

EINIGE QUANTITATIVE UND QUALITATIVE MERKMALE DER ERGÄNZENDEN ENERGIEFORMEN

A. LÉVAI

Technische Universität, H—1521 Budapest

Eingegangen am 16 Juni 1987

Abstract

The study deals with bioenergy, geothermal energy, windenergy and the direct use of solar energy as the most important components of the category so called "additive" (complementary) energy carriers. Figures of their present use in the energy balance of the world and their possibilities in the future are given based on the existent theoretical potentials and on the evaluated technical ones. Favourable and harmful effects of their application are shortly mentioned with some conclusions of general art.

In den vorliegenden Betrachtungen sollen unter der Bezeichnung „ergänzende Energieformen“ all' jene verstanden werden, die nicht aus den „konventionellen“ fossilen (festen, flüssigen, gasförmigen) Energiestoffen, aus der Wasserkraft oder aus den mineralischen Kernbrennstoffen, insgesamt also aus den „klassischen“ Energieformen stammen. Es fallen also in den Rahmen der Betrachtungen die folgenden: direkte Verwendung der Sonnenenergie, Bioenergie, Erdwärme, Windkraft, Meeresenergie. (Die Bezeichnung „neue“ Energieformen wird dabei vermieden, da Sonne, Biomasse, Wind von der Menschheit seit Jahrtausenden bekannte und benutzte Energiequellen sind. Eine „neue“, aber gewiß nicht „ergänzende“ Energieform wird einmal die Fusionsenergie sein.)

Will man sich ein Bild von der Bedeutung und der Größenordnung der ergänzenden Energieformen machen, so bekommt man leicht zweierlei, einander diametral entgegengesetzte Eindrücke, je nachdem man von ihren bisherigen Rollen in der Energiebilanz der Erde, oder von ihren potentiellen Möglichkeiten ausgeht. Bei dem Versuch, die Gründe dieser Ambivalenz zu beleuchten, werden die einzelnen präzisen Fachausdrücke so benutzt, wie dieselben in der, seitens der Weltenergiekonferenz (WEK) ausgegebenen mehrsprachigen „Energieterminologie“ [2. Aufl. 1986] vorgeschlagen wurden.

In der gegenwärtigen *Primärenergie-Gesamtbilanz* der Erde ist bekanntlich der Anteil der ergänzenden Energieformen ziemlich bescheiden. Aus dem letzten Jahrbuch der WEK [1] läßt sich mit einiger Mühe feststellen, daß derzeit bei einer errechneten Rohenergieerzeugung von etwa 8200 Mtoe/a* ungefähr 91%, also etwa 7500 Mtoe/a auf die klassischen Energieformen im Sinne obiger Definition entfallen. Die ergänzenden Energieformen sind also darin mit knapp über 9% (etwa 750 Mtoe/a) beteiligt. Es sei wohlbemerkt, daß dabei alle Zahlenangaben Rohenergie bedeuten, d.h. daß alle Primärstrommengen, die in den klassischen und in den ergänzenden Kraftwerken erzeugt wurden, nach der Substitutionsmethode aufgewertet worden sind. (Bei der Umrechnung auf Rohenergie wurden nachstehende Wirkungsgrade angenommen: Wasserkraft 34%, Kernkraft 28,5%, thermisches Sonnenkraftwerk, geothermisches Kraftwerk und Windkraftwerk 20%, Solarzellen-Kraftwerk 10%.) Nicht in Strom umgesetzte Energien wurden nach der Wärmeäquivalenzmethode umgerechnet.

Es muß aber auch bemerkt werden, daß in den Angaben des WEK-Jahrbuches — insbesondere bei denen der Entwicklungsländer und begreiflicherweise vornehmlich bei der Bioenergie — zahlreiche, zum Teil nicht unwesentliche Unsicherheiten vorkommen. So erhält man aus [1] für die nachgewiesene Produktion der Biomasse im Jahre 1984 die Menge von rund 100 Mtoe, resp. für Holz (Holzkohle) und Torf 270 Mtoe, also für Bioenergie zusammen 370 Mtoe. Dabei fehlen aber jegliche Angaben über wichtige Erzeugungsländer (z. B. China, Indonesia, Malaysia, usw.), es ist unklar, wie weit eigenerzeugte und eigenverbrauchte Energie erfaßt worden ist usw. Daher erschien es als ratsam gerade für diese, innerhalb der ergänzenden Energien so wichtige Energieform den Bericht der WEC-Conservation Commission vom Jahre 1983 [2] zu Rate zu ziehen. In diesem Bericht ist für die weltweit „nicht gehandelte“ Energie des Jahres 1978 die Menge von 735 Mtoe enthalten. Eine Zahl, die — im Zunehmen begriffen — hauptsächlich die Bioenergie, daneben die eher unbedeutende Solar-, Wind- und Kleinwasserkraftenergie umfasst. Für die weiteren Untersuchungen wurde daher dieser der Wirklichkeit eher entsprechend scheinender Wert der Bioenergie übernommen, ihre Aufteilung in energetisch benutzte Biomasse, resp. Holz (Holzkohle) und Torf gemäß dem Prozentsatz in [1] vorgenommen. Die Angaben über die übrigen ergänzenden Energieformen (Solar-, Wind-, Erdwärme-, Meer-) stammen weiterhin aus [1]. Die derart angenähert errechnete Struktur der ergänzenden Energieformen ist in der *Tabelle 1* angegeben.

Im Vergleich zu einer Rohenergieerzeugung von 8200 Mtoe/a sind also die, sich erneuernden Energieformen, mit Ausnahme der Bioenergie, ganz unbedeutend. Ein völlig anderes Bild erhält man, wird das Problem der Bedeutung der ergänzenden Energieformen bei den sich erneuernden Energien von der Seite der *Energiequellen*,

* 1 Mtoe=Million Tonne Ölequivalent=41,9 PJ=41,9 · 10¹⁵ J.

Tabelle 1

	Mtoe/a	%
Bioenergie, darunter:		
Biomasse, energetisch benutzt	199,0	26,67
Holz (Holzkohle) u. Torf, energ. benutzt	536,0	71,81
Erdwärme	10,6	1,42
Windenergie	0,6	0,08
Direkte Sonnenenergie	0,1	0,01
Meeresenergie	0,1	0,01
Zusammen	746,4	100,00

resp. bei den sich nicht erneuernden Formen (Erdwärme) von der Seite der *Vorräte* (Ressourcen) betrachtet.

Wie bekannt, haben alle sich erneuernden Energieformen ihren Ursprung in der Sonne, die jährlich etwa 130 Ttoe zur Erde strahlt. Von dieser riesigen Energiemenge erreichen etwa 62 Ttoe/a die Erdoberfläche und rund 2% davon — nach Berechnungen von [3] etwa 135 Gtoe/a — bewirken durch die Photosynthese die fortdauernde Entstehung der Biomasse (also inkl. Holz und im etwas erweiterten Sinne auch Torf); dies bildet somit das theoretische Energiepotential der Bioenergie. Da aber der eigentliche Zweck der Photosynthese nicht die energetische Nutzung, sondern die Aufrechterhaltung des Lebens ist, bleiben für die energo-technische, resp. für die energo-wirtschaftliche Nutzung überschlagsmäßig etwa 3%, das sind 3800 Mtoe/a übrig [4]. Diese Zahl kann man als das technische Potential der Bioenergie bezeichnen. Gemäß den mitgeteilten Zahlen werden hievon heute etwa 750 Mtoe/a, das sind rund 19% effektiv benutzt. Das Resultat ähnlicher Überlegungen für die übrigen ergänzenden Energieformen, außer Meeresenergie, ist — hauptsächlich in Anlehnung an [4] — in abnehmender Reihenfolge ihrer derzeitigen Ausnutzung in der *Tabelle 2* zusammengestellt. Es sind darin die Anhaltszahlen des theoretischen Energiepotentials (Spalte 1), des technischen Potentials (Sp. 2), der tatsächlich erreichten Nutzung im Jahre 1984 (Sp. 3) und des Ausnutzungsfaktors des technischen Potentials in % (Sp.4=Sp.3: Sp.2) angeführt. Für Vergleichszwecke sind in der Tabelle auch die entsprechenden Werte der Wasserkraftnutzung, umgerechnet auf Mtoe/a angegeben. (Das theoretische Potential beträgt gemäß [5] 40 700 TWh_e/a, das technische Potential ebendort 9800 TWh_e/a, die tatsächliche Produktion in 1984 gemäß [1] 1810 TWh_e/a. Somit ist der Ausnutzungsfaktor des technischen Potentials 18,5%.)

Aus den Zahlen ist ersichtlich, daß mit dem Nutzungsfaktor der Wasserkraft nur die energetische Nutzung der Bioenergie Schritt halten kann, jene sogar über-

Tabelle 2

	Theor. Potent.	Techn. Potent.	Eff. Nutzung	
	Mtoe/a (1)	Mtoe/a (2)	Mtoe/a (3)	% (4)
Bioenergie	135 000	3 800	735	19,3
Erdwärme	26 000	1 600	10,6	0,66
Windenergie	130 000	2 600	0,6	0,02
Direkte Sonnenenergie	$20 \cdot 10^6$	20 000	0,1	0,0005
Ergänzende Energien zus.	...	28 000	746,3	2,67
Wasserkraft	10 000	2 450	453	18,5

steigt, eine Tatsache, die — wie später noch behandelt werden soll — auch für gewisse Unruhen Anlaß geben muß. Es ist auch zu ersehen, daß um den heutigen Ausnutzungsfaktor der Wasserkraft (oder der Bioenergie) zu erreichen, die derzeitige Nutzung der Erdwärme etwa verdreißigfacht, die der Windenergie vertausendfacht, die der direkten Sonnenenergienutzung einigemal verzehntausendfacht werden könnte. Hinsichtlich der Ergiebigkeit der verfügbaren Energiequellen ist bei den letzten beiden Energieformen kein Anlaß zur Befürchtung, es kommen also andere Gesichtspunkte bei der Beurteilung in den Vordergrund. Bezüglich des Potentials der geothermischen Energie ist zu bemerken, daß diese Energieform prinzipiell nicht zu den sich erneuernden gehört. Wegen der äußerst langsamen Abnahme der Wärmeverräte an den geologisch günstigen Lagerstätten wird in der Fachliteratur trotzdem oft mit einem jährlichen theoretischen, resp. technischen Potential in der Größenordnung der in der Tabelle angeführten Zahlen gerechnet [4].

Neben den bisher behandelten eher quantitativen Merkmalen der ergänzenden Energieformen kommen bei ihrer Beurteilung als zukünftige Energiequellen auch ihre wichtigen *qualitativen Merkmale* in Betracht. Es gibt zahlreiche, mehr oder weniger für alle charakteristische Eigenschaften, aber auch Besonderheiten. Im Folgenden sollen zunächst die gemeinsamen Vorteile angeführt werden. Diese sind: — ständige Erneuerung der Reserven (bei der Erdwärme nur beschränkt gültig); — keine zusätzliche Umweltbelastung physikalischer (Wärme, Radioaktivität) oder chemischer (SO_2 , NO_x , usw.) Art, wobei die Erdwärme wieder eine Ausnahme bildet, da diese ohne Gegenmaßnahmen chemische Verunreinigung verursacht; — keine Möglichkeit der Benutzung für terroristische oder kriegerische Zwecke; — beschränkte politische oder wirtschaftliche Unabhängigkeit der Besitzerstaaten zufolge einer eher gleichmäßigen Verteilung auf der Erde; — eine relativ einfache Nutzungstechnologie (mit gewissen Ausnahmen, z. B. bei den thermischen Sonnenkraftwerken).

Andererseits ist der Umstand, daß die ergänzenden Energieformen trotz der bedeutenden Vorteile nur sehr langsam zum Durchbruch kommen, durch ihre — wieder mehr oder weniger gemeinsamen — Nachteile begründet. Die wesentlichsten davon sind:

- die Wärmestromdichte der Energieform ist nur ein Bruchteil davon, welche in klassischen Energieanlagen mit fossilen oder nuklearen Brennstoffen zu erreichen ist. So hat die unmittelbar benutzte Sonnenenergie eine Wärmestromdichte zwischen 100 bis 300, im Mittel 160 W/m² Erdoberfläche. Bei der Windenergie beträgt dieser Wert durchschnittlich 50, bei der Bioenergie 0,1 bis 0,6, bei der Erdwärme an der Erdoberfläche durchschnittlich 0,05 W/m². (Rechnet man aber der Vollständigkeit halber bei den klassischen Kraftwerken den Grundflächenbedarf für die Förderung der, während ihrer Lebensdauer (etwa 30 Jahre) benötigten Energieträger dazu, so kommt man bei Kohlekraftwerken — je nach Kohlenart — auf Zahlen zwischen 50 und 100, bei Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren auf 30-300 W/m² je nach dem Urangehalt der geförderten Erze [4]);
- die sehr hohen Investitionskosten — die ein mehrfaches von jenen der klassischen Energieanlagen erreichen — sind eine unmittelbare Folge der geringen Wärmestromdichte;
- die zeitlich stark schwankende und oft — nicht programmierbar ganz fehlende Verfügbarkeit der Energieform verlangt entweder die Bereitstellung kostspieliger Reservekapazitäten oder Speichermöglichkeiten (etwaige Ausnahmen sind nur bei kleinen, lokalen Verbrauchern möglich);
- als Haupthindernis gegen die Verwendung dieser Energieformen gilt heute noch in den meisten Fällen die fehlende Wirtschaftlichkeit.

Aus obigen, kurzumrissenen Ausführungen folgt, daß sich die wesentlichsten Bemühungen in erster Linie in der Richtung der Senkung der Errichtungskosten bewegen müssen, soll eine bessere Ausnutzung der ergänzenden Energien erreicht werden. In dieser Hinsicht sind bereits bedeutende Resultate erreicht worden. So sind konkret z.B. die Preise der sog. Flachkollektoren zur Nutzung der direkten und indirekten Sonnenstrahlung durch bessere, wärmesparende Konstruktionen und Materialien, durch leistungsvollere Technologien in der Massenfertigung, usw. in den letzten Jahren um über 50% gesenkt worden. Noch auffälliger ist der Kostenrückgang bei den Photozellen zur direkten Umwandlung der Sonnenstrahlung in Elektrizität: der Preis für die Watt-Spitzenleistung (W_p) von etwa 80.—\$ des Jahres 1974 wurde bis heute auf cca 5.—\$/ W_p herabgesetzt. Der Preis für die installierte kW ist bei weitem nicht in demselben Verhältnis gesunken, da z. B. die, zur Anlage nötigen mächtigen und sehr kostspieligen Akkubatterien zum wirtschaftlichen Durchbruch auch noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungstätigkeit benötigen. Da seitens der Reserven bei der unmittelbaren Verwendung der Sonnenenergie wahrlich kaum Grenzen gesetzt sind — sieht man von der Verminderung der landwirtschaftlich brauchbaren Bodenfläche

durch die Deckung mit Kollektoren ab — so ist bei dieser Energieform die raschere Ausbreitung nur von Wirtschaftlichkeitsfaktoren abhängig.

Anders verhält es sich mit der Bioenergie. Hier ist neben der ebenfalls notwendigen Senkung der Anlagekosten der Gefahr der — zumindest regionalen — Überforderung des technischen Potentials ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Der weltweit hohe Ausnutzungsfaktor von nahezu 20% gemäß *Tabelle 2* soll als Memento gelten. Die erschreckenden Beispiele der Vernichtung des pflanzlichen und tierischen, schliesslich auch des menschlichen Lebens in Nordafrika und in anderen Erdteilen sprechen eine deutliche Sprache. Dort kann man schon von einer wirklichen Energiekrise sprechen. Andererseits beweisen gute Beispiele gerade an diesem Gebiet, daß man imstande ist, dagegen etwas zu unternehmen. So sind z. B. in China 20 Millionen richtig konstruierte Herde für Holzverbrennung mit mindestens 50% Wirkungsgrad an Stelle der energieverschwenderischen offenen Feuerstätten (Afrika) eingesetzt; neue, erfolgreiche Methoden der Sylvikultur sind in Indien, Thailand u.a. erprobt worden. Durch Anbau von rasch wachsenden Bäumen (Pappel, Eukalyptus etc.), durch Bewässerungsmassnahmen usw. kann ein jährlicher Brennstoffzuwachs erreicht werden, welcher dem bereits erwähnten Energiestrom von $0,5 \text{ W/m}^2$ entspricht. Allerdings können damit Investitionen verbunden sein, die den Brennstoffpreis dann etwa verdoppeln. Sollte aber in den wesentlichsten Entwicklungsländern in dieser Hinsicht nichts unternommen werden, so ist nach Berechnungen des FAO um 2000 ein Brennholzdefizit von etwa 240 Mtoe/a zu erwarten, das ungefähr 2,4 Milliarden Menschenleben beeinflusst [6]. Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß neben der unmittelbaren Verwendung der Biomaße durch Verbrennung, die Umformung in feste, flüssige (z. B. Ethanol) oder gasförmige (z. B. Methan) Brennstoffe in großem Maßstab erprobt wurde (das Beispiel Brasiliens). Dabei kommt die Rolle des Preises der klassischen Brennstoffe besonders klar zum Ausdruck. [7].

Auf die geothermische Energie ist in dieser Arbeit bereits öfter hingewiesen worden. Die Nutzung der Erdwärme kann einerseits rein thermisch erfolgen, wobei je nach der Wasser- oder Dampf temperatur zu unterscheiden ist (rein balneologische Zwecke über 15° , Warmwassererzeugung über 35° , Gewächshauskulturen über 60° , Raumheizung, industrielle Verwendung etwa über 80°). Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme kommt praktisch nur bei Temperaturen über $130\text{--}140^\circ$ in Betracht. Obwohl die durchschnittliche Wärmestromdichte von $0,05 \text{ W/m}^2$ beinahe überall vorhanden ist, kommen für die effektive Nutzung nur jene Gebiete in Frage die zufolge ihrer geologischen Struktur einen mehr konzentrierten Strom produzieren können. An solchen Stellen wird die Entwicklungsmöglichkeit der Erdwärmenutzung im Allgemeinen positiv beurteilt, obwohl heute noch die spezifischen Errichtungskosten für geothermische Kraftwerke (etwa 2400—2500.— $\$/\text{kW}_e$) ein mehrfaches von den fossilen Kraftwerken betragen. Diese Ansicht wird durch eine Zunahme der Kapazität solcher Kraftwerke von 17,5%/a in den letzten 5 Jahren — hauptsächlich

in den Entwicklungsländern — unterstützt. Für reine Heizungsanlagen erwartet man eine etwas langsamere Steigerung [1]. Soll eine Bodenverschmutzung durch die Ablagerung von mitgeführten Verunreinigungen vermieden werden, so sind entweder Reinigungsanlagen für das benutzte Wasser vorzusehen, oder — was besser ist — muss dieses wieder zurückgepresst werden.

Die hauptsächliche Bedeutung der Windenergie liegt in ihren geopolitischen und umweltfreundlichen Vorteilen, eine größere Verbreitung dürfte aber diese Energieform auch zukünftig nur lokal, oder an besonders günstigen Stätten regional erlangen. So kommen in erster Linie Kleinanlagen an isolierten Lagen und Windradfarme mit Einheiten zwischen 750 und 1500 kW_e in Betracht. Es sind aber auch noch viele Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu leisten.

Zusammenfassung

Es kann festgestellt werden, daß die ergänzenden Energieformen aus den behandelten, verschiedenen Gründen niemals einen totalen Ersatz für die klassischen Energieträger bilden können. Sie sind eben nur als „additive“ Energieformen zu behandeln. Dessen ungeachtet sollen dieselben aber aus vielen Gründen — in erster Linie wegen der Schonung der Umwelt vor Gefahren, die mit der Nutzung der klassischen Energieformen verbunden sind — im technisch und wirtschaftlich vertretbaren maximalen Ausmass in Anspruch genommen werden. Es sei aber betont, daß — um Fehlinvestitionen zu vermeiden — Entscheidungen, die die Nutzung von ergänzenden Energieformen bezwecken, stets durch sehr sorgsame und umfangreiche Forschungen und Untersuchungen vorzubereiten sind. Fragen, wie das energetische Potential von großen Gebieten, die langzeitige, Jahres-, saisonale und tägliche Verteilung dieses Potentials, die als Folge der Nutzung auftretenden eventuellen Erscheinungen, die voraussichtliche Entwicklung der Energiepreise und viele andere mehr, sind mit grösster Aufmerksamkeit zu verfolgen. Die Notwendigkeit eines internationalen Informationsaustausches versteht sich von selbst.

Literatur

1. WEC Survey of Energy Resources, 1986.
2. WEC World Energy Balance 2000—2020, 12th Congress, New-Delhi, 1983. Conservation Commission.
3. "Meteorology and Energy". World Meteorological Organization. 12th Congress of WEC, New-Delhi 1983, 4. 101.

4. "Energy in a Finite World" International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, 1981.
5. "Energy and Nuclear Power Planning in Developing Countries" International Atomic Energy Agency, Vienna, 1985. Technical Report Series no. 245.
6. FAO: «Etudes Forêts 42: Disponibilités de bois de feu dans les pays en développement» Rome 1983.
7. HOLTZ, A. C. T. — FIGUEIREDO, P. A. — SERRA M. T. F.: "An Assesment of the Energy Transition in Brazil Using 1973/84 Energy Balances." 13th Congress of WEC, Cannes, 1986. 1.1 3.

Prof. Dr. András LÉVAI, H—1022 Budapest Fillér utca 56