DK 620.92/.93

Andere Primärenergiequellen

Von Dr. A. Voss, Dipl.-Phys. V. Bundschuh, Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Meiß und Ing. (grad.) D. Oesterwind, Jülich

1. Einleitung

Die Verfügbarkeit von Energie ist zweifelsohne eine der Grundvoraussetzungen für eine funktionierende Industriegesellschaft. Der Weltenergieverbrauch von jährlich 65×10^9 MWh wird heute zu 94% durch die fossilen Energieträger Erdöl, Kohle und Erdgas gedeckt. Die Reserven des Erdöls und Erdgases werden aber bei weiter ansteigendem Energieverbrauch schon gegen Ende dieses Jahrhunderts weitgehend erschöpft sein. Die steigenden Preise dieser Energieträger sind die ersten Anzeichen für die sich abzeichnende Verknappung. Umfangreiche Modelluntersuchungen [1] über die längfristigen Entwicklungsmöglichkeiten der Energieversorgung haben ergeben, daß mit der Erschließung der Kernenergie - sie allein hat heute unter den nicht fossilen Primärenergiequellen einen Entwicklungsstand erreicht, der eine baldige Substitution von Erdöl und Erdgas ermöglicht - ausreichende Energiemengen für mehr als ein Jahrhundert zur Verfügung stehen. Dies heißt aber für die anderen Primärenergiequellen, daß ihre Nutzung bzw. die Entwicklung neuer Nutzungstechnologien nicht mehr mit einer allgemeinen Energieverknappung motivierbar ist. Ihre Entwicklung wird nur dann gerechtfertigt sein, wenn ihre Nutzung wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt, die Umweltbelastung vermindert und die regionale Versorgungssicherheit erhöht. Vor diesem Hintergrund sollen im folgenden die Bedeutung der Geothermie, der Gezeiten-, Wind-, Wellen- und Gletschereisenergie, sowie der Meereswärme für die zukünftige Energieversorgung näher untersucht werden. Gemäß dem Stand des Wissens können dabei nur erste vorläufige Aussagen und Abschätzungen gemacht werden. Eine fundierte Beurteilung dieser Energiequellen wird erst nach Abschluß einer von uns im Auftrag des BMFT gerade begonnenen Untersuchung möglich sein.

2. Energie-Flußbild der Erde

Die Energiequellen, die dem Menschen zur Nutzung zur Verfügung stehen, lassen sich einteilen in:

1. die chemische und nukleare Energie, die im äußeren Teil der Lithosphäre und in den Weltmeeren gespeichert ist;
2. den Energiestrom, der die Erde aus dem Weltraum - im wesentlichen in Form der kontinuierlichen Sonnenstrahlung - erreicht,
3. die kinetische Energie der Planeten,
4. die thermische Energie des Erdinnern.

Im B i l d 1 sind diese Energiequellen und die durch sie hervorgerufenen Energieflüsse auf der Erde schematisch dargestellt. Wind, Wellen und die Meereswärme, auf die später noch genauer eingegangen wird, sind indirekte Formen der Sonnenenergie.

3. Geothermische Energie

In zunehmendem Maße wird über die Nutzung der schon seit alters her bekannten Erdwärme diskutiert. Eine unter amerikanischer Führung international zusammengesetzte Forschungsgruppe versucht z.Zt., die Entwicklung kleiner geothermischer Kraftwerke von 500-3500 kW voranzutreiben, mit dem Ziel

- auch in schwer zugänglichen, normalerweise von der Außenwelt abgeschnittenen Gebieten elektrische Energie zu liefern, sowie
- die regionale Versorgungssicherheit zu verbessern [3] .

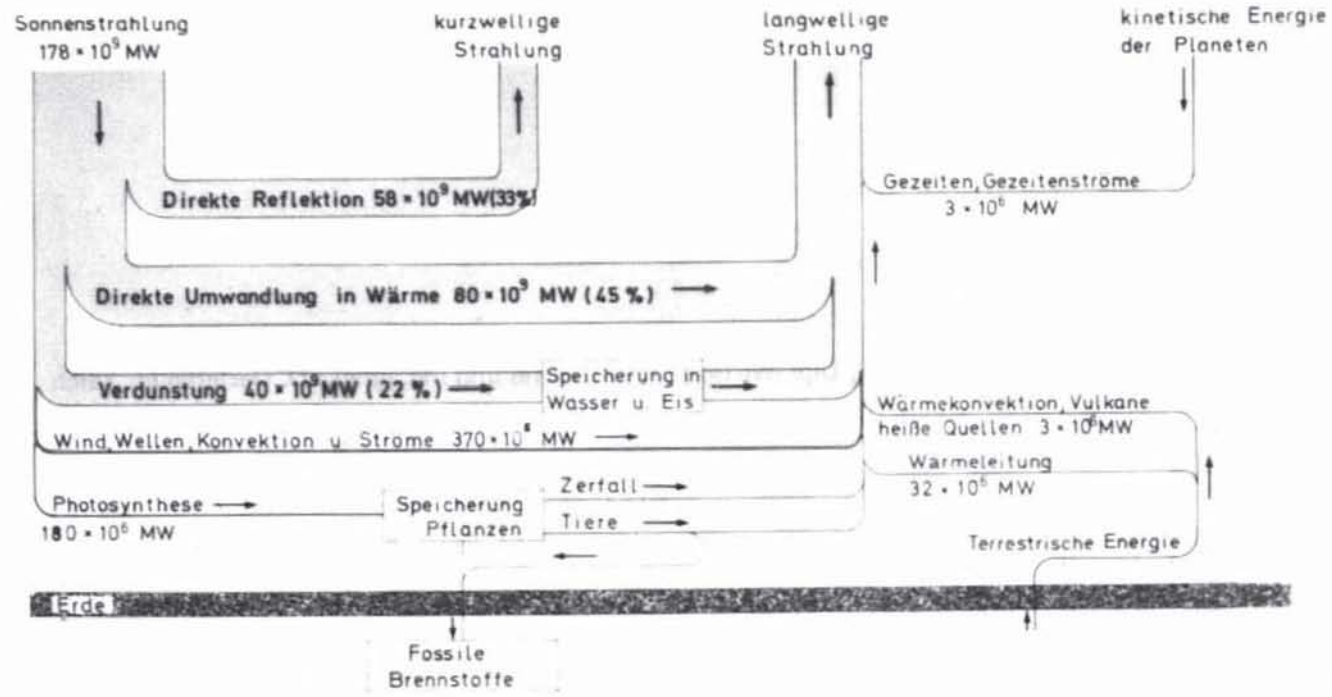

Bild 1. Energie-Flußbild der Erde nach [2]

Ebenso versucht auch Japan, zur größeren Versorgungssicherheit die einheimischen geothermischen Energiequellen zu erschließen [4] . Geothermische Energiequellen sind vor allem in vulkanischen Gebieten anzutreffen, wo das Magma nahe an die Erdoberfläche tritt. Bei günstigen geologischen Verhältnissen (Bild 2) wird der Magma-Einschluß von einer wasserundurchlässigen und einer porösen Gesteinsschicht umgeben, die nach oben von einer weiteren halbdurchlässigen Schicht überlagert ist. Dabei wird das in das poröse Gestein abgesickerte Wasser durch die Wärme des Magma überhitzt. Werden diese aus überhitztem Wasser und Dampf bestehenden Reservoire durch natürliche oder künstlich angebohrte Spalten mit der Erdoberfläche verbunden, so kann der unter hohem Druck stehende Dampf entweichen und als Energiequelle genutzt werden. Das gesamte Potential der Erde an geothermischer Energie wird bis zu 10 km Tiefe auf $4 \cdot 10^{20}$ Joule geschätzt [6] . Mit einem Umwandlungsfaktor von 0,25 wären damit 28.000 TWh an elektrischer Energie erzeugbar. Wird unterstellt, daß dieser Energiebetrag innerhalb der nächsten 50 Jahre abgeführt wird, so ergibt sich eine mittlere elektrisch zu installierende Kraftwerksleistung von 64 GW. Das bisher bekannte Potential kann aber nach Meinung amerikanischer Spezialisten durch eine systematische Suche erheblich vergrößert werden. In der BRD hat

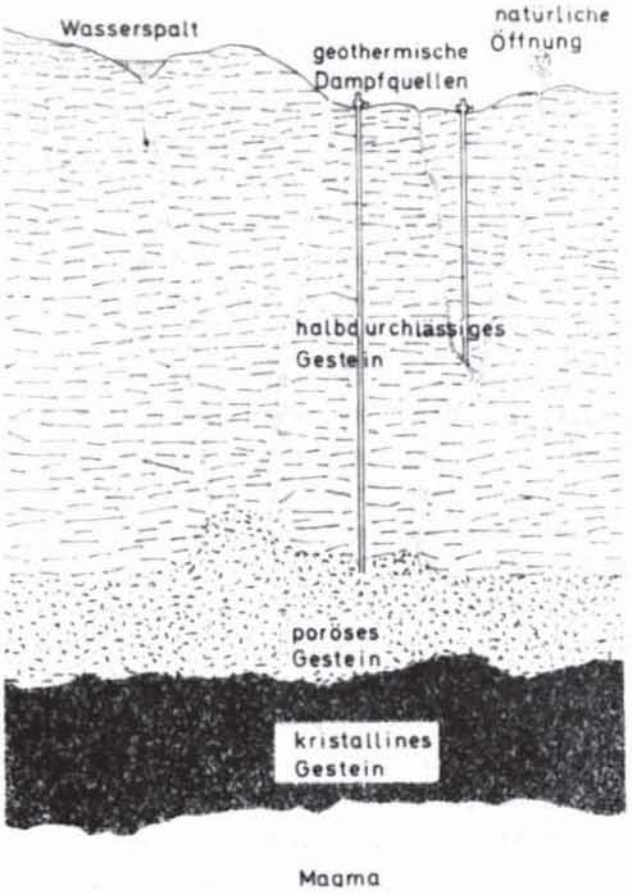

Bild 2. Geologische Formationen einer geothermischen Quelle, nach [5]

das Bundesministerium für Forschung und Technologie der Bundesanstalt für Bodenforschung in Hannover einen Auftrag erteilt, Pläne für die Nutzung der geothermischen Energie in Westdeutschland zu erarbeiten. Mögliche Nutzungsgebiete sind hier die Eifel, der Westerwald, der Vogelsberg, die Rhön, das Uracher Vulkangebiet, der Hegau und die Pfalz, In diesen Ge-

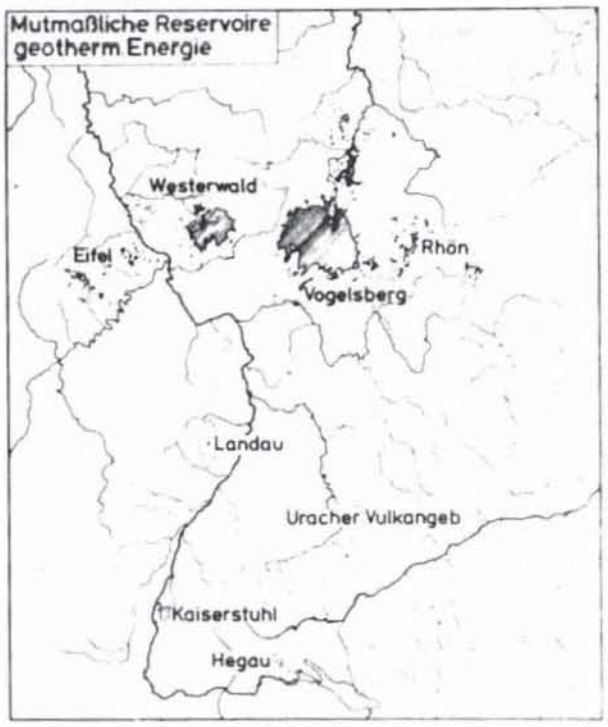

Bild 3. Mutmaßliche Reservoire geothermischer Energie in der Bundesrepublik Deutschland

bieten rechnet man in mehr als 10 km Tiefe mit Temperaturen von etwa 300°C [7] .
Eine Übersicht der bisher auf der Erde genutzten geothermischen Vorkommen zeigt Tafel 1 [8] .
Die Vorkommen, die den geothermischen Kraftwerken zur Verfügung stehen, lassen sich in drei Gruppen aufteilen:
- trockene Dampfquellen
- nasse Dampfquellen
- Heißwasserquellen

Der aus der Trockendampfquelle strömende Dampf kann direkt für die Beaufschlagung von Turbinen benutzt werden. In Tafel 2 sind die charakteristischen Daten für ein solches Kraftwerk zusammengestellt [9] . Hierbei handelt es sich um eine Anlage in Larderello in der italienischen Provinz Toskana. Hier wurde im Jahre 1904 das erste geothermische Kraftwerk der Welt in Betrieb genommen.

Tafel 1. Installierte Leistung und erzeugte Energie geothermischer Kraftwerke im Jahr 1970

Land	installierte Leistung 1970 MW	erzeugte elektrische Leistung GWh
Island	2,6	12
Italien	402	2725
Japan	31	243
Mexiko	4	
Neuseeland	192	1185
USA	84	525
insgesamt	715,6	4690

Bei nassen Dampfquellen liegt das Wasser unter Druck bei etwa 180 bis 370°C in flüssiger Form vor. Während des Ausströmens entsteht ein Wasserdampfgemisch mit ca. 10 bis 20 Gewichtsprozenten Dampf. Der Dampf wird einer Turbine zugeleitet. Für das heiße Wasser werden verschiedene Nutzungsmöglichkeiten vorgeschlagen, z.B. Heizung und Klimatisierung sowie Trinkwassergewinnung. Wegen der hierbei entstehenden Transportprobleme haben diese Nutzungsmöglichkeiten jedoch nur eine eng begrenzte regionale Bedeutung. Die Heißwasserquellen bieten vom technischen Standpunkt aus die ungünstigste Voraussetzung für die Nutzung der geothermischen Energie. Das mit einer Temperatur von 50-80°C unter Normaldruck austretende Wasser kann nicht sofort zur Beaufschlagung einer Turbine benutzt werden. Zur Nutzung dieses heißen Wassers sind verschiedene Verfahren möglich. Dabei sollen niedrigsiedende Flüssigkeiten wie Freon oder Isobutan als Arbeitsmittel benutzt werden, das über einen Wärmeaustauscher durch das heiße Wasser verdampft wird. Durch den geringen Wirkungsgrad sowie die hohen Kosten wird diese Technologie jedoch für die Zukunft kaum relevant sein.

Ein neuartiges Verfahren, zur Nutzung geothermischer Energien besteht darin, heißes Gestein mit einer Temperatur von ca. 300°C zur Erhitzung von Wasser auszunutzen. Die Überlegungen gehen dahin, 2 Bohrlöcher parallel nebeneinander bis in eine Gesteinsschicht von 300°C zu treiben. Anschließend wird durch ein Bohrloch Wasser unter Druck nach unten gepreßt. Das in die Erde gepumpte Wasser heizt sich am Gestein auf

Tafel 2. Daten des geothermischen Kraftwerks in Larderello/Italien

Einheiten	3·14,5	MW
	2·11	MW
Gesamt-Leistung	65,5	MW
Dampfdurchsatz	580	t/h
Dampfzustand	207	°C
(absolut)	5	at

und steigt durch die zweite Bohrung wieder nach oben. Sollte sich dieses Verfahren als praktikabel erweisen, wären auch geothermische Lager nutzbar, die keine natürlichen Wasserreservoire haben.

Daß die Nutzung der geothermischen Energie auch wirtschaftlich ist, zeigt die Tafel 3 [10] , in der die Stromerzeugungskosten geothermischer Kraftwerke aufgeführt sind.

Tafel 3. Stromerzeugungskosten von geothermischen Kraftwerken

Kraftwerk	Leistung MW	Stromerzeugungskosten (1968) Pf/kWh
The Geysers	28	1,6
Larderello	128	0,9
Wairakei	192	1,34
Cerro Prieto	150	1,23
Cerro Prieto	30	1,47

Bei einem Vergleich mit konventionellen Kraftwerken (Stromerzeugungspreis zwischen 1,8 und 3,5 $\frac{Pf}{kWh}$) ist neben der Kostendegression bei steigender Leistung, die für die fossilen und nuklearen Kraftwerke spricht, zu berücksichtigen, daß durch die Standortgebundenheit der geothermischen Kraftwerke die Fortleitungskosten höher liegen als bei fossil oder nuklear betriebenen Kraftwerken.

Zur Umweltbelastung durch die Ausnutzung geothermischer Energie sind folgende Punkte zu erwähnen:

- Der geringe Wirkungsgrad führt zu einer größeren thermischen Belastung der Umwelt
- Der den Quellen entströmende Dampf enthält chemische- und Feststoffbeimengungen, die neben Korrosionsproblemen auch zu Umweltproblemen führen.
- Das Kondensatwasser enthält Beimengen von Schwefel, Ammoniak und Bor; diese Stoffe sind Fisch- bzw. Pflanzengifte und können somit nicht ungereinigt mit dem Oberflächenwasser abgeleitet werden.
- Der im Dampf enthaltene Schwefelwasserstoff führt zu Geruchsbelästigungen der Umgebung.
- Die langfristige Entnahme von Wasser aus der Erde kann zu Erdsenkungen führen.

Zur Lösung dieser Umweltprobleme müssen Reinigungsanlagen mit installiert und/oder das Abwasser wieder in das Feld zurückgepumpt werden. Erweist sich das Zurückpumpen als praktikabel, so würden sich eventuell auch die mit einer langfristigen Entnahme von Wasser aus der Erde verbundenen Erdsenkung vermeiden lassen.

4. Gezeitenenergie

Die Gezeitenenergie ist genau wie die Sonnenenergie eine Energiequelle die sich ständig regeneriert.

Durch das Abschließen von nätürlichen Küstenbecken mit einem Damm entsteht ein Gefälle im Wasserniveau zwischen dem Meer und den abgetrennten Becken. Das während der Flut in das Becken einfließende und das rückströmende Wasser bei Ebbe kann dann zum Antrieb von hydraulischen Turbinen genutzt werden. Die gezeitenerzeugenden Kräfte sind die periodischen Schwankungen der Gravitationskräfte zwischen der Erde und den Planeten. Da die Massenanziehung proportional den Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung der Massen ist, spielen für die Gezeitenentstehung auf der Erde nur der Mond und die Sonne eine Rolle. Dabei führt der Einfluß der Sonne zu periodischen Resonanzerscheinungen der Gravitationskräfte, die die gezeitenerzeugende Kraft bei Neu- und Vollmond verstärken; man spricht dann von einer Springtide. Hebt die Sonne im ersten und letzten Mondviertel einen Teil der Gravitationskräfte des Mondes auf, so entsteht eine Nipptide. Die Sonne ist also verantwortlich für die grossen Schwankungen des Tidenhubes (Unterschied zwischen Ebbe und Flut) und damit auch für das ungleichmäßige Angebot an potentiell nutzbarer Energie. Die Gezeitenbewegung macht sich auf der Erde in erster Linie durch das Steigen und Fallen des Meeresspiegels bemerkbar. Aber auch die Lithosphäre und die Atmosphäre unterliegen dem Gezeitenablauf.

Die kinetische Energie der Gezeiten wird durch Reibung letztlich in Wärme umgewandelt, dadurch geht kinetische Energie des Systems Erde-Mond-Sonne verloren. Man hat nun in langjährigen Beobachtungen und Mes~~sungen festgestellt, daß sich der Erdtag~~ pro Jahr um $20 \cdot 10^{-6}$ s verlängert und daß sich der Abstand Mond-Erde jährlich um 3 cm vergrößert. Die Abnahme der Rotationsener-

gie der Erde liefert die für die Abstandsvergrößerung des Mondes und die für die Gezeitenströme notwendige Energie. Aus diesen astronomischen Angaben kann die kinetische Energie, die durch die Gezeiten dissipiert, abgeschätzt werden. Die Angaben schwanken zwischen 2,6 - 3 TW Die potentielle Energie der Gezeiten entspricht damit etwa 40% des heutigen Weltenergieverbrauches.
Für die Nutzung der Gezeitenenergie ist natürlich ein möglichst großer und konstanter Tidenhub erwünscht. Ein konstanter Tidenhub ist - wie schon erläutert - durch die Einwirkung der Sonne nicht gegeben. Für die Höhe eines Tidenhubs sind neben den augenblicklichen Gravitationskräften vor allem die natürlichen geographischen Verhältnisse wie Ausdehnung und Tiefe des Beckens und die Größe der Eingangsöffnung wichtig. Unter günstigen Bedingungen, die aber nur an wenigen Stellen der Erde vorkommen, treten Springtidenhübe von mehr als 15 m auf, während die Gezeitenhübe auf dem offenen Meer gewöhnlich unter 1 m liegen.
In T a f e l 4 [2,11] sind die günstigsten Standorte mit ihrem Leistungspotential und der möglichen jährlichen Energiegewinnung zusammengestellt. Das gesamte Leistungspotential dieser Standorte von 64 GW entspricht nur etwa 2% des gesamten Wasserkraftpotentials aller Flüsse der Erde.

Obwohl große Gezeitenkraftwerksprojekte schon seit einem halben Jahrhundert diskutiert werden, nahm das erste Gezeitenkraftwerk in der Rance-Mündung in Frankreich erst im Jahre 1966 seine Arbeit auf. Der Gezeitenhub schwankt hier zwischen 3,3 und 13,5 m, im Mittel beträgt er 8,4 m. Die Anlage hat eine Kapzität von 240 MW, die auf 320 MW erweitert werden soll.
B i l d 4 [12] zeigt die Betriebsweise eines Gezeitenkraftwerks. Die schraffierte Fläche gibt die Höhendifferenz der Wasserspiegel wieder. Charakteristisch ist, daß trotz Pumpenbetriebs täglich zweimal eine Unterbrechung der Stromerzeugung erfolgt. Die Unterbrechungen fallen zum Teil, weil sie sich täglich infolge der mittleren Tidendauer von 12 Stunden und 25 Minuten um 50 Minuten verschieben, auch in die Spitzenlastzeiten. Diese Eigenschaft ist ein gravierender Nachteil bei der Nutzung der Gezeitenenergie für eine kontinuierliche Stromerzeugung. Schwerwiegende Umweltbeeinflussungen durch die Nutzung der Gezeitenenergie sind nicht festgestellt worden. Die verringerten Belüftungszeiten der eingedämmten Wassermengen lassen einen verringerten Sauerstoffumsatz und damit vielleicht Auswirkungen auf die Entwicklung der Fische und der Mikroorganismen erwarten. Insgesamt bleibt festzustellen, daß das Potential der nutzbaren Gezeitenenergie zu gering ist, um jemals einen entscheidenden Beitrag zur Weltenergieversorgung leisten zu können.

Tafel 4. Leistungspotential der Gezeitenenergie

Ort oder Gebiet	mittleres Leistungspotential GW	mögliche jährliche Energieerzeugung TWh
Nordamerika Fundybai (9 Standorte)	29	225
Südamerika Argentinien San Jose	5,8	51,5
Europa England Severn	1,68	14,7
Frankreich (9 Standorte)	11,1	97,8
UdSSR (4 Standorte)	16	140,4
insgesamt	63,6	559,4

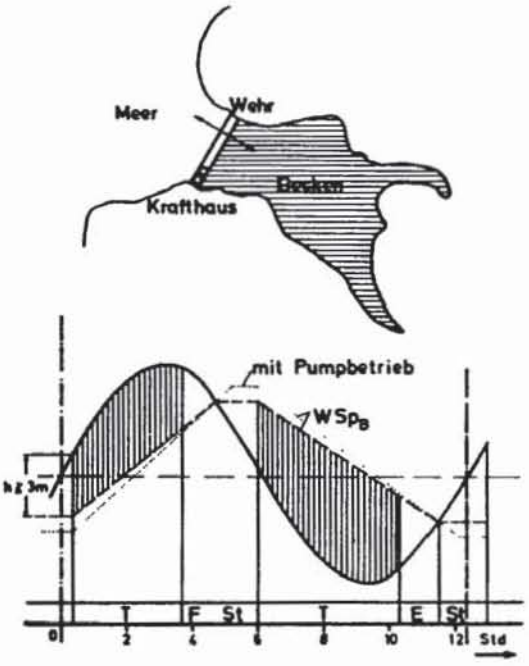

Bild 4.
Betriebsdiagramm eines Gezeitenkraftwerkes

T = Turbinenbetrieb
F = Füllung
St = Stillstand
E = Entleerung
WSp_B = Wasserspiegel im Becken

Wegen der zu geringen Tidenhübe an den deutschen Küsten erscheint insbesondere hier die Nutzung der Gezeitenenergie wenig sinnvoll.

5. Windenergie

Die durch die Windenergie erzeugbare elektrische Leistung ergibt sich aus der pro Zeiteinheit auf eine Einheitsfläche senkrecht zur Windrichtung auftreffenden kinetischen Energie. Durch den Eingang der Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz in die Gleichung zur Berechnung der elektrischen Leistung von Windkraftanlagen ergibt sich das Problem der Suche eines Standortes mit regelmäßig hoher Windgeschwindigkeit.

Im Mittel liegt die Windgeschwindigkeit in der BRD zwischen 3 und 4 $\frac{m}{s}$. Dies entspricht einer maximal möglichen Leistung von 17 bis 41 $\frac{W}{m^2}$. Sieht man von den schon im Mittelalter betriebenen Windmühlen ab, dann lag die großtechnische Nutzung von Windmühlen um die Jahrhundertwende, als allein an der Nordseeküste zwischen Holland und Dänemark rund 1.000000 Windmühlen für mechanische Arbeiten genutzt wurden. Durch die zunehmende Bereitstellung fossiler Brennstoffe wurde es möglich, fossile Kraftwerke mit höheren Leistunden bei gleichzeitiger Steigerung der Betriebsstundenzahl (Verfügbarkeit) zu installieren, wodurch das Interesse an Windkraftwerken zurückging. Die weltweiten Energiediskussionen geben den Windkraftwerken ~~erneut Auftrieb. Sowohl in den Vereinigten~~

Bereitstellung fossiler Brennstoffe wurde es möglich, fossile Kraftwerke mit höheren Leistungen bei gleichzeitiger Steigerung der Betriebsstundenzahl (Verfügbarkeit) zu installieren, wodurch das Interesse an Windkraftwerken zurückging. Die weltweiten Energiediskussionen geben den Windkraftwerken erneut Auftrieb. Sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in Europa sind seit geraumer Zeit kleine Windkraftwerke (100 kW) in Betrieb, die auch über längere Zeit erfolgreich erprobt wurden. In den USA sind sogar 1 MW-Windkraftwerke geplant und man erwartet, daß im Jahre 2000 etwa 20% des jährlichen Bedarfs der USA an elektrischer Energie mit Windkraftwerken gedeckt werden kann. Die bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiet haben gezeigt, daß die Ausnutzung der Windenergie (mit Geschwindigkeiten von 5 - 10 $\frac{m}{s}$) technisch beherrschbar und realisierbar ist [13]. Insbesondere durch die Weiterentwicklung der letzten Jahre auf dem Gebiet der Steuerung, der Gestaltung der Rotoren (Glasfiber) sowie des Hochbaues kann mit konkurrenzfähigen Stromerzeugungskosten gerechnet werden.
Auf mögliche Veränderungen der Windverhältnisse in Gebieten, in denen größere Windkraftwerke installiert werden, sowie auf eine Umgestaltung des Landschaftsbildes sei hier nur hingewiesen.

6. Wellenenergie

Durch die Einwirkung von Wind- und Sonnen~~strahlung auf die Meeresoberfläche treten~~ Wellen in Perioden von wenigen Sekunden mit unterschiedlicher Amplitude im Meer auf. Die direkte Ausnutzung dieser kinetischen Energie ist wegen der geringen Wellenhöhe nicht sinnvoll. Zur Erzeugung elektrischer Energie wird deshalb die geringe Amplitude der Wellenbewegung in eine größere Fallhöhe mit kleinerem Volumenstrom transformiert, die den Antrieb einer Wasserturbine mit kleinen Abmessungen erlaubt. Technisch läßt sich dies dadurch erzielen, daß ein von der Wellenbewegung getriebener größerer Kolben seine Energie über einen kleinen Kolben an ein Arbeitsmedium (Wasser) überträgt und damit auf der Sekundärseite eine Fallhöhenvergrößerung entsprechend den Durchmesserverhältnissen der Kolben bewirkt. Diese größere Fallhöhe (Druckerhöhung) des Arbeitsmediums wird dann über eine Turbine in elektrische Energie umgewandelt, wobei die periodischen Schwankungen der Wellenenergie durch einen Speicher des Arbeitsmediums ausgeglichen werden können. Nach Abschätzungen von H. K a y s e r [14] kann ein Wellengenerator von 2 m Durchmesser bei einer durchschnittlichen Wellenhöhe von 2,5 m und einer Wellenperiode von 7 s etwa 1 kW elektrische Leistung abgeben, wobei der Gesamtwirkungsgrad (Turbine, Generator, u.s.w.) mit 70% angenommen worden ist.

Eine andere Möglichkeit zur Ausnutzung der Wellenbewegung ergibt sich aus der Brandung an den Küsten. Da auch hier die Druckdifferenz wegen der zu geringen Wellenampli-

tude für eine direkte Umwandlung in elektrische Energie nicht ausreicht, ist eine Druckerhöhung mit Hilfe einer Druckdose vorgeschlagen worden. Mit Hilfe einer flexiblen Menbrane wird die Brandung aufgefangen und an ein zweites Medium zur Druckerhöhung abgegeben. Ein in Amerika entwickelter Brandungsgenerator soll bei einer Wellenhöhe von 1,35 m auf einer Länge von einer Meile bereits ca. 22 MW, bei einer Wellenhöhe von 3,3 m sogar 147 MW liefern.

7. Meereswärme

Die Weltmeere bilden einen der größten natürlichen Speicher von Sonnenenergie. Z e n e r [15] schätzt, daß allein die in den tropischen Ozeanen gespeicherte Energie ausreichen würde, die für das Jahr 2000 erwartete Weltbevölkerung von 6 Milliarden Menschen mit einem Pro/Kopf Verbrauch an Energie zu versorgen, der dem der USA von 1970 entspricht. Diesen Abschätzungen liegt ein Kreisprozess zugrunde, dem Ammoniak oder eine andere niedrig siedende Flüssigkeit wie Ereon, Frigen oder Propan als Arbeitsmedium dient. (B i l d 5) Es wird vom warmen Oberflächenwasser erhitzt (25°C) expandiert unter Energieabgabe in einer Turbine und kondensiert schließlich am kalten tiefen Wasser (5°C), wodurch ein Temperaturgefälle von 20°C ausgenutzt wird.

Die Teilkomponenten eines auf diesem Prozeß basierenden Meereswärme-Kraftwerkes sind hinlänglich bekannt und technologisch problemlos. Schwierigkeiten ergeben sich bei dem Versuch einer wirtschaftlichen Nutzung jedoch aus dem sehr niedrigen Carnot-Wirkungsgrad von nur 3,3% [15]. Die Menge an Meerwasser, die etwa für ein 100 MW-Kraftwerk durch den Verdampfer strömen müßte, betrüge 700 cbm/s [17]. Ein Teil dieser Strömungsenergie könnte bei geschickter Wahl des Standorts des Systems durch die Meeresströme selbst aufgebracht werden, würde aber sicher zu Problemen der Verankerung führen. Die Lösung dieser Schwierigkeiten bringt in jedem Falle eine Verteuerung des Kraftwerks mit sich. Optimistische Abschätzungen geben zwar bei bojenartiger Anordnung von Verdampfer, Turbine und Kondensator (B i l d 6) und einer Verankerung des Systems in 60 m Tiefe (Druckausgleich) die Gesamtkosten mit etwa 1 Pfg/kWh an [18], berücksichtigen jedoch nicht die Kosten für den Transport des Stromes zum Verbraucher. Das Problem des Energietransportes ist unseres Erachtens überhaupt das schwerwiegendste Hindernis beim Versuch einer wirtschaftlichen großtechnischen Nutzung der Meereswärme. Darüber hinaus müssen die Auswirkungen, die sich aus der Abkühlung der Meeresoberfläche und der Erwärmung der tieferen Meeresschichten ergeben, berücksichtigt werden. Der beschriebene Kreisprozeß ist jedoch nur eine

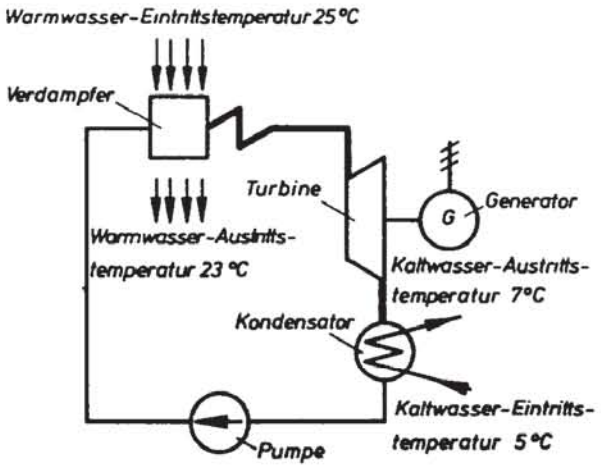

Bild 5. Ammoniak-Kreisprozeß zur Nutzung von Meereswärme, Quelle: [15]

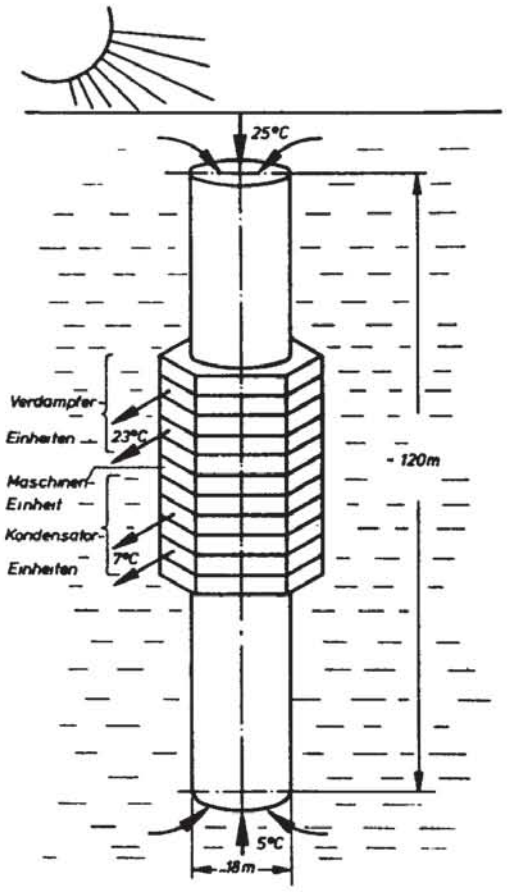

Bild 6. Version eines Meereswärme-Kraftwerkes, Quelle: [15]

der möglichen Anwendungen zur Nutzung von Meereswärme. Es bleibt zu untersuchen, ob sich ihr Einsatz zur Gewinnung von Trinkwasser und Mineralien in einem offenen Meerwasserzyklus als sinnvoll erweist.

8. Gletschereisenergie

Etwa 1% der Gesamtwassermenge der Erde ist in den Eismassen der Polargebiete und der Hochgebirge gespeichert. Sieht man von den großen Eismengen an den Erdpolen ab, dann befindet sich der Rest des Eises auf dem Festland vornehmlich auf einem Höhenniveau, das beträchtlich über dem Meeresspiegel liegt. Das gebundene Wasser stellt somit eine Speicherung potentieller Energie dar, deren Quelle die Sonnenenergie ist.
Die Nutzung der Energie der Schmelzwasser ist bis heute beschränkt auf klimatisch gemäßigte und geographisch geeignete Zonen, die es gestatten das Schmelzwasser in künstlich angelegten Stauseen unterhalb des Gletschers zu sammeln und dann unter Ausnutzung eines ausreichenden Höhenunterschiedes mit Hilfe von Wasserkraftturbinen in Elektrizität umzuwandeln.

Es sind aber auch Konzepte vorgeschlagen worden, die das Schmelzwasser auf den Gletscheroberflächen in natürlichen oder künstlich angelegten Becken sammeln wollen. H. Stauber [16] hat vorgeschlagen mit dieser Methode Gletscherkraftwerke in Grönland zu betreiben. Grönland bietet wegen seiner mächtigen, auf einem hohen Niveau gegenüber dem Meeresspiegel liegenden (bis 3000 m) Inlandeismassen günstige Voraussetzungen für den Betrieb von Gletscherkraftwerken. Das in den Sommermonaten sich bildende Schmelzwasser wird über ein weitverzweigtes Kanalsystem in Staubecken geleitet, die auf der Gletscheroberfläche künstlich angelegt werden. Anschließend wird es in an der Küste stehenden Kraftwerken in Elektrizität umgewandelt. Allein durch die Nutzung der jährlichen Niederschläge, d.h. ohne die Gletschereisreserven anzugreifen, wären nach Staubber jährlich etwa 900 - 1800 TWh in 10 grossen Gletscherkraftwerken zu gewinnen. Dies wären etwa 2,8% des heutigen Weltenergieverbrauchs. Die so erzeugte elektrische Energie müßte dann über eine Entfernung von ca. 2500 km nach Europa bzw. Nordamerika transportiert werden.

9. Ausblick

Versucht man aufbauend auf dem bisher Gesagten eine erste Beurteilung dieser Energiequellen, im vollen Bewußtsein, daß eine endgültige Aussage über die Rolle dieser Energiequellen für die zukünftige Energieversorung weiterer Untersuchungen bedarf, so könnte diese wie folgt aussehen.
Das bisher bekannte Potential der nutzbaren geothermischen Dampfquellen ist mit 64 GW so gering, daß die Geothermie nur dann einen nennenswerten Beitrag zur Dekkung des Energiebedarfs leisten kann, wenn es gelingt, die trockenen geothermischen Lager nutzbar zu machen. Die Entwicklung der hierzu notwendigen Technologien erfordert sicher noch erhebliche Geldsummen.

Die Nutzung der Gezeitenenergie ist beschränkt auf wenige geographisch günstig gelegene Gebiete. Das Leistungspotential dieser Standorte beträgt aber nur 64 GW. Ein wesentliches Nachteil der Nutzung der Gezeitenenergie ist die diskontinuierliche Stromerzeugung.

Bei der großtechnischen Nutzbarmachung der Wind-, Wellen- und Gletschereisenenergie, sowie der Meereswärme sind noch eine Reihe technologischer Probleme zu überwinden, deren Lösung für die Beurteilung dieser Energiequellen ausschlaggebend sind. Alle hier besprochenen Energiequellen, mit Ausnahme der Windenergie, sind gekennzeichnet durch ihre Standortgebundenheit, die einen Transport der Sekundärenergie oft über tausende von Kilometern zu den Verbrauchsgebieten erfordert. Die Umwelteffekte der Nutzung dieser Energieträger sind z.T. qualitativ anderer Art als die bei fossilen und nukleaken Kraftwerken. Die mangelnden Kenntnisse der Umweltbelastungen durch diese Energiequellen führt häufig zu einer Unterschätzung ihrer Auswirkungen. Bewußt irreführend ist es aber von einer Energieerzeugung ohne Umweltbelastung zu sprechen.
Abschließend läßt sich feststellen, daß diese Energieträger zur Lösung der mittelfristigen Energieversorgungsprobleme, d.h. zu einer schnellen Substitution von Erdöl und

Erdgas wohl nicht nennenswert beitragen können, dazu ist z.T. ihr Potential zu klein und/oder ihr technologischer Entwicklungsstand noch nicht weit genug vorangeschritten.

10. Schrifttum

[1] Voss, A.: Ansätze zur Gesamtanalyse des Systems Mensch-Energie-Umwelt, Jül-982-GR, KFA-Jülich 1973

[2] Hubbert, M.K.: The energy resources of the earth. Scientific American, vol. 225, Sept. 1971

[3] Amerika Dienst, Wissenschaft und Technik, 41/1973

[4] Ministry of International Trade and Industry: Japan's Sunshine Project, March, 1974

[5] Barnea, I.: Geothermal Energy, Scientific American, 1972

[6] White, D.E.: Geothermal Energy. U.S. Geol. Sarv. Circ. 519, Washington 1965

[7] Hammond, A.L., - Metz, W.D., Maugh II, T.H.,: Energie für die Zukunft, Frankfurt 1974

[8] Lagler, K.F.: Statistical Yearbook 1971, United Nations

[9] Leardini, T, Tongiorgi, E: Utilization of Geothermal Energy in Italy: Recent development in Research, Production and Utilization of natural Steam Resources. World Power Conference, Moskau 1968.

[10] Alonso, A., Fernandez, G., Guiza, J.: Power Generation in Mexico from Geothermal Energy, World Power Conference, Moskau 1968.

[11] Hubbert, M.K.: Energy Resources for Power Production, IAEA-SM-146/1, 1971

[12] Bischoff, G., Gocht, W.: Das Energiehandbuch, Braunschweig 1970

[13] Knoernschild, E.M.: Die Energieversorgung mit Windkraftanlagen, interner Bericht der DFVLR 1973

[14] Kayser, H.: Energieversorgung durch Wellengenerator, in: mt Mitteilungen 1974, Februar, Nr. 1

[15] Zener, C.: Solar Sea Power, Physics today, January 1973

[16] Kollbrunner, C.F., Stauber, H.: Gletscherkraftwerke in Grönland, Zürich 1972

[17] Baier, W.: Energie aus den Tropenmeeren?, FAZ, 15.5.1974

[18] Anderson, J.H., Anderson, J.H.: Thermal power from seawater, 100,000 kW at 3 mils/ kW, Mech.Engr.,April 1966 zitiert nach: Lavi, Zener: Plumbing the ocean depths A new source of power, IEEE spectrum, October 1973