

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 65 (1974)

**Heft:** 24

**Artikel:** Überblick über die Weltenergielage

**Autor:** Morf, J.J. / Roux, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915479>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

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

une large latitude d'instabilité la société humaine ne pourra survivre sans utiliser elle aussi une bande de tolérance raisonnable. Un fanatisme intolérant de l'environnement jetterait notre monde aussi sûrement dans un chaos politique et social meurtrier que la négligence totale de ces facteurs. C'est aux scientifiques et techniciens eux-mêmes en grande partie qu'il

appartient d'éduquer la société dans le sens d'une compréhension pour une modification acceptable de notre équilibre naturel.

#### Adresse de l'auteur:

Dr. h. c. A. W. Roth, administrateur-délégué de la S.A. Sprecher & Schuh, 5001 Aarau.

## Überblick über die Weltenergielage

Von J. J. Morf und M. Roux

*Im Jahre 1970 betrug der Verbrauch an Primärenergie auf der ganzen Welt – ausgedrückt in mittlerer Brutto-Leistung – zwischen 6000 und 7000 GW brutto*

wovon

41 % vom Erdöl

36 % von Kohle, Braunkohle, Torf und Holz

20 % von Erdgas

und nur

3 % von anderen Energiequellen, wie Wasserkraft,

Kernenergie, geothermischer Energie und den Gezeiten

stammten.

*Der Gesamtenergieverbrauch hat seit Beginn des Jahrhunderts eine geometrische Zunahme erfahren, indem er sich ungefähr alle 15 Jahre verdoppelt hat. In der Annahme, dass es möglich ist, diesen Zuwachs zu bremsen und dann durch eine weltweite Spar- und Einschränkungspolitik zu stoppen, kann man als erste Hypothese für das 21. Jahrhundert die sehr vernünftige Zahl von 30 000 GW annehmen. Andererseits muss man damit rechnen, dass die Erschöpfung des Erdöls sehr wahrscheinlich anfangs des 21. Jahrhunderts Tatsache wird.*

*Auf Grund dieser zweifachen Hypothese versuchen die Referenten der Tagung zu zeigen, welche Rolle die nicht konventionellen Energiequellen wie der Wind, die Erdwärme, die thermische Energie der Meere, die Gezeiten, die Wellen, die Brutreaktoren, die Fusion und die Sonnenenergie spielen könnten.*

*Die Anwendung der Elektrizität als Sekundär- oder Zwischenenergie ruft nach einer betonteren Entwicklung als bisher und wird vielleicht durch die Verwendung von Wasserstoff als neue Sekundär-Energieart vervollständigt, welcher leicht zu lagern und zu transportieren ist.*

Um die nichtkonventionellen Energiequellen im Verhältnis zu den üblichen Quellen zu bestimmen, zeigen die Tabellen Ia und Ib die mittleren Bruttotoleistungen, welche die Menschheit den verschiedenen Primärenergiequellen im Jahre 1970 entnommen hat.

Der gesamte jährliche Energieverbrauch wurde in mittlere Leistung umgewandelt und in Gigawatt (GW) ausgedrückt.

*Eine mittlere Bruttotoleistung von 1 Gigawatt entspricht ungefähr:*

800 000 t Erdöl pro Jahr oder

5 Millionen Fass Erdöl pro Jahr oder

1,1 Mio t Kohle pro Jahr oder

7500 Terakalorien pro Jahr oder

$3 \cdot 10^{13}$  BTU pro Jahr oder

8,76 Milliarden Brutto- (oder thermische) kWh pro Jahr.

Je nach Bedarf geben die Tabellen IIa und IIb über andere Umrechnungsfaktoren Auskunft.

Um eine Vorstellung von einem Gigawatt zu geben, erinnern wir daran, dass ein grosses, modernes thermisches Kraftwerk ungefähr 3 GW in Form von Bruttoenergie (thermische) liefert. Dies erlaubt, 1 GW in elektrischer Form zu erhalten.

*En 1970, la consommation mondiale d'énergie primaire exprimée en puissance moyenne brute était située entre 6000 et 7000 GW bruts*

dont

41 % provenaient du pétrole

36 % des charbons, lignites, tourbes et bois

20 % du gaz naturel

et seulement

3 % des autres sources primaires telles que les énergies

hydraulique, nucléaire, géothermique et marémotrice.

*La consommation globale d'énergie a suivi depuis le début du siècle une progression géométrique en doublant tous les quinze ans environ. En admettant que l'on arrive à freiner cette croissance puis à la stopper par une politique mondiale d'économie et de restrictions, on peut adopter comme première hypothèse le chiffre raisonnable de 30 000 GW pour le courant du 21<sup>e</sup> siècle. D'autre part, on doit admettre que l'épuisement du pétrole aura vraisemblablement lieu au début du 21<sup>e</sup> siècle.*

*C'est dans cette double hypothèse que les conférenciers des deux journées cherchent à montrer le rôle que pourraient jouer les sources d'énergie non conventionnelles telles que le vent, la chaleur terrestre, la chaleur des mers, les marées, la houle, les surgénérateurs, la fusion et l'énergie solaire.*

*L'utilisation de l'électricité, comme énergie secondaire ou intermédiaire, est appelée à un développement plus marqué que jusqu'ici et sera peut-être complétée par l'utilisation de l'hydrogène comme nouvelle forme d'énergie secondaire facilement stockable et transportable.*

Gemäss Tabelle Ia und b verbrauchte die Welt im Jahre 1970 6000 bis 7000 GW brutto. Der Anteil der Schweiz betrug damals 19 GW. (Im Gegensatz zur Praxis, die zur Erarbeitung der Statistiken der Vereinigten Staaten und der Vereinigten Nationen angewandt wird, wurde darauf verzichtet, die hydraulische Energie um einen arbiträren Faktor von 2,4 bis 2,8 aufzuwerten.)

Der Bruttoenergieverbrauch pro Kopf, ausgedrückt in mittlerer Bruttotoleistung, kann sowohl in kW/Kopf wie in GW/M Kopf (Bruttogigawatt pro Mill. Einwohner) ausgedrückt werden. Es muss betont werden, dass diese Grösse mit dem Bruttosozialprodukt (BSP) pro Kopf zusammenhängen scheint. Fig. 1 zeigt diesen Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und BSP für verschiedene Länder im Jahre 1968 («Il problema dell'energia al soglie degli anni Settanta», Enciclopedia della Scienza e della Tecnica Mondadori, S e T 72, 21). Die neue Stellung der Schweiz und der USA im Jahre 1973 wurde beigelegt (Bruttoverbrauch von 3,54 kW/Kopf und ein BSP von Fr. 20 000.–/Kopf bzw. 11,4 kW/Kopf und Fr. 17 800.–/Kopf; BSP gemäss Informationen «24 Heures» vom 19. November 1973 und 15. Februar 1974). Selbstverständlich «tanzt» das BSP in Schweizerfran-



ken pro Kopf wie der Wechselkurs und ist keine Einschätzung des «menschlichen Glücks».

Im Jahre 1970 betrug der Weltenergieverbrauch, ausgedrückt in mittlerer Bruttoleistung, 6000 bis 7000 GW für 3,65 Milliarden Einwohner, d. h. 1,75 kW/Kopf. In der Annahme, dass die Vernunft der Nationen es ermöglicht, das demographische Wachstum bei ungefähr 6 Milliarden Einwohnern zu stoppen und die Energienachfrage im Mittel auf 5 kW/Kopf zu beschränken (Hälfte des Verbrauchs der USA 1970), könnte man auf ein Null-Wachstum des Gesamtenergieverbrauches, ausgedrückt in mittlerer Bruttoleistung, im Bereiche von 30 000 GW im Laufe des 21. Jahrhunderts abzielen. Dies ist aber eine sehr optimistische Betrachtungsweise des Problems.

Wenn man aber im Gegenteil annimmt, dass die Nachfrage und die Erzeugung weiterhin gemäss der geometrischen Zunahme in Form einer Verdoppelung alle 15 Jahre steigen, kommt man zu folgenden Zahlen:

1985	ungefähr	12 500 GW
2000	ungefähr	25 000 GW
2015	ungefähr	50 000 GW
2030	ungefähr	100 000 GW
2075	ungefähr	800 000 GW

Heute ist niemand in der Lage, genau vorauszusagen, wie die Energienachfrage im Laufe des nächsten Jahrhunderts steigen wird. Man kann aber ohne grosses Fehlerrisiko behaupten, dass der Weltenergieverbrauch irgendwann im Laufe des 21. Jahrhunderts 30 000 GW brutto erreichen wird (Fig. 2).

Gewinnung und Verbrauch, aufgeteilt nach Energiequellen, in GW, brutto

Konventionelle Energiequellen

Tabelle Ia

1970		Welt	West-europa	UdSSR und Ost-europa	Nord-amerika	Mittel- und Süd-amerika	Naher Osten	China + Komm. Asien	Asien + Ozeanien	Afrika	Übrige
Kohle	Gewinnung		346	730	516		6,4	362			
	Verbrauch	2190	403	703	452		6,4	361			
Rohöl	Gewinnung		22,8	443	674	281	830	23,8		350	
	Verbrauch	2740	690	378	938		44,8	32,8	289		
Erdgas	Gewinnung		96	282	835		23,8				
	Verbrauch	1310	99	286	820		22,8				
Holz <sup>1)</sup>	Gewinnung										
	Verbrauch	< 10									
Torf	Gewinnung										
	Verbrauch	< 100									
Wasserkraft	Gewinnung										
	Verbrauch	134	38,5	15,6	46,7		0,65	5,1	13		
Kernspaltung	Gewinnung	6,4	0,5		4,7				0,1	1,2	
	Verbrauch	27	16,5	1,5	8,6				0,4		

<sup>1)</sup> Schweiz: 0,35 GW, d. h. 1,6% des Gesamtenergieverbrauchs.

Quellen: World Energy Supplies 1968-1971, ST/STAT/SER.J/16, United Nations

Beiträge aus: LRP 63/73, EPF-Lausanne

Statistiques de l'énergie 1958-1972 OCDE 1974

Uranium, Resources, Production and Demand, OCDE-IAEA 1973

Gewinnung und Verbrauch, aufgeteilt nach Energiequellen, in GW, brutto

Nichtkonventionelle Energiequellen

Tabelle Ib

1970		Welt	West-europa	UdSSR und Ost-europa	Nord-amerika	Mittel- und Süd-amerika	Naher Osten	China + Komm. Asien	Asien + Ozeanien	Afrika	Übrige
Wind	Gewinnung und Verbrauch										
Geothermisch <sup>2)</sup>		7,2	3,18	0,55	0,56	0,56			2,34		
Gezeiten <sup>3)</sup>		≈ 0,5									
Wellen											
Therm. Energie der Meere											
Kernfusion											
Brutreaktoren		≈ 0,4									
Sonne											
Total konv. und nichtkonv.		6000... 7000									
Annahme für 21. Jh.		30 000									

<sup>2)</sup> Setzt einen Wirkungsgrad Wärme-Elektrizität von ungefähr 10 % voraus.

<sup>3)</sup> Rance: geschätzte Produktion: 12% des Gesamtenergieinhalts der Bucht (Füllung und Entleerung).

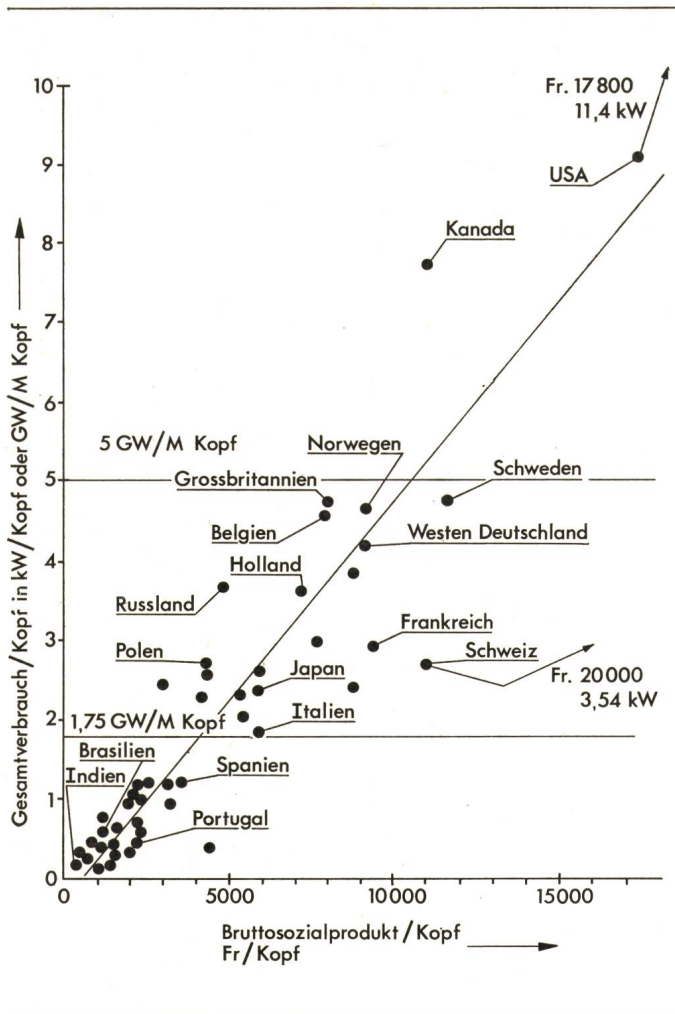


Fig. 1 Energieverbrauch (Leistung) pro Kopf als Funktion des Bruttosozialproduktes/Kopf in sFr./Kopf im Jahre 1968 (und Werte für die Schweiz und die USA 1973)

Tabelle III gibt, als Orientierung, eine Schätzung der Energievorräte, über welche die Menschheit verfügt. Jedermann weiss heutzutage, dass es scheinbar das Erdöl ist, das uns in erster Linie fehlen wird. Die hunderttausend Gigawatt-Jahre, welche uns bleiben, wären im Jahre 2010 erschöpft, wenn man den Erdölverbrauch auf seinen Wert von 1970, d. h. 2700 GW, beschränken würde, aber viel eher, wenn man den Verbrauch wie bisher steigen lässt. Das Datum ist nicht so wichtig, das Wesentliche ist heute, sich be-

Umrechnung der verbrauchten jährlichen Energien in mittlere Leistung (GW)

Leistung

Tabelle IIa

Einheit	GW
1 kWh/Jahr	$1,141 \cdot 10^{-10}$
1 TWh/Jahr	0,114
1 GWh/Monat	$1,37 \cdot 10^{-3}$
1 MWh/Tag	$4,17 \cdot 10^{-5}$
1 MWd/Jahr	$2,738 \cdot 10^{-6}$
1 kcal/Jahr <sup>1)</sup>	$1,326 \cdot 10^{-13}$
1 Thermie/Jahr <sup>1)</sup>	$1,326 \cdot 10^{-10}$
1 BTU/Jahr <sup>1)</sup>	$3,343 \cdot 10^{-14}$
1 Q/Jahr <sup>1)</sup>	$3,343 \cdot 10^4$
1 t SKE/Jahr <sup>1)</sup>	$8,2...9,8 \cdot 10^{-7}$
1 t OeE/Jahr <sup>1)</sup>	$1,1...1,5 \cdot 10^{-6}$
1 t GE/Jahr <sup>1)</sup>	$1,0...1,5 \cdot 10^{-6}$
1 Nm <sup>3</sup> /Jahr <sup>1)</sup>	$1,0...1,2 \cdot 10^{-9}$
1 US Fass/Jahr <sup>1)</sup>	$\approx 1,9 \cdot 10^{-7}$
1 t U <sup>235</sup> /Jahr <sup>1)</sup>	$\approx 3$
1 t U <sup>238</sup> /Jahr <sup>1)</sup>	$\approx 2,2$
1 t D/Jahr <sup>1)</sup>	10,7
1 t Li <sup>6</sup> /Jahr <sup>1)</sup>	11,4

<sup>1)</sup> Statistiker der USA und der Vereinigten Nationen verwenden in allgemeinen Umrechnungsfaktoren, die einen mittleren Wirkungsgrad der elektrischen Kraftwerke berücksichtigen. Wir haben dieses Konzept verworfen.

Umrechnung der Energieeinheiten in GW-Jahre

Energie

Tabelle IIb

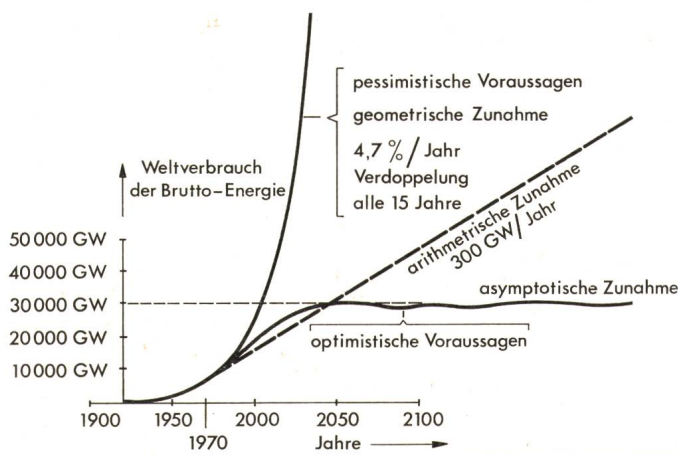
Einheit	kWh	Joules	GW-Jahr <sup>2)</sup>
1 kWh	1	$3,6 \cdot 10^6$	$1,141 \cdot 10^{-10}$
1 kW-Jahr	$8,765 \cdot 10^3$	$3,156 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{-6}$
1 TWh	$10^9$	$3,6 \cdot 10^{15}$	0,114
1 MWd	$2,4 \cdot 10^4$	$8,64 \cdot 10^{10}$	$2,738 \cdot 10^{-6}$
1 kcal (mittlere)	$1,163 \cdot 10^{-3}$	$4,186 \cdot 10^3$	$1,327 \cdot 10^{-13}$
1 Thermie (10 <sup>3</sup> kcal)	1,163	$4,186 \cdot 10^6$	$1,327 \cdot 10^{-10}$
1 BTU (Britisch Thermal Unit)	$2,93 \cdot 10^{-4}$	$1,055 \cdot 10^3$	$3,343 \cdot 10^{-14}$
1 Q (= 10 <sup>18</sup> BTU)	$2,93 \cdot 10^{14}$	$1,055 \cdot 10^{21}$	$3,343 \cdot 10^4$
1 t SKE (Steinkohleeinheit) <sup>1)</sup>	$7,2...8,6 \cdot 10^3$	$2,6...3,1 \cdot 10^{10}$	$8,16...9,81 \cdot 10^{-7}$
1 t OeE (Öleinheit) <sup>1)</sup>	$10...12,6 \cdot 10^3$	$3,6...4,6 \cdot 10^{10}$	$1,1...1,44 \cdot 10^{-6}$
1 t GE (Gaseinheit) <sup>1)</sup>	$9,3...12,9 \cdot 10^3$	$3,3...4,6 \cdot 10^{10}$	$1,06...1,47 \cdot 10^{-6}$
1 Nm <sup>3</sup> (Erdgas) <sup>1)</sup>	9...10,8	$3,2...3,8 \cdot 10^7$	$1,03...1,23 \cdot 10^{-9}$
1 Fass (Erdöl = 159 Liter) (Schätzung) <sup>1)</sup>	$1,68 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^9$	$1,9 \cdot 10^{-7}$
1 t U <sup>235</sup> (gespalten) (Schätzung) <sup>1)</sup>	$2,63 \cdot 10^{10}$	$9,5 \cdot 10^{16}$	3
1 t U <sup>238</sup> (gespalten) (Schätzung) <sup>1)</sup>	$1,93 \cdot 10^{10}$	$6,9 \cdot 10^{16}$	2,2
1 t D (D-D theoretisch) <sup>1)</sup>	$9,38 \cdot 10^{10}$	$3,38 \cdot 10^{17}$	10,7
1 t Li <sup>6</sup> (D-T theoretisch) <sup>1)</sup>	$1 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{17}$	11,4
1 t c <sup>2</sup> (Masse → Energie)	$2,5 \cdot 10^{13}$	$9 \cdot 10^{19}$	$2,85 \cdot 10^3$
1 MeV	$4,45 \cdot 10^{-20}$	$1,602 \cdot 10^{-13}$	$5,077 \cdot 10^{-30}$
1 t TNT	$1,18 \cdot 10^6$	$4,25 \cdot 10^{12}$	$1,35 \cdot 10^{-4}$

<sup>1)</sup> Diese Äquivalenzen setzen eine vollkommene Verbrennung und die Nutzung der Energie unmittelbar als thermische Energie voraus. Nur ein Teil dieser Energie kann praktisch in mechanische oder elektrische Energie umgewandelt werden (z. Z. 30 bis 40 % für fossile Brennstoffe und für U<sup>235</sup>).

<sup>2)</sup> 1 mittleres Jahr = 8766 h.







**Fig. 2 Grenzentwicklungen des Weltverbrauches der Brutto-Energie im Laufe des nächsten Jahrhunderts**

Die Zahl von 30 000 GW wurde angenommen als vernünftige Diskussionsgrundlage zur Bestimmung des Anteiles der nichtkonventionellen Energiequellen in einer Zukunft, die unsere Kinder betrifft.

wusst zu sein, dass in einem gegebenen Moment im Laufe des 21. Jahrhunderts nicht mehr mit dem Erdöl gerechnet werden darf, um unsere Bedürfnisse an Energie zu decken.

Es sei noch bei dieser Gelegenheit festgehalten, dass die kleine Erdölkrise vom Oktober 1973 bis März 1974, welche aus politischen Gründen inszeniert wurde, mit der Erschöpfung des Erdöls, die uns im 21. Jahrhundert erwartet, nichts zu tun hat. Im Gegenteil, sie hat den Vorteil gehabt, die Menschen zum Nachdenken zu zwingen. Jetzt, da sich die Gemüter beruhigt haben, tauchen drei unerlässliche Handlungslinien auf:

- 1) Der *Energieverbrauch* muss mit allen vernünftigen wirtschaftlichen, technischen und politischen Mitteln *eingeschränkt* werden.
- 2) Sämtliche Formen von Primärenergie, konventioneller Art oder nicht, müssen innerhalb vereinbarten wirtschaftlichen Grenzen *ausgewertet* werden.
- 3) Jede Form von Energie muss in jenem Anwendungsbereich *rationell eingesetzt* werden, wo sie am wirkungsvollsten und am unschädlichsten ist.

Damit ist die langfristige Betrachtungsweise, in welcher sich die Vortragenden dieser Informationstagung einfügen, bestimmt. Jeder wird versuchen, den Teil der Leistung abzuschätzen, welche die nichtkonventionelle Energieart, von der er berichten wird, liefern könnte.

Wir werden so einen konkreten und bezifferten Begriff davon erhalten, was die Menschheit vom Wind, den Gezeiten, Wellen, der thermischen Energie der Meere, Erdwärme, den Brutreaktoren, der thermonuklearen Fusion und Sonnenbestrahlung an Energie gewinnen könnte.

Zwei Formen von Zwischenenergie sollten noch erwähnt werden, welche keine Energiequellen sind, aber nützliche Mittel, die Energie zu transportieren oder sie zu speichern. Ausserdem ermöglichen sie, gewisse Formen von Primärenergie auszunutzen, welche sonst unbrauchbar wären.

Es handelt sich einerseits um die *elektrische Energie*, welche benötigt wird, um die hydraulische und die Kernenergie auszunutzen. Andererseits könnte der *Wasserstoff*, eine noch nicht konventionelle *Sekundärenergie*, gewisse Transport- und Speicherungsprobleme lösen.

Wenn es nicht mehr möglich sein wird, die Energie durch Rohrleitungen zu transportieren (eine Leitung von 1 m Durchmesser kann 40 GW, brutto in Form von Erdöl transportieren), werden die Elektrizität und der Wasserstoff den Ersatz des Erdöls übernehmen müssen.

**Umwandlung der genutzten Energie (GW, brutto)**

Tabelle IV

Primärenergie	Zwischenenergie	Endenergie	
Kohle 2190	Abwärme + Netzverluste + Eigenverbrauch ≈ 800 (El. Kraftwerke)	Industrie?	
Erdöl 2740		Handel?	
Erdgas 1310		Elektrizität (El. Kraftwerke) ≈ 400	Haushalt?
Holz < 10			Transport?
Torf < 100			
Wasserkraft 134	Nicht elektrisch ≈ 5200		
Kernspaltung 27			
Geothermisch ≈ 7,2			
Gezeiten ≈ 0,5			
Wellen 0			
Therm. Energie der Meere 0			
Kernfusion 0			
Brutreaktoren ≈ 0,4			
Sonne ?			
Mensch ≈ 40			

Der Beitrag zur Elektrizitätserzeugung der mit fossilen Brennstoffen laufenden Kraftwerke erreicht 1200 GW, brutto, unter der Annahme eines mittleren Wirkungsgrades von 35 %.

Die menschliche Leistungsfähigkeit wird im Durchschnitt auf 10 W pro Person geschätzt.

**Energieverteilung gemäss Verbrauchssektoren (GW, brutto und %)**

Tabelle V

1970		Industrie	Handel + Haushalt	Transport	Elektrizitätserzeugung und -verluste	Total
USA	GW	770	515	595	620	2500
	%	30,8	20,6	23,9	24,7 <sup>1)</sup>	100
EG (9)	GW	382	370	144	in den anderen Sektoren inbegriffen	896
	%	42,6	41,3	16,1		100
Schweiz	GW	5,4	9,1	4,5	in den anderen Sektoren inbegriffen	19
	%	28,5	47,8	23,7		100

<sup>1)</sup> Wovon 1/3 in die Zähler gelangt.

Quellen: USA, Schweiz: Beiträge aus LRP 63/73 EPF-Lausanne  
EG: Statistique des Communautés Européennes, Luxembourg, 1973.



Wärme	Raumheizung	} $\approx 50\%$
	Warmwasserbereitung Industrie – Prozesswärme	
Mechanische Arbeit	Industrie, Transport	$\approx 26\%$
Chemische Verfahren	Elektrolyse und andere chemische Verfahren (ohne Wärme weder Arbeit)	3,8 %
Licht		0,2 %

Quelle: Pressekonferenz von Bundesrat W. Ritschard, vom 28. 2. 1974.

Die Tabellen IV, V und VI vervollständigen den Überblick über die Weltenergielage.

Es sei noch die Wichtigkeit der Verluste von 800 GW (Tab. IV) betont, welche die Umwandlung der Primärenergien in elektrische Energie verursacht.

Die hydraulische Energie macht hier eine Ausnahme:

– Mit 1 GW brutto aus *hydraulischer* Kraft erhält man ohne weiteres 0,8 GW elektrische oder thermische Leistung in den Häusern;

– Mit 1 GW brutto aus *Erdöl* erhält man in den Häusern 0,5 GW bis 0,8 GW thermische Leistung im Falle von ausgezeichneten Heizungen oder nur 0,33 GW elektrische Leistung (aus diesem Grunde werten die amerikanischen Statistiken die Produktion von hydro-elektrischer Energie auf).

Technisch erscheint es möglich, *ohne sichtbare Verluste* von einem Gigawatt in elektrischer Form auf ein Gigawatt in Form von Dampf bei 500 °C, dann auf ein Gigawatt in Form von heissem Wasser bei 90 °C und schliesslich auf ein Gigawatt in Form von heisser Luft bei 25 °C zu gelangen.

In dieser Reihenfolge umgewandelt, scheint die Leistung im Sinne des ersten Prinzips der Wärmelehre konservativ zu bleiben, doch ihr Wert verschlechtert sich in dem Masse, wie die umgekehrte Umwandlung nicht mehr möglich ist.

#### Adressen der Autoren:

Prof. J. J. Morf, Ecole polytechnique fédérale, Département d'électricité, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne, und M. Roux, Eidg. Amt für Energiewirtschaft, Kapellenstrasse 14, 3001 Bern.

## Zusammenfassungen aller Vorträge – Résumés de toutes les conférences

### Windenergie: Ausführungen, Erwartungen und Grenzen

Von W. Schönball

#### Zusammenfassung <sup>1)</sup>

Der im Jahre 1973 auf der deutschen Nordseeinsel errichtete gegenläufige NOAH Doppelrotor zur Stromerzeugung hat einen Rotordurchmesser von 11 m, und der von den Rotorblättern direkt angetriebene Drehstromgenerator von 70 kW, 380 V soll einen Jahresertrag von bis zu 150 000 kWh erreichen (mittlere Leistung 17 kW).

Zurzeit werden Windrotoren zur Stromerzeugung im wesentlichen in den folgenden drei Gruppen entwickelt:

a) Mit horizontaler Achse und 1...3 aerodynamisch gestalteten Rotorblättern sowie einer relativ hohen Umdrehungszahl, die durch Rotorblattverstellung konstant gehalten wird;

b) Mit horizontaler Achse und 3...6 aerodynamisch gestalteten Rotorblättern ohne Blattverstellung, jedoch mit elektronisch oder mechanisch geregelter, variabler Drehzahl im Optimum der aerodynamischen Auslegung;

c) Mit vertikaler Achse und aerodynamisch gestaltetem Rotorring.

Windrotoren können in Gruppen zusammengefasst werden und innerhalb eines dezentralisierten Energieversorgungsnetzes Elektrizität insbesondere für Heizzwecke liefern. Im vergangenen Jahrhundert waren schätzungsweise 100 000 Windmühlen in Europa installiert. Ausgerüstet mit einem Rotor von 50 m Radius könnte diese Anzahl von modernen Windrotoren einen mittleren Jahresertrag von 23 GW erwarten lassen.

Der bisher grösste Windrotor wurde 1941 von Smith-Putnam mit einem Rotor-Radius von 54 m und einer installierten Leistung von 1250 kW in Vermont (USA) gebaut. Es wird heute vorgeschlagen, Windrotoren bis zu einem Radius von 65 m beziehungsweise 10 000 m<sup>2</sup> Rotorkreisfläche zu bauen.

<sup>1)</sup> Das vollständige Referat steht im Sonderdruck zur Verfügung.

### Energie éolienne: Réalisations, espoirs et limites

Par W. Schönball

#### Résumé <sup>2)</sup>

Le rotor à deux hélices tournant en sens opposés de l'éolienne NOAH, aménagée en 1973 sur l'île allemande de la mer du Nord, a un diamètre de 11 m et l'alternateur triphasé de 70 kW, 380 V, entraîné directement par les pales, peut fournir annuellement une énergie jusqu'à 150 000 kWh (17 kW en moyenne).

Actuellement, les éoliennes pour production de courant électrique sont les trois groupes principaux suivants:

a) A axe horizontal et 1 à 3 pales aérodynamiques tournant à une vitesse relativement élevée, maintenue constante par ajustage des pales;

b) A axe horizontal et 3 à 6 pales aérodynamiques, non ajustables, mais avec vitesse de rotation réglée électroniquement ou mécaniquement à l'optimum de la conception aérodynamique;

c) A axe vertical et anneau rotorique aérodynamique.

Les éoliennes peuvent être groupées et fournir, dans un réseau de distribution d'énergie décentralisé, de l'électricité, notamment pour le chauffage. Le siècle passé, quelque 100 000 moulins à vent étaient installés en Europe. Equipés d'un rotor de 50 m de diamètre, ce nombre d'éoliennes modernes pourrait fournir une puissance annuelle moyenne de 23 GW.

La plus grande des éoliennes construite jusqu'ici est celle de Smith-Putnam, en 1941, d'un diamètre de rotor de 54 m et d'une puissance installée de 1250 kW, au Vermont (USA). On propose maintenant des éoliennes d'un rayon jusqu'à 65 m, correspondant à une surface circulaire de 10 000 m<sup>2</sup>.

Les possibilités d'utilisation économique des éoliennes dépendent de leur prix compétitif. Actuellement, le prix est encore de

<sup>2)</sup> Le texte complet de l'exposé se trouve dans le tiré à part.