Regenerative Energiequellen im Spannungsfeld zwischen öffentlichen Erwartungen und technisch-ökonomischer Realität

Von *Alfred Voß*, Stuttgart *)

DK 620.91

Der Verfasser macht den Versuch, den Stand der Entwicklung, die Entwicklungsperspektiven sowie die noch bestehenden Probleme derjenigen Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen aufzuzeigen, die für die Bundesrepublik Deutschland von Bedeutung sein könnten. In Anbetracht der niedrigen Energiepreise kann festgestellt werden, daß trotz großer technischer Fortschritte keine der neuen Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen heute schon wirtschaftlich konkurrenzfähig ist. Allerdings weist der Verfasser darauf hin, daß viele Techniken noch ein erhebliches Entwicklungspotential aufweisen. Die Alternative »Kernenergie oder Sonnenenergie« stellt sich somit heute nicht.

Bei einem Außenstehenden könnte das enorm gestiegene öffentliche Interesse, das den regenerativen Energiequellen seit jüngster Zeit in unserem Land entgegengebracht wird, die Vermutung aufkommen lassen, daß bei der Entwicklung der Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen entweder technologische Durchbrüche oder aber zumindest merkliche Entwicklungs- und Kostensenkungserfolge erzielt worden sind. Bei genaueren Nachforschungen würde sich aber herausstellen, daß dies nicht der Fall ist. Im Gegenteil, die wirtschaftlichen Perspektiven und die Konkurrenzfähigkeit der meisten Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen hat sich 1986 durch den drastischen Rückgang der Öl- und Energiepreise deutlich verschlechtert.

So bleibt wohl nur die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl als Erklärung für die lauter gewordene Forderung nach einer verstärkten Nutzung und Förderung der regenerativen Energiequellen.

Und in der Tat sind die regenerativen Energiequellen für diejenigen, die einen Ausstieg aus der Kernenergie fordern, neben der Energieeinsparung und einer vorübergehend verstärkten Nutzung der Kohle, die dritte wesentliche Säule, die diesen Ausstieg aus der Kernenergie ermöglichen soll. Durch die öffentliche Energiediskussion seit Tschernobyl sind bei Teilen der Bevölkerung große Hoffnungen und euphorische Erwartungshaltungen bezüglich der Nutzung der regenerativen Energiequellen, wie der Wasserkraft, der Windenergie, der solaren Strahlung oder der Biomasse geweckt worden, die oft nicht mit der technisch-ökonomischen Realität in Einklang stehen.

Die Frage, welchen Beitrag die regenerativen oder erneuerbaren Energiequellen zukünftig werden leisten können, ist nicht neu, sie ist bereits 1974, also nach der ersten Ölpreiskrise gestellt und erörtert worden. Im Unterschied zu damals liegen heute aber zahlreiche Forschungsergebnisse, Demonstrationserfahrungen und in einigen Fällen auch bereits Ergebnisse von Markteinführungsversuchen vor, die Abschätzungen absichern und verläßlichere Antworten über den Beitrag der regenerativen Energiequellen zur Sicherstellung einer preisgünstigen, sicheren, umwelt- und sozialverträglichen zukünftigen Energieversorgung erlauben.

Hier soll der Versuch gemacht werden, den gegenwärtigen Stand der Entwicklung bei den verschiedenen Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen aufzuzeigen und die Aussichten und Entwicklungsperspektiven zu skizzieren, um, aufbauend auf einer nüchternen Bilanzierung und Bewertung besonders der ökonomischen Situation dieser Techniken, den möglichen Beitrag dieser Energiequellen zur Energieversorgung unseres Landes abzuschätzen. Damit soll gleichzeitig auch der Rahmen abgesteckt werden für den Handlungsbedarf der Energiepolitik in diesem Bereich.

In den nachfolgenden Ausführungen werden dabei weniger technische Details der einzelnen Nutzungssysteme regenerativer Energiequellen im Vordergrund stehen, als der Versuch, die Perspektiven dieser Techniken im Kontext zu ihren Alternativen und den energiepolitischen Zielen zu erläutern.

Ein Blick zurück

Bevor das eigentliche Thema erörtert wird, noch eine Vorbemerkung bzw. ein kleiner Exkurs, der, im Hinblick auf die energiepolitische Diskussion über die regenerativen Energiequellen, die natürlich nicht frei ist von Emotionen und Weltanschauungen, wichtig erscheint.

In geschichtlichen Zeiträumen gemessen, hat die Menschheit quasi bis vor kurzem nahezu ausschließlich von Energie aus regenerativen Energiequellen gelebt. Die Abkehr von den regenerativen Energiequellen und ihre Substitution durch Kohle, Erdöl und Erdgas vollzog sich in den letzten zwei Jahrhunderten parallel zur industriellen Entwicklung, die zumindest in den Industriestaaten den Menschen einen zuvor nicht gekannten materiellen Wohlstand bescherte und sie von schwerer körperlicher, ja menschenunwürdiger Arbeit entlastete. Beide Entwicklungen, die industrielle Revolution und der Aufbau der fossilen Energieversorgung verliefen dabei nicht unabhängig voneinander, sondern sie erforderten sich wechselseitig.

Die damalige Abkehr von den regenerativen Energiequellen war im wesentlichen begründet in ihrer unzureichenden Fähigkeit, einen steigenden Energiebedarf mit einer zunehmenden Bedarfsdichte zu dekken. Mit der Nutzung der Kohle und später des Erdöls und Erdgases war dann aber zwangsläufig der Aufbau zusammenhängender, überregionaler Energietransport- und -verteilungssysteme verbunden, weil die Orte der Energievorkommen und die des Verbrauchs räumlich getrennt waren und sind.

Parallel hierzu vollzog sich dann auch noch in vielen Bereichen der Energieversorgung eine Entwicklung hin zu größeren Anlagen, die z. B. bei den Kraftwerken zu einer Steigerung der Einheitsleistung von weniger als 1 MW auf 700 bis 1 300 MW (elektrisch) in den letzten hundert Jahren führte.

Die Steigerung der Einheitsleistung energietechnischer Anlagen und Geräte, die heute von einigen als Zentralisierung beklagt wird, war dabei nicht getragen von der Idee, daß Größe schön sei, sondern hatte ihre wesentliche Triebfeder in dem Bemühen, mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen rationeller umzugehen. Der Übergang zu großeren Leistungseinheiten führt – und hierfür gibt es eine Fülle von Beispielen – in der Regel zu einer Einsparung an Material, Fläche und Personal sowie zu einer Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs, d. h., zu einer besseren Energieausnutzung.

Und auch der Aufbau des elektrischen Verbundsystems, das heute für viele das exemplarische Beispiel einer abzulehnenden Großtechnik darstellt, war wesentlich motiviert von dem Gedanken der Einsparung, namlich der Einsparung von Kraftwerksleistung. Eine rein dezentrale elektrische Energieversorgung ohne ein vermaschtes Verbundnetz bedürfte eines Vielfachen an zu installierender dezentraler Stromerzeugungskapazität als man sie derzeit hat.

Mit diesem kurzen Blick zurück soll deutlich gemacht werden, daß die Forderung einer dezentralen oder auch sanften Energieversorgung, wie sie in jüngster Zeit wieder verstärkt zu vernehmen ist, durchaus im Konflikt mit den eigentlichen Zielen der Energiepolitik, z. B. dem des rationellen Umgangs mit der Energie und anderen Ressourcen stehen kann.

Schlagworte wie »zentral« und »dezentral«, »sanft« und »hart«, deren Inhalte oft nur unklar umrissen und mit gesellschaftspolitischen

---

*) Prof. Dr. *A. Voß* ist Leiter des Instituts fur Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart.

Vortrag, gehalten auf dem VDEW-Kongreß Stromversorgung '87 am 19. Mai 1987 in Kassel.

Vorstellungen befrachtet sind, können aus Sicht des Verfassers keine sinnvollen Ziele und Handlungsmaximen einer verantwortlichen Energiepolitik bezeichnen. Vielmehr sollte in diesem Kontext die Deckung der jeweiligen Versorgungsaufgabe durch ein ihr optimal angepaßtes System im Vordergrund stehen, was für das gesamte System der Energieversorgung zu einem Nebeneinander von dezentraler und zentraler Technik, von kleinen und großen Anlagen führen wird.

Auch die Perspektiven der Nutzung der regenerativen Energiequellen, die keineswegs, obwohl dieser Eindruck gelegentlich erweckt wird, mit einer dezentralen Energieversorgung gleichzusetzen sind, sind letztlich danach zu beurteilen, inwieweit sie im Vergleich zu anderen Energieträgern und Energietechniken in der Lage sind, die jeweilige Energieversorgungsaufgabe im Sinne der energiepolitischen Ziele zu erfüllen.

Bis auf wenige Ausnahmen sind die regenerativen Energiequellen gekennzeichnet durch niedrige Leistungs- bzw. Energiedichten, und ihre Verfügbarkeit ist zudem periodischen oder unregelmäßigen Schwankungen unterworfen, was zu einem vergleichsweise hohen Flächenaufwand für die Sammlung und Konzentration der Energie führt und andrerseits die Speicherung von Energie notwendig macht, um die Gegenläufigkeit von Energieangebot und -bedarf auszugleichen. Die Probleme der Nutzung regenerativer Energieträger resultieren im wesentlichen aus diesen beiden Eigenarten ihres natürlichen Angebots.

Von der Vielzahl der Techniken zur Nutzung regenerativer Energieträger, die prinzipiell für eine energetische Nutzung in Betracht kommen, sind aufgrund der klimatischen und sonstigen Gegebenheiten in unserem Land wohl nur die in *Bild 1* aufgezeigten von Bedeutung. Die Erzeugung von Wasserstoff mit Solarenergie ist hier auch aufgeführt, weil dieser Weg von einigen als die bedeutendste Option zum Import großer Mengen an Sonnenenergie angesehen wird.

Auf die passive Solarenergienutzung, worunter der gezielte Einbezug von Wärmegewinnen aus Sonneneinstrahlung über die Hülle eines Gebäudes zur Heizwärmeversorgung zu verstehen ist, soll hier ebenso wie auf die Wärmepumpen und die Wasserkraftnutzung nicht näher eingegangen werden.

Niedertemperatur-Kollektoranlagen

Zunächst nun zu den Nutzungsmöglichkeiten der solaren Strahlungsenergie. Das Angebot an solarer Strahlung in der Bundesrepublik Deutschland ist regional durchaus verschieden. So schwankt die jährlich auf eine horizontale Fläche einfallende Globalstrahlung zwischen 800 und 1200 kWh/m²a. Durch eine entsprechende Positionierung und Nachführung der Empfängerfläche läßt sich die verfügbare Strahlungsenergie unter günstigen Bedingungen, z. B. im süddeutschen Raum, auf rd. 1600 kWh/m²a anheben.

In sonnengünstigen Gebieten ist die verfügbare Strahlungsenergie aber zwei- bis dreimal so groß wie bei uns. Zu erwähnen ist noch, daß wegen des hohen diffusen Strahlungsanteils in der Bundesrepublik Deutschland für konzentrierende Kollektorsysteme sehr ungünstige Anwendungsbedingungen herrschen, so daß ihr Einsatz auf die Gebiete mit hoher Direkteinstrahlung begrenzt ist.

Aufgrund dieser natürlichen Klimabedingungen ergibt sich, daß eine direkte thermische Nutzung der Strahlungsenergie in unserem Land wohl auf die Erzeugung von Niedertemperaturwärme bis rd. 120 °C beschränkt ist.

- **passive Solarenergienutzung**
- **Niedertemperatur-Kollektoranlagen**
- **Wärmepumpen**
- **photovoltaische Systeme**
- **[solarer Wasserstoff]**
- **Windenergiekonverter**
- **Biomasse-Konverter**
- **Wasserkraftwerke**

Bild 1. In der Bundesrepublik Deutschland sinnvoll einsetzbare Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen

Als potentielle Einsatzgebiete für Niedertemperaturkollektoranlagen sind die Erwärmung von Schwimmbadwasser, die Warmwasserbereitung und die Raumheizung zu nennen.

Die Entwicklung des für Niedertemperaturanwendungszwecke (*Bild 2*) fast ausschließlich verwendeten Flachkollektors kann bis auf die Frage der Langzeitbeständigkeit heute als abgeschlossen angesehen werden. Die für die praktische Anwendung von Niedertemperaturkollektoranlagen wichtige Frage der optimalen Auslegung und Anpassung des Systems an den Verbrauch und seine zeitlichen Schwankungen ist dagegen noch nicht immer zufriedenstellend gelöst. Viele Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung konnten die in sie gesetzten Erwartungen in der Vergangenheit nicht erfüllen, weil sie falsch dimensioniert und dem Nutzungszweck nicht richtig angepaßt waren. Flachkollektorsysteme zur Brauchwassererwärmung mit selektiver Beschichtung und Einfachverglasung erzielen heute nutzbare Wärmeabgaben von 250 bis 350 kWh/m²a. Offen ist noch, ob die Flachkollektoren langfristig durch die leistungsfähigeren Vakuum-Röhrenkollektoren verdrängt werden. Ihre Energieausbeute liegt mit rd. 500 kWh/m²a fast doppelt so hoch, sie sind aber auch erheblich teurer.

Die Erwärmung von Schwimmbadwasser in Sommerfreibädern bietet besonders günstige Bedingungen für die Nutzung solarer Strahlung, da hier die erforderlichen Temperaturen und Aufheizspannen sehr niedrig sind und der Bedarf mit der Sonneneinstrahlung gleichzeitig anfällt. Die kostenintensive Speicherung entfällt, da das Beckenwasser selbst diese Funktion übernimmt. Heute verfügbare Flachkollektoren und Absorber für die direkte Erwärmung von Schwimmbadwasser sind sehr einfach aufgebaut und arbeiten zufriedenstellend.

Die Markteinführung von Flachkollektoranlagen ist nach einem anfänglichen Boom in den achtziger Jahren nicht weiter vorangekommen. Bis heute sind in der Bundesrepublik Deutschland etwa 230000 m² Kollektorflächen installiert, was etwa 30000 Anlagen entspricht. Die stark geschrumpfte Nachfrage ist wohl vor allem auf die mangelnde Wirtschaftlichkeit zurückzuführen.

Allein Anlagen für die Freibadwassererwärmung, die heute zu Kosten von 200 bis 300 DM/m² angeboten werden, sind mit Wärmegestehungskosten von rd. 10 Pf/kWh konkurrenzfähig.

Die Investitionskosten von solaren Brauchwarmwasseranlagen liegen heute einschließlich der Montage bei 1200 bis 1500 DM/m², woraus Wärmegestehungskosten von 50 bis 100 Pf/kWh resultieren. Die Kosten konventioneller Systeme liegen heute bei weniger als 20 Pf/kWh.

Die Kosten für Raumwärmesysteme sind noch weiter von der Wirtschaftlichkeitschwelle entfernt. Für diesen Anwendungsbereich ist davon auszugehen, daß konkurrierende Systeme, wie die Wärmepumpe weitaus früher wirtschaftlich wettbewerbsfähig sein werden, als solare Raumheizungssysteme.

Kostenreduktionsmöglichkeiten liegen bei den Flachkollektorsystemen in der Großserienfertigung und in einer optimierten Systemauslegung, sie sind aber wegen des hohen Anteils der Material- und Installa-

Entwicklungsstand
- Flachkollektoren technisch ausgereift
- hocheffiziente Vakuum-Röhrenkollektoren entwickelt

Markteinführung stagniert
- Bestand: 1984: 210000 m²
  1986: 230000 m²

Kosten
- Freibadwassererwärmung
  Investitionskosten 200 bis 300 DM/m²
  Wärmekosten ≈ 10 Pf/kWh
- Brauchwarmwasser
  Investitionskosten 1200 bis 2500 DM/m²
  Wärmekosten ≈ 50 bis 100 Pf/kWh

Probleme
- Systemauslegung
- Lebensdauer

Bild 2. Niedertemperatur-Kollektoranlagen

tionskosten an den Gesamtkosten nicht so hoch anzusetzen, daß auf absehbare Zeit ein wirtschaftlicher Einsatz zu erreichen wäre.

Photovoltaik

Die wohl eleganteste Art, die Primärenergiequelle Sonne zu nutzen, stellt die Solarzelle dar. Nachdem sich in den sechziger Jahren Solarzellen in der Raumfahrt hervorragend bewährt hatten, wurden auch terrestrische Anwendungen ins Auge gefaßt. Seit 1973 sind die Anstrengungen zur Entwicklung von Solarzellen für terrestrische Nutzungen erheblich verstärkt worden. Vor allem in den USA, in Japan und in den Ländern der Europäischen Gemeinschaft sind beachtliche Forschungs- und Entwicklungsprogramme angelaufen. Die deutsche Industrie nimmt auf dem Gebiet der Photovoltaik-Entwicklungen auf Basis von kristallinem Silizium im internationalen Vergleich eine führende Stellung ein.

Im Bereich der Solarzellen aus kristallinem Silizium werden heute zuverlässig funktionierende Zellen im industriellen Maßstab hergestellt. Das Zellenmaterial wird in mono- oder multikristalliner Form eingesetzt. Die Wirkungsgrade, die in industriellen Produktionen erreicht wurden, liegen bei bis zu 16 bzw. 13 %. Dünnschichtzellen aus amorphem Silizium erreichen heute einen Wirkungsgrad von 7% in der Produktion. Die Bestwerte von Laborzellen liegen bei 11,5% (*Bild 3*).

Hohe Wirkungsgrade können zwar zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Solarzellen beitragen, im Normalfall ist aber bei der Fertigung terrestrischer Solarzellen immer ein Kompromiß zwischen dem erzielbaren Wirkungsgrad und den Herstellkosten zu schließen. Wichtig erscheint hier auch noch der Hinweis, daß der Gesamtnutzungsgrad photovoltaischer Systeme durch Abschattungs-, Reflexions-, Leitungs-, Umwandlungs- und gegebenenfalls Speicherverluste deutlich geringer ist, als die in der Tabelle angegebenen Wirkungsgrade einer einzelnen Zelle.

Neben den Dünnschichtzellen auf Basis von amorphem Silizium wird an der Entwicklung anderer Materialien für Dünnschichtzellen gearbeitet (*Bild 4*). Zu nennen sind hier Galliumarsenid, Cadmiumsulfid/Cadmiumselenid, Kupferindiumselenid und Siliziumgermanium. Inwieweit sich mit diesen Materialien neue Wege zur Herstellung kostengünstiger Zellen eröffnen, läßt sich heute noch nicht abschließend beurteilen.

Trotz des bereits erreichten hohen technologischen Standes und der erheblichen Fortschritte der letzten Jahre hat die Photovoltaik noch ein großes physikalisch-technisches Entwicklungspotential. Dies gilt sowohl für die Dünnschicht-Solarzellen wie auch für die kristallinen Siliziumzellen, so daß heute noch nicht absehbar ist, welche Zellmaterialien und Herstellungsprozesse zu den kostengünstigsten Solarzellen und damit zur Wirtschaftlichkeit auch bei größeren Photovoltaiksystemen führen können.

Man schätzt, daß der Markt für Solarzellen im Jahre 1985 bereits ein Volumen von etwa 15 MW erreicht hat, was einem Umsatzvolumen der Photovoltaik(PV)-Industrie von weltweit etwa 250 Mio $ entspricht.

Dennoch war die Anwendung der Photovoltaik auf Kleinanwendungen in Marktnischen wie bei Uhren, Taschenrechnern oder kleinen dezentralen Stromerzeugungen beschränkt. Dies liegt in den hohen Kosten der Solarzellensysteme begründet.

Trotz erheblicher Kostensenkungen in den vergangenen zehn Jahren liegen die Kosten von Solarzellenmodulen für Anwendungen im größeren Leistungsbereich heute noch bei 10 bis 15 DM/W (peak). Dies ist erheblich mehr als die Kostenprognosen der späten siebziger Jahre vorausgesagt haben. Die Stromgestehungskosten von photovoltaischen Kraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland liegen damit heute zwischen 3 und 4 DM/kWh (elektrisch), in den sonnenreichen Ländern sind sie um einen Faktor 2 bis 3 geringer. Erwähnt sei noch, daß die Kosten für eine eventuelle Speicherung zur Anpassung der Erzeugung an die Nachfrage noch hinzuzurechnen wären. Eine Kostensenkung um einen Faktor 10 oder mehr wird also erforderlich sein, wenn die Photovoltaik eine größere energiewirtschaftliche Bedeutung erlangen soll.

Silizium-Material	Labor	Produktion
monokristallin	22 %	13 bis 16%
multikristallin	16 %	10 bis 13%
amorph	11,5%	5 bis 7%

Bild 3. Wirkungsgrade von Solarzellen

Entwicklungsstand
- kristalline Silizium-Zellen: hoher technologischer Stand
- Dünnschichtzellen: in Entwicklung

Marktsituation
- Weltmarkt 1985 ≈ 15 MW
- Kleinanwendungen in Marktnischen (Uhren, Rechner, dezentrale Stromversorgung)

Kosten
- Modulkosten: 10 bis 15 DM/W (peak)
- Stromgestehungskosten (Bundesrepublik Deutschland) 3 bis 4 DM/kWh

Entwicklungsziele
- Kostensenkung
- Systemoptimierung
- Langzeiterprobung

Bild 4. Photovoltaik

Ob und gegebenenfalls wann dies erreicht werden kann, ist trotz der bestehenden Kostenreduktionspotentiale heute nicht absehbar. Eine Fortführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist notwendig, um den Kostenzielen näher zu kommen. Pilot- und Demonstrationsanlagen können in diesem Kontext dazu beitragen, die System- und Anlagentechnik zu verbessern und praktische Erfahrungen mit photovoltaischen Energieerzeugungsanlagen zu sammeln.

Auch in der Bundesrepublik Deutschland planen einige Elektrizitätsversorgungsunternehmen den Bau von photovoltaischen Demonstrationsanlagen mit Leistungen von 500 kW bis zu einem MW.

Einer Erzeugung photovoltaischer Elektrizität in größerem Umfang setzt in unserem Land der dazu notwendige Flächenbedarf enge Grenzen. Dieses Problem läßt sich mit folgendem Beispiel verdeutlichen: Ein Solarzellenkraftwerk, das jährlich 10 TWh an elektrischer Energie erzeugen soll, dies entspricht der jährlichen Erzeugung eines Kernkraftwerkes mit einer Leistung von 1 300 MW (elektrisch), hätte einen Flächenbedarf von 100 bis 160 km².

In Gegenden, die näher am Äquator liegen, ist natürlich, aufgrund der höheren Solareinstrahlung, der für eine gleiche Energieerzeugung notwendige Flächenbedarf entsprechend geringer.

Dies ist ein Aspekt, der den Überlegungen zugrunde liegt, in sonnenreichen Gebieten Solarkraftwerke zu betreiben und die erzeugte Energie in die nördlich gelegenen Industrieländer zu transportieren. Die Idee der »Solar-Wasserstoff-Wirtschaft« hat ja in diesem Zusammenhang in jüngster Zeit eine gewisse Popularität und viel öffentliches Interesse erlangt.

Mit der Solar-Wasserstoff-Technik, die über den Import von Sonnenenergie aus sonnenreichen Ländern in Form von Wasserstoff zur Deckung unseres Energiebedarfs in großem Umfang beitragen soll, werden große Erwartungen verbunden und Hoffnungen auf eine Lösung unserer Energieprobleme geweckt.

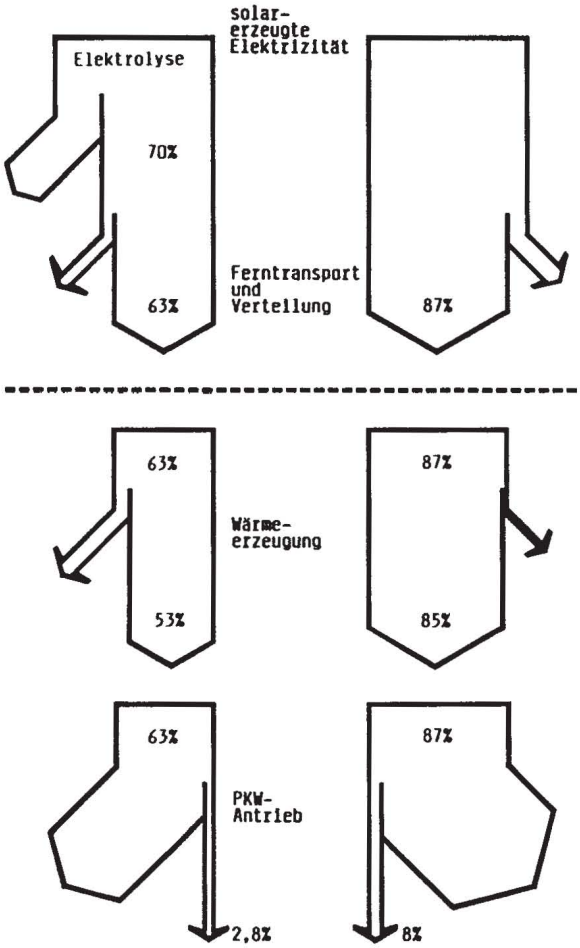
Da wird davon gesprochen, daß »Sonnenenergienutzung und solarer Wasserstoff das einzige geschlossene Kreislauf-Energiesystem« bilden und daß »Sonnenenergie und solare Wasserstoffenergie-Systeme ökologisch neutral« sein.

Aussagen, die bei genauerer Analyse so nicht richtig sind und die Gefahr in sich bergen, überzogene Erwartungen zu wecken und Enttäuschungen vorzuprogrammieren, die einer kontinuierlichen Weiterentwicklung sowohl der Solartechnik wie auch der Wasserstofftechnik wohl nur abträglich sein können. Eine nüchterne und realistische Einschätzung ist auch hier angebracht.

Bei der Solar-Wasserstoff-Technologie sind dabei der solare und der Wasserstoffbereich zu unterscheiden. Wasserstoff ist ein sekundärer Energieträger, der wie Strom mittels Einsatz von Energie, sei es nun aus der Sonne, der Kernenergie oder der Kohle erst hergestellt werden muß. Er ist weitgehend universell anwendbar, gut transportierbar und relativ gut speicherbar sowie bei richtiger Anwendung umweltfreundlich, da als Endprodukt seiner energetischen Umsetzung Wasser entsteht. Er hat also viele Eigenschaften mit dem Sekundärenergieträger Strom gemeinsam, ist ihm heute in der Speicherbarkeit überlegen, in dem Herstellungsaufwand aber unterlegen. Die nach dem heutigen Kenntnisstand aussichtsreichste Methode der Herstellung von Wasserstoff ist die Elektrolyse mit Strom. Damit ist die Herstellung von Wasserstoff naturgemäß technisch aufwendiger und energetisch verlustreicher, was bisher eine wirtschaftliche Erzeugung von Wasserstoff als Energieträger nicht erlaubt.

Bild 5 zeigt einen Vergleich der Gesamtnutzungsgrade von importiertem Solarstrom und Solar-Wasserstoff. Sowohl im Bereich der Wärmeerzeugung wie auch im Verkehrssektor, z. B. als Antrieb von Personenkraftwagen, ist der Wasserstoff dem Strom in bezug auf die energetischen Nutzungsgrade deutlich unterlegen. Ob der Wasserstoff diese energetischen Nachteile durch seine bessere Speicherbarkeit ausgleichen kann, ist eine Frage, die noch zu beantworten ist.

Die einzelnen Komponenten eines Wasserstoff-Energiesystems sind technisch verfügbar, wenn auch noch nicht ausgereift. Und auch der Umgang mit Wasserstoff, z. B. in der Chemie, ist wohlvertraut. Die weiteren Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen müssen zum einen darauf ausgerichtet sein, die bestehenden energetischen Nachteile gegenüber dem Konkurrenten Strom zu reduzieren sowie vor allem die Erzeugungskosten des Wasserstoffs zu senken.



16449.5

Bild 5. Nutzungsgradvergleiche H_2 und Strom

Wie hoch die Barrieren sind, die der solarerzeugte Wasserstoff noch überwinden muß, um ein wirtschaftlich konkurrenzfähiger Energieträger zu werden, mögen die folgenden Zahlen verdeutlichen.

Bild 6 zeigt Schätzungen der zukünftigen Gestehungskosten von importiertem Wasserstoff aus Sonnenenergie frei Grenze der Bundesrepublik Deutschland. Die Kosten des solarerzeugten Wasserstoffs werden dabei im wesentlichen bestimmt durch die Erzeugungskosten, d. h., die Kosten des Solarkraftwerks und der Elektrolyseanlage. Unterstellt man, daß die Kosten der Solarzellenmodule bis zum Jahr 2020 auf 1 DM/W (peak) und die des Elektrolyseurs von heute 1 000 bis 1 300 DM/kW (elektrisch) auf 500 DM/kW (elektrisch) gesenkt werden könnten, so würden die Kosten des Wasserstoffs bei etwa 17 Pf/kWh liegen. Zum Vergleich ist die Entwicklung des Erdgaspreises aufgeführt, wobei angenommen wurde, daß dieser real um 3 %/a ansteigt. Die Kosten des Wasserstoffs wären dann im Jahr 2020 immer noch doppelt so hoch wie der Erdgaspreis. Diese Zahlen dürfen nicht als Preisprognose mißverstanden werden. Sie sollen allein zur Verdeutlichung dienen, wie groß die Herausforderung ist, importierten solaren Wasserstoff zu einem wirtschaftlich tragfähigen Alternativenergieträger zu machen.

Aus heutiger Sicht ist solarerzeugter Wasserstoff eine technisch machbare Option für eine langfristige Energieversorgung, ob sie aber auch ökonomisch tragfähig werden kann, läßt sich noch nicht absehen.

Windenergie

Die Nutzung der Windenergie ist, wie die der meisten anderen regenerativen Energieträger auch, keine Erfindung der Neuzeit, sondern hat eine jahrhundertelange Tradition. So kann es nicht verwundern, daß man auch bei *Wilhelm Busch* einen Vers über die Windenergie findet. Zitat:

»Ärgerlich
Aus der Mühle schaut der Müller,
der so gerne mahlen will,
Stiller wird der Wind und stiller,
und die Mühle stehet still.

So geht's immer, wie ich finde
rief der Müller voller Zorn.
Hat man Korn, so fehlt's am Winde,
hat man Wind, so fehlt das Korn.«

Trotz dieser trefflichen Beschreibung der Probleme der Nutzung der Windenergie setzten ab etwa 1975 in zahlreichen Industriestaaten erhebliche Bemühungen ein, die Windenergie für die Energieerzeugung nutzbar zu machen, wobei die Erzeugung elektrischer Energie im Vordergrund stand.

Hinsichtlich der technischen Konzeption überwiegt bis heute die klassische Horizontalachsenbauweise. Die mit zunehmender Höhe über Grund zunehmende Windgeschwindigkeit, die mit der dritten Potenz in die gewinnbare Leistung eingeht, sowie die Erwartung von Kostendegressionseffekten mit Zunahme der Größe waren wohl die wesentlichen Motive für die Forschungs- und Entwicklungsprogramme von Windenergiekonvertern im Megawatt-Leistungsbereich.

		1986	2000	2020
Solarzellenmodul	DM/W	15 bis 25	5	1
Elektrolyseur	DM/kW	1 000 bis 1 300	700	500
H_2-Gestehungskosten	Pf/kWh		37	17
Erdgaspreis (Einfuhr) (3%/a Preissteigerung)	Pf/kWh	3	4,5	8,2

Bild 6. Kosten von importiertem Wasserstoff aus Sonnenenergie
Quelle: *Nitsch*, 1987

Bild 7 zeigt den Windenergiekonverter (WEK) »Growian«, der in der Nähe von Brunsbüttel in Norddeutschland errichtet wurde. Bei einer Turmhöhe von 100 m und einem Rotordurchmesser von 100,4 m beträgt die elektrische Nennleistung 3 MW. Die beim Versuchsbetrieb von Growian aufgetretenen Materialprobleme zeigen, daß die Anforderungen an die Materialfestigkeit bei diesen leistungsstarken Anlagen extrem hoch sind. Die Erfahrungen, die mit Growian gewonnen wurden, sollen beim Bau einer kleineren Nachfolgeanlage von 1,2 MW auf Helgoland berücksichtigt werden.

Große Windenergiekonverter befinden sich also noch im Stadium der Entwicklung und Prototyperprobung (*Bild 8*). Im Vergleich dazu ist der Entwicklungsstand bei kleinen Windkraftanlagen deutlich weiter fortgeschritten. Kleine Windkraftanlagen mit Leistungen bis zu etwa 100 kW werden heute weltweit von zahlreichen Herstellern aus einer serienmäßigen Produktion angeboten. Viele dieser Anlagen haben einen für die kommerzielle Nutzung ausreichenden Reifegrad erreicht.

Weltweit befinden sich heute rd. 16000 WEK mit einer Gesamtleistung von rd. 1500 MW (elektrisch) in Betrieb. Der Bestand in der Bundesrepublik Deutschland ist mit etwa 500 Anlagen vergleichsweise gering. Besonders in den USA und Dänemark sind in den letzten Jahren durch hohe Steuervorteile und hohe Vergütungspreise für den in das Netz eingespeisten Strom eine Vielzahl von Windenergieanlagen gebaut worden. Dabei sind in Kalifornien ganze Windfarmen entstanden.

Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen ist nicht einfach zu beantworten. Sie hängt neben den Kosten der Anlage von den standortabhängigen Windgeschwindigkeiten ab. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß Windenergie eine in der Verfügbarkeit weitgehend ungesicherte Energiequelle ist, die, wenn sie ins Netz einspeist, kaum andere Kraftwerkskapazität ersetzt, so daß ihr Betrieb im wesentlichen Brennstoff in anderen Kraftwerken einspart.

Die Herstellkosten großer WEK-Versuchsanlagen sind heute mit 6000 DM/kW (elektrisch) noch so hoch, daß eine Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist. Bei den kleinen Windenergiekonvertern konnten durch die Serienfertigung die Herstellkosten in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden. Die gesamten Investitionskosten liegen heute im Bereich von 2400 bis 3800 DM/kW (elektrisch). Abhängig von den herrschenden Windverhältnissen führt dies zu Stromgestehungskosten von 16 bis 25 Pf/kWh bei windgünstigen Standorten bzw. 30 bis 50 Pf/kWh bei Standorten mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s. Setzt man diese Kosten in Relation zu den Brennstoffkosten bei Kern- bzw. Kohlekraftwerken von 3 bis 12 Pf/kWh, so läßt sich erkennen, daß für eine breitere Markteinführung eine ausreichende Wirtschaftlichkeit noch nicht gegeben ist.

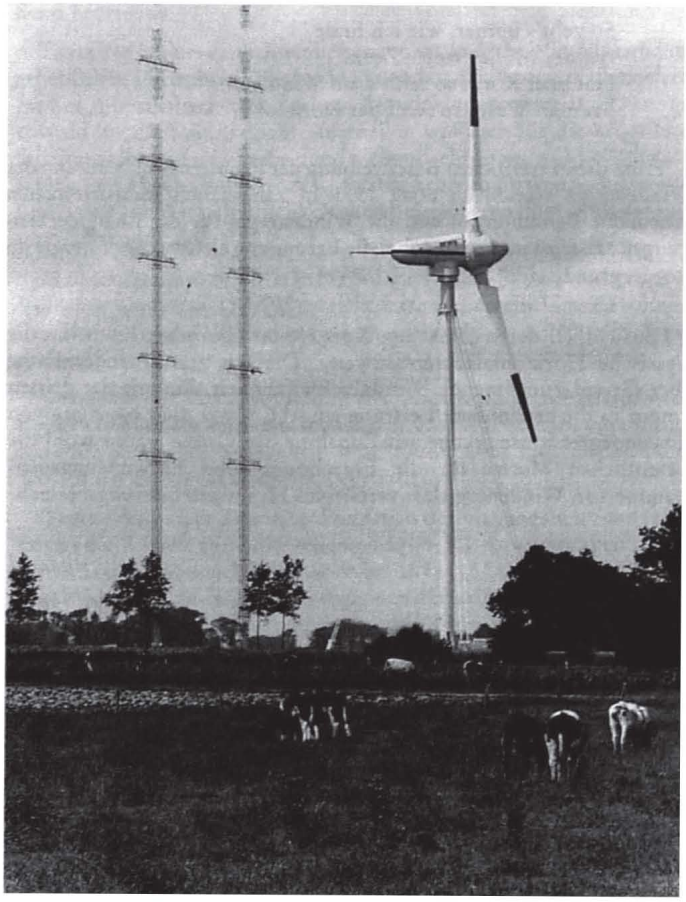


Bild 7. Windenergiekonverter »Growian«

Entwicklungsstand
- kleine WEK bis 100 kW (elektrisch) werden serienmäßig produziert
- mittlere und große WEK im Projektstadium

Markteinführung
- Bestand 1986
  weltweit rd. 16000 WEK, ~ 1500 MW (elektrisch)
  Bundesrepublik Deutschland rd. 500 kleine WEK

Kosten (kleine WEK)
- Investitionskosten: 2400 bis 3800 DM/kW
- Stromgestehungskosten
  $\bar{v} \approx 4{,}5$ m/s, 30 bis 50 Pf/kWh
  $\bar{v} \approx 6{,}0$ m/s, 16 bis 25 Pf/kWh

Anwendungsrestriktionen
- Standorte mit hoher Windgeschwindigkeit

Bild 8. Windenergie

Die wesentlichen Anwendungsrestriktionen der Windenergie resultieren aus der starken Abhängigkeit der Leistung und Energiegewinnung von den Windverhältnissen. Sinnvolle Standorte für Windenergiekonverter sind deshalb auf die Gebiete mit hohen mittleren Windgeschwindigkeiten begrenzt, in unserem Land also auf die Norddeutsche Küste sowie die Hochlagen der Mittelgebirge.

Um eine Vorstellung davon zu geben, was eine Nutzung des Windes im großen Umfang bedeutet, folgende Beispiele:

Um die gleiche Strommenge wie ein großes KKW zu erzeugen, sind 1000 große WEK mit einer Nennleistung von 3 MW (elektrisch) – wie Growian – und einem Rotordurchmesser von etwa 100 m notwendig. Wollte man die Strommenge mit WEK mittlerer Leistung (200 kW, Rotordurchmesser 40 m) bereitstellen, so wären 15000 Anlagen zu errichten.

Biomasse

Unter Biomasse sollen hier organische Substanzen verstanden werden, die über die Photosynthese der Pflanzen mit Hilfe solarer Strahlungsenergie entstanden sind.

Unter dem Sammelbegriff Biomasse sind gewöhnlich eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffe wie Holz, Stroh, Grünpflanzen aber auch tierische und landwirtschaftliche Abfälle subsummiert, die in einer Vielzahl von Verfahren mechanisch, thermisch oder auch biologisch veredelt werden können, um für energetische Zwecke zur Verfügung zu stehen.

Die Gewinnung, Umwandlung und Nutzung von Biomasse ist ein weites und komplexes Feld, dessen umfassende Darstellung mehr als einen Aufsatz erfordern würde. Deshalb können hier nur einige wesentliche Punkte angesprochen werden.

Für eine Beurteilung der energiewirtschaftlichen Bedeutung der Biomasse ist es notwendig, zwischen der Rückstands- und Abfallbiomasse sowie der Produktion von Biomasse allein für energetische Zwecke in Energieplantagen, zu unterscheiden.

Der energetischen Verwertung von Rückstands- und Abfallbiomasse (*Bild 9*), worunter neben den land- und forstwirtschaftlichen Abfällen wie Stroh und Holz auch die Tierhaltungsabfälle sowie der Müll und Klärschlamm zu verstehen sind, kommt unter dem Gesichtspunkt der Abfallentsorgung eine besondere Bedeutung zu. Jährlich fallen in der Bundesrepublik Deutschland etwa 70 Mio t organische Trokkensubstanz in Form von Rückstands- und Abfallbiomasse an, was einem Energieäquivalent von rd. 46 Mio t SKE entspricht.

Von diesem energetischen Potential der Rückstands- und Abfallbiomasse, läßt sich wegen konkurrierender Verwendungszwecke, z. B. wird Stroh als Einstreu, Futter- und Düngemittel genutzt, und wegen des notwendigen Sammelaufwandes nur ein Teil sinnvoll einer energetischen Verwendung zuführen. In verschiedenen Untersuchungen ist das nutzbare Potential der Abfall- und Rückstandsbiomasse mit rd. 10 Mio t SKE/a ermittelt worden, was etwa 3 % unseres heutigen Energieverbrauchs entspricht. Die Wirtschaftlichkeit einer energetischen Verwertung von Abfallbiomasse hängt natürlich von den jeweiligen Gegebenheiten ab. Generell gilt, daß sie sich dann besonders günstig darstellt, wenn die Abfälle in konzentrierter Form anfallen oder wenn sie ohnehin entsorgt werden müssen.

Angesichts des in vielen Regionen der Welt herrschenden Hungers kann man durchaus die Erzeugung von Biomasse allein für energetische Zwecke in Frage stellen.

Für eine Produktion von Biomasse mit Energieplantagen kommen besonders stärke- und zuckerhaltige Pflanzen, wie die Zuckerrübe, schnellwachsende Hölzer, wie die Pappel, oder ölhaltige Pflanzen, wie der Raps, in Betracht (*Bild 10*).

Unterstellt man einmal, daß die landwirtschaftliche Überschußfläche in unserem Land mit einer Größe von 1,6 Mio ha für den Energiepflanzenanbau genutzt werden könnte, so ließe sich mit dieser Fläche je nach angebauter Biomasse eine Energiemenge von 3 bis 12 Mio t SKE bereitstellen, was 1 bis 3 % unseres gegenwärtigen Primärenergieverbrauchs entspricht.

Anders als bei der Nutzung der Abfallbiomasse sind die aus dem energetischen Pflanzenanbau gewonnenen Energieträger heute wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. So werden die Produktionskosten von Bio-Ethanol aus technisch optimierten Großanlagen mit 1,5 bis 1,8 DM/l Benzinäquivalent angegeben, und die Gewinnung von Kraftstoff aus ölhaltigen Pflanzen führt zu Kosten von etwa 2,5 DM/l Dieseläquivalent. Diese Kosten sind zu vergleichen mit den heutigen Kraftstoffkosten ohne Mineralölsteuern, die bei rd. 50 Pf/l liegen.

Rückstands- und Abfallbiomasse
- land- und forstwirtschaftliche Abfälle
- Tierhaltungsabfälle
- Müll und Klärschlamm

Jährlicher Abfall
70 Mio t organische Trockensubstanz
≈ 46 Mio t SKE/a

Nutzbares Potential
rd. 10 Mio t SKE (entspricht 3% des Primärenergieverbrauchs)

Bild 9. Abfall- und Rückstandsbiomasse

Energiepflanzenanbau
- stärke- und zuckerhaltige Pflanzen
- schnell wachsende Hölzer
- ölhaltige Pflanzen

Potential
3 bis 12 Mio t SKE (landwirtschaftliche Überschußfläche)

Kosten (heute)
- Bio-Ethanol
  1,5 bis 1,8 DM/l Benzinäquivalent
- Pflanzenöl
  ≈ 2,5 DM/l Dieseläquivalent

Bild 10. Energie aus Biomasse

Energiequelle	Wirtschaftliches Potential 2000 (günstige Variante)
solare Strahlung	3,1
Windenergie	12,65
Wasserkraft	10,14
Biomasse	10,6
Geothermie	0,04
insgesamt	36,53
davon ausschöpfbar	17,5

Bild 11. Potential regenerativer Energiequellen in der Bundesrepublik Deutschland in Mio t SKE Quelle: DIW/ISI

Potentialabschätzung

In den bisherigen Ausführungen wurde versucht, den Entwicklungsstand und die Entwicklungsperspektiven derjenigen Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen darzustellen, die für unsere Energieversorgung bedeutsam werden können. Für die angesprochenen Systeme gilt, daß in der Forschung und Entwicklung, teilweise auch in der praktischen Demonstration im letzten Jahrzehnt erhebliche Fortschritte erzielt worden sind. Aber ebenso nüchtern bleibt festzustellen, daß, von wenigen speziellen Anwendungsfällen einmal abgesehen, keine der hier vorgestellten Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen heute wirtschaftlich wettbewerbsfähig ist.

Man wird mit Recht einwenden, daß sich dies in der Zukunft bei wieder steigenden Energiepreisen oder bei Ausschöpfung der Kostensenkungsmöglichkeiten ändern kann und daß die Wirtschaftlichkeit zwar wichtig ist, aber nicht das alleinige Kriterium für eine Bewertung aus energiepolitischer Sicht ist. Dies deutet schon einige der Schwierigkeiten an, mit denen man konfrontiert ist, wenn man eine Aussage über den zukünftigen Beitrag der regenerativen Energiequellen zu unserer Energieversorgung machen will.

Angaben über die Beiträge regenerativer Energiequellen zur Energieversorgung oder über ihre Potentiale sind wertlos, wenn nicht gleichzeitig die Randbedingungen und Annahmen deutlich gemacht werden, die den Abschätzungen zugrunde liegen. In der Vergangenheit sind eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt worden mit dem Ziel, den zukünftigen Beitrag der regenerativen Energiequellen zur Energieversorgung abzuschätzen. Die Ergebnisse fallen nicht stark auseinander, so daß es ausreichend ist, die Ergebnisse der jüngsten Untersuchung aus dem Jahr 1984 zu erläutern.

Die DIW/ISI-Studie hat zunächst das wirtschaftliche Potential der erneuerbaren Energiequellen, verstanden als die Bereiche, in denen die erneuerbaren Energiequellen bis zum Jahr 2000 konkurrenzfähig zu konventionellen Systemen sein können, abgeschätzt.

Die wesentlichen Annahmen, die der Ermittlung des wirtschaftlichen Potentials zugrunde liegen, sind ein Anstieg des Heizöl- und des Erdgaspreises auf rd. 13 Pf/kWh, ein realer Kalkulationszinssatz von 0,5 % sowie technologieabhängig Reduzierungen der Investitionskosten der Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen (*Bild 11*).

Unter diesen Annahmen wird das wirtschaftliche Potential der regenerativen Energiequellen im Jahr 2000 zu rd. 37 Mio t SKE abgeschätzt, dies entspricht 10 % unseres heutigen Primärenergieverbrauchs. Von diesem wirtschaftlichen Potential läßt sich aber aufgrund der erforderlichen Markteinführungszeiten und der Ersatzinvestitionszyklen bis zum Jahr 2000 nur ein Teil ausschöpfen, der mit 17,5 Mio t SKE angegeben wird.

Hiervon werden heute bereits durch bestehende Wasserkraftanlagen sowie Anlagen zur Verwertung von Abfallbiomasse etwa 8,5 Mio t SKE genutzt, so daß sich der zusätzliche Beitrag der regenerativen Energiequellen bis zum Jahr 2000 zu rd. 9 Mio t SKE ergibt. Diese Angabe ist vor dem Hintergrund der zugrunde gelegten Annahmen zu bewerten.

Risiken

Abschließend soll noch kurz auf den Aspekt der Risiken und Gefährdungen eingegangen werden, die mit der Energiebereitstellung verbunden sind.

Von dem Betrieb einer energietechnischen Anlage, z. B. eines Kraftwerks, können Gefährdungen für die Gesundheit und das Leben der Bevölkerung ausgehen, z. B. durch die Emission von Schadstoffen. Zu diesen Risiken, die von dem Betrieb der Anlage ausgehen, sind aber noch die Risiken der gesamten Brennstoffversorgung, der Entsorgung, die Risiken, die mit dem Bau einer Anlage direkt und indirekt verbunden sind, sowie die Risiken aus Unfällen und Störfällen hinzuzurechnen, will man das Gesamtrisiko, das mit der Nutzung eines Energieträgers ursächlich verbunden ist, ermitteln.

Verfolgt man die energiepolitische Diskussion in unserem Lande, so könnte man den Eindruck gewinnen, daß die Nutzung der erneuerbaren Energiequellen ohne Risiken für die Gesundheit und das Leben der Menschen ware.

Die Risiken, die vom Betrieb einer Anlage zur Nutzung regenerativer Energiequellen ausgehen, sind sicher vergleichsweise gering. Da diese Anlagen aber im Vergleich zu anderen konventionellen Energietechniken einen hohen Materialbedarf haben, sind unter Umständen die bei der Herstellung dieser Materialien existierenden Risiken nicht zu vernachlässigen.

In den letzten Jahren sind nun eine Reihe von Untersuchungen, besonders in Nordamerika, durchgeführt worden mit dem Ziel, die Gesamtrisiken verschiedener Energiesysteme, also alle Risiken, die mit dem Betrieb der Brennstoffver- und -entsorgung sowie mit dem Bau der Anlage verbunden sind, zu ermitteln.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen schwanken in weiten Bereichen, wie der Darstellung in *Bild 12* zu entnehmen ist. Als gemeinsamer Maßstab für die beruflichen und kollektiven Gesundheits- und Todesrisiken ist hier die Einheit »ausgefallene Arbeitstage« gewählt.

Die große Schwankungsbreite der Ergebnisse resultiert unter anderem aus unterschiedlichen Annahmen über die Dosis-Wirkungsbeziehungen von Schadstoffbelastungen, die nur unzureichend erforscht sind.

Weiterhin ist die Anmerkung wichtig, daß es sich bei den dargestellten Risiken durchaus um Risiken unterschiedlicher Natur, d. h. mit unterschiedlichen Ereigniskonsequenzen und Eintrittswahrscheinlichkeiten handelt.

Trotz dieser Unzulänglichkeiten der heute vorliegenden Risikovergleiche erlauben sie aber auch bei einer sehr vorsichtigen Wertung zumindest den Schluß, daß die Nutzung der regenerativen Energiequellen nicht frei von Risiken, d. h. Gefahren für die Gesundheit und das Leben der Menschen ist.

Schlußfolgerungen

In den obengemachten Ausführungen wurde der Versuch gemacht, den Stand der Entwicklung, die Entwicklungsperspektiven sowie die noch bestehenden Probleme derjenigen Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen aufzuzeigen, die für unser Land von Bedeutung sein können. Die heute vorliegenden Ergebnisse einer mehr als zehnjährigen Forschungs- und Entwicklungsphase erlauben die Aussage, daß trotz großer technischer Fortschritte, gerade in Anbetracht der niedrigen Energiepreise, keine der neuen Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen heute schon wirtschaftlich konkurrenzfähig ist, von wenigen speziellen Anwendungsfällen einmal abgesehen. Viele Techniken bieten aber noch ein erhebliches Entwicklungspotential, das es durch langfristig kontinuierlich angelegte Entwicklungsanstrengungen auszuschöpfen gilt. Dies mag viele Jahre oder gar einige Jahrzehnte erfordern, eine Erfolgsgarantie gibt es nicht.

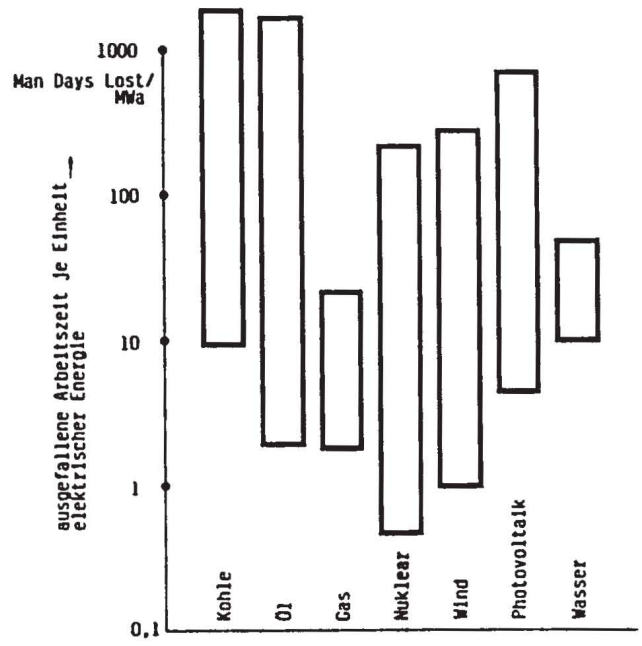


Bild 12. Risiken verschiedener Energiesysteme

Aus diesem Grunde stellt sich zumindest heute die Frage »Kernenergie oder Sonnenenergie« nicht. Die damit angesprochene Alternative ist heute nicht existent, und verantwortungsvolle Energiepolitik darf nicht nur auf dem Prinzip Hoffnung aufbauen. Gerade wenn uns die Förderung und Entwicklung der regenerativen Energiequellen und der rationellen Energienutzung am Herzen liegen, müssen wir Abschied nehmen von dem Entweder-Oder-Denken und dürfen Schlagworte und Ideologien, wie die der »dezentralen« und »sanften« Energieversorgung nicht zur Richtschnur unseres Handelns machen.

Diese Kategorien sind keine geeigneten Maßstäbe, wenn es um die Verwirklichung einer Energieversorgung geht, die den Bedürfnissen und Lebensverhältnissen der Menschen in modernen Industrienationen angepaßt ist. Es gibt keinen Grund, daß die Nutzung der Kernenergie, die rationelle Verwendung von Energie und die Nutzung der erneuerbaren Energiequellen sich nicht sinnvoll ergänzen können.

Die Förderung der regenerativen Energiequellen braucht einen langen Atem. Sie darf nicht von zufälligen Ereignissen abhängen oder gar auf kurzfristige Erfolge abgestellt sein. Euphorie und energiepolitische Alibiprojekte zur Beruhigung der Bevölkerung nach Tschernobyl sind in diesem Zusammenhang sicher kontraproduktiv. Forschung und Entwicklung enthalten Risiken und die Möglichkeit von Mißerfolgen. Auch noch so große Forschungsmittel sind keine Erfolgsgarantie. Aber wer nicht wagt, der nicht gewinnt, und mit Zögern und Zaudern werden die vor uns liegenden Herausforderungen zur Sicherung einer ausreichenden, preisgünstigen und umweltverträglichen Energieversorgung nicht zu meistern sein.

In diesem Sinne ist es dann auch ein Gebot der energiepolitischen Vernunft, den Techniken zur Nutzung regenerativer Energiequellen durch ausreichende Forschungsmittel und langfristig angelegte Entwicklungsprogramme – konzentriert auf die aussichtsreichen Technologien – und gegebenenfalls auch durch Markteinführungshilfen die gleichen Startchancen für einen auf dem freien Markt ausgetragenen Wettbewerb zu schaffen, wie dies bei anderen Versorgungsoptionen in der Vergangenheit auch der Fall war.