Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 64 (1973)

Heft: 15

Artikel: Kernenergie in der Energiebilanz

Autor: Kroms, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915581

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

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

Kernenergie in der Energiebilanz

Von *A. Kroms*

620.9 : 621.039

Der beständig zunehmende Energiebedarf hat zwei Folgeerscheinungen mit sich gebracht: a) die herkömmlichen Energiequellen werden allmählich erschöpft und können in einigen Ländern die Bedarfszunahme allein nicht mehr decken; b) die Erzeugung immer grösserer Energiemengen mittels der herkömmlichen Energiequellen ist mit schwierigen Problemen des Umweltschutzes verknüpft. Diese Umstände begünstigen die Einführung der Kernenergie in die Primärenergiebilanz, so dass sich hier z. Z. eine Strukturumwandlung vollzieht, welche vor allem die Gestaltung der elektrischen Energieversorgung wesentlich beeinflussen wird. Nachfolgend ist das voraussehbare Tempo des Kernenergieeinsatzes erörtert worden.

L'augmentation continuelle des besoins en énergie a deux conséquences: a) Les sources d'énergie classiques s'épuisent peu à peu et ne suffisent plus, dans certains pays, à couvrir à elles seule l'augmentation des besoins; b) la production de quantités d'énergie de plus en plus grandes avec les sources classiques donne lieu à de graves problèmes de pollution de l'environnement. Ces circonstances favorisent l'introduction de l'énergie nucléaire dans le bilan primaire de l'énergie, de sorte que l'on assiste actuellement à une transformation de structure, qui influencera grandement les dispositions de l'alimentation en énergie électrique. Dans cet article, on discute de l'allure prévisible du recours à l'énergie nucléaire.

1. Einführung

Der Anteil der Kernenergie in der Energiebilanz einzelner Länder ist vorläufig sehr verschieden. Dies ist durch die unterschiedliche Grundlage der Energiequellen wie auch den technischen Entwicklungsstand verschiedener Länder zu erklären. Die Herstellung der Ausrüstung für die Kernenergieanlagen setzt eine hohe Stufe der industriellen Entwicklung voraus. Nur die ausgesprochenen Industrieländer sind in der Lage, die teuren und technisch komplizierten Anlagen zur Kernenergienutzung zu bauen. Obwohl andere Länder die Ausrüstung aus diesen Herstellerländern beziehen können, wird doch dies von den hohen Anlagekosten der Kernkraftwerke beschränkt. Der ununterbrochen zunehmende Energiebedarf und die allmähliche Erschöpfung der konventionellen Energiequellen – der fossilen Brennstoffe und der Wasserkraft – werden aber in den kommenden Jahren eine immer schnellere und mehr ausgeglichene Verbreitung der Kernenergieanlagen mit sich bringen. Die Einsetzung der Kernenergie in die Energieversorgung ist eine allgemeine Notwendigkeit geworden, so dass die Energiewirtschaft jedes Landes sich der Kernenergie zuwenden muss. Dies trifft in erster Linie auf die elektrische Energieversorgung zu, welche zum Entwicklungsfeld der Kernenergienutzung geworden ist.

2. Energieverbrauch und Energiequellen

Der Energieverbrauch nimmt aus zwei Gründen zu: wegen dem Anstieg der Bevölkerungszahl und wegen dem spezifischen Energiebedarf. Da die Errichtung der Energieanlagen grosse Mittel benötigt und eine ziemlich lange Zeit in Anspruch nimmt, ist es wichtig, den Energiebedarf für die kommenden 5...15 Jahre einigermassen richtig abzuschätzen, um einerseits einen Mangel an Energieanlagen, andererseits aber übermässige Investitionen abzuwenden. Man versucht den voraussehbaren Energieverbrauch mit verschiedenen, zum Teil sehr komplizierten Methoden zu bewerten, doch sind die Ergebnisse immer nur Wahrscheinlichkeitswerte, mit Unsicherheit behaftet [1; 2][1]). Obwohl die einzelnen Prognosen unterschiedliche Resultate ergeben, stimmen sie doch meistens bezüglich der Grössenordnung des zu erwartenden Energiebedarfs im ganzen überein. Man ist sich darüber einig, dass der Energieverbrauch in den kommenden Jahrzehnten fortwährend zunehmen wird, wenn auch der prozentuelle Anstieg sich einigermassen verlangsamen kann. Wichtige Bremser können dabei die Schwierigkeiten in der Energieversorgung werden. Sie werden vom Mangel an geeigneten Energiequellen, den Einschränkungen des Umweltschutzes und den damit verbundenen Kostenproblemen verursacht. Bei der Schätzung des zukünftigen Energieverbrauchs müssen alle neu hinzukommenden Umstände der Energiewirtschaft bewertet werden, um die voraussehbare Richtung der Tendenzkurven zu bestimmen [3]. Man muss im Auge behalten, dass die Verbrauchswerte in grossem Masse davon bedingt werden, ob die Energieversorgung imstande ist, genügende Mengen preiswerter Energie den Abnehmern zur Verfügung zu stellen.

Die Energieangaben werden entweder mittels Mengen von Energieträgern oder Einheiten ihres Energieinhalts ausgedrückt. Nachfolgend sind zur Erörterung der statistischen Angaben drei Einheiten:

1 Mt SKE	=	10^6 t Steinkohleneinheiten	
1 TWh	=	Terawattstunde	= 10^9 kWh
1 Tcal	=	Teracalorie	= 10^9 kcal

benutzt, welche wie folgt miteinander verbunden sind:

	1 Mt SKE	= 8,15 TWh	=	7000 Tcal
oder	0,123 SKE	= 1 TWh	=	860 Tcal

Die meistens benutzten Kennwerte des Verbrauchsanstiegs sind:

1. Der Jahreszuwachsfaktor $q = 1 + 0{,}01\,r$, worin r den prozentuellen Jahreszuwachs bedeutet;
2. Der Zehnjahreszuwachsfaktor $k_{10} = q^{10}$;
3. Die Verdoppelungszeit $t_0 = \frac{\lg 2}{\lg q} = 10\,\frac{\lg 2}{\lg k_{10}}$ (Jahre)

Der Kennwert q wird von den kurzfristigen Konjunkturschwankungen stark beeinflusst und ist daher instabil. Die zwei anderen Kennwerte k_{10} und t_0, welche eine längere Zeitperiode umspannen, sind stabiler und dadurch zur Beurteilung der Tendenzkurven besser geeignet. Die Zuwachsfaktoren kann man natürlich auch auf eine andere Zeitspanne beziehen.

Der Anstieg des Weltenergieverbrauchs während der Zehnjahresperiode 1958...1968 und die Deckung des Verbrauchs mittels verschiedener Energiequellen ist in Fig. 1 dargestellt [4]. Für das Jahr 1958, als die Bevölkerung der Welt $2{,}9 \cdot 10^9$ betrug, ist der gesamte Energieverbrauch auf rund 3700 Mt

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

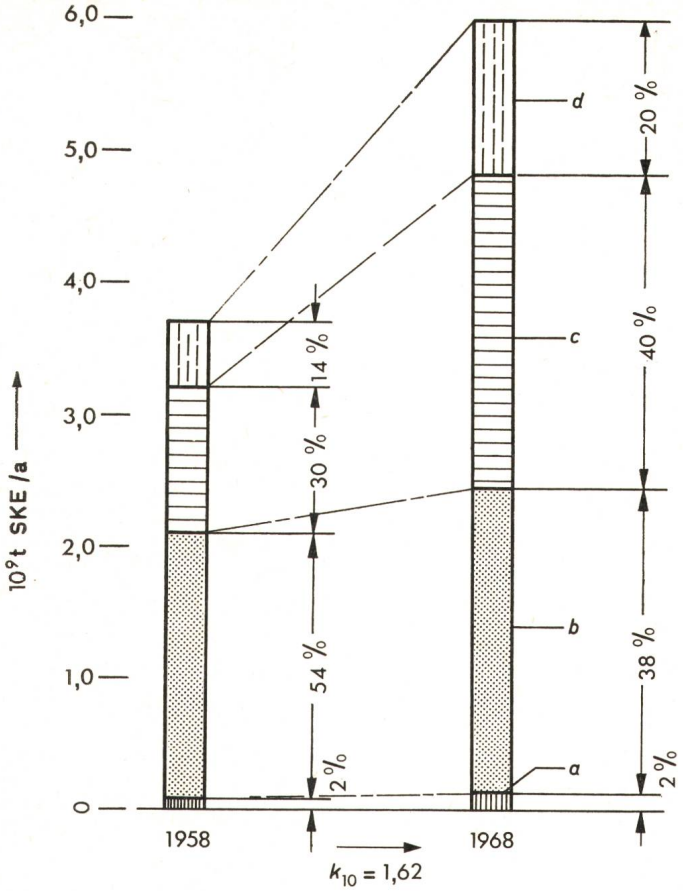


Fig. 1
Die Primärenergiebilanz der Welt

a Wasserenergie
b feste Brennstoffe
c flüssige Brennstoffe
d gasförmige Brennstoffe
k_{10} Zehnjahreszuwachsfaktor

SKE (= 30000 TWh) geschätzt worden. Nach zehn Jahren, in 1968, als die Bevölkerung auf $3{,}5 \cdot 10^9$ angestiegen war, ist der Energieaufwand auf 6000 Mt SKE (= 49000 TWh) bewertet worden. Dieser Entwicklungsgang deutet folgende Tendenzen an:

1. Die Weltbevölkerung hat um 21 % zugenommen ($k_{10}' = 1{,}21$), dem eine durchschnittliche Jahreszunahme von 2 % entspricht. In der gleichen Zeitspanne ist der Energieverbrauch um 62 % angestiegen ($k_{10} = 1{,}62$), was einen Jahreszuwachs von 4,5...5,0 % ergibt. Der Zehnjahreszuwachs des spezifischen Energieverbrauchs (t SKE/a pro Kopf) ist also:

$$k_{10}/k'_{10} = 1{,}62/1{,}21 = 1{,}34$$

gewesen; der Energieverbrauch pro Kopf der Weltbevölkerung hat dadurch in dieser Dekade jährlich um 3 % zugenommen.

2. Die Struktur der Primärenergiebilanz hat sich erheblich verwandelt. Den Anteil verschiedener Energiequellen zeigt Tabelle I.

3. Da die Kernenergietechnik zu dieser Zeit sich nur auf der ersten Stufe ihrer Entwicklung befand, hat Kernenergie die Primärenergiebilanz kaum beeinflusst.

Die Primärenergiebilanz hat sich während der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zugunsten der technisch bequemeren

Tabelle I

		1958	1968
Feste Brennstoffe	%	54	38
Flüssige Brennstoffe	%	30	40
Gasförmige Brennstoffe	%	14	20
Wasserenergie	%	2	2
Total	%	100	100

Tabelle II

	Spez. Verbrauch t SKE/Kopf	Anteil des Weltverbrauchs %		Anteil der Weltbevölkerung %	
USA	10,33	34	73	6	26
Westeuropa	3,31	19		10	
UdSSR	4,06	16		7	
Japan	2,52	4		3	
Die Welt	1,73	100		100	

Energiequellen – der flüssigen und gasförmigen Brennstoffe – verschoben, so dass z. Z. diese Brennstoffe sogar mehr als 70 % des Gesamtenergiebedarfs der Welt decken. Sie haben die vorher dominierende Rolle der Kohle bedeutend vermindert, weil die Gewinnung und die Verwertung der Kohle mit schwierigen Kosten- und Umweltschutzproblemen belastet ist. Man muss dabei aber nicht übersehen, dass die absoluten Verbrauchsmengen der Kohle während 1958...1968 doch noch von $3700 \cdot 0{,}54 = 2000$ Mt SKE/a auf $6000 \cdot 0{,}38 = 2300$ Mt SKE/a angestiegen sind.

Bei der Umstellung auf die flüssigen und gasförmigen Brennstoffe werden erhebliche Schwierigkeiten von den beschränkten und sehr ungleichmässig verteilten Reserven dieser Brennstoffe verursacht. Dies begünstigt den Einsatz einer neuen Energiequelle – der Kernenergie – in die Energiewirtschaft.

Bei der Schätzung der zukünftigen Entwicklung des Energieverbrauchs muss die Aufteilung des Verbrauchs auf die einzelnen Länder beachtet werden, weil eine ungleichmässige Entwicklungsebene der Energiewirtschaft grosse Möglichkeiten einer weiteren Verbrauchszunahme in zahlreichen bisher rückständigen Ländern in sich verbirgt. Die bisherige Aufteilung des Energieverbrauchs weist grosse Unterschiede auf; einige Verbrauchswerte für das Jahr 1968 zeigt Tabelle II.

Da die USA mit einer Bevölkerungszahl von nur 6 % der Weltbevölkerung ein Drittel des Primärenergieaufwands der Welt verbrauchen, können die Voraussagungen dieses Landes bezüglich der weiteren Entwicklung ihrer Energiewirtschaft in den kommenden 20 Jahren gewisse Hinweise über die zu erwartende Entwicklung in anderen Ländern, oder in der ganzen Welt geben.

Die Zehnjahreszuwachsfaktoren während 1958...1968 sind in den USA wie folgt gewesen:

für den Energieverbrauch	$k_{10} = 1{,}52$
für die Bevölkerung	$k'_{10} = 1{,}15$
für den spezifischen Verbrauch	$k''_{10} = 1{,}52/1{,}15 = 1{,}32$

Der prozentuelle Zuwachs des Energieverbrauchs ist hier etwas niedriger als die Durchschnittswerte der Welt gewesen, weil die letzteren von einer besonders raschen Verbrauchszunahme in Entwicklungsländern vergrössert werden [5; 6; 7; 8]. USA, Westeuropa und die UdSSR, mit nur 23 % der Weltbevölkerung, verbrauchen 70 % des Energieaufwands der Welt. Wenn man die Produktionskräfte und den materiellen Wohlstand der rückständigen Länder wesentlich zu verbessern versuchte, wäre dies mit einem ausserordentlich grossen Anstieg des Energiebedarfs verknüpft. Um eine so ungeheuere Aufgabe meistern zu können, müssen neue, ergiebige Energiequellen in die Energieerzeugung eingeführt werden. Z. Z. nimmt Kernenergie diesbezüglich die führende Rolle ein. Es ist daher wich-

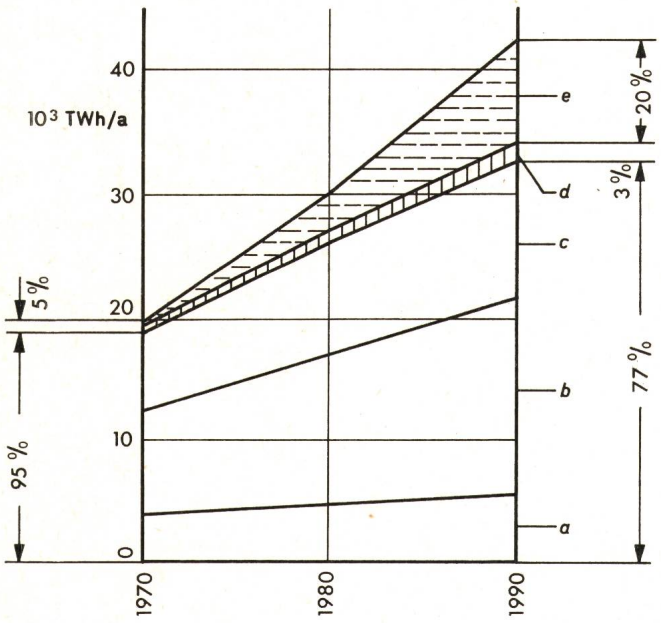
tig, ihren voraussehbaren Einfluss auf die Primärenergiebilanz zu untersuchen.

Die voraussehbare Entwicklung des Energiebedarfs der USA und die Rolle verschiedener Primärenergieträger sind in Tabelle III und Fig. 2 angegeben.

Die Rolle der fossilen Brennstoffe wird in den kommenden 20 Jahren von 90...95 % voraussichtlich bis rund 75 % zurückgehen; die Kernenergie wird, laut diesen Schätzungen, 1990 rund 20 % des gesamten Energiebedarfs decken. Danach wird ihre Beteiligung beständig zunehmen, so dass Ende des Jahrhunderts 30...35 % der Energie mittels der Kernenergie erzeugt werden. Jedoch der Bedarf an fossilen Brennstoffen wird vorläufig noch zunehmen (s. Tabelle IV).

Die Voraussagungen bezüglich flüssiger und gasförmiger Brennstoffe sind nicht sicher, weil ihre Quellen in den USA schnell versiegen, so dass immer grössere Mengen dieser Brennstoffe importiert werden müssen. Obwohl die USA über ergiebige Kohlenvorräte verfügen, wird die Kohlenverwertung durch die Regelungen des Umweltschutzes gehemmt; man plant eine Lösung durch grosstechnische Vergasung der Kohle zu erreichen, jedoch wird die Verwirklichung dieser Massnahme erhebliche Zeit und eine sehr grosse Kapitalanlage beanspruchen [9].

Nimmt man an, dass der Weltverbrauch an Energie im Laufe von drei kommenden Jahrzehnten um je 40...50 % zunehmen wird, dann wird es nötig sein, um die Jahrhundertwende eine rund dreimal grössere Energiemenge als heute zu erzeugen. Es wäre unmöglich, einen Energiebedarf dieser



Zuwachs :		
10^3 TWh	10,3	12,5
k_{10} =	1,52	1,42

Fig. 2
Die voraussehbare Entwicklung der Primärenergiebilanz der USA

a feste Brennstoffe
b flüssige Brennstoffe
c gasförmige Brennstoffe
d Wasserenergie
e Kernenergie
k_{10} Zehnjahreszuwachsfaktor

Energiebilanz der Welt

Tabelle III

		1970	1980	1990
Primärenergieaufwand	TWh	19 700	30 000	42 500
Zuwachsfaktor	k_{10}	1,52	1,42	
Energieträger:				
feste Brennstoffe	%	20 } 95	16 } 88	13 } 77
flüssige Brennstoffe	%	43	41	38
gasförmige Brennst.	%	32	31	26
Wasserenergie	%	4	3	3
Kernenergie	%	1	9	20
Total	%	100	100	100

Tabelle IV

	1970		1990		Zuwachsfaktor
	%	TWh	%	TWh	
Gesamtverbrauch	100	19 700	100	42 500	2,15
davon fossile Brennstoffe	95	18 800	77	32 800	1,75

Grössenordnung mit fossilen Brennstoffen zu decken, weil erstens die Vorräte unzureichend sind und zweitens die Ausnutzung so grosser Brennstoffmengen eine unannehmbare Auswirkung auf die Umgebung ausüben würde.

Der Einsatz der Kernenergie erfolgt vorwiegend in dem Sektor der elektrischen Energieversorgung, wo die Verwertung dieser Energiequelle sowohl technisch als auch wirtschaftlich annehmbar gelöst worden ist; die Nutzung der Kernenergie zur Erzeugung der industriellen Wärme kann später das Anwendungsgebiet der Kernenergie erheblich erweitern. Weitere technische Errungenschaften – die Vervollkommnung der Reaktorbauarten, vor allem aber die Entwicklung der Brutreaktoren – werden die Anwendung der Kernenergie beschleunigen; man erwartet, dass am Ende des Jahrhunderts 70...80 % der neuzuerstellenden Kraftwerkleistung in Kernkraftwerken untergebracht werden [10; 11; 12]. Die Energieerzeugung mittels der Verschmelzung leichter Atomkerne wird voraussichtlich in unserem Jahrhundert noch nicht grosstechnisch gelöst werden. Dieser Vorgang kann aber im nächsten Jahrhundert die Möglichkeiten der Energieerzeugung grundlegend verändern.

3. Kernenergie in der elektrischen Energieversorgung

Die elektrische Energie als die bequemste Form der Nutzenergie erwirbt eine immer grössere Rolle in der gesamten Energiebilanz. Die elektrischen Kraftanlagen nehmen z. Z. rund 25 % des Primärenergieaufwands der Welt ab; ihre Beteiligung in der Energiebilanz wird Ende des Jahrhunderts 40...50 % erreichen. Die in den USA voraussehbare Entwicklung ist in Fig. 3 dargestellt [3].

Die Zusammensetzung der Primärenergiebilanz der Kraftanlagen unterscheidet sich von der gesamten Energiebilanz, weil die Kraftwerke einige solche Energiequellen erfolgreich ausnutzen können, deren Anwendung in anderen Energiezweigen beschränkt ist – Wasserkraft, Kohle, Kernenergie (Tabelle V; Fig. 4) [3; 4].

Aus den Tabellen III und V kann man einige wesentliche Unterschiede in der voraussichtlichen Entwicklung für die Zeitperiode 1970...1990 entnehmen:

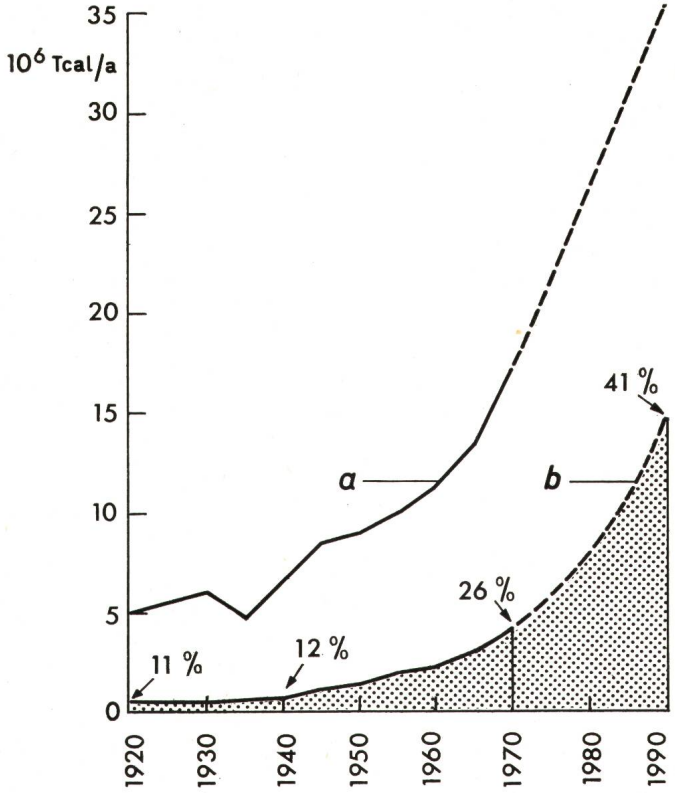


Fig. 3
Die Beteilung der Elektrizitätswerke in dem Primärenergieaufwand
Die Prozentzahlen geben den Anteil der Elektrizitätswerke in dem Gesamtverbrauch an

a gesamter Aufwand
b Aufwand der Elektrizitätswerke

a) Die Zuwachsfaktoren des gesamten und des Kraftwerkbedarfs sind auf $k_{20} = 2{,}15$ und 3,70 geschätzt worden. Der Anteil des Kraftwerkaufwands in der gesamten Energiebilanz wird dadurch von 24 % 1970 auf

$$24 \cdot \frac{3{,}70}{2{,}15} = 41\ \%$$

im Jahre 1990 ansteigen (s. Fig. 3).

b) Der Anteil der fossilen Brennstoffe wird in dem gesamten Primärenergiebedarf im Verhältnis von 77/95 = 0,81 herabgehen; im Kraftwerkbetrieb dagegen wird ihre Rolle erheblich mehr – in einem Verhältnis von 44/83 = 0,53 – zurückgehen. Der starke Rückgang soll in diesem Sektor von dem Einsatz der Kernenergie in den Kraftwerkbetrieb verursacht werden. Bei einem Elektrifizierungsgrad der Primärenergiebilanz von 41 % und dem Anteil der Kernenergie in der Kraftwerkwirtschaft von 49 % wird die Beteiligung der Kernenergie in der gesamten Energiebilanz um 1990

$$0{,}41 \cdot 0{,}49 = 0{,}20$$

betragen, was mit der Angabe von Tabelle III übereinstimmt. Es ist dabei angenommen worden, dass Kernenergie fast ausschliesslich in Kraftanlagen verwertet werden wird. Wie gesagt, kann sich aber in späteren Jahren die Anwendung der Kernenergie auf andere Sektoren der Energiewirtschaft verbreiten.

c) Obwohl die prozentuelle Rolle der fossilen Brennstoffe in der Kraftwerkwirtschaft herabgeht, wird doch der absolute Brennstoffaufwand fortwährend zunehmen:

1970 $\quad 4\,700 \cdot 0{,}83 = 3\,900$ TWh
1990 $\quad 17\,500 \cdot 0{,}44 = 7\,700$ TWh

Energiequellen der amerikanischen Kraftanlagen

Tabelle V

		1970	1990
Primärenergieaufwand	TWh	4 700	17 500
	%	100	370
Anteil der Primärenergieträger:			
feste Brennstoffe	%	46 } 83	28 } 44
flüssige Brennstoffe	%	12	7
gasförmige Brennstoffe	%	25	9
Wasserenergie	%	15	7
Kernenergie	%	2	49
Total	%	100	100

Nur in den späteren Dekaden wird die Verbrauchszunahme der fossilen Brennstoffe sich wesentlich verlangsamen und danach auch in absoluten Mengen zurückgehen, weil dann der Bedarfsanstieg von der Kernenergie übernommen werden wird. In der nächsten Zukunft dagegen müssen bei der Kraftwerkplanung noch alle Typen der Energiequellen – die fossilen Brennstoffe, Kernenergie und Wasserkraft – erwogen werden. Ihre Zusammensetzung wird in einzelnen Ländern je nach der Verfügbarkeit an einheimischen Energiereserven, nach den

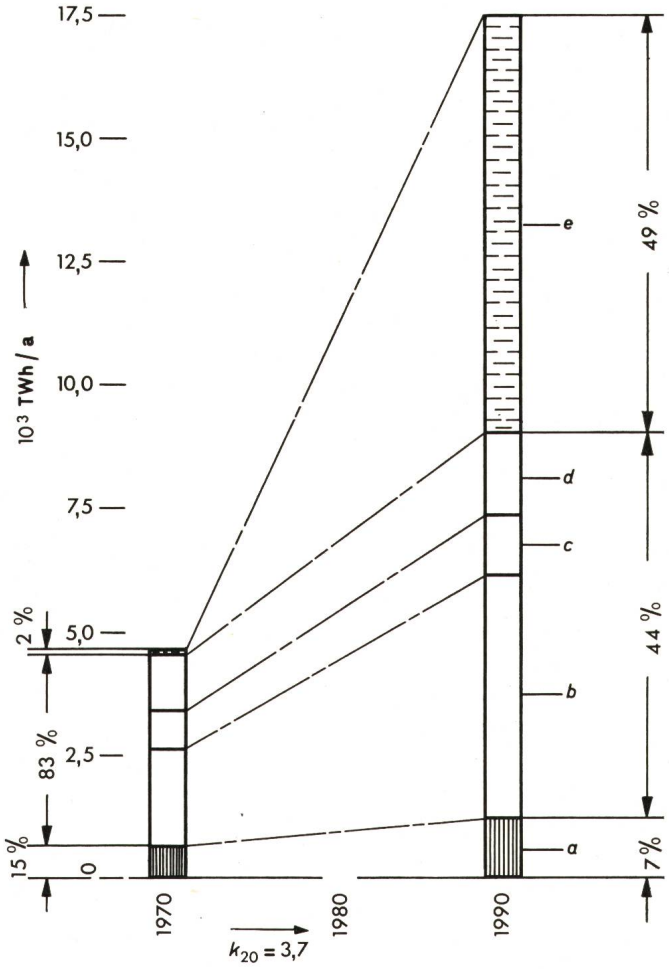


Fig. 4
Energiequellen der Elektrizitätswerke der USA

a Wasserenergie
b feste Brennstoffe
c flüssige Brennstoffe
d gasförmige Brennstoffe
e Kernenergie
k_{20} Zuwachsfaktor

Tabelle VI

		1970	1980	1990
Leistung	GW	340	665	1260
Zehnjahreszuwachsfaktor	k_{10}	1,95	1,90	
Aufteilung: thermisch	%	84	86	88
hydraulisch	%	16	14	12

Tabelle VII

	Leistung GW	Anteil der thermischen Leistung %	Anteil der gesamten Leistung %
Brennstoffkraftwerke	610	55	48
Kernenergiekraftwerke	500	45	40
Thermische Leistung	1110	100	88
Hydraulische Leistung	150		12
Total	1260		100

Tabelle VIII

Prognosejahr	Vorausgesagte Kernkraftleistung für das Jahr 1975	1980	1985
1962	16 GW	40 GW	
1966	40 GW	95 GW	
1969	60 GW	150 GW	300 GW

wirtschaftlichen Bedingungen und den energiepolitischen Überlegungen recht verschieden sein. So kann z. B. in den ausgesprochenen Wasserkraftländern nach der Erschliessung ihrer Wasserenergiequellen die Kernenergieanwendung sich rasch verbreiten; dies bezieht sich auf einige westeuropäische Länder wie die Schweiz, Schweden, Italien u. a.

Die staatliche Energiebehörde der USA – Federal Power Commission (FPC) – hat die im Laufe von zwei kommenden Jahrzehnten zu erwartende Entwicklung der elektrischen Energieversorgung untersucht und die Ergebnisse in einer umfangreichen Übersicht veröffentlicht [3]. Laut dieser Untersuchung werden die USA folgende Kraftwerkleistung benötigen (Tabelle VI):

Die 1990 zu verwertenden Energiequellen der Kraftwerke werden gemäss Tabelle VII bewertet.

Die Voraussagen, welche eine Zeitspanne von 20 Jahren umfassen, können nur allgemeine Tendenzen des Entwicklungsvorgangs andeuten. Bezüglich der Kernenergie haben sich die früheren Prognosen als falsch erwiesen, indem sie das Entwicklungstempo der Kernenergieanlagen unterschätzt haben. Ein typisches Beispiel hierzu stellen die Schätzungen der US-Atomic Energy Commission (AEC) dar (Tabelle VIII; Fig. 5) [13]:

Die Lagerung der Kernkraftwerke der USA, nach dem Stand vom 30. September 1971, ist in Fig. 6 angegeben [14]; es waren:

23 Anlagen für 10,0 GW im Betrieb
54 Anlagen für 45,8 GW im Bau
52 Anlagen für 51,6 GW in Planung

Total: 129 Anlagen für 107,4 GW

Am 1. April 1972 betrug die Leistung der an die amerikanische Maschinenindustrie erteilten Aufträge für die Kraftwerkausrüstung 224 GW [15]; 90 GW oder 40 % davon betrafen Kernkraftwerke. Dabei waren schon mehr als 20 GW für die Kernkraftwerke bestellt worden, deren Inbetriebnahme nur für 1978 oder später geplant worden ist. Da die Errichtungsdauer der Kernkraftwerke 6...7 Jahre beträgt, ist die Ausrüstung für die Anlagen, welche gegen Ende dieses Jahrzehnts den Betrieb aufnehmen sollen, zum Teil schon bestellt worden [12]. Die Verordnungen des Umweltschutzes und der kerntechnischen Sicherheit können die Inbetriebnahme der Kernkraftwerke erheblich verspäten, wodurch in den Energiesystemen ein Leistungsmangel eintreten kann. Man ist bestrebt, diese Verzögerungen durch die Vereinheitlichung der kerntechnischen Apparatur und die Vereinfachung der bisher recht umständlichen und langen Genehmigungsprozedur zu beseitigen.

In den USA ist die Inbetriebnahme einer Reihe von Kernkraftwerken um 1...2 Jahre, oder um eine noch längere Zeit, verspätet worden, so dass die früheren Baupläne nicht erfüllt worden sind; einige Energiesysteme leiden dadurch während der Sommerspitze an Leistungsknappheit. Man hofft aber in den kommenden Jahren diese Versäumungen mehr oder weniger einzuholen und die für das Jahr 1980 geschätzte Leistung tatsächlich in Betrieb setzen zu können, wodurch der Reservefaktor den gewünschten Wert von $\geqq 1{,}20$ erreichen wird.

In Westeuropa hat die Knappheit an herkömmlichen Primärenergieträgern günstige Voraussetzungen zum Kernenergieeinsatz geschaffen. Da die meisten Wasserkräfte Europas schon erschlossen sind und Europa über keine nennenswerte

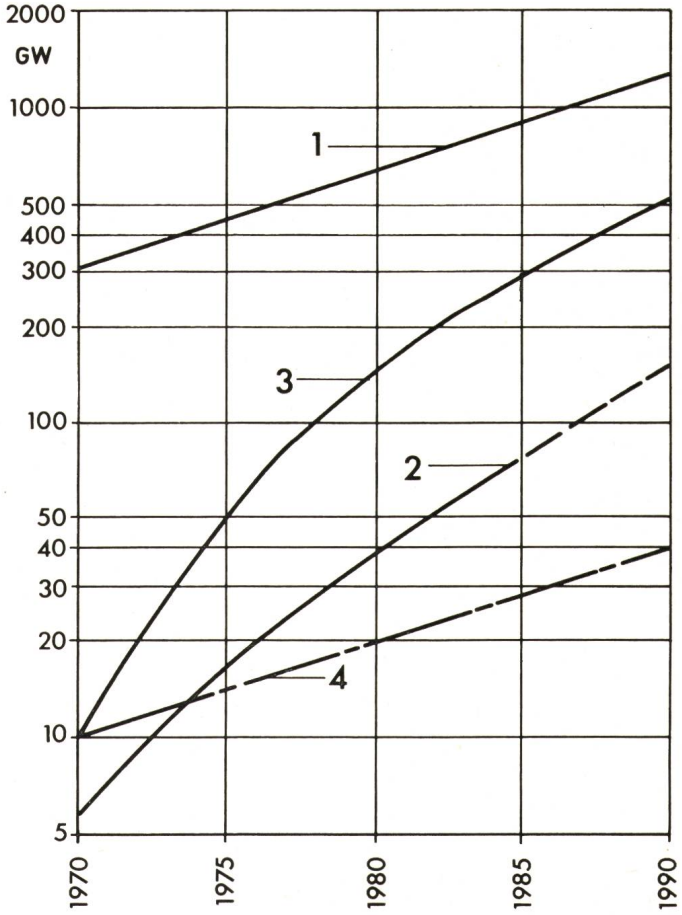


Fig. 5
Die Leistungschätzungen der AEC

1 Gesamtleistung aller Kraftwerke
2 Kernkraftleistung, nach den Prognosen in 1962
3 Kernkraftleistung, nach den Prognosen in 1969
4 Richtungslinie der Verdoppelung in 10 Jahren ($k_{10}=2$)

Vorräte an flüssigen Brennstoffen verfügt, ist die europäische Energiewirtschaft in hohem Masse auf die Einfuhren der Energieträger, vor allem des Öls, angewiesen. Aus diesem Grunde haben die europäischen Länder grosses Interesse für die Kernenergie geäussert. Obwohl die hierfür nötige hohe Kapitalanlage den Einsatz der Kernenergieanlagen erschwert hat, ist doch nach einem langen Anlauf (ausschliesslich Grossbritannien) der Kernkraftwerkbau in Westeuropa letzthin erheblich beschleunigt worden. So verteilte sich die 1971 in Betrieb genommene Kernkraftleistung der Welt gemäss Tabelle IX.

Der Stand des Kernkraftwerkbaus in der Wirtschaftsgesellschaft Europas am 31. Dezember 1971 ist in Tabelle X zusammengestellt.

Die führende Stellung in der Kernenergieverwertung zwischen den europäischen Ländern nimmt Grossbritannien ein [16]; es wird aber allmählich von der Bundesrepublik Deutschland eingeholt. In einigen Ländern Europas werden die Kraftwerkneubauten zukünftig vorwiegend aus Kernkraftwerken bestehen; hierher gehören Schweden, die Schweiz, Finnland u. a., deren Wasserkräfte bereits ausgebaut worden sind, der Bau von Brennstoffkraftwerken dagegen aus Überlegungen des Umweltschutzes und aus energiewirtschaftlichen Gründen begrenzt wird.

Die voraussehbare Entwicklung des Kernkraftwerkbaus der Welt (ohne die UdSSR, Ostblockstaaten und China) zeigt Tabelle XI [17; 13]:

Die US-AEC hat die bis 1985 voraussehbare Rolle der Kernenergie für eine Reihe von Ländern geschätzt [13]. Der Anteil der Kernenergieanlagen wird im Kraftwerkbau einzelner Länder während der kommenden 10...15 Jahre recht verschieden sein. Die AEC hat folgende Anteilfaktoren der Kernenergieanlagen bewertet:

Tabelle IX

USA	4,0 GW oder 42 %
Kanada	1,3 GW oder 13 %
Westeuropa	3,2 GW oder 34 %
Übrige Länder	1,1 GW oder 11 %
Die Welt	9,6 GW oder 100 %

Tabelle X

Kernkraftleistung im Betrieb	4,3 GW
Kernkraftleistung im Bau	9,1 GW
Kernkraftleistung in Planung	14,2 GW
Total	27,6 GW

Tabelle XI

		1975	1980	1985
USA	GW	60	150	300
Westeuropa	GW	40	105	200
Japan	GW	7	25	50
Übrige Länder	GW	8	20	40
Total	GW	115	300	590
	%	100	260	510

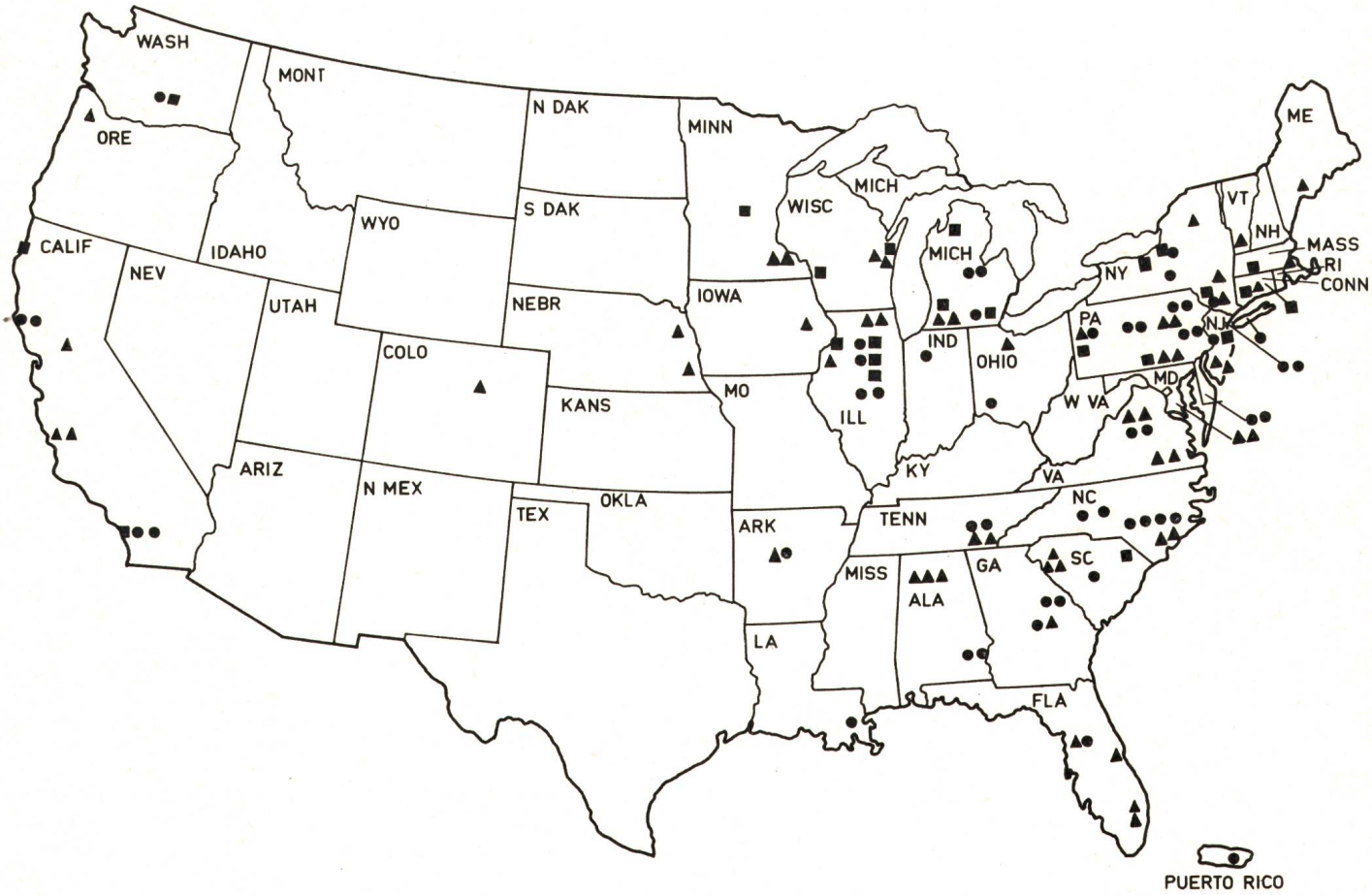


Fig. 6
Lagerung der Kernkraftwerke

■ Anlagen in Betrieb
▲ Anlagen in Bau
● Anlagen in Planung

Für die Bauperiode 1975...80 zwischen 0,15 und 0,40
Für die Bauperiode 1980...85 zwischen 0,20 und 0,80
Für die Bauperiode nach 1985 meistens über 0,40

In einigen Ländern wird der Anteil der Kernenergie in Neubauten sogar Werte > 0,80 annehmen, d. h. der Kraftwerkbau wird sich fast vollständig auf Kernenergie umstellen. Die Ergebnisse der AEC-Schätzungen sind für einige Länder in Tabelle XII angeführt.

Obwohl Prognosen dieser Art keine zulässigen Zahlenwerte ergeben, ist es doch möglich, aus der Tabelle einige grundlegende Tendenzen im Kernenergieeinsatz zu ziehen:

1. Kernenergie wird sogar nach 15 Jahren die Energieversorgung einzelner Länder sehr verschieden beeinflussen. Ihre Beteiligung in der Kraftwerkleistung wird um 1985 von 10 % in einigen Ländern bis > 50 % in anderen betragen.
2. In den industriell entwickelten Ländern, wo jedes Jahr eine grosse neue Kraftwerkleistung in Betrieb genommen wird, werden die Kernkraftwerke einen hohen Anteil in den Kraftwerkneubauten erwerben, weil es immer schwieriger wird, die grossen Zusatzleistungen mit den konventionellen Energiequellen zu betreiben, besonders wenn die Verordnungen des Umweltschutzes die Anwendung einiger Brennstoffarten begrenzen; solche Umstände herrschen, z. B., in den USA, wo es verboten ist, die schwefelhaltigen Kohlen ohne teuere Entschwefelungsapparatur zu verbrennen; die Entschwefelung ist dabei technisch und wirtschaftlich noch nicht befriedigend gelöst.
3. Die Wasserkraftländer, welche ihre Wasserenergiequellen schon ausgebaut haben, werden sich schnell der Kernenergie zuwenden; in den Ländern dagegen, welche noch über günstig auszubauende Wasserkräfte verfügen, wird die Umstellung auf Kernenergie langsamer erfolgen (Kanada, Brasilien, Norwegen).
4. Die Industrieländer, welche an der Knappheit an günstigen konventionellen Energiequellen leiden (Grossbritannien, BRD, Belgien, Japan), müssen sich ohne Verzögerung der Kernenergie zuwenden. Ein typisches Beispiel hierzu ist die Energieversorgung Grossbritanniens, wo die erste Kernkraftanlage, bei Calder Hall, die Energielieferung bereits 1956 aufnahm. Nach einem Bericht der Britischen Atombehörde haben die britischen Kernkraftwerke bis Ende 1971 über 200 TWh erzeugt, was eine bei weitem grössere Energiemenge als die von den Kernkraftwerken irgendeines anderen Landes abgegebene Energie ist.
5. Die Kernenergietechnik hat sich so weit entwickelt, dass die Kernenergieanlagen wirtschaftliche Vorteile gegenüber einigen herkömmlichen Energieträgern, z. B. der Kohle, aufweisen können. Die

Voraussehbare Kraftwerkleistungen

Tabelle XII

Land	Ausgangsangaben		1985		
			Gesamtleistung	Kernkraftleistung	
	Jahr	GW	GW	GW	%
Australien	1975	19,7	42,7	5,3	12
Belgien	1975	8,6	13,2	4,2	32
Brasilien	1975	15,8	36,6	3,5	10
BRD	1971	48,4	102,2	31,3	31
Frankreich	1974	44,3	77,3	16,9	22
Grossbritannien	1975	88,7	159,4	48,3	30
Indien	1974	20,3	57,9	3,4	6
Italien	1972	35,1	74,8	9,6	13
Japan	1972	63,2	194,9	49,0	25
Kanada	1974	52,4	102,2	17,0	17
Mexiko	1976	8,5	15,1	5,0	32
Holland	1972	10,8	24,9	5,2	21
Norwegen	1971	11,1	22,2	1,6	7
Schweden	1980	23,4	30,5	16,6	55
Schweiz	1975	10,7	16,3	7,5	46
Spanien	1977	27,1	51,5	13,8	27
Süd-Afrika	1975	15,7	32,3	3,5	11
USA	1970	310,0	995,0	300,0	30
18 Länder			2048,0	541,7	26

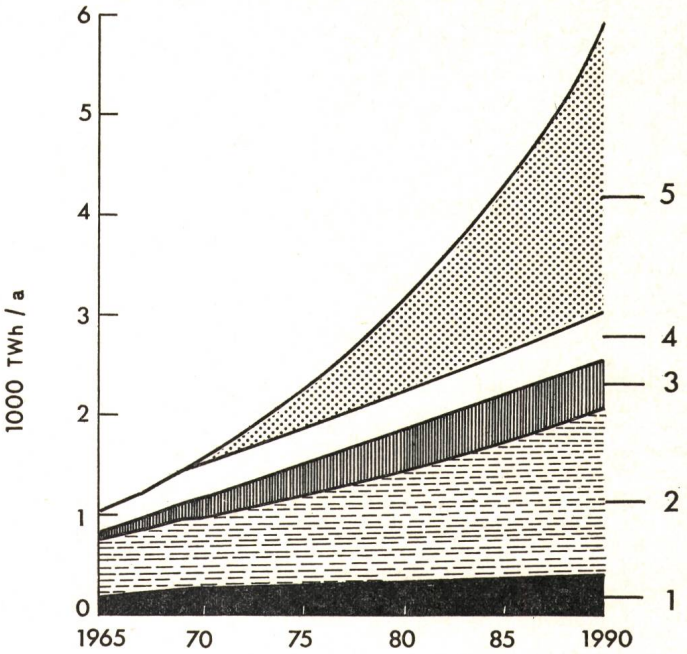


Fig. 7
Voraussehbare Energieausbeute

Die Energiequellen: 1 Wasserkraft
2 Kohle
3 Öl
4 Gas
5 Kernenergie

Wettbewerbsfähigkeit der Kernenergie wird durch zwei Umstände begünstigt:

a) die Typisierung vereinfacht und verbilligt die Herstellung der Kernkraftwerkausrüstung;

b) die Forderungen des Umweltschutzes erhöhen die Baukosten der konventionellen Kraftwerke (Entschwefelung).

Die Kernkraftwerke der ersten Bauperiode werden aus wirtschaftlichen Gründen zur Deckung der Grundlast eingesetzt; dies wird von zwei Kostenfaktoren – den relativ hohen Anlagekosten und geringen Ausgaben für den Energieträger – bedingt. Deshalb wird die Beteiligung der Kernkraftwerke in der Energiebilanz grösser als ihr Anteil in der Leistungsbilanz sein. Nimmt man für die Ausnutzungsstunden der Kernkraftwerke einen Durchschnittswert von 6000 h/a an, dann wird die Kernkraftleistung der Welt, die für das Jahr 1985 auf 590 GW geschätzt worden ist, eine Energiemenge von

$$590 \cdot 10^6 \cdot 6000 = 3540 \cdot 10^9 \text{ kWh} = 3540 \text{ TWh}$$

betragen. Diese Energieausbeute ist ungefähr der Energieproduktion aller Kraftwerke der Welt im Jahre 1967 gleich [5].

Die in den USA vorausgesehene Aufteilung der elektrischen Energieausbeute ist in Fig. 7 angegeben [3]. Man erwartet, dass 1990 die Energieproduktion der Kraftwerke rund 6000 TWh betragen wird, wovon eine Hälfte, d. h. 3000 TWh, mittels Kernenergie erzeugt werden wird. Der Verlauf der Tendenzkurven deutet an, dass der Anteil der Kernenergie in folgenden Jahren weiter zunehmen wird.

Der rasche Ausbau der Kernkraftanlagen wirft die Frage über die verfügbaren Reserven an Primärenergieträgern der Kernenergie auf [11; 13; 18]. Dieses Problem ist wirtschaftlicher Natur, weil die Erdkruste erhebliche Mengen an Uran und Thorium enthält; es kommen doch aus wirtschaftlichen Gründen nur jene Erze in Frage, welche ein genügend hohes Gehalt an Kernenergiestoffen aufweisen. Bisher sind Uranerze ausgebeutet worden, bei denen die Kosten der Urangewinnung

16...20 $/$U_3O_8$ nicht übersteigen; Fortschritte in der Kernreaktortechnik können diese Grenze nach oben verschieben. Dazu können die Reaktorbauarten beitragen, welche einen grösseren Anteil des Uranisotops U238 in einen neuen Kernenergieträger – Plutonium (Pu 239) – umwandeln, d. h. einen hohen Brutfaktor (*b*) aufweisen; die Reaktoren mit $b > 1{,}0$ werden Brutreaktoren genannt. Um die Knappheit an Kernenergiequellen abzuwenden, wird z. Z. an der Entwicklung von Brutreaktoren eifrig gearbeitet. Da dieses technisch recht schwierige Problem gewisse Zeit beanspruchen wird, schätzt man, dass diese Reaktorbauart nur nach 1985 einen wesentlichen Einfluss auf die Energieversorgung ausüben wird. Die Brutreaktoren werden die Primärenergiegrundlage der Kernkraftwerke vielfach vergrössern, und den Kernenergieanlagen die Möglichkeit geben zum Grundstein der Energieversorgung zu werden. Dazu muss aber noch ein ziemlich langer Weg der technischen Entwicklungsarbeit gegangen werden.

Literatur

[1] *H. Steiner:* Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen der Zukunftsforschung für die Wirtschaft. ÖZE 24(1971)11, S. 473...482.

[2] *A. Kroms:* Zu den Prognosen des Energiebedarfs. Ihre Zwecke und Glaubwürdigkeit. Bull. SEV 62(1971)10, S. 508...515.

[3] The 1970 national power survey. Part I, II, III and IV. Washington, D. C., Federal Power Commission, U. S. Government Printing Office, 1970.

[4] *F. A. Ritching:* Trends in energy needs. ASME-Paper 71-Wa/Ener. 3. New York, American Society of Mechanical Engineers, 1971.

[5] *A. Kroms:* Die Weltproduktion der elektrischen Energie. Techn. Rdsch. 63(1971)52, S. 1...3, 7 + 15.

[6] *A. Kroms:* Stromversorgung der Welt. Elektrizitätswirtsch. 68(1969)11, S. 367...375.

[7] *F. Felix:* Annual growth rate on downward trends Electr. Wld. 174 (1970)1, p. 30.

[8] *F. Felix:* Energy use: Basic to economic growth. Electr.Wld. 175(1971)2, p. 36...37 + 41.

[9] *A. Kroms:* Die Brennstoffbilanz der amerikanischen Kraftwerkwirtschaft. Energie 24(1972)5, p. 121...128.

[10] Civilian nuclear power. Potential nuclear power growth patterns. Washington, United States Atomic Energy Commission, 1970.

[11] The nuclear industry, Washington, United States Atomic Energy Commission, 1970.

[12] *A. Kroms:* Kernenergie in der Energieversorgung der USA. Atom und Strom 18(1972)3/4, S. 50...58.

[13] Forecast of growth of nuclear power. Washington, United States Atomic Energy Commission, 1971.

[14] Nuclear reactors built, being built or planed in the USA. Washington, United State Atomic Energy Commission, 1971.

[15] 51st semi-annual electric power survey. New York, Edison Electric Institute, 1972.

[16] *A. Kroms:* Kernenergy in der Energieversorgung Grossbritaniens. Bull. SEV 59(1968)23, S. 1079...1090.

[17] *A. Reichl:* Aspekte des Kernbrennstoffkreislaufes in Europa. ÖZE 24(1971)1, S. 78...85.

[18] *J. A. Patterson:* Outlook for nuclear fuel. ASME-Publication, 70-Pwr-10. New York, American Society of Mechanical Engineers, 1970.

Adresse des Autors:

A. Kroms, 30, Rockland Ave. Malden, Ma. 02148, USA.

Las-Vegas-Konferenz über Blitz- und Statikelektrizität

Von *H. Prinz*

551.594.221 : 537.2

Inmitten einer landschaftlich bizarren Gegend, die alten Berichten zufolge schon Ende des 16. Jahrhunderts den Spaniern wegen ihrer heissen Quellen bekannt gewesen war und auf ihrem beschwerlichen Weg von Santa Fé nach der pazifischen Küste stets als willkommener Ruheplatz diente, fand in der Zeit vom 12. bis 15. Dezember 1972 die von der Society of Automotive Engineers (SAE) und dem Air Force Avionics Laboratory (AFSC) veranstaltete dritte Lightning and Static Electricity Conference statt, die – wie auch in den beiden vorausgegangenen Konferenzen der Jahre 1968 in Miami Beach und 1970 in San Diego – einen ausgezeichneten Überblick über alle jene Probleme vermittelte, die mit den Einwirkungen externer Elektrizität im Bereich der Luft- und Raumfahrt in Zusammenhang stehen, und die rund 300 Delegierte, vornehmlich aus den USA, zu nützlichen Gesprächen in die Konferenzräume des behaglichen Sahara-Hotels zusammenführte.

Im Verlaufe des Eröffnungszeremoniells wurde auf die umfassende Bedeutung dieser Probleme für die Sicherheit aller Luft- und Raumfahrzeuge hingewiesen und insbesondere hervorgehoben, wie bedeutsam in dieser Hinsicht eine koordinierende Zusammenarbeit zwischen Industrie, Universitäten und staatlichen Behörden ist, um auf diese Weise einen möglichst umfassenden Erfahrungsaustausch für die jeweils vorliegende Aufgabe zu erreichen – and to close the gap to knowledge and technology. Obwohl, wie betont wurde, in den vergangenen Jahren manches Problem gelöst werden konnte, so seien doch unter Berücksichtigung des weiter zunehmenden Flugverkehrs bei seinem Mehr an Allwetterflügen und der noch bevorstehenden Aufgaben in der Raumfahrt erhebliche Anstrengungen erforderlich, um den Flugkörper mit seiner Crew und seinen Passagieren noch besser und wirkungsvoller gegen mögliche Einwirkungen statischer Elektrizität und die Folgeschäden nicht abwendbarer Blitzeinschläge zu schützen. Ein solches Vorgehen sei vor allem auch wegen der beabsichtigten Verwendung neuer Verbundwerkstoffe anstelle des bewährten Aluminiums als Leit- und Tragwerkstoff geboten, die zwar eine höhere mechanische Festigkeit zugleich mit einer Gewichtsersparnis einbrächten, aber andererseits die Schutzwirkung der als Faradayscher Käfig wirkenden Metallhaut völlig zunichte machten, und dies bei einer immer empfindlicher werdenden Halbleiteravionik, die in zunehmendem Masse für eine On-line-Automatik eingesetzt wird. In dieser Beziehung sei ohne Zweifel die allergrösste Vorsicht geboten.

50 Referate

Dank der Umsicht der beiden Chairmen *J. L. Moe* und *C. E. Seth* konnten unter Mitwirkung der Session Chairmen für die in einem Konferenzband von 670 Seiten zusammengefassten 50 Referate hervorragende Fachvertreter aus der amerikanischen Luftfahrtindustrie gewonnen werden, die sich durch Namen wie *Boeing, McDonnell, Douglas* und *Lockheed* einen weltweiten Ruf geschaffen hat. Ebensolche Experten sind von seiten einiger amerikanischer Universitäten und wissenschaftlicher Institutionen sowie der teilnehmenden Aufsichtsbehörden delegiert worden, was mit dazu beigetragen hat, dass den Konferenzteilnehmern ein hohes Mass wohl abgewogener Darstellung geboten werden konnte. Naturgemäss lag der Schwerpunkt der Beteiligung bei der Industrie mit 23 Referaten im Vergleich zu den 16, die von den wissenschaftlichen Institutionen, und den 9, die von den staatlichen Behörden vorgelegt worden sind.

In Anbetracht der Fülle des abzuhandelnden Stoffes wurden die einzelnen Referate in acht Themengruppen aufgeteilt, wovon fünf fast ausschliesslich elektrostatischen Problemen gewidmet waren, die oftmals aus Unkenntnis übersehen und damit zu einer echten Gefahr werden können. Mit den folgenden Betrachtungen soll versucht werden, dem interessierten Leser einen kurzgefassten Überblick über die einzelnen Themengruppen zu vermitteln, mit Hinweisen wichtiger Art und ergänzenden Bemerkungen, wo dies zum besseren Verständnis notwendig erschien.

Grundlegendes über den Blitz

Zunächst wurde in der Themengruppe I – Fundamental Aspects of Lightning – eine zusammenfassende Darstellung der Wirkungen und Erscheinungsformen des Blitzphänomens gegeben, wozu recht geschickt ein von der American Meteorological Society geförderter Film des Themas «Atmospheric Electricity» nützlich war. Daran anknüpfend haben vier amerikanische Experten, die sich auf dem Gebiete der Blitzforschung einen ausgezeichneten Namen gemacht haben, die vielgestaltige Problematik