauchsmenge.

Prozentsatz der im Jahre 2000 verbrauchten Energiequellen		Prozentsatz der im Jahre 2000 verbrauchten Energiequellen	
58	Israel	...	Portugal
	Niederlande	...	Bulgarien
	Dänemark	12	(Ozeanien)
6	Bundesrepublik		Brasilien
	Italien		Thailand
36	Irland	14	(Fernost)
	Schweiz		Pakistan
	Finnland	87	(Mittelamerika)
8	Vereinigte St. u.	...	Sowjetunion
	Alaska	25	(Südamerika)
30	Japan		Chile
52	Schweden	...	Ungarn
50	Frankreich	3	Kolumbien
10	Kanada	9	Jugoslawien
	Uruguay		Philippinen
	(Europa)	6	Peru
14	Nord-West	7	(Südasien)
12	Osten	7	Indien
30	Süden	36	Indonesien
20	Spanien		Ecuador
...	Tschechoslowakei		(Nordwestafrika)
15	England	43	(Südostasien)
	Neuseeland	...	Rumänien
62	Belgien		Bolivien
	Norwegen	31	Venezuela
	Österreich	25	Argentinien
12	Australien	8	(Westasien)
8	(Welt)	13	(Zentralafrika)
...	Polen	...	Türkei

Zweiter Teil:

## Preiseinflüsse

### 1. Aktuelle Preistendenzen der Gestehungspreise für Elektroenergie

32. Die Länder nutzen zuerst die Wasserfälle aus, was am leichtesten ist und daher am wenigsten kostet. Der Gestehungspreis für Hydro-Elektroenergie zeigt also im Zuge fortschreitender Ausnutzung des Wasserkraftpotentials steigende Tendenzen. Die Frage ist tatsächlich sehr vielschichtig, und es dürfte schwer fallen, selbst für ein einzelnes Land die entsprechenden Preiskurven im Verhältnis zum technischen Ausstattungsgrad zu ziehen. Eine zusätzliche Schwierigkeit rührt davon, daß die Qualität der erzeugten Energie verschieden ist, je nachdem ob es sich um Fluß- oder Reservoirkraftwerke handelt. Allgemein jedoch kann festgestellt werden, daß die Preiserhöhung auf lange Sicht gering ist, da sie durch den technischen Fortschritt aufgefangen wird. Der technische Fortschritt zeigt sich neuerdings besonders in der Anlage von Stollen und in der Konstruktion neuer Turbinen zur Ausnutzung niedriger Wasserfälle. Übrigens kann die verstärkte Technisierung ein Gegengewicht gegen den fallenden Ertrag der Wasserkraftquelle bilden. Aber von einem bestimmten Ausnutzungsgrad an, der dicht an der Grenze des für wirtschaftlich angesehenen Potentials liegt, steigen die Preise rasch.

33. Die Verminderung des Kohlenverbrauchs pro kWh, die in einem Wärmekraftwerk erzeugt wird, ist ein bekanntes Phänomen. Dieser Verbrauch ist in den Vereinigten Staaten von 3,1 kg Kohle 1920 auf 0,5 kg 1953 gesunken. Es handelt sich hier nur um einen Durchschnittswert, aber wenn man diese Verbrauchsentwicklung als spezifisch für gewisse Kraftwerke betrachtet, ist festzustellen, daß sie bei den modernsten in Europa von 7000 kcal pro kWh 1920 auf 2760 kcal pro kWh 1955

gesunken ist. Der Durchschnittswert des Kohlenverbrauchs der belgischen Kraftwerke, der für 1955 auf 3800 kcal. geschätzt worden ist, soll sich nach den belgischen Voranschlägen bis auf 2400 kcal. 1975 und auf 2300 im Jahre 2000 senken. Diese Verminderung rührt von der Verwendung immer höherer Temperaturen und steigenden Druckes und von der Erhöhung des thermodynamischen Wirkungsgrades her, dessen Grenze man schon sehr nahe ist. Sie wird ebenfalls vom Bau immer größerer Werke gefördert (Die Detroit Edison Company und Consolidated Edison Company planen für 1957 Werke von 300 000 kWh.). Daraus ergibt sich also, daß die Zahl der verbrauchten Kalorien nicht proportional der Wärmeenergieproduktion wächst (In Frankreich zum Beispiel würde die Vervierfachung der Wärmeenergieerzeugung nur eine Verdreifachung der notwendigen Kalorien bedeuten.).

Hingegen haben die Kohlenpreise die Tendenz zu steigen, und da außerdem der Prozentsatz der Kohlen geringerer Qualität begrenzt ist, sind die Wärmekraftwerke genötigt, mehr und mehr Kohlen besserer Qualität zu benutzen. Die Überständigkeit alter Werke und die Kosten für ihren Ersatz durch moderne Anlagen verursachen ebenfalls Ausgaben, die nicht immer durch einen höheren Wirkungsgrad der Anlagen aufgewogen werden.

34. Noch allgemeiner, wenn es sich z. B. um Wasser- und Wärmekraftanlagen handelt, kann der Gestehungspreis auch durch geeigneten Ausbau der Leitungsnetze und durch eine die Betriebskosten senkende Produktionskonzentration herabgedrückt werden. Doch auch dieser Ent-

wicklung sind Grenzen gesetzt. Der technische Fortschritt kann also nicht alle Faktoren, die zu einer Erhöhung des Elektroenergiepreises führen, aufwiegen. Vor allem die industrialisierten Länder sind von der Preiserhöhung betroffen.

35. Berichte über den Gestehungspreis der mittels Kernspaltungsanlagen erzeugten kWh sind einer anderen Sitzung vorgelegt worden.

## 2. Voranschläge für die Energiebilanz <sup>1)</sup>

36. Es hat sich herausgestellt, daß die Energiebilanz einiger Länder in sehr kurzer Zeit mit Verlust abschließen wird (zwischen 10 oder 15 Jahren höchstens). Das ist besonders der Fall in Dänemark, Israel, im Nordosten Thailands, in Ägypten, dessen klassische Energiequellen äußerst gering sind, in Finnland, Italien und in der Schweiz, das bedeutende Energiequellen hat, die aber zum großen Teil schon ausgenutzt sind. Diese Länder werden sich sehr schnell der Notwendigkeit gegenübersehen, zusätzliche Energien einführen zu müssen. In diesem Falle ist der Konkurrenzpreis für Kernenergie nicht mehr obligatorisch der für Energie aus herkömmlichen im Lande beheimateten Energiequellen, sondern der Preis, der durch die Einfuhr einer anderen Energieform, Kohle oder Erdöl, gebildet wird.

37. Im Gegensatz dazu scheint die Energiebilanz einiger Länder noch auf viele Jahre hinaus außerordentlich günstig zu sein. Norwegen, Jugoslawien und Australien (mit Ausnahme des südöstlichen Teils des Landes) gehören zu dieser Kategorie. Das Problem der Integration der Kernenergie ist für sie also nicht vordringlich, und sie dürfen hoffen, die Senkung des Gestehungspreises dieser Energie abwarten zu können, ehe sie sich mit ihrer Erzeugung befassen. Dieser Preis muß sehr niedrig sein, wenn er mit dem Preis der im Lande erzeugten Energie konkurrieren will. (Der Gestehungspreis für die kWh aus Wasserkraftenergie liegt heute in Norwegen z. B. ungefähr bei 2 mills: 1 mill = 1/1000 \$). Diese Länder brauchen die Kernenergie nur zusätzlich zu verwenden, z. B. in weniger begünstigten Gebieten, um keine Transportverbindungen bauen zu müssen, oder als Entlastung für das Leitungsnetz in den Stunden des Spitzenverbrauchs.

38. Zwischen diesen beiden extremen Möglichkeiten gibt es eine sehr große Anzahl Länder, in denen die Kernenergie nach und nach in den nächsten 50 Jahren in das derzeitige Energiesystem eingebaut werden muß, und für die der Gestehungspreis von besonderer Bedeutung ist.

Wenn der Gestehungspreis für eine mittels Kernspaltungsanlage gelieferte kWh etwas über dem Durchschnittspreis für Elektroenergie aus herkömmlichen Energiequellen zu liegen kommt, dann wird die Kernenergie nur dazu dienen, diese zu vervollständigen und langsam zu ersetzen.

Liegt er etwas unter dem Durchschnittspreis, wird er mit den herkömmlichen Energiequellen in Konkurrenz treten, die jedoch durch einige Faktoren gedämpft wird:

— Die Umwandlung der Rohstoffindustrien wird zuerst zu wirtschaftlichen und sozialen Erschütterungen führen, auf die die Länder Rücksicht nehmen müssen.

— In den meisten Fällen werden die vorhandenen Einrichtungen weiter verwendet werden, um eine rationelle Amortisierung zu gewährleisten.

— Die Neuorientierung der Kohlenindustrie auf synthetische Erzeugnisse als Folge einer solchen Konkurrenz könnte nicht sofort vollzogen werden.

Wenn hingegen der Preis für Kernenergie stark unter dem Durchschnittspreis liegt, könnte der Wettbewerb stärker werden, und es könnte gleichzeitig bei Öffnung neuer Absatzmärkte zu einem erhöhten Bedarf kommen.

39. Die von den einzelnen Ländern angegebenen Konkurrenzpreise schwanken außerordentlich. Burma z. B., wo der Verkaufspreis für Elektroenergie für den Hausgebrauch ungefähr 105 mills pro kWh und für die Industrie ungefähr 52 mills beträgt, würde sofort ein Werk von 250 000 kWh planen, wenn es Energie für 8 mills pro kWh erzeugen

Wir werden hierzu keine Zahlen nennen, sondern nur erwähnen, daß dieser Preis ständig sinkt und noch keinen festen Punkt erreicht hat.

Abgesehen davon, daß einige Länder zur Deckung des Defizits ihres Energiehaushaltes Energie einführen müssen, entscheidet als zweiter Faktor über die Integration der Kernenergie der Schnittpunkt der Kurven der Gestehungspreise der mittels herkömmlicher Energiequellen und Kernspaltungsanlagen erzeugten kWh.

könnte. In Japan kommt der kombinierte Preis für Hydro-Elektro- und Wärmeenergie zur Zeit auf ungefähr 15 mills, und es wird geplant, ihn auf 18 bis 20 mills zu erhöhen. Jedoch ist der Grundpreis pro kWh in den meisten Ländern 6 mills, z. B. in Indien und Kanada. Auf dieser Grundlage erwägt Kanada von 1960 an eine Erzeugung von 100 000 kW, um hauptsächlich gewisse Gebiete wie den Süden von Ontario, die Küstengebiete und den Süden von Manitoba zu versorgen, deren Energiequellen von geringer Bedeutung sind.

Die unterschiedlichen Preise in einigen, dem Sekretariat zugegangenen Antworten spiegeln nur die zwischen den verschiedenen klassischen Energiequellen herrschende qualitative Verschiedenartigkeit wieder, die noch zu der mengenmäßigen hinzukommt, von der im ersten Teil die Rede ist. Aber die meisten industrialisierten Länder haben ungefähr den gleichen Gestehungspreis für die von einem Wärmeenergiewerk erzeugte kWh, der sich gegenwärtig ungefähr zwischen 6 und 7 mills bewegt. Das scheint denn auch beim gegenwärtigen Stand der Technik der Preis zu sein, den man einer Integration der Kernenergie zu Grunde legen könnte.

40. Besondere Erwähnung verdienen die kleinen Reaktoren, deren Verwendung vor allem in den wenig entwickelten Länder bestimmt schnelle Fortschritte machen kann. Der Preis für die Energie aus diesen Reaktoren könnte übrigens dem für Energie aus großen Werken überlegen sein, denn längere Transportleitungen würden sich erübrigen, und sie würden anpassungsfähiger sein. Kanada z. B. gibt an, daß solche Reaktoren von 2 000 bis 3 000 kW Stärke schon errichtet werden könnten, selbst wenn sich der Preis pro kWh auf ungefähr 20 mills stellen würde.

## Schlußfolgerungen

41. Die klassischen Energiequellen und der Energiebedarf sind auf der Erde ungleichmäßig verteilt. Diese ungleichmäßige Verteilung wird nur in geringem Maße durch den Transport von Energie und Ersatz der einen Energieform durch eine andere ausgeglichen. Nur eingehende Untersuchungen auf nationaler Ebene können den Verwendungsgrad dieser Energiequellen im Verhältnis zum Verbrauch feststellen. Der Wert solcher Voranschläge verringert sich mit der Länge der Zeit, auf die sie sich erstrecken. Da solche Analysen fehlen, ist auf der Grundlage einiger einfacher Hypothesen eine quantitative Bilanz aufgestellt worden, die aber wegen des unterschiedlichen Industrialisierungsgrades verschiedener Länder auf sichtlich schwachen Füßen steht. Eine solche Bilanz stellt den ersten Schritt zur Feststellung dar, ob ein Gebiet zu Recht eine neue Energiequelle beanspruchen muß.

42. Die Kurve der Gestehungspreise für Elektroenergie aus herkömmlichen Energiequellen steigt. Diejenige für Kernenergie zeigt hingegen fallende Tendenzen, aber die Preise haben noch keinen festen Punkt erreicht. Der Schnittpunkt dieser beiden Kurven bildet für jedes Land den zweiten Faktor zur Bestimmung des Zeitpunktes, an dem es sich einer neuen Energiequelle zuwenden muß.

43. Es scheint, als ob die Kernenergie nur in sehr wenigen Ländern keine Rolle in den nächsten 50 Jahren spielen wird. Auf Grund des steigenden Bedarfs und der steigenden Gestehungspreise werden die herkömmlichen Energiequellen nicht mehr ausreichen und eine wachsende Anzahl von Ländern zwingen, sich diese neue Energieform zu Nutze zu machen. In einigen Ländern wird sich diese Notwendigkeit schon in kürzester Zeit bemerkbar machen. Bei der großen Mehrheit der Länder wird auf der Grundlage der heutigen Preise ein fortschreitender Integrationsprozeß erfolgen. Es ist also sicher, daß selbst ohne Berücksichtigung der auf diesem Gebiete zu erwartenden Fortschritte die Kernenergie schnell einen wichtigen Platz im Energiegleichgewicht der Welt einnehmen wird.

<sup>1)</sup> Es handelt sich hier nur um Länder, die dem Sekretariat Unterlagen eingereicht haben.



# Das Atomenergie-Programm der Britischen Regierung

Dem Parlament durch den Lord President of the Council und den Minister für Energie und Brennstoffversorgung auf Befehl Ihrer Majestät Februar 1955 überreicht.

1. In der Entwicklung der Atomenergie für friedliche Zwecke ist ein wichtiges Stadium erreicht worden. Bis jetzt hat die Arbeit auf diesem Gebiet in Großbritannien ein militärisches Programm, ein auf breiter Basis aufgebautes Forschungs- und Entwicklungsprogramm, sowie die Produktion und Verwendung von Radioisotopen umfaßt. Das militärische Programm bleibt zwar weiterhin sehr wichtig; jedoch erheischt heute auch die Verwendung von Atom-Energie für friedliche Zwecke äußerste Aufmerksamkeit. Atom-Energie ist die Energie-Quelle der Zukunft. Wenn wir uns auch immer noch am Rande des Wissens hinsichtlich ihrer Verwertung für friedliche Zwecke befinden, so wissen wir doch genug, um einige der sich bietenden Möglichkeiten abzuschätzen.

2. Unsere Zukunft als ein Industrieland hängt ab sowohl von der Fähigkeit unserer Wissenschaftler, die Geheimnisse der Natur zu entdecken, wie auch von dem Tempo, mit dem wir die für uns durch diese Wissenschaft in erreichbare Nähe gerückte, neue Technik anwenden. Die genaue Richtung, in der sich die Atomenergie in Zukunft entwickeln wird, ist noch unbestimmt; das darf uns jedoch nicht davon abhalten, mit Nachdruck die praktische Verwendung der Atomenergie zu betreiben, wo immer diese verheißungsvoll erscheint. Die britische Wirtschaft wird nur dann die für eine volle Ausnutzung dieser neuen Technologie notwendigen Erfahrungen sammeln, wenn sie die Probleme der Planung und des Baues von Atomanlagen in Angriff nimmt.

3. Die Verwendung, die schon heute auf einer kommerziellen Basis praktisch möglich erscheint, besteht in der Nutzbarmachung von Kernspaltung als Wärmequelle für den Antrieb von Elektrizitätswerken. Diese Entwicklung bahnt sich darüber hinaus zu einem Zeitpunkt an, in dem in England der große und anwachsende Bedarf an Energie, und

besonders an elektrischem Strom zu einer immer größeren Belastung für unsere Kohlenversorgung führt und die Suche nach zusätzlichen Energiequellen zu einer Angelegenheit von äußerster Dringlichkeit macht. Die Technik auf dem Gebiete der Atomenergie entwickelt sich so rasch, daß noch kein festes Programm auf lange Sicht hin entworfen werden kann. Wenn jedoch Fortschritte erzielt werden sollen, dann müssen schon heute die wahrscheinlichen Entwicklungslinien mindestens in großen Zügen festliegen, damit die nötigen Vorbereitungen rechtzeitig getroffen werden können. Es kann fünf oder mehr Jahre dauern, bis man ein großes Kraftwerk fertiggestellt, d. h. bis man das richtige Grundstück gefunden, die Anlage entworfen und schließlich das Werk aufgebaut hat. Es kann auch mehrere Jahre dauern, bis man einige der für die Atomenergie besonders benötigten Materialien beschaffen kann. Schließlich wird die Hauptlast der Planung und des Aufbaues von kommerziellen Atomkraftwerken der Wirtschaft selber zufallen, die auch für die Ausbildung des notwendigen technischen Personals zu sorgen haben wird. Dies sind einige der Fragen, die bald in Angriff genommen werden müssen, wenn wir beim Aufbau dieses neuen, und noch wenig vertrauten Industriezweiges nicht kostbare Jahre vertun wollen.

4. Aus diesem Grunde hat die britische Regierung ein vorläufiges Programm der Atomenergie-Gewinnung aufgestellt, das sich bis ins einzelne mit den nächsten 10 Jahren befaßt, und darüber hinaus die wahrscheinliche Entwicklung in den darauffolgenden 10 Jahren andeutet. Dieses Programm wird laufend modifiziert werden. Endgültige Entscheidungen werden in jedem Stadium erst im letztmöglichen Augenblick getroffen werden, damit die neuesten technischen Errungenschaften jeweils am vorteilhaftesten angewandt werden können.

## 1. Die wahrscheinliche Richtung der Entwicklung auf dem Gebiete der Atomenergie-Gewinnung

5. Verschiedene Publikationen \*) haben das Prinzip der Kernspaltung sowie die Methoden beschrieben, durch die ein Atomreaktor an Stelle einer Kohle- oder Ölfeuerung zur Herstellung von Wärme für Elektrizitätswerke verwendet werden kann.

Das Calder-Hall-Werk stellt den ersten Versuch in dem Vereinigten Königreich dar, in großem Umfange Elektrizität aus Atomenergie zu produzieren. Soweit man dies heute voraussehen kann, wird man die zukünftige Entwicklung wahrscheinlich auf zwei Hauptziele hinlenken: Einmal auf eine noch leistungsfähigere Verwertung des wichtigsten Atommaterials, Uran, und zum anderen auf die Reduzierung der Anlagekosten eines Atomwerkes pro Kilowattstunde, und zwar sowohl hinsichtlich der Konstruktion des Reaktors wie seiner anfänglichen „Ladung“ (mit Uran).

6. Es ist anzunehmen, daß innerhalb der nächsten 10 Jahre zwei Reaktor-Typen auf einer kommerziellen Basis in Gebrauch genommen werden. Der erste Typ wird dem in Calder Hall in der Konstruktion befindlichen ähnlich sein. Verbesserungen in der Konstruktion dürften es jedoch in den nächsten 10 Jahren möglich machen, daß die späteren Modelle gegenüber den früheren hinsichtlich ihrer Leistung größere Vorteile aufweisen. Diese späteren Modelle werden gasgekühlte, graphit-

moderierte thermische Reaktoren sein, und dabei als Brennstoff natürliches, oder etwas angereichertes Uran verwerten, d. h. einen Brennstoff mit etwas größerem spaltbarem Anteil als das natürliche Uran. Die ersten verbesserten Modelle könnten so entworfen und gebaut werden, daß sie sich in etwa 6 Jahren in Betrieb nehmen lassen.

7. Diese ersten Reaktoren werden nur einen kleinen Prozentsatz des natürlichen Urans verbrennen, mit dem sie beschickt sind, dafür aber zusätzlich zu der Wärme noch das Element Plutonium erzeugen, das in der Natur nicht vorkommt. Dieses Plutonium, das auf dem chemischen Wege aus den verbrauchten Brennstoffen entwickelt werden kann, ist potentiell äußerst wertvoll: es ist nämlich reines Spaltmaterial, während das natürliche Uran nur ein einhundertvierzigstel (1:140) Spaltmaterial enthält.

8. Der zweite Reaktor-Typ, der in den nächsten zehn Jahren für kommerzielle Zwecke erbaut werden kann, ist ein flüssigkeitsgekühlter „thermischer Reaktor“. Dieser Typ erfordert eine kompliziertere Technik, die im Augenblick noch zu höheren Kosten führen würde. Im Laufe der weiteren Entwicklung dürften jedoch flüssigkeitsgekühlte Reaktoren bei gleichbleibenden Anlagekosten eine viel höhere Wärmeausbeute \*) liefern können, als die ersten gasgekühlten Reaktoren. Die flüssigkeitsgekühlten Reaktoren könnten sich daher schließlich als wirtschaftlicher

\*) Siehe bes. Harwell, *The British Atomic Energy Research Establishment*, London. H. M. S. O., 1952 and *Britain's Atomic Factories*, London H. M. S. O. 1954.

\*) Die Wärmeausbeute eines Reaktors ist die Wärmeerzeugung pro Tonne Brennstoff im Reaktor.

erweisen als die gasgekühlten, obwohl ein Vergleich der Kosten davon abhängen wird, in welchem Maße der gasgekühlte Typ verbessert werden kann. Es könnte verschiedene Variationen für diesen Reaktor-Typ geben. In den meisten Fällen würde angereicherter Brennstoff benötigt. Für diesen Zweck könnte das in den ersten Reaktoren in Verbindung mit natürlichem Uran hergestellte Plutonium verwendet werden. Die ersten flüssigkeitsgekühlten Reaktoren könnten auf kommerzieller Basis in etwa 8–10 Jahren erbaut und ungefähr im Jahre 1965 in Betrieb genommen werden.

9. Die Entwicklung nach dem Jahre 1965 könnte verschiedene Formen annehmen: unter Umständen würde Thorium als ein alternativer Brenn-

stoff gebraucht werden, und zwar zunächst in Verbindung mit Plutonium; auch können homogene und schnelle „Brutreaktoren“ entwickelt werden. Man hat bereits den Beschluß gefaßt, eine Versuchsanlage großen Stils zu bauen, die mit einem schnellen „Brutreaktor“ ausgestattet ist. Diese Anlage kann auf einem Gelände bei Dounreth in Caithness Kraftstrom erzeugen. Es ist nicht daran zu zweifeln, daß derjenige aus dieser Entwicklungsserie als am meisten geeignet hervorgehende, kommerzielle Reaktor (von welchem Typ auch immer) pro Kilowatt weniger Anlagekosten, und eine bessere Verwertung von Atom-Brennstoff mit sich bringen wird, als irgendeiner der früheren Reaktoren.

## 2. Die voraussichtlichen Kosten der Atomenergie

10. Die Kosten des elektrischen Stromes, der durch die zwei in den nächsten 10 Jahren wahrscheinlich kommerziell in Gebrauch befindlichen Reaktortypen erzeugt wird, können in etwa abgeschätzt werden, wengleich man dabei auch einen weiten Spielraum für die Unsicherheitsfaktoren einkalkulieren muß. Erfahrungen mit Reaktoren, die mit hohen Temperaturen und hoher Wärmeleistung arbeiten, wie sie für die Kraftstromerzeugung nötig sind, sind noch begrenzt.

Zu den technischen Unsicherheitsfaktoren hinsichtlich der Eigenschaften und dem Verhalten der Reaktoren selber kommen notwendigerweise noch die ganz anders gelagerten Unsicherheitsfaktoren hinsichtlich des Vorrates und des Wertes der Kernmaterialien dazu, die ein Reaktor-System benötigt und herstellt. Die im folgenden auf Grund dieser Schätzungen angestellte Mutmaßungen sollten unter dem Gesichtspunkt betrachtet werden, daß sie nur einen annähernd richtigen, aber nicht exakten Kostenvoranschlag darstellen.

### Anlage- und Gemeinkosten

11. Es läßt sich ein einigermaßen genauer Voranschlag der Baukosten für die ersten kommerziell betriebenen Werke aufstellen. Ein Werk desselben Typs, das jedoch Spaltmaterial sowohl für militärische Zwecke, wie für Zwecke der Elektrizität erzeugt, wird zur Zeit bereits in Calder Hall für insgesamt etwa 15–20 Millionen Pfund Sterling erbaut. Man kann erwarten, daß sogar die ersten, kommerziell betriebenen Anlagen des Calder Hall Types eine höhere Wärmeausbeute aufweisen werden, als die bereits jetzt in der Konstruktion befindlichen. Daher werden auch die Anlagekosten pro Kilowatt niedriger werden. Ein neues Kraftwerk könnte 100 000 bis 150 000, oder sogar 200 000 kW erzeugen. Es sind noch keine Erfahrungen gesammelt worden, auf Grund derer man die Arbeitsdauer eines Reaktors in einer kommerziell betriebenen Anlage schätzen kann; man scheint jedoch, vom technischen Gesichtspunkt aus, eine Arbeitsdauer von 10–20 Jahren annehmen zu können. Da die Atomkraftwerke höhere Anlagekosten und niedrigere Betriebskosten verursachen werden, als dies bei anderen Werken der Fall ist, wird man sie mit möglichst konstanter elektrischer Leistung laufen lassen, um ihre Kapazität voll auszunutzen (etwa 80 %).

Wenn man von dieser Annahme des Gebrauchs ausgeht, so lassen sich die jährlichen Gemeinkosten für jede Leistungseinheit ungefähr berechnen. Die Anlage- und Betriebskosten mit Ausnahme der Brennstoffkosten lassen sich auf Grund der Erfahrungen berechnen, die bei den mit Kohle betriebenen Werken, sowie bei den militärischen Reaktoren in Windscale gewonnen wurden.

12. Die Fortschritte auf dem Gebiet der Reaktor-Konstruktionen, wie zum Beispiel die Einführung einer Flüssigkeitskühlung, dürften allmählich zu sehr viel höheren Wärmeausbeuten führen, ohne daß dabei die Anlagekosten sehr erhöht würden. Auf diese Weise würden die Anlagekosten pro Kilowatt noch mehr gesenkt werden, was wiederum zu einer Senkung der Gemeinkosten führen würde.

### Brennstoffkosten

13. Die Brennstoffkosten hängen von drei Faktoren ab:

- a) von den Kosten für das Rohmaterial Uran;
- b) von den Verarbeitungskosten einschließlich der fabrikmäßigen Umwandlung von Erzen in Brennstoffelemente der chemischen Ver-

arbeitung der verbrauchten Brennstoffelemente, sowie der Gewinnung von Plutonium aus diesen Elementen, und schließlich

- c) von der „Strahlungsausbeute“, d. h. der Wärmemenge, die sich in dem Reaktor pro Tonne Brennstoff gewinnen läßt, bevor dieser Brennstoff entfernt werden muß.

14. Die britische Regierung ist auf Grund einer vorsichtigen Beurteilung der Weltvorräte und des Weltbedarfs für alle Zwecke der Meinung, daß genug Uran für die Durchführung des Zivilprogramms der nächsten 10 Jahre zur Verfügung stehen wird. Die Kosten der ersten Beschickung einer der zuerst gebauten Werke mit beschickungsfertigem Uran (ähnlich Calder Hall) werden etwa 5 Millionen Pfund Sterling betragen. Eine neue Beschickung zu demselben Preis ist dann alle 3–5 Jahre erforderlich. Die Kosten der Verarbeitung des Urans, sowohl vor als auch nach Gebrauch im Reaktor, kennt man aus der Aufbereitung in den Anlagen in Springfield und Windscale, die zur Zeit für militärische Zwecke arbeiten. In den ersten Abschnitten eines Atomenergieprogramms werden die Verarbeitungskosten ähnlich sein, aber später, nach dem Bau neuer Anlagen, sind große Kostensenkungen zu erwarten.

15. Man nimmt an, daß aus einer Tonne Brennstoff bis zu 3000 Megawatt-Tage an Wärme gewonnen werden können. Das entspricht einer Wärmemenge, die man aus 10 000 t Kohle gewinnen würde. Es sind bisher noch keine praktischen Erfahrungen über diesen Ausnutzungsgrad bei hohen Temperaturen gewonnen worden; auch ist es ungewiß, wie sich die Brennstoffelemente metallurgisch verhalten. Aber es gibt viele Ansätze der Entwicklung, die solche unter Umständen auftretenden metallurgischen Defekte beseitigen dürften.

### Die Kosten des Elektrischen Stromes und die Vorteile des Nebenproduktes Plutonium

16. Einige Vorteile sollten bei dem gespaltenen Nebenprodukt Plutonium in Rechnung gestellt werden. Plutonium ist in vieler Hinsicht dem Uran 235 äquivalent, das ja auch eine Form von Spaltmaterial darstellt. Plutonium kann jedoch auf dem chemischen Wege aus verbrauchtem Brennstoff einer Energiestation für nur einen Bruchteil der Kosten gewonnen werden, die in einer Diffusionsanlage bei der Trennung von Uran 235 aus natürlichem Uran entstehen. Wenn konzentriertes Spaltmaterial in genügender Menge vorhanden ist, wird der Spielraum für den Bau und die Entwicklung von fortschrittlicheren und leistungsfähigeren Reaktoren groß sein. Diese Reaktoren würden dann angereichertes Material benötigen und nicht mit natürlichem Uran betrieben werden können. So benötigen zum Beispiel die meisten Typen der flüssigkeitsgekühlten Reaktoren „angereichertes“ Material; was die zukünftige Entwicklung betrifft, so wird konzentriertes Spaltmaterial entweder in Form von Uran 235 oder Plutonium für einen „schnellen Brutreaktor“ oder beim Betrieb eines Thoriumsystems benötigt werden. Auf diese Weise werden die ersten Reaktoren nicht nur elektrischen Strom, sondern auch die wesentliche Ausrüstung (d. h. die erste Beschickung mit Spaltmaterial) für künftige Kraftwerke erzeugen. Ohne Plutonium würde der Aufbau eines Systems von Atomkraftwerken mit einem sich ständig steigenden Wirkungsgrad nicht möglich sein.

17. Man darf erwarten, daß konzentriertes Spaltmaterial in den ersten Entwicklungsphasen eines sich ständig erweiternden Atomenergieprogrammes knapp sein wird. Die Preise für konzentriertes Spaltmaterial würden auf dem „freien Markt“ hoch sein. Das Spaltmaterial wird für

die Anreicherung der Brennstoffbeschickung in neuen, kommerziell betriebenen Reaktoren benötigt, und zusätzlich auch für viele experimentelle Zwecke und für Entwicklungszwecke einschließlich der Brennstoffversorgung der Prototypen von fortgeschrittenen Modellen. Es wird somit schließlich ein Stadium erreicht werden, in dem mehr Plutonium erzeugt wird, als es die neuen Kraftwerke benötigen; dann wird der „Marktpreis“ für Plutonium fallen, und man könnte es als einen Ersatz für natürliches Uran, und nicht so sehr als konzentriertes Spaltmaterial benutzen. Eine solche Entwicklung dürfte jedoch kaum in den nächsten 15 bis 20 Jahren eintreten.

18. Es ist nicht ohne weiteres zu entscheiden, welcher Wert für das erzeugte Plutonium als richtig in Ansatz gebracht werden soll, obwohl gerade davon die Netto-Kosten für den elektrischen Strom entscheidend beeinflusst werden könnten. Ein hoher Wert in den ersten Phasen des Programmes bedeutet niedrige Netto-Betriebskosten für die ersten Reaktor-Typen, aber mehr Anlagekosten bei den späteren Reaktor-Typen. Man könnte sich jedoch die höheren Anlagekosten bei den späteren Reaktortypen durchaus leisten, weil hier die Kapazität größer sein wird. Die Skala des Wertes von Plutonium läßt sich nach unten und oben begrenzend bestimmen, wenn man die verschiedenen Formen seiner Verwendung betrachtet. Schlimmstenfalls könnte das Plutonium dem Reaktor als Brennstoff an Stelle von natürlichem Uran wieder zugeführt werden; und da natürliches Uran nur  $1/140$  Spaltmaterial enthält, dürfte das Plutonium pro Gewichtseinheit mindestens 140mal wertvoller sein. Bestenfalls ist Plutonium wahrscheinlich nicht höher im Wert als der

Preis von Uran 235, nachdem dies in einer Diffusions-Anlage von natürlichem Uran getrennt worden ist. Innerhalb dieser beiden Grenzen gibt es einen großen Spielraum; beide Werte lassen sich jedoch auf der Basis von so und so vielen 1000 Pfund Sterling pro Kilogramm Plutonium errechnen. Man nimmt an, daß man für das erste Entwicklungsstadium ohne weiteres eine Preisskala von vielen 1000 Pfund Sterling pro Kilogramm ansetzen kann; der Wert dürfte schließlich fallen, sich jedoch auf die Kosten der Elektrizitäts-Erzeugung entscheidend auswirken.

19. Unter Zugrundelegung der hier skizzierten Hypothesen, und ausgehend von einem durchschnittlichen Wert für Plutonium, dürften sich die Kosten des aus diesen ersten industriellen Atomwerken gewonnenen elektrischen Stromes auf etwa 0,6 d (gleich 3 Pf.) pro Kilowatt stellen. Das ist ungefähr der gleiche Betrag, der sich wahrscheinlich künftig für den elektrischen Strom aus modernen, mit Kohle betriebenen Kraftwerken ergeben wird. Wenn man Plutonium nicht mit in Rechnung stellt, dann würde sich der Preis der Atomenergiegewinnung auf erheblich mehr als 0,6 d pro kW stellen. Später erbaute Atomkraftwerke dürften in ihrer Leistungsfähigkeit weitere Verbesserungen aufweisen, allerdings würde der Plutoniumpreis vermutlich in dem Zeitabschnitt der Arbeitsdauer dieser Werke erheblich fallen. Trotzdem dürften diese Werke auf Grund ihrer erhöhten Leistung gegenüber anderen Kraftwerken konkurrenzfähig bleiben.

20. Diese Schätzungen gehen davon aus, daß alles Plutonium für zivile Zwecke verwendet wird. Das wäre äußerst wünschenswert. Der militärische Sektor wurde bei den Schätzungen nicht berücksichtigt.

### 3. Ein vorläufiges Programm

21. Die britische Regierung ist der Ansicht, daß die Entwicklung der Atomenergiegewinnung ein Stadium erreicht hat, das zu einer schnellstmöglichen kommerziellen Verwertung zwingt, wenn wir unsere Stellung als einer der führenden Industriestaaten behaupten und die damit verbundenen Früchte ernten wollen. Der im folgenden skizzierte Plan ist ein Provisorium und darf nur als die bestmögliche Voraussage der wahrscheinlichen Entwicklung betrachtet werden; Art der Werke, Zahlen und Daten können sich sehr wohl ändern.

22. Wenn auch der Entschluß, nunmehr an die Verwirklichung eines Atomenergie-Planes heranzugehen, nicht von einem ins einzelne gehenden Kostenvergleich abhängig ist, so geht doch aus obigen Angaben bereits hervor, daß die Stromkosten bei Atomkraftwerken nicht viel höher liegen als bei den mit Kohle betriebenen Elektrizitätswerken. In Großbritannien besteht ein schnell ansteigender Energiebedarf, besonders an elektrischem Strom, und die Schwierigkeiten der Beschaffung ausreichender Mengen von Kohle wachsen ebenfalls ständig. Diese Tatsachen würden schon für sich allein den mit allen Mitteln in Angriff genommenen Aufbau eines Systems von Atomkraftwerken rechtfertigen.

23. Die Kraftwerke sollen, wie bisher üblich, von der Privatindustrie gebaut werden, während die Elektrizitätsbehörden als Auftraggeber und Eigentümer auftreten und die Werke nach Fertigstellung selbst betreiben werden. Die Atomenergie-Behörde (Atomic Energy Authority) ist die einzige Stelle, die über die nötigen Erfahrungen auf diesem Gebiet verfügt. Sie wird daher den Erbauern der Atom-Anlage technisch beratend zur Seite stehen. Weder die englische Industrie, noch die in Frage kommenden Ingenieurbüros haben sich bisher mit der technischen Seite der Kernspaltung befassen können. Sie stehen daher vor einer schwierigen Aufgabe bei der Ausbildung des technischen Personals, bei der Schaffung des notwendig werdenden Organisationsapparates und bei der Planung der Atomkraftwerke. Mit diesen Arbeiten wurde bereits begonnen. In Anbetracht der Vielseitigkeit und Kompliziertheit der zu lösenden Aufgaben muß sich das Personal unter Umständen aus den verschiedensten Firmen rekrutieren. Diese vorbereitenden Arbeiten werden an alle Beteiligten große Anforderungen stellen, und es wird kaum möglich sein, vor 1957 mit dem Bau irgendeines der Atomkraftwerke zu beginnen.

24. Elektrizitätsbehörden und Privatindustrie sollen schnellstens praktische Erfahrungen im Entwurf und Bau von Atomkraftwerken sammeln — als unerläßliche Vorstufe für eine bedeutende Erweiterung in den spä-

teren Abschnitten des Programmes. Die Atomenergie-Behörde wird zwar die Industrie nach besten Kräften unterstützen und beraten, bleibt aber selbst in erster Linie ein Forschungs- und Entwicklungs-Institut, das Versuchsreaktoren entwerfen, bauen und betreiben wird. Ihr obliegt außerdem der Uraneinkauf, die Aufbereitung des Brennstoffmaterials und Verarbeitung des verbrauchten Brennstoffes sowie die Gewinnung von Plutonium aus diesen verbrauchten Brennstoffen. Es wird daher eine ständige Zusammenarbeit und Abstimmung in finanzieller Hinsicht zwischen den Elektrizitäts- und den Atom-Energie-Behörden erforderlich sein. Wie eine solche Zusammenarbeit im einzelnen aussehen soll, ist zur Zeit Gegenstand von Erörterungen in diesen Gremien.

#### Kraftwerke

25. Das vorläufige Programm für den Bau von Atomkraftwerken sieht folgendermaßen aus \*):

a) Mit dem Bau von zwei gasgekühlten Graphit moderierten Werken (und je zwei Reaktoren) würde ungefähr Mitte 1957 begonnen werden. Man dürfte diese Werke 1960—61 in Betrieb nehmen.

b) Mit dem Bau von zwei weiteren Werken würde ungefähr 18 Monate später, das heißt also 1958—59 begonnen werden. Diese würden auch über je zwei Reaktoren verfügen und dem Typ nach den ersten beiden Werken zwar ähnlich sein, aber diese doch an Leistungskapazität übertreffen, besonders was die Wärmeausbeute betrifft. Jeder dieser 8 Reaktoren in diesen ersten Werken würde eine Netto-Stromerzeugung von 50 bis 100 Megawatt aufweisen, so daß die gesamte Erzeugung der vier Werke zusammen, die alle bis 1963 in Betrieb sein dürften, zwischen 400 und 800 Megawatt liegen würde.

c) Mit dem Bau von vier weiteren Werken könnte vielleicht im Jahre 1960, und von vier weiteren 18 Monate danach, d. h. ungefähr 1961/62 begonnen werden. Diese Werke ließen sich u. U. 1963/64 bzw. 1965 in Betrieb nehmen. Es ist schwer, heute schon mit Sicherheit etwas über den voraussichtlichen Typ dieser späteren Werke auszusagen. Wahrscheinlich aber werden sie jedes nur aus einem Reaktor bestehen, der einen viel höheren Wirkungsgrad aufweisen dürfte als die Reaktoren in den ersten 4 Werken. Die Werke, mit deren Bau 1960 begonnen wird, könnten schon weiterentwickelte Modelle des gasgekühlten Graphit

\*) Der Ausdruck „Werk“ wird hier als Bezeichnung für die kleinste Einheit gebraucht, die vermutlich gebaut werden wird. In der Praxis kann es durchaus so aussehen, daß auf einem Gelände mehrere Werke erbaut werden.

moderierten Typs sein. Die letzten vier Werke werden vom flüssigkeitsgekühlten Typ sein, der bis dahin vielleicht so weit fortgeschritten ist, daß er vom wirtschaftlichen Standpunkt her befriedigt. Die gesamte installierte Kapazität der 8 Werke in dieser Gruppe dürfte bei über 1000 Megawatt liegen.

26. Das 10jahres-Programm würde eine Gesamtkapazität von ungefähr 1500 bis 2000 Megawatt ergeben. Nach diesen zehn Jahren würde Großbritannien wahrscheinlich einen Mehrbedarf an neuer Stromerzeugungs-Kapazität von über 200 Megawatt im Jahr haben, während die jährlich neu in Betrieb genommenen Atomkraftwerke etwa ein Viertel dieses Bedarfes decken würden. Wenn man von der Annahme ausgeht, daß Atomkraftwerke als Anlagen mit möglichst hoher konstanter elektrischer Leistung benutzt werden, so würden sie ab 1965 jährlich eine Strommenge erzeugen, die der von ungefähr 5 bis 6 Millionen Tonnen Kohle erzeugten gleichkommen würde. Bei einer schnell fortschreitenden Entwicklung des Programmes müßte auch der von den Atomkraftwerken geleistete Beitrag schnell ansteigen.

27. Das Plutonium aus den zuerst erbauten Reaktoren müßte ab 1954 in einer Menge von mehreren hundert Kilogramm jährlich verfügbar sein zur Anreicherung der Brennstoffe, mit denen die späteren, wahrscheinlich flüssigkeitsgekühlten Reaktoren beschickt werden. Diese würden ihrerseits ebenfalls Plutonium erzeugen, und zwar entsprechend schneller infolge ihres viel höheren Nutzeffektes. Damit würde dieses Plutonium für die in größerer Zahl geplanten Reaktoren, die angereicherten Brennstoff benötigen, gegen Ende des Jahrzehnts 1960–1970 zur Verfügung stehen.

#### Hilfsanlagen

28. Die bereits bestehende Hilfsanlage, die in erster Linie für militärische Zwecke erbaut wurde, und dafür auch in Betrieb ist, wird für ein kommerzielles Programm von diesem Umfang zunächst ausreichen. Später jedoch wird eine gewisse Erweiterung notwendig werden. Im Laufe der Zeit wird eine neue Brennstoff-Verarbeitungs- und Fabrikations-Anlage zusätzlich zu der bereits in Springfields bestehenden Fabrik erforderlich werden, damit der rasch ansteigende Bedarf an Atombrennstoff gedeckt werden kann; schließlich wird man auch eine neue chemische Verarbeitungsanlage für die großen Mengen an verbrauchtem, aus den Atomkraftwerken entfernten Brennstoff benötigen. Insoweit eine Anreicherung in geringem Umfang für die Brennstoff-Elemente in den ersten Werken erforderlich ist, kann diese aus der bereits vorhandenen Kapazität der Diffusions-Anlage in Cadenhurst gewonnen werden.

#### Kosten des Programmes

29. Die Anlagekosten für den Bau und die Installation der in dem Programm vorgesehenen Werke werden beträchtlich sein. Die Kosten für die beiden ersten Werke (mit insgesamt 4 Reaktoren) würden sich wahrscheinlich zusammen auf 30 bis 35 Millionen Pfund Sterling belaufen. Die beiden nächsten Werke, die viel mehr erzeugen werden, dürften u. U. vielleicht etwas mehr kosten, während die Kosten der letzten 8 Werke ungefähr bei 125 Millionen Pfund Sterling liegen würden. Die Kosten für die anfängliche Beschickung des Urans könnten sich unter Umständen einschließlich Fabrikation auf weitere 40 Millionen Pfund Sterling stellen. Die neue Hilfsanlage, die innerhalb der nächsten zehn Jahre benötigt wird, dürfte etwa 30 Millionen Pfund Sterling, die gleichzeitige Entwicklung der Prototypen hinsichtlich der Anlage-Ausgaben zwischen 30 und 40 Millionen Pfund Sterling kosten. Die gesamten Ausgaben des 10jahres-Programmes dürften sich somit auf rund 300 Millionen Pfund Sterling belaufen. Die Ausgaben für die kommerziellen Anwendungen von Atomkraft würden in den nächsten zehn Jahren langsam aber sicher ansteigen und sich schließlich für den gesamten Zeitraum auf mehr als 300 Millionen Pfund Sterling belaufen, da die Ausgaben für diejenigen Werke hierin einbegriffen wären, die nicht vor 1965 fertiggestellt sein würden, und die daher in dem jetzigen Programm nicht in Erscheinung treten.

30. Diese Investitionen wären aber nicht in vollem Umfang als zusätzlicher Kapitalbedarf zu betrachten, da die Atomkraftwerke an Stelle von anderen Elektrizitätswerken gebaut werden. Der Investitionsaufwand der Elektrizitätsbehörden für den Bau von neuen Kohle- und Wasserkraftwerken würde ohne eine Atomenergieausnutzung in den

nächsten zehn Jahren wahrscheinlich rund 1,2 Millionen Pfund Sterling ausmachen. Mit Durchführung eines Atomenergieprogrammes würde sich diese Summe erheblich verringern und damit Kapital für eine Investierung in Atomkraftwerken frei werden. Der Kohlenbergbau dürfte vermutlich sein Investitionsprogramm nach zehn Jahren ebenfalls unter den Voranschlag senken können, der ohne Berücksichtigung der Atomenergie aufgestellt werden müßte.

31. So weit im voraus läßt sich der Betrag für zusätzliche Investitionen, die sich die Volkswirtschaft unter Umständen leisten kann, nicht genau abschätzen. Man kann nicht mehr sagen, als daß die Bewältigung eines Programmes für Atomenergie in dem hier skizzierten Umfang wahrscheinlich nicht sehr schwierig sein dürfte, wenn man einen normalen Anstieg des Sozialproduktes annimmt, und wenn man ferner davon ausgeht, daß ein einigermaßen ins Gewicht fallender Prozentsatz an Mitteln für größere Investitionen zur Verfügung gestellt wird. Es ist unwahrscheinlich, daß die Investitionen in den Brennstoff- und Stromerzeugungsindustrien (das hier entwickelte Programm inbegriffen) höher sein werden, als dies in der tatsächlichen Entwicklung seit 1948 der Fall gewesen ist.

#### Planung auf lange Sicht

32. Selbst wenn man irgendwelche Schwierigkeiten die sich hinsichtlich des Kohlenvorrates ergeben könnten, noch gar nicht einmal in Rechnung stellt, kann es etwa ab 1965, vom wirtschaftlichen Gesichtspunkt aus betrachtet, unter Umständen wünschenswert sein, Atomkraftwerke an Stelle von Kohlenkraftwerken zu bauen. Billiger Strom ist für jedes Industrieland ein großes Plus. Je schneller man in der Stromerzeugung zu dem billigeren System übergehen kann, um so eher besteht eine Hoffnung auf eine Senkung der realen Produktionskosten.

33. Nach dem vorläufigen Programm würden die neuen Atomkraftwerke bis 1965 ein Viertel des gesamten Bedarfes an neuer Stromerzeugungskapazität decken. Es wird von dem in den ersten zehn Jahren erzielten Fortschritt abhängen, wie bald es möglich sein wird, das Programm so zu erweitern, daß der gesamte Bedarf an neuer Stromerzeugungskapazität gedeckt werden kann. Unter Umständen werden bei dem Programm für die ersten 10 Jahre häufige und größere Änderungen notwendig, die sich nach dem Tempo der technischen Entwicklung und den erzielten Erfolgen der ersten Anlagen richten dürften. Bei jedem Versuch, die Entwicklung für die Zeit nach 1965 vorauszusagen, ergeben sich notwendigerweise noch größere Unbekannte.

34. Die Möglichkeiten einer Ausweitung des Programmes werden zum großen Teil davon abhängen, wie schnell die Industrie allgemein in der Lage ist, die notwendigen technischen Methoden zu meistern. Die Atomenergiebehörde wird auch weiterhin neue Informationen zur Verfügung stellen und Personal anleiten lassen. Mit dieser Hilfe dürfte die Industrie bei der Durchführung eines 10jahres-Programmes nach der oben skizzierten Art reiche Erfahrungen sammeln, was wiederum eine viel größere Ausweitung des Programmes nach 1965 ermöglichen wird. Wenn alles nach Plan geht, ließe sich vielleicht zu Anfang der 70er Jahre der Bau von Atomkraftwerken so entwickeln und beschleunigen, daß diese den gesamten Neubedarf an Stromerzeugungskapazität decken könnten. Dieser Bedarf dürfte bis dahin bei ungefähr 3000 Megawatt pro Jahr liegen. Unter diesen Voraussetzungen würden die bis 1975 in Betrieb genommenen Atomkraftwerke eine Kapazität von 10 000- bis 15 000 Megawatt erreicht haben, deren Gesamtleistung für den Grundbedarf eingesetzt würde. Die Atomkraftwerke würden dann elektrischen Strom so schnell erzeugen, wie dies durch 40 Millionen Tonnen Kohle der Fall wäre.

35. Das Tempo der Expansion würde möglicherweise in den späteren Jahren weiter begrenzt werden durch die Versorgungslage auf dem Sektor der Atombrennstoffe, und insbesondere auf dem Sektor des stärker angereicherten Materials, das man für einige der weiter entwickelten Reaktortypen benötigen wird. Gegen Ende der 60er Jahre dürften die ersten Reaktoren Plutonium in größeren Mengen erzeugen, das wiederum für die späteren Reaktoren verfügbar gemacht werden könnte. Das vorläufige Programm wird, ebenso wie die spätere Erweiterung, einen größeren Bedarf an Uran mit sich bringen. Zweifellos wird auch in anderen Ländern zur gleichen Zeit der kommerzielle Bedarf an Uran steigen. Neueste Forschungsergebnisse scheinen anzudeuten, daß Uran

in größerem Umfang verfügbar ist, als bisher angenommen wurde. Abbaufähige Vorkommen an Erzen mittleren Gehalts sind erschlossen worden. Das Vorhandensein von Erzen mit niederem Gehalt in größtem Umfang bedeutet, daß sich notfalls aus ihnen eine genügende Menge an Uran herstellen läßt. Darüber hinaus dürfte ein erhöhter Bedarf an Uran einmal durch die größere Wirtschaftlichkeit wettgemacht werden, die man bei der Verwertung von Uran bis dahin erzielt haben wird und zum anderen durch die mögliche Entwicklung des Ersatzbrennstoffes Thorium, das in großen Mengen je nach Bedarf zur Verfügung stehen müßte. Aus allen diesen Gründen ist die britische Regierung sehr zuversichtlich, daß die notwendigen Rohstoffmengen zur Deckung des erhöhten Bedarfes verfügbar sein werden.

#### Fragen des Geländes und der Sicherheit

36. Im Laufe der Entwicklung der Atomenergie ist man allgemein zu der Erkenntnis ihrer zerstörerischen Möglichkeiten gelangt. Es wäre daher ganz natürlich, die Frage zu stellen, ob sich durch Atomkraft-Anlagen irgendwelche besonderen Gefahrenmomente ergeben. Man muß als erstes und wichtigstes darauf hinweisen, daß eine „Atomexplosion“ in einem Reaktor überhaupt unmöglich ist. Bei sachgemäßer Konstruktion der Atomkraft-Einrichtungen sind die Folgen von Unfällen, die sich unter Umständen ereignen, nicht gefährlicher als in vielen anderen Industriezweigen.

37. Die hauptsächlichsten Gefahrenmomente werden in einem Atomkraftwerk durch die Konzentration von äußerst radioaktivem Material hervorgerufen. Diese Gefahren sind jedoch bekannt, und man kann sich gegen sie schützen, und zwar sowohl durch Vorsichtsmaßnahmen bei der Konstruktion des Reaktors selber, wie auch notfalls dadurch, daß man den Reaktor ganz oder teilweise in einem Behälter einschließt, der keinerlei Gas durchläßt. Die für die kommerzielle Produktion von elektrischem Strom zu bauenden Reaktoren werden die in der Nähe wohnenden Menschen nicht mehr gefährden, als viele bestehende Industriewerke, die in bebauten Gegenden zu finden sind. Es besteht nicht die Absicht, die ersten Atomkraftwerke in dicht besiedelten Gebieten zu bauen, obwohl man beim Bau der Anlagen alle nur denkbaren Sicherheitsvorkehrungen beachten wird.

38. Die Beseitigung der radioaktiven Abfallprodukte sollte keine besonderen Schwierigkeiten bereiten. Dies ist in erster Linie ein Problem für die chemischen Verarbeitungsanlagen, von denen nur wenige benötigt werden. Die Kraftwerke selber sind nicht betroffen. Das Volumen solcher Abfallprodukte ist gering; man widmet der Frage besondere Aufmerksamkeit, welches die wirtschaftlichsten Methoden der Lagerung und Beseitigung dieser Abfälle sind. Es gibt viele wichtige Verwendungsmöglichkeiten für die Abfallprodukte, durch die unter Umständen der größte Teil verbraucht werden kann. Alles Material, das übrig bleibt und beseitigt werden muß, wird auf seinen radioaktiven Gehalt hin

überprüft werden, damit sichergestellt ist, daß dieser so gering ist wie die normalerweise vorhandene Grundradioaktivität. Damit wäre auch die völlige Unschädlichkeit garantiert.

#### Internationale Aspekte

39. Die britische Regierung ist stets für die größtmögliche internationale Zusammenarbeit bei der Verwendung von Atomenergie für friedliche Zwecke eingetreten, damit diese große, neue wissenschaftliche Entdeckung in vollstem Ausmaße der Menschheit zum Nutzen gereicht. Erst vor kurzem hat die britische Regierung den inzwischen gebilligten Vorschlag zur Errichtung einer internationalen Atomenergie-Behörde bei den Vereinten Nationen mit eingebracht und sich bereit erklärt, dieser Behörde 20 Kilogramm Spaltmaterial zur Verfügung zu stellen. Die britische Regierung hat die Absicht, sich in jeder nur denkbaren Weise an der internationalen wissenschaftlichen Konferenz über die Verwendung von Atomenergie für friedliche Zwecke zu beteiligen. Die Konferenz wird im Laufe dieses Jahres stattfinden.

40. Physiker und Ingenieure aus einer Reihe von Ländern haben sich der Möglichkeit bedient, durch einen Besuch der Institute und Lehrgänge in Großbritannien (wie etwa der Reaktor- und Isotopen-Institute in Harwell) Fragen der Atomtechnik zu studieren. Soweit es finanziell möglich ist, beabsichtigen wir Staatsangehörigen anderer Länder weitere Möglichkeiten zum Besuch dieser Institute zu erschließen. Man wird darüber hinaus anderen Ländern bei dem Bau von Versuchs- und Entwicklungsreaktoren helfen, da sie die notwendige Voraussetzung eines Baues von Reaktoren für kommerzielle Zwecke bilden. Einige Länder des Commonwealth, sowie einige europäische Länder, werden bereits auf diese Weise von uns unterstützt.

41. Wir müssen vorausschauend daran denken, daß sich eines Tages ein wertvolles Exportgeschäft aufbauen läßt. Die von der britischen Industrie im Laufe der nächsten zehn Jahre gesammelten Erfahrungen in der Planung und im Bau von Atomkraftwerken sollten die Grundlage bilden für eine schnelle Ausdehnung des Geschäftes, sowohl in England selber wie auch im Ausland. Im Augenblick befindet sich die Atomkraft-erzeugung noch im Entwicklungsstadium. Wirtschaftlichkeitsberechnungen lassen sich für Atomkraftwerke noch nicht exakt durchführen. Darüber hinaus werden die Werke auch nach ihrem Bau weiter Versuchsunternehmungen bleiben und ein hohes Maß an Betreuung durch Fachpersonal erfordern. Im Laufe der Zeit werden die Modelle der Anlagen jedoch verbessert werden, und man wird auch die Kosten des elektrischen Stromes, den diese Werke erzeugen, exakter überschauen können. Vor allem aber wird es zu der normalen Praxis eines Ingenieurs gehören, solche Werke zu konstruieren und in ihrer Arbeit zu überwachen. Wir werden dann in der Lage sein, zu unserem eigenen Nutzen und zum Nutzen der übrigen Welt einer traditionellen Rolle Englands nachzukommen, indem wir technisches und handwerkliches Können „exportieren“.

## 4. Einordnung des Programmes in die gesamte Brennstoffpolitik der Regierung

42. In einer Debatte im Unterhaus am 9. Juli 1954 erklärte der für die Brennstoff- und Energieversorgung zuständige Minister bei seiner Darlegung der Politik der britischen Regierung auf dem Gebiete der Brennstoff- und Energieversorgung, daß es eines der Hauptziele der britischen Regierung sei, die Kohlenversorgung durch andere Formen der Energieerzeugung zu ergänzen, und zwar durch Atomenergie sobald wie möglich, und durch Öl sofort. In den ersten drei Teilen des vorliegenden Memorandums ist die mögliche Entwicklung der Atomenergie in Großbritannien skizziert worden, soweit sich diese heute voraussagen läßt. Die britische Regierung hat in diesem Memorandum ihre Hoffnungen und Ansichten bezüglich des Umfangs und bezüglich der Termine bei der kommerziellen Verwendung von Atomenergie zum Ausdruck gebracht. Im folgenden soll abschließend noch aufgezeigt werden, wie sich diese mögliche Entwicklung im Gesamtrahmen des britischen Energiebedarfes und der Versorgung mit anderen Brennstoffen ausnehmen würde.

#### Elektrischer Strom

43. Der Verbrauch an elektrischem Strom ist in allen Ländern seit seiner Einführung auf einer kommerziellen Basis in den 80er Jahren des

vorigen Jahrhunderts rapide angewachsen. Die durchschnittliche Erhöhung hat bei 70 Prozent im Jahre gelegen, was eine Verdoppelung des Verbrauches alle 10 Jahre bedeutet. Es ist nicht anzunehmen, daß diese Entwicklung immer so weitergehen wird. Auf der anderen Seite liegen bisher keine Anzeichen dafür vor, daß der Bedarf an elektrischem Strom auch nur annähernd einen Sättigungspunkt erreicht hat, weder in Großbritannien selber, noch irgendwo anders, ja selbst nicht einmal in Ländern mit einem viel höheren pro Kopfverbrauch als bei uns.

44. Bei einer Schätzung des Bedarfs an elektrischem Strom in Großbritannien in den nächsten 20 Jahren ist anzunehmen, daß der Bedarf weiter ansteigen wird, wenn auch in einem geringeren Tempo als bisher. Er wird in zwanzig Jahren wahrscheinlich dreieinhalbmal so groß sein wie heute. Um diesen wachsenden Bedarf (mit den dadurch verursachten Möglichkeiten für eine höhere Produktivität und eine höhere Leistung im gesamten Wirtschaftssystem) zu decken, wird die installierte Erzeugungskapazität, die im Jahre 1954 durchschnittlich 20 000 Megawatt betrug, bis 1965 auf 30 000 bis 40 000 Megawatt, und bis 1975 vielleicht auf 55 000 bis 60 000 Megawatt erhöht werden müssen. Sollte das oben skizzierte Programm durchgeführt werden (es ist sicher, daß

es in der Praxis hier und da modifiziert werden muß) so würden dadurch bis 1965 1 500 bis 2 000 Megawatt, und bis 1975 zwischen 10 000 und 15 000 Megawatt Atomenergie erzeugt werden. Die Atomkraftwerke würden zur Deckung des Grundbedarfs eingesetzt und einen höheren Prozentsatz der gesamten Energie liefern, als dies das hier angegebene Zahlenverhältnis erkennen läßt.

### Kohlenvorräte

45. Ohne Atomkraftwerke würde der Kohlenverbrauch allein der Elektrizitätswerke innerhalb der nächsten 20 Jahre auf das 2<sup>1/2</sup>-fache anwachsen, und bis 1965 die 65 000-Tonnen-Grenze pro Jahr, und bis 1970 die 100-Millionen-Tonnen-Grenze erreichen. Zu diesem Zeitpunkt würde sich der Verbrauch pro Jahr um 4,50 Millionen steigern. Bei diesen Kalkulationen wird von dem in Abschnitt 44 skizzierten Bedarf ausgegangen. Auch der Verbrauch an Öl würde sich entsprechend steigern. Wenn das vorläufige Programm für den Atomenergie-Gewinn zur Ausführung kommt, würde der Kohlenbedarf der Kraftwerke in den 60er Jahren mit 60 bis 70 Millionen Tonnen jährlich den Höchststand erreichen und dann nicht mehr steigen.

Diese Entwicklung könnte gerade noch rechtzeitig eintreten, um einmal den Schwierigkeiten der Gewinnung von jungen Bergarbeitern, zum zweiten den Schwierigkeiten bei der Produktion von genügend Kohle zu erträglichen Preisen für andere Verbraucher fester Brennstoffe zu begegnen. Der Bedarf dieser Verbraucher würde ja schließlich in der Zwischenzeit ebenfalls ständig angestiegen sein.

46. Seit dem Kriege ist die Kohlenförderung unter Tage von 175 Millionen Tonnen im Jahre 1945 auf 214 Millionen Tonnen im Jahre 1954 angestiegen. Der Bedarf, der sich immer mehr ausdehnenden englischen Industrie ist sogar noch schneller im Steigen begriffen. Wir muß-

ten die Untertagsförderung durch Tagebau sowie durch Kohleneinfuhren ergänzen. Selbst dann ist die Kohlenversorgung für die Haushaltungen noch Beschränkungen unterworfen, während für die Ausfuhr ebenfalls nicht genügend Kohle vorhanden ist. Das Nationale Kohlenbergbauamt hat mit einem umfangreichen Plan der Kapitalinvestitionen operiert, der in den letzten zwei Jahren rapide Fortschritte gemacht hat. In einem erheblichen Maße wird dieser Plan jedoch schon zur Beibehaltung der Förderung auf dem jetzigen Stand in Anspruch genommen werden müssen. Die Erzielung einer größeren Leistung im Gebrauch von Kohle, sowie das Ersetzen der Kohle durch Öl bei ganz bestimmten Verarbeitungsprozessen (einschließlich der Stromerzeugung) wird wenigstens in einem begrenzten Umfang zu einer Verbesserung der Lage führen. Der sich erhöhende Bedarf an Brennstoff kann jedoch nicht gedeckt werden, ohne daß man bis zum äußersten alle Möglichkeiten einer neuen und wirtschaftlich vertretbaren Technik erschöpft.

47. Die Beschaffung von genügend Arbeitskräften für den Kohlenbergbau stellt eines unserer schwierigsten Probleme dar. Dies wird wahrscheinlich auch immer so bleiben. Um den augenblicklichen Bedarf an Kohle zu decken, hat man zur freiwilligen Sonntagsarbeit sowie zum Tagebau und zum Import Zuflucht genommen; dennoch steigt der Bedarf weiter an. Jede Erleichterung, die sich durch andere Energiequellen, wie etwa durch die Atomenergie bietet, wird mehr herbeiführen als nur ein Nachlassen der Schwierigkeiten in der Beschaffung und Unterhaltung ausreichender Arbeitskräfte. Es kann nicht davon die Rede sein, daß neue Entwicklungen etwa zu einem Überschuß an Arbeitskräften führen würden. Der Kohlenbergbau wird auf jeden Fall einer der größten Arbeitgeber unter den britischen Industrien bleiben. Der Kohlenbergbau kann jedoch damit rechnen, daß der übermäßige Druck, dem er sich jetzt ausgesetzt sieht, durch die Entwicklung der Atomenergie nachlassen wird.

## Schlußfolgerungen

48. Unsere Zivilisation beruht auf Energie. Ein verbesserter Lebensstandard in fortgeschrittenen Industrieländern wie Großbritannien selber, und in den riesigen, unterentwickelten Ländern in Übersee kann nur durch eine erhöhte Nutzung von Energie erzielt werden. Der notwendige Bedarf erhöht sich so schnell, daß dadurch die zur Zeit vorhandenen Energiequellen auf das Äußerste in Anspruch genommen werden. Wie ungewiß verschiedene Faktoren heute auch immer noch sein mögen, die Atomenergie wird schließlich doch zu einer Stromerzeugung führen, die sich wirtschaftlich voll auf vertreten läßt. Darüber hinaus wird hier eine Energiequelle geschaffen, die potenziell viel größer ist als irgendeine andere. Die sich anbahnende Entwicklung auf dem Gebiete der Atomenergie bedeutet daher den Beginn einer neuen Epoche.

49. Als führende Industrienation sind wir daher sowohl im eigenen Interesse als auch in dem anderer Länder verpflichtet, diese neue Industrie der Atomenergieerzeugung auf eine feste Grundlage zu stellen und sie mit größtmöglicher Beschleunigung aufzubauen. Es bieten sich hier große wirtschaftliche Möglichkeiten, die zu revolutionären Veränderungen in der Technik und in den Methoden führen werden. Wir werden diese nur erlernen, wenn wir die praktischen Anwendungsmöglichkeiten der Atomenergie voran treiben, wo immer wir dazu in der Lage sind und vielen bei jedem Wagnis immer unvermeidlichen Unsicherheitsfaktoren zum Trotz.

50. Das hier umrissene Programm ist ein vorläufiges und wird im Laufe der Zeit in vieler Hinsicht verändert werden. Dieses Programm hat jedoch hoffentlich die Zusammenhänge des wahrscheinlichen Ausmaßes und der in der Weiterentwicklung der Dinge zu erwartenden Termine so weit erhellt, daß die Atomenergie in ihre richtigen Perspektiven gerückt worden ist und aufgezeigt wurde, wie sich diese neue Energiequelle in den Gesamtrahmen der vorhandenen

Energiequellen zur Deckung des anwachsenden Bedarfs unserer expansiven Wirtschaft einordnen läßt.

51. Die Großerzeugung von Atomenergie kann nicht von heute auf morgen erfolgen. Die ersten Werke, die Strom für wirtschaftliche Zwecke erzeugen, werden im Gegensatz zu den Versuchsstationen höchstens in 5 Jahren in Betrieb sein können. Wenn man aber schon jetzt mit den notwendigen Vorbereitungen beginnt, so wird es möglich sein, die Atomenergie innerhalb von 10 Jahren für wirtschaftliche Zwecke in beträchtlichen Mengen zu gewinnen. Die bei dem Bau und bei der Inbetriebnahme von Atomkraftwerken in diesen 10 Jahren gesammelten Erfahrungen sollten danach sowohl in Großbritannien wie im Ausland eine viel schnellere Entwicklung ermöglichen.

52. Neue technische Entwicklungen, die sich zur Zeit noch nicht übersehen lassen, können schnellere Fortschritte in bezug auf die Leistungskapazität der Werke mit sich bringen. Tritt dieser Fall ein, so müßten wir in der Lage sein, den besten Nutzen aus einer solchen Entwicklung zu ziehen. Andererseits kann es sein, daß sich das vorläufige Programm als zu optimistisch erweist; für Planung, Konstruktion sowie für den Bau der Anlagen wird vielleicht mehr Zeit benötigt, oder aber die Kosten sind höher als veranschlagt, und man hat die benötigte Entwicklungszeit unterschätzt. Wenn einer dieser Fälle eintreten sollte, würde Atomenergie erst später, oder auf einer teureren Basis als geplant verfügbar sein; oder aber die Kosten würden den Voranschlag wesentlich übersteigen. Die britische Regierung steht auf dem Standpunkt, daß dieses Risiko eingegangen werden muß.

53. Diese gewaltige Aufgabe muß mit Energie und Vorstellungsgabe in Angriff genommen werden. Der Einsatz ist hoch, dafür wird aber auch am Ende der Lohn groß sein. Wir müssen uns bei der Entwicklung der Atomenergie weiter in der vordersten Linie halten, damit wir die uns zufallende Rolle bei dem Bestreben spielen können, diese neue Energiequelle in den Dienst der Menschheit zu stellen.

ABEL WOLMAN — ARTUR E. GORMAN\*)

# Die Kontrolle und Beseitigung von radioaktiven Abfällen (Atommüll)

In dem Maße, in dem sich die Atomenergie-Industrie immer mehr in die Nähe von Bevölkerungszentren ausdehnt, werden sehr viel wirtschaftlichere Methoden zur Beseitigung von radioaktiven Abfällen erforderlich werden. Die „Atomenergie-Kommission“ (Oberste amerikanische Atombehörde: AEC) trifft für diese Eventualität durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten Vorbereitungen. Das Ausmaß und die Intensität dieser Vorbereitungen übertreffen bei weitem das, was irgendein anderer amerikanischer Großindustriestrom im Frühstadium seiner Entwicklung zur Lösung der Probleme der Abfallbeseitigung aufgewendet hat.

In weniger als einem Jahrzehnt haben die Investitionen einschließlich der in Arbeit befindlichen Konstruktionen in der neuen Atomenergie-Industrie beinahe die 6-Milliarden-Dollargrenze erreicht und somit jede andere Großindustrie in Amerika in dieser Hinsicht überflügelt. Trotz dieses ungeheuren Aufstieges auf dem Gebiete der Anlagen und der damit verbundenen Produktion, sind bis jetzt die Gefahren bei der Beseitigung von radioaktiven Abfällen auf ein Minimum beschränkt worden. Damit soll nicht gesagt sein, daß Gefahren nicht existieren, oder

daß sich Probleme nicht ergeben haben. Die Probleme werden jedoch bewältigt, obwohl die Kosten relativ hoch sind. Verbesserungen der Methoden und Einrichtungen für die Kontrolle von radioaktiven Abfällen stellen zusammen mit der Frage der Kostensenkung die Industrie in ihrer Entwicklung mit vor ihre wichtigsten Aufgaben.

Vor Eintritt in die Erörterung der Probleme sollte man sich vor Augen führen, daß durch die Nutzbarmachung von spaltbarem Material, durch die kontrollierte Produktion von Wärmeenergie oder durch eine plötzliche Atom-Explosion äußerst radioaktive Produkte entstehen. Diese Produkte, die man so zutreffenderweise „radioaktive Asche“ nennt, stellen echte Gefahren dar, ob sie nun herrühren aus der Produktion von spaltbarem Material, wie etwa Uran oder Plutonium im Reaktor selber, oder von der späteren chemischen Verarbeitung von verbrauchten Brennstoffen zur Wiedergewinnung von wertvollem Material. In der Wirtschaft fallen solche Abfälle an in großen Variationen hinsichtlich der Quantität, dem Grad der Radioaktivität und der Möglichkeiten der Vergiftung, sowie schließlich der physikalischen Form.

## Merkmale der radioaktiven Abfälle

### Grade der Radioaktivität

Im allgemeinen sind hochgradig radioaktive Abfälle in der Atomenergie-Industrie solche, die einen umfassenden Schutz erfordern, damit die mit diesen Abfällen umgehenden Personen nicht schädlichen Strahlen ausgesetzt sind. Solche Abfälle können bis zu 10 hoch zwei Curie pro Liter enthalten. Glücklicherweise fallen sie hochaktiv in viel geringerem Umfange an, als solche mittlerer oder niedriger Aktivität. Es ist schwierig, den Prozentsatz der gesamten, hochaktiven Abfallproduktion abzuschätzen, weil er abhängig ist von der jeweilig verschiedenen Art der Abfälle. Der Prozentsatz kann bei 0,5, aber auch bei bis zu 50 % liegen, je nach dem, welches Material in der jeweiligen Anlage verarbeitet wird.

Abfälle von einem mittleren radioaktiven Grad erfordern ebenfalls einen Schutz und müssen äußerst vorsichtig gehandhabt werden. Abfälle niedriger Aktivität sind solche, die um einen Faktor zwischen 100 und 1 000 die erlaubten Grenzen übersteigen, in denen menschliche Wesen ihnen ausgesetzt werden dürfen. Ihre Radioaktivität würde etwa 10 hoch minus 4 bis 10 hoch minus 3 Mikrocurie pro Milliliter betragen.

### Verschiedene Abfallarten

Radioaktive Abfälle können von flüssiger, gasartiger und fester Beschaffenheit sein, oder aber einem Gemisch angehören. Sie können ver-

brennbar oder nicht verbrennbar sein. Die Art und die Intensität von radioaktiven Abfällen lassen sich nicht durch menschliche Sinne wahrnehmen. Diese heimtückischen Eigenschaften machen die radioaktiven Abfälle besonders gefährlich, weil sie in die Luft, den Erdboden und die offenen Gewässer und Flüsse gelangen können, ohne entdeckt zu werden. Mit geeigneten Instrumenten und den Methoden der radiometrischen Analyse lassen sich jedoch die Bestandteile und die charakteristischen Eigenschaften der radioaktiven Abfälle auf das Genaueste bestimmen.

Vom Gesichtspunkt der Abfallbeseitigung sind die langen Halbwertszeiten und die für das menschliche Gewebe schädlichen und als solche bekannten Eigenschaften bestimmter Isotope wichtig. Unabhängig davon, was mit einem Radioisotop geschieht, oder wie man ihn verwertet, wird dieser Isotop ständig Strahlungen von sich geben, die seiner natürlichen Zerfallsrate entsprechen. Solange seine Radioaktivität die Toleranzgrenzen überschreitet, ist eine potentielle Gefahr für den Menschen gegeben.

Diese einzigartigen Eigenschaften der radioaktiven Abfälle erfordern mehr als das durchschnittliche Maß an Verantwortung von denjenigen, deren Aufgabe es ist, sich mit Fragen der Beseitigung solcher Abfälle zu befassen, wie auch von den offiziellen Stellen, die für den Schutz der öffentlichen Gesundheit und der Rohstoffe verantwortlich sind.

## Herkunft und Behandlung von radioaktiven Abfällen

Radioaktive Abfallprodukte sind sehr unterschiedlichen Ursprunges und müssen daher sorgfältig erforscht werden, bevor man sie bearbeitet und beseitigt. Diese Feststellung trifft besonders in dem Maße zu, in dem sich die Nutzbarmachung von Kernenergie auf dem Wege des industriellen Wettbewerbs ausweitete, und dadurch die tatsächlichen Unkosten bei der Behandlung und Beseitigung von Abfällen zu einem wesentlichen Punkt der Überlegungen werden. Die augenblickliche Handhabung der Dinge ist zwar ausreichend, aber kostspielig und notwendigerweise konservativ. Besonderer Nachdruck wird auf die Probleme gelegt, die sich bei der Beseitigung solcher Abfälle für die unmittelbare Umgebung ergeben. Die Privatindustrie muß ja schließlich bei der Nutzbarmachung von Atomenergie ihre Fabrikanlagen in einer einigermaßen vernünftigen Nähe zu

der Bevölkerung errichten, der diese Anlagen dienen sollen. Ganz anders verhielt es sich mit einigen der ersten großen Anlagen, die durch die Atomenergie-Kommission betrieben wurden. Diese wurden absichtlich völlig abgelegen von großen Bevölkerungszentren und anderen Industriezweigen errichtet.

### Rohmaterialien

In jedem Industriezweig kommt es im Verlaufe der Verarbeitung des Rohmaterials bis zum Fertigprodukt zu einigen Abfällen. In der Atomenergie-Industrie steigt der Grad der Radioaktivität der Abfälle pro-

\*) Abel Wolman von der Hopkins Universität, Arthur E. Gorman, US Atomenergie-Kommission.

gressiv in dem Maße, in dem die industrielle Verarbeitung zum Brennelement fortschreitet.

#### Erze:

Im Augenblick sind die radioaktiven Erze des Urans die wichtigsten Rohmaterialien. Ein radioaktives Zerfallsprodukt dieser Erze, nämlich Radon, kann zu ernststen Schädigungen führen, wenn es in der entsprechenden Konzentration eingeatmet wird. Ist eine gute Lüftungsanlage vorhanden, läßt sich der Gehalt an Radon durch Methoden, wie sie auch in anderen Bergbauvorhaben angewandt werden, auf ein Minimum beschränken.

Die weitere Verarbeitung der radioaktiven Erze bis zur endgültigen Bereitung von angereichertem Brennstoffmaterial führt zu beträchtlichen Abfallmengen an langlebigen Alphastrahlern. Die Verarbeitungsprozesse sind chemischer und metallurgischer Natur und erfordern maschinellen Aufwand. Chemischer Schlamm, der Uran-Gehalt aufweist und Radon von sich gibt, wird gewöhnlich in Beton-Lagerbehältern verwahrt. Die spezifische Radioaktivität ist hier niedrig und stellt im allgemeinen keine ernsthafte Gefahr für die Umgebung dar. Wegen der sehr langen Zeitdauer, in der solcher Schlamm radioaktiv bleibt, wird er auch weiterhin ein echtes Lagerungsproblem darstellen. Der Staub und die Splitter, die beide in der metallurgischen und maschinellen Verarbeitung anfallen, können meistens erfaßt werden. Es läßt sich hier durch gutes Säubern der Räume und durch ausreichende Entlüftungseinrichtungen verhindern, daß Gefahren für die Gesundheit entstehen.

#### Dämpfe und Staub:

Dämpfe und Staub werden durch mechanische Lüftungsvorrichtungen so nah wie möglich am Entstehungsort entfernt. Es sind verschiedene Luftreinigungseinrichtungen in Gebrauch, so etwa Trenner, verschiedene Arten von Filtern, Bürsten und elektrostatische Geräte. Die Erfahrung hat gelehrt, daß Größe, Masse und andere Merkmale der Abfälle in diesen Brennstoffzubereitungs-Vorgängen sehr stark variieren und sich oft von ähnlichen Abfällen anderer Industriezweige unterscheiden. Vorschriften für Luftreinigungs-Geräte müssen daher sehr viel strenger sein, als in den meisten anderen Industriezweigen.

#### Kühlmittel aus Kern-Reaktoren

Wenn der Brennstoff in den Reaktoren durch Neutronen bestrahlt wird, werden ungeheure Mengen von Wärme produziert. Reaktoren können durch Luft, Wasser, flüssige Chemikalien oder andere Medien mit geeigneten Flüssigkeits- und Wärmeaustauscheigenschaften gekühlt werden. Da man diese Medien im Innern des Reaktors den Neutronen aussetzt, werden sie bestrahlt. Welche Radioisotope sich auf diese Weise herausbilden, hängt von der Zusammensetzung der Kühlmittel ab. Das Problem der Beseitigung der radioaktiven Medien stellt sich anders dar, je nach dem Volumen, dem Grad der Radioaktivität und der Eignung der örtlichen Verhältnisse für eine Ableitung der Kühlung ohne Gefahren für die Umgebung.

#### Luft:

In einem luftgekühltem Reaktor — wie dem im National-Laboratorium in Brookhaven — fließt der Kühlfluß durch den Reaktor mit einer Geschwindigkeit von 8 500 Kubikmeter in der Minute. In dieser Anlage wird die Luft vorgefiltert, um dadurch Staub zu entfernen, der sonst im Durchlauf durch den Reaktor radioaktiv werden würde. Bei dem Neutronenbeschuß des kühlenden Luftstromes entstehen radioaktives Argon, Xenon und Krypton. Die bestrahlte Luft wird durch einen rund 100 m hohen Turm der Atmosphäre zugeführt. Die Verdünnung ist im Normalfall derart, daß der Grad der Radioaktivität noch lange nicht die für die Einatmung von Luft durch Menschen erlaubten Grenzen erreicht. Während der Reaktor in Betrieb ist, wird die Aktivität der Luft in der Nähe überwacht. Sollten die erlaubten Grenzen der Radioaktivität bei irgendeinem dieser Isotopen überschritten werden, so würde man das Energie-Niveau des Reaktors reduzieren oder die Anlage vollkommen stilllegen. Die bei solchen Kontrollen erzielten Resultate sind bisher positiv verlaufen.

#### Durchlaufendes Kühlwasser:

Die Reaktoren in Hanford werden durch einen einfachen Durchfluß von Wasser aus dem Columbiafluß gekühlt. Das Flußwasser wird auf dem Wege der chemischen Koagulation, Absetzung und Filtrierung in ganz

ähnlicher Weise gereinigt, wie das bei der Behandlung von Wasser für die Anlagen der öffentlichen Wasserversorgung der Fall ist. Die Wasseranlagen in den Hanford-Werken gehören zu den größten in den USA. Das Volumen des an einem Tage benötigten Kühlwassers ist gleich dem gesamten Wasserverbrauch einiger amerikanischer Großstädte. In den ersten wenigen Stunden nach dem Verlassen des Reaktors ist die radioaktive Zerfallserscheinung im Kühlwasser hoch.

Das Wasser wird vor der Rückleitung in den Fluß in Auffangbehältern verschieden lange festgehalten. Die restliche Aktivität im ausfließenden Wasser wird durch mehrere Auslässe dem Fluß zugeführt, um eine gleichmäßigere Verteilung zu erreichen. Die Radioaktivität wird durch suspendierte Materie und Plankton im Wasser, sowie durch Pflanzen und Schlammbildungen im Flußbett aufgefangen. Da das verbrauchte Kühlwasser klar ist, lassen sich vom ästhetischen Standpunkt aus keine Einwände erheben, wie man dies bei Abfällen vieler anderer Industriezweige tun kann. Die nächsten Quellen für die öffentliche Wasserversorgung aus dem Fluß befinden sich in Pasco und Kennewick im Staate Washington, ungefähr 65 Kilometer stromabwärts von dem nächsten Reaktor entfernt. Die Radioaktivität in dem Flußwasser an diesen Stellen hält sich durchaus im Rahmen der für den menschlichen Genuß erlaubten Grenzen. Auch das Flußwasser wird ständig auf Radioaktivität kontrolliert.

#### Umlaufendes Kühlwasser:

Andere Reaktoren-Typen, wie etwa der Reaktor für Materialprüfungen in den Nationalen Reaktor-Prüfungsanlagen in Idaho benutzen abgeschlossene, das heißt also Umlauf-Kühlsysteme. Auch diese Systeme stellen Probleme der Abfallbeseitigung. In einer abgeschlossenen Wasserkühlungsanlage wird das Kühlmittel für gewöhnlich gefiltert und entmineralisiert, damit wenig oder überhaupt keine Substanzen im Wasser vorhanden sind, die bestrahlt werden könnten. Da jedoch dieses Wasser Röhren, Pumpen und Wärme-Austausch-Einrichtungen der verschiedensten Art passieren muß, wird es schließlich doch durch Korrosion, Abgeriebenes oder seine eigenen auflösenden Eigenschaften etwas verseucht werden. Um in solchen Systemen jede größere Zunahme an Radioaktivität zu verhindern, wird ein kleiner Prozentsatz des gesamten Durchflusses ständig abgezweigt, gefiltert, durch Entmineralisierungs-Apparate geleitet und schließlich in den Hauptstrom zurückgeführt. In anderen Fällen wird das abgelassene Wasser als Abfall behandelt. Das Abfallwasser, oder die verbrauchten Filter- und andere Entmineralisierungs-Einrichtungen werden schließlich radioaktiv und dann für gewöhnlich durch Vergraben in der Erde beseitigt.

#### Andere Probleme der Reaktoren-Abfälle

Wenn ein Reaktor abmontiert wird, oder wenn Teile des Reaktors, die bestrahlt worden sind, entfernt werden, ergibt sich als von besonderer Bedeutung ein Problem erster Ordnung. Ganz außergewöhnliche Sorgfalt wird auf den Schutz der Arbeiter verwandt. Es wird strengstens kontrolliert, wie lange und in welchem Ausmaß die Arbeiter der Radioaktivität ausgesetzt sind. Material mit sehr großer Radioaktivität wird in einem eigens dafür vorgesehenen, abgeschlossenen Gebiet aufbewahrt, oder so tief in die Erde vergraben, daß eine ausreichende Sicherheit vor Ausstrahlungen an die Oberfläche gewährleistet ist. Es wird eine genaue Liste über vergrabenes, radioaktives Material geführt.

Im Falle eines ernststen Unglücks in einem Reaktor, daß zu einem Freiwerden von überschüssiger Wärme aus den Kettenreaktionen und damit zum Verdampfen von Brennstoffmaterial führen könnte, würde sich eine radioaktive Wolke bilden, die im Stande wäre, ein großes Gebiet zu verseuchen. Es würde von der Menge und der Art des freigelassenen radioaktiven Materials, sowie von den jeweiligen meteorologischen Verhältnissen abhängen, in welchem Umfange Menschen der Radioaktivität ausgesetzt werden. Die potentialen Möglichkeiten solcher Unglücke werden sorgfältig geprüft. Ein „Beratender Ausschuß für Fragen der Sicherung bei Atommeilern“ überprüft alle Vorschläge, die für neue Reaktoren gemacht werden, um auf diese Weise zu gewährleisten, daß alle Faktoren hinreichend beachtet und vernünftige Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden. Besondere, zusätzliche Sicherheitsmethoden und Einrichtungen sind in Gebrauch, damit ernste Unglücke verhindert werden. Ein Beispiel für vorbeugende Maßnahmen dieser Art ist die Stahlkugel von ca. 70 m Durchmesser, die den Versuchsreaktor für U-Boote in Westmilton im Staate New York völlig umschließt.



Das Ausmaß der Abfallproduktion niedriger Aktivität in der Zeit vom Juni 1952 bis Juni 1953 zeigt die Tabelle Nr. 1.

Tabelle 1

Größenordnung des Anfalls von Abfällen niedriger Aktivität in der Zeit von Juli 1952 bis Juni 1953

Anlage	Liter Flüssigkeit	Feste Stoffe		Schlamm aus Verdampfern in Litern
		cbm	kg	
Argonne National Lab.	690 000 <sup>a</sup>	275		22 600
Bettis Field	3 780 000 <sup>a</sup>	52		11 300
Brookhaven	985 000 <sup>a</sup>	245		14 900
California Research and Development Co.	1 450	40	3 650	
Iowa State College		5	2 140	
Knolls Atomic Power Lab.	verdampfbare 7 600 000 andere 35 000	265	76 000	41 500
Massachusetts Institute of Technology	3 780			
Moun Laboratory		500	235 000 <sup>b</sup>	
National Institute of Health		7	635	
National Reactor Test Station				
Chemische Aufbereitung	2 400 000 <sup>a</sup>			
Materialprüfungsreaktor	159 000 000 <sup>a</sup>			
Oak Ridge National Lab. (und andere)		11 200		
University of California Radiation Lab.	1 250	68	4 950	
U.S. Naval Radiol Defense Laboratory	50 000	30		

a) Nur verdampfbare Flüssigkeit.

b) Einschließlich Schlamm aus Entwässerungsprozessen.

### Chemische Verarbeitung

Die hochaktiven Abfälle rühren im wesentlichen, wenn auch nicht völlig, von der chemischen Verarbeitung der Brennstoffe aus Kernreaktoren für Zwecke der Wiedergewinnung von nicht verbrannten Anteilen her. Aus den bestrahlten Brennstoffen fallen viele Spaltprodukte an mit Halbwertzeiten, die zwischen Sekunden und Millionen von Jahren liegen. Solche Produkte haben feststehende, radioaktive Zerfallsraten, die niemals variieren. Für gewöhnlich werden die radioaktivierten Brennstoffe nach ihrer Entfernung aus dem Reaktor unter Wasser aufbewahrt, damit der Zerfall der Spaltprodukte mit geringeren Halbwertzeiten ermöglicht wird. Eine Aufbewahrung von 90 bis zu 120 Tagen ist wünschenswert, unter Umständen ist jedoch die Verarbeitung dieser Produkte innerhalb kürzerer Zeiträume notwendig. Je kürzer die Dauer der Aufbewahrung ist, um so schwieriger werden die Probleme der Behandlung und Beseitigung dieser Produkte.

Diese hoch aktiven Abfälle enthalten die gesamte Reihe der Abfallprodukte, die sich bilden, wenn die Uranatome gespalten werden. Die Lösungen der Abfallprodukte enthalten außer den Spaltprodukten verschiedene Salze und Säuren. Der Trennungsgang hängt von der Art ab, in der das Uran — entweder fest oder flüssig — in dem Reaktor nutzbar gemacht wird. Dies entscheidet auch über die physikalischen, chemischen und radiochemischen Eigenschaften der gewonnenen Abfall-Lösung. Die charakteristischen Merkmale der typischen Abfälle, die von dem verarbeiteten Reaktorabfall zu erwarten sind, veranschaulicht die Tab. 2.

Tabelle 2

Eigenschaften von typischen Abfällen aus der Brennstoff-Aufbereitung Hochaktive Abfälle

Radioaktivität	30–120 Curie pro Liter (neutralisiert)
Effektive Lebensdauer	ungefähr 600 Jahre
Wärmeerzeugung	0,1–0,4 Watt pro Liter
Energieäquivalent	1 Gramm U <sup>235</sup> = 24 000 KWh (100% Wirkungsgrad)
Spaltprodukte	1 Gramm U <sup>235</sup> bildet ein 1 Gramm Spaltprodukte
Abfälle aus der Aufbereitung	2–20 Liter Abfall-Lösung pro verbrauchtem Gramm U <sup>235</sup> .

### Abfall — Chemie

Ion	Konzentration in Molen pro Liter
Aluminium (Al)	0.5 — 2.5
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	2.0 — 8.0
Wasserstoff (H)	0.5 — 3.0
Natrium (Na)	0.1 — 0.2
Fluor (F)	2.0 — 3.0
Zirkon (Zr)	0.3 — 0.6
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	0.4 — 0.6

Spezifisches Gewicht 1,1–1,4 Gramm pro ccm

### Die technischen Methoden im Anfangsstadium:

Im Anfangsstadium der Atomindustrie wurde in der chemischen Verarbeitung das Schwergewicht auf die Trennung des Atombomben-Materials von den nicht verbrannten Brennstoffen und den Spaltprodukten gelegt. Diese Nebenprodukte wurden in großen unterirdischen Stahl- und Betontanks gelagert. Damals wurde kein Versuch unternommen, die nicht verbrannten Brennstoffe wieder zu gewinnen oder die Stahlprodukte zu verwerten. Verarbeitungsprozesse mit dem Ziel, Brennstoffe wieder zu gewinnen und sie erneut zu verwerten sofern sie nicht verbraucht wurden, sind heute an der Tagesordnung. Die Spaltprodukte werden auch heute noch in unterirdischen Tanks gelagert. Eine geeignete Verwertung ihrer Zerfallsenergie in Mischungen oder einzeln ausgewählten Spaltprodukten wird angestrebt. Selbst wenn solche Möglichkeiten der Verwertung entdeckt worden sind, wird dadurch zwar die Wirtschaftlichkeit der Abfallbehandlung verbessert, jedoch die Notwendigkeit der ständigen Kontrolle der langlebigen Materialien nicht vermindert.

### Wichtige Isotope:

Bei der Beseitigung der Atom-Abfälle aus chemischen Verarbeitungsprozessen sind folgende Isotope wegen ihrer Halbwertzeit oder wegen ihres radioaktiven Vergiftungsgrades von besonderer Bedeutung:

Radioisotop	Massenzahl	Ordnungszahl	Halbwertzeit
CESIUM	137	55	33.0 Jahre
STRONTIUM	90	38	19.9 Jahre
STRONTIUM	89	38	53 Tage
JOD	131	53	8.1 Tage
NIÖB	55	41	35 Tage
CER-PRASEODYM	144	58–59	280 Tage
YTTRIUM	91	39	61 Tage
BARIUM	140	56	12.8 Tage
ZIRCONIUM	95	40	65 Tage

### Neuere Methoden:

Auf dem Gebiet der Verarbeitung und der Anlagen für chemische Auflösungen, Extraktionen und Wiedergewinnungen sind ständige Verbesserungen erzielt worden. Von größter Bedeutung sind die Bemühun-

gen, diese hochaktiven Abfälle am Entstehungsort zu entfernen — wo das Volumen noch klein ist —, anstatt sie sich mit einem großen Volumen vermischen und ihn verseuchen zu lassen. Denn dann ist die Entgiftung sehr kostspielig. Früher wurden Stickstoff-Oxyd-Dämpfe und Joddämpfe, die bei der Brennstoffauflösung eintreten, durch hohe Türme in die Atmosphäre abgeleitet. Heute werden diese Abfallgase über ein Bürsten-System geleitet und unter Verwendung einer chemischen Reaktion mit Silbernitrat entfernt. Äußerst radioaktive Partikel, die von 50 Mü bis zu Bruchteilen eines Mü groß sind, werden heute durch tief eingebettete Sand- und Glaswollefilter mit hohem Wirkungsgrad entfernt. Glaswolle-Filter (mit einem Beseitigungswirkungsgrad von 99,95% pro 0,3 Mü Partikel) werden auf Grund der durch die amerikanische Atomenergiekommission finanzierten Forschungs- und Entwicklungsarbeit kommerziell hergestellt. Zur Zeit können diese Filter gasartige Abflüsse bis zu 300° Celsius verarbeiten. Ähnliche Filter sind für eine befriedigende Leistung bei 800° Celsius in der Entwicklung begriffen.

Manchmal werden vor der Ableitung von flüssigen Abfällen in Tanks mehrfache Ausfüllungsprozesse angewandt, damit die Radioaktivität in einem möglichst kleinen Volumen konzentriert wird. Die zurückstehenden Lösungen mit geringer Radioaktivität werden für gewöhnlich dem Boden durch Siebe und Brunnen zugeführt. Konzentrate werden vergraben und in unterirdischen Tanks aufbewahrt. Ein Nachteil der Ausfüllmethode liegt in dem Volumen des Schlammes, der behandelt werden muß. Verdampfung ist auch sehr häufig angewandt worden, um das Volumen von flüssigen Abfällen, sei es von hoher oder mittlerer Radioaktivität, zu reduzieren. Bei Abfällen beider Sorten handelt es sich um einen kostspieligen Prozeß, da die Kosten 20 bis 250 Cents pro Liter betragen können. Verdampfung kann zur Erzielung eines Entgiftungsfaktors von 10 hoch 5 und noch mehr angewandt werden. Hochaktive Abfälle können im Volumen auch durch Jonen-Austausch-Methoden reduziert werden. Diese Methoden bringen jedoch ziemliche Kosten mit sich, und es bleibt das Problem, die übrigbleibenden äußerst radioaktiven Harze zu beseitigen. In allen diesen Fällen muß man die verschiedenen Faktoren gegeneinander abwägen und zwar den gesamten Wert der Entgiftung, das Volumen der sich ergebenden Abfälle aus Nebenprodukten und die Kosten des Verarbeitungsprozesses im Verhältnis zu anderen Möglichkeiten der Abfallbeseitigung.

#### Lagerung in unterirdischen Tanks:

Die Lagerung äußerst radioaktiver Abfälle in großen unterirdischen Stahl tanks und Stahlbetontanks stellt in der augenblicklichen Praxis ein ernsthaftes Problem dar. Zunächst ist es eine teure Angelegenheit, da es sich um Kapitalunkosten in Höhe von 1,30 bis 7,50 \$ pro Liter Fassungsvermögen handelt. Die durch Gamma-Strahlungen entstehende Wärme ist außerordentlich groß. Um die Tanks vor der Zerstörung durch Korrosion zu schützen, muß überschüssige Wärme durch eine Kühlanlage abgeleitet werden. Um undichte Stellen bei solchen Tanks festzustellen, wird eine Drainage-Anlage rund um die Tanks herum installiert, die zu einer genauestens kontrollierten Grube führt. Die genaue Lebensdauer dieser Tanks ist unbekannt. Sie ist zweifellos viel kürzer, als die Länge der Zeit, in der einige der langlebigen radioaktiven Materialien weiterhin gefährlich bleiben. Es ist keine leichte Aufgabe, die Reste des aktiven Materials vollständig zu beseitigen, nachdem es eine längere Zeit in einem Tank gelagert worden ist. Eine der Methoden, die angewandt wird, ist die, mit einem Dampfstrahl auszuspritzen.

Obwohl die Unkosten der Lagerung in Tanks hoch sind, hat diese Methode im augenblicklichen Stadium der noch begrenzten Kenntnis den einen Vorteil, daß diese Abfälle unter Kontrolle sind.

#### Einflüsse auf die Umgebung:

Äußerst wichtig sind die Umgebungsfaktoren, wie etwa die Fähigkeit des Bodens, in der Nähe von Lagertanks, bei eintretender Undichte radioaktive Abfälle zu absorbieren, und ferner die Geschwindigkeit, mit der sich solche Abfälle durch die Bodenschichten bewegen und vor allem unterirdische Quellen der allgemeinen Wasserversorgung entziehen können. Diese Faktoren werden zur Zeit im Auftrag der amerikanischen Atomenergie-Kommission, und in Zusammenarbeit mit dem US Amt für Geologie erforscht. Es wird die Möglichkeit geprüft, hochgradige Radioaktivität in Abfällen durch natürlichen oder vorbereiteten Boden, oder aber auch durch chemische Verbindungen aufzusaugen, damit die Abfälle dann durch Vergrabung oder unterirdische Lagerung sicher beseitigt wer-

den können, ohne daß nach menschlichem Ermessen die Möglichkeit eines Eindringens in die Umgebung gegeben ist. Die Beseitigung der gefährlicheren langlebigen Radioisotope wie etwa Sr 90, Cs 137 oder Ce 144 vor der Weiterleitung der Abfälle in Tanks, oder in den Erdboden, würde die Gefahr für die Umgebung vermindern, vorausgesetzt, daß diese radioaktiven Isotope für die endgültige Beseitigung ausreichend lokalisiert oder zurückgehalten werden können.

#### Endgültige Beseitigung:

In dem Nationallaboratorium von Brookhaven suchen Hatsch und seine Mitarbeiter noch nach Mitteln und Wegen für die endgültige Beseitigung von radioaktiven Abfällen. Sie haben eine Methode entwickelt, die hochaktiven Spaltprodukte in eigens vorbereiteten Lehmkügelchen zu absorbieren. Diese Kügelchen werden dann einer hohen Temperatur von 800 bis 1000° C in einem Brennofen unterworfen, um so harte keramische Perlen zu bilden, aus denen das radioaktive Material nicht ausgelaugt werden kann. Dieser Prozeß befindet sich im Versuchs-Stadium und kann durchaus wirtschaftliche Möglichkeiten in sich bergen. Auf diese Weise behandelte Abfälle könnten vergraben oder in geeigneten, isolierten Plätzen gelagert werden, wobei sichergestellt wäre, daß ein Eindringen in die Umgebung nur in ganz unbedeutendem Ausmaße erfolgen würde. Aus diesem Prozeß ergeben sich auch einige Möglichkeiten für die Gewinnung von radioaktiven Präparaten aus solchen Abfällen. Eine Übersicht der Unkosten für einige der hier erörterten Methoden zeigt die Tab. 3 auf.

Tabelle 3  
Kosten<sup>a)</sup> für Abfallbehandlung und -beseitigung

	Hochaktive Abfälle	Niedrigaktive Abfälle
Tanklagerung	0.10 — 0.50 \$ pro Liter	
Verdampfen	0.04 — 0.20 \$ pro Liter	
Vergraben	nur beschränkt durchgeführt	0.005 — 0.07 \$ pro Liter
Versenken	nicht durchgeführt	ungefähr 0,35 \$ pro Liter
Überlandtransport	siehe Fußnote b)	

a) Alle Unkosten einschließlich Zinsen, Abschreibung und Gemeinkosten.

b) Überlandtransport kostet im allgemeinen ca. 3 cents pro Tonnenkilometer. Beim Transport von hochaktiven Abfällen ist jedoch auf Grund der Bestimmungen ungefähr 95—99% der beförderten Tonnage Schutzmaterial, wodurch diese Art sehr kostspielig wird.

#### Beseitigung in den Ozean:

Es ist vorgeschlagen worden, daß hochaktive Abfälle durch Versenkung in Meerestiefen, weit entfernt von irgendwelchen Küsten, unschädlich gemacht werden. Auf diese Weise beseitigt man heute einige der verschiedensten Abfälle anderer Wirtschaftszweige. Die Unkosten, die durch Schutz-Vorrichtungen und bei dem Transport entstehen würden, sprechen sehr gegen die Anwendung dieser Methode auf die hochaktiven Abfälle vieler zur Zeit in Betrieb befindlicher, oder noch in Betrieb zu nehmender Anlagen, — und zwar nur aus Gründen der weiten Entfernung. Andere Faktoren die eine solche Beseitigung der Abfälle von zweifelhaftem Wert erscheinen lassen, sind die hohe Radioaktivität und die große Wärmezeugung bei diesen Abfällen, die Unmöglichkeit, sie dann später wieder zu verwenden und schließlich die Unsicherheit in bezug auf die Auswirkung der Abfälle auf andere Verwertungsmöglichkeiten des Ozeanwassers im Dienste der Menschheit. Das gesamte Problem ist zur Zeit Gegenstand sorgfältiger Forschungen in der John-Hopkins-Universität in Zusammenarbeit mit befähigten amerikanischen Ozeanographen. Die augenblickliche Praxis, Material aus der Atomindustrie für eine Beseitigung in dieser Form nicht freizugeben, wird solange von der Atomenergie-Kommission beibehalten werden, bis die Ozeanographen mit größerer Sicherheit voraussagen können, daß die in den Ozean versenkten, hochgradig radioaktiven Abfälle für alle Zukunft keinerlei Gefahr bieten werden. Die Unsicherheit in bezug auf die absolut gefahrlose Beseitigung im Ozean rührt von der Tatsache her, daß das physikalische, chemische und biochemische Verhalten der Meere noch nicht in einer befriedigenden Weise vorausgesagt werden kann. Zirkulationsgeschwindigkeit, Diffusionsgeschwindigkeit und Umwälzge-

schwindigkeit der Meere sind noch nicht mit Sicherheit bestimmt worden. Es fehlt sogar noch an den nötigen Instrumenten, um das tun zu können.

Radioaktive Abfälle der Atomindustrie werden zur Zeit, sofern es sich um niedrige und mittlere Radioaktivität handelt, in dafür besonders ausgewählten Versenkungsbereichen im Atlantik und Pazifik beseitigt. Die Abfälle werden mit Beton vermischt und in Stahltrommeln abgeschlossen. Kürzliche Studien des Mitarbeiterstabes der John-Hopkins-Universität haben ermittelt, daß die Kosten der Beseitigung von Abfällen mit mittlerer oder geringer Radioaktivität im Ozean einschließlich Transport, Verpackung und Versenkung variieren, und zwar von 0,30 \$ pro Pfund Müll für Anlagen in angemessener Schiffsentfernung vom New Yorker Hafen bis zu 8,80 und 1,00 \$ pro Pfund Abfall für Anlagen in der Nähe von San Francisco. An der Ostküste werden jährlich 20 bis 30 Tonnen Abfälle im Ozean unschädlich gemacht, an der Westküste 4 bis 5 Tonnen. Der Unterschied in der Menge spiegelt sich in den Kosten wider. Der John-Hopkins-Bericht weist auf die Notwendigkeit hin, die Behälter besonders zu bewahren, um den Stoß im Augenblick des Aufprallens der Behälter auf den harten Ozeanboden und dem hydrostatischen Druck in einer Tiefe von 1000 bis 2000 Meter unter dem Meeresspiegel zu begegnen.

#### Verschiedene Abfälle

In den meisten Industrien können wichtige Abfälle der Anlage auf befriedigende Weise beseitigt werden. Die normalen Abfall-Restprodukte wie Schnitzel, Staub, Splitter, Papier, Wischer, Kleidung, veraltetes Material und Geräteteile, sowie Baumaterial von Erneuerungs- oder Abbrucharbeiten auf der Anlage, können über den üblichen Handel verkauft, örtlich vergraben oder zusammen mit normalem Abfallmaterial der Gemeinden abgeladen werden. In der Atomenergieindustrie werden solche Abfälle gewöhnlich in besonderen Behältern auf den Anlagen abgesondert. Sie werden dann auf die Art und den Grad der Radioaktivität hier überprüft. Material, das mit einer Radioaktivität kurzer Halbwertszeit verseucht worden ist, kann bis zum Zerfall aufbewahrt und dann normal beseitigt werden. Das Problem wird jedoch kompliziert und ist auch noch nicht gelöst worden, wenn es sich um Radioisotope mit einer langen Halbwertszeit handelt.

#### Verbrennungsöfen:

Brennbares, radioaktives Material, wie zum Beispiel Papier, Wischer, Tierleichen etc. sowie Holz- oder Pappteile können durch Verbrennung beseitigt werden. Es wurden Verbrennungsöfen — und zwar jedesmal verschiedene — erbaut, um in den Forschungs- und Entwicklungsgebieten der AEC — im Wissenschaftlichen Laboratorium Los Alamos (LASL), im Nationallaboratorium Argonne (ANL) und im Atom-Energie-Laboratorium Knolls (KAPL) — eingesetzt zu werden. Jeder Ofen wurde mit Geräten für eine nahezu vollständige Beseitigung der Verbrennungsprodukte ausgestattet. Dies führte dazu, daß sowohl radioaktive Lösungen wie die Verbrennungssasche selber beseitigt werden mußte. Die LASL-Anlage hat zu beträchtlichen Schwierigkeiten Anlaß gegeben und wird zurzeit umgebaut. Der ANL-Verbrennungsöfen hat eine befriedigende Leistung bei relativ hohen Unkosten von 95 Dollar pro Kubikmeter einschließlich Amortisations- und Gemeinkosten erreicht.

Die KAPL-Anlage war eine Versuchsstation und benutzte Sauerstoff für die vollständige Verbrennung. Die Kosten dieser Anlage waren mit ungefähr 180 Dollar pro Kubikmeter ebenfalls hoch. Die AEC kam zu der Erkenntnis, daß befriedigende und wirtschaftlich arbeitende Verbrennungsöfen unbedingt notwendig sind, und zwar sowohl in den von ihr betriebenen Anlagen wie auch bei den Forschungsinstituten, die sich mit Problemen der Atomindustrie befassen und Radioisotope verwenden. Aus diesem Grunde schloß die Kommission mit dem Bureau of Mins, Laboratoriumsabteilung für Verbrennungsforschung, einen Vertrag zur Entwicklung einer geeigneten Anlage ab. Der Stab dieses Laboratoriums ist nach vielen Monaten der Untersuchung von Verbrennungsparametern dabei, Entwürfe und Modelle für zwei Verbrenner fertigzustellen, die Kapazitäten von 25 bzw. 200 Pfund pro Stunde aufweisen.

Jeder Ofen arbeitet mit einem besonderen Luftversorgungssystem in der Verbrennungskammer. Auf diese Weise wird ein solch hoher Verbrennungsgrad (des festen Materials) erreicht, daß zur Behandlung von Verbrennungsgasen nur noch ein Sedimentationsfilter für die größeren Partikel notwendig ist. Anschließend werden die Gase dann noch

der Behandlung durch einen Spezialfilter aus Glas mit hoher Temperatur und hohem Wirkungsgrad unterworfen.

#### Die Beseitigung in Ballen:

In der KAPL-Anlage werden heute Abfälle, die früher verbrannt wurden, mit Hilfe eines elektrischen Gerätes zu Ballen verarbeitet. Die Ballen werden in beliebiger Größe gelagert und dann per Bahn in ein Lagerungsgebiet verfrachtet, das von der AEC betrieben wird und sich in einem Teil der alten Ontario-See-Werke in der Nähe von Youngstown im Staate New York befindet. Hier werden die Ballen zusammen mit bestimmten radioaktiven Schlämmen und dem verschiedensten, veralterten Gerät und Material gelagert, das wegen der Radioaktivität nicht wiedergewonnen oder als Altmaterial verwertet werden kann.

#### Vergraben:

Das Vergraben von radioaktiven Abfällen, besonders von solchen fester Konsistenz, wird in den größeren AEC-Anlagen, wie etwa in den Hanfordwerken, dem Nationallaboratorium in Oakridge, der Nationalen Reaktorprüfungsanlage und dem Wissenschaftlichen Laboratorium von Los Alamos weitgehend angewandt. Die Auswahl der Vergrabungsstellen wird mit Unterstützung eines qualifizierten Geologen vorgenommen, damit folgende Faktoren genügend berücksichtigt werden:

1. Die Eigenschaft des Bodens, Radioaktivität festzuhalten;
2. die Geschwindigkeit, mit der sich Abfälle aus den Vergrabungsgebieten auf ihre Umgebung ausbreiten können;
3. die Höhe und die Abflußgeschwindigkeit des Grundwassers aus dem Vergrabungsgebiet;
4. die Auswirkungen des Durchsickerns in bezug auf die Verseuchung des Grundwassers;
5. die Entfernung bis zu den Verbrauchern von Grundwasser weiter flußabwärts.

Eine Vergrabung bietet den doppelten Vorteil niedriger Kosten und wirksamen Schutzes. Wenn die Bewegung des Wassers durch den Erdboden gering, und die Entfernung zu den Verbrauchern des Grundwassers groß ist, kann sich die Radioaktivität verringern, bevor eine Quelle der Wasserversorgung in Mitleidenschaft gezogen wird. Bei langlebigen Abfällen muß jedoch den möglichen Auswirkungen aller Vergrabungsmethoden auf die Rohstoffe des betreffenden Gebietes äußerste Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es ist nicht wahrscheinlich, daß es bei einer Bewegung durch die Bodenschichten zu einer sehr großen Ausbreitung von freigesetzten Verseuchungselementen von der punktförmigen Quelle weg in seitlicher Richtung kommen wird. Es laufen zur Zeit Forschungen über die selektive Absorption der Radioaktivität in Bodenschichten und über ihren Lauf durch die Schichten unter den verschiedensten Bedingungen.

#### Tiefe Brunnen:

Man hat auch der Möglichkeit Aufmerksamkeit geschenkt, radioaktive Abfalllösungen zu beseitigen, indem man sie in aufgegebene Öl- und Gasbohrlöcher mittels tiefer Brunnen ableitet. Die wirtschaftlichen Aspekte dieses Problems sind abhängig von den Kosten des Schutzes für die Arbeiter und den Frachtkosten bis hin zu dem ausgewählten Brunnenplatz. Diese Methode der Beseitigung wird zur Zeit erforscht, da sie offensichtliche Vorteile aufweist. Außerdem wird die Möglichkeit in Erwägung gezogen, aufgegebene Bergwerke und Höhlen als Lagerplätze für hochaktive Abfälle zu benutzen.

Die Anwendung einer solchen Methode zur Beseitigung von hochaktiven Abfällen wird eine sehr genaue Überprüfung durch geologische Fachleute in Zusammenarbeit mit Spezialisten aus der Atomenergieindustrie erfordern. Diese Zusammenarbeit ist kürzlich von der AEC durch Bildung einer Arbeitsgemeinschaft der John Hopkins Universität und des Nationalen Forschungsrates eingeleitet worden. Der Forschungsrat hat einen „Ausschuß der geologischen Wissenschaften“, ins Leben gerufen, dem hervorragende Persönlichkeiten angehören, und der diese Studien energisch vorantreiben soll. Obwohl es in den USA eine Reihe von Gebieten gibt, unter denen geologische Formationen lagern, die möglicherweise für die Beseitigung von hochgradig radioaktiven Abfällen geeignet sind, stimmen erfahrene Geologen darin überein, daß man von solchen Formationen für die oben erörterten Zwecke solange keinen Gebrauch machen sollte, bis sie weiter erforscht und wissenschaftlich überprüft worden sind. Bei solchen Forschungen und Studien erfordern

u. a. die verzwickten Probleme der Wärmeabgabe und des allgemeinen thermischen Verhaltens eine besondere, ins einzelne gehende Analyse.

#### Verseuchte Wäsche:

In Laboratorien und Produktionsgebieten, die radioaktives Material verwerten, ist der Gebrauch von Schutzkleidung, wie z. B. Gummi und Lederhandschuhen, Stoffmänteln, Mützen und Überzügen für Schuhe weit verbreitet. Früher wurden im allgemeinen die Abfälle durch die Bearbeitung dieser Materialien in Wäschereien verdampft. Für gewöhnlich war die Radioaktivität nicht hoch genug, um diese kostspielige Behandlung zu rechtfertigen. Solche Abfälle können wie in der Nationalen Reaktorversuchsstation mit dem normalen Abwasser vermischt werden. Hier wurde eine einfache Sedimentation- und Dieset-Filteranlage entworfen, die nebenbei noch für mehrmaligen Umlauf der Ausströmungen eingerichtet ist. Die Wäscherei-Abfälle werden mit dem örtlichen Abwasser gemischt und einer intensiven Bearbeitung unterworfen. Ungefähr 90 % der Radioaktivität findet sich in dem ausgetrockneten Dränageschlamm, und nur ein kleiner Rest im Ausfluß, der in den Erdboden abgeleitet wird. In Los Alamos sind die Wäschereiabfälle mit Plutoniumgehalt durch eine Ausfüllmethode entgiftet worden.

#### Radioisotope

Die AEC stellt Radioisotope her und verkauft sie an Hunderte von Verbrauchern in Amerika und in der ganzen Welt. Die Radioisotope werden für Forschungszwecke in Medizin, Biologie, Chemie und anderen

akademischen und industriellen Anwendungsarten verwertet. Die am meisten gebrauchten Isotope sind: P 32, I 131, C 14, Na 24 und Au 198. Die Isotope-Abteilung in Oakridge übt eine Kontrolle über die Verbraucher dieser Isotope aus und verlangt von den Käufern die Einhaltung gewisser Vorsichtsmaßregeln bei der Beseitigung von radioaktiven Abfällen. Die Aktivitäten, die im allgemeinen verwendet werden, sind derart, daß die Abfallbeseitigung keine ernsthaften Schwierigkeiten bietet. Zur Zeit verfährt man in den meisten Instituten so, daß die radioaktiven Abfälle in einen oder in mehrere Tanks abgeleitet werden. Diese Tanks werden in regelmäßigen Abständen überprüft. Wenn die Radioaktivität einen vorgeschriebenen, niedrigen Grad erreicht hat oder darunter ist, wird der Inhalt der Tanks abgelassen, und zwar im allgemeinen in ein öffentliches Dränagesystem. Wo die Durchflußgeschwindigkeit in dem Dränagesystem ausreichend ist, um die gewünschte Verdünnung der radioaktiven Abfälle auf das vom Standpunkt der Sicherheit zulässige Maß zu gewährleisten, werden die Abfälle ohne vorherige Lagerung sofort abgelassen. Forschungsergebnisse in den Universitäten von New York, John Hopkins, California und Illinois haben erwiesen, daß die Weiterleitung von Radioisotope an öffentliche und andere Dränagesysteme zu keinen schädlichen Auswirkungen auf den Verarbeitungsprozeß der Abwässer in den bei den Gemeinden in Gebrauch befindlichen Kläranlagen führt. Arbeiter sollten bei solchen Einrichtungen nicht arbeiten, geschweige denn sie betreten, solange nicht die Aktivität festgestellt ist, und auch dann nur unter der Beratung und Aufsicht eines „Gesundheitsphysikers“.

## Probleme der Zukunft

Die meisten Beobachter sind der Ansicht, daß in den nächsten 25 Jahren bedeutsame Entwicklungen in der Atomenergie-Produktion vor sich gehen werden. Ob man nun die optimistischen oder die konservativen Ansichten hinsichtlich der gemachten Prophezeiungen und genährten Hoffnungen teilt, eine Schlußfolgerung ist sicher: Die Beseitigung von Abfällen aus Kernreaktoren und Brennstoffverarbeitungsanlagen wird einen der mit beherrschendsten Faktoren darstellen, wenn es darum geht festzulegen, in welchem Ausmaß Reaktoren zur Energiegewinnung im Wettbewerb mit anderen Brennstoffquellen eingesetzt werden sollen. Ob wir nun die Kalkulationen und Annahmen hinsichtlich der anfallenden Abfallproduktion von Rodger, Hatch, David, Hafstadt oder Terrill u. a. akzeptieren — um nur Beispiele zu nennen — auf jeden Fall werden die sich ergebenden, gesamten Spaltprodukte den Nutzern und der Ordnungsbehörde der Atomenergie enorm zu schaffen machen. Zweifellos werden bei der Beseitigung dieser Materialien an den Erfindungsgeist und die Vorstellungsgabe der Wissenschaftler und Industriellen die größten Anforderungen gestellt. Auch die Fragen der Wirtschaftlichkeit bei der Verpackung, dem Transport, der Lagerung, Behandlung und schließlich Freigabe dieser Materialien geben nach wie vor zu großer Sorge Anlaß. Man wird diese Abfälle der Natur nur mit äußerster Vorsicht wieder zurückgeben \*).

Beim Stand der gegenwärtigen Verarbeitungstechnik werden die Spaltprodukte aufgelöst oder in Flüssigkeit suspendiert. Je nach dem, welcher Reaktortyp gebraucht wird, und welche chemischen Trennungsprozesse angewandt werden, ergeben sich Volumina von 2 Liter pro Gramm Uran 235 bis zu 20 Liter pro Gramm Uran 235 für nicht neutralisierte Abfälle. Demnach sind etwa 68—680 Millionen Liter Müll pro Jahr, oder ca. 200 000—2 000 000 Liter pro Tag zu erwarten.

Einhundert Tage nach ihrer Entfernung aus dem Reaktor würde die Radioaktivität dieser Spaltprodukte ungefähr 800 Curie pro Gramm betragen. Die Halbwertszeiten der ernsthaft ins Gewicht fallenden radioaktiven Spaltprodukte würden variieren und zwar von Minuten oder

weniger für Isotope wie Pr 146 Ce 146, bis zu 33 Jahren für Cs 137 und 20 Jahren für Sr 90. Wenn man annimmt, das keine Verdunstung oder Verdünnung erfolgt, würde es etwa 600 Jahre dauern, bis die beiden letztgenannten Isotope zu Konzentrationen zerfallen sind, die für Trinkwasser erlaubt sind.

Würden ständig neue Abfälle einer schon zum Teil zerfallenen Anhäufung zugeführt, so würde sich ein Gleichgewicht an hoher Radioaktivität einstellen. Emerson u. a. haben einen solchen Gleichgewichtswert für einen 450 Megawatt (elektrische Leistung) Reaktor kalkuliert, der mit 1000 Megawatt Gesamtleistung arbeitet. Sie haben angenommen, daß ein homogener Reaktor gebraucht und daß der zirkulierende Brennstoff täglich verarbeitet wird. Die gesamte Gleichgewichtsaktivität der Abfälle, die sich am Ende von 10 Jahren angesammelt haben würde, ist von ihnen mit 625 000 000 Curie berechnet worden.

## Schlußfolgerungen

Die Probleme, die sich bei der Abfallbeseitigung für die Atomenergie-Industrie stellen, sind sehr vielseitig. Die Kontrolle der Abfälle ist zur Zeit zwar ausreichend, aber kostspielig. Der weitere Ausbau der Atom-Industrie besonders auf dem Gebiete der Brennstoffherzeugung wird weniger kostspielige Methoden erforderlich machen, wenn die Atomenergie in einen günstigen Wettbewerb mit anderen Brennstoffen eintreten soll. In Erwartung dieser Entwicklung hat die AEC Forschungs- und Entwicklungsabkommen mit Universitäten, Privatindustrien, den Nationalen Laboratorien und anderen Bundesbehörden abgeschlossen, die verschiedene Methoden der Abfallbeseitigung wissenschaftlich erforschen sollen. Vor allem ist es auch ihre Aufgabe festzustellen, in wieweit der Ozean, der Erdboden, die offenen Gewässer, Flüsse und die Luft für Abschirmung, Verdünnung und Verteilung von radioaktiven Abfällen benutzt werden können. Im Interesse des größtmöglichen Schutzes der Bevölkerung werden zur Zeit hochaktive Abfälle in Anlagen oder in der Nähe von Anlagen gelagert, die unter strenger Aufsicht und Kontrolle stehen. Eine Müllabfuhr — in ihrer orthodoxen Bedeutung des Wortes, wie sie bei den herkömmlichen Industrieabfällen üblich ist, — gibt es noch nicht.

\*) Hier sind einige Berechnungen ausgelassen worden. Die Berechnungen ergeben, daß für das Jahr 2000 allein 41 Tonnen an hochaktiven Spaltprodukten zu erwarten sind.