

krete Angaben über die Umsetzungsmöglichkeiten unvollständig. Es soll deshalb versucht werden, die in Bild 1 aufgezeigten Pfade kurz zu umreißen, wobei der Leser jedoch zum vertieften Studium auf die Fachliteratur verwiesen werden muß.

Wärme

Sonnenwärme gelangt direkt über Strahlung oder auf Umwegen über die Zwischenträger Luft, Wasser und Erdreich zu uns. Wie Bild 2 zeigt, kann man mit einer Wärmepumpe den genannten Medien die eingespeicherte Energie entnehmen und z.B. zur Raumheizung nutzen.

In Zukunft wird man in wachsendem Umfang geringe Temperatur-

unterschiede für die Erzeugung mechanischer bzw. elektrischer Energie erschließen müssen.

Mit den Betriebsstoffen Freon, Azeton, Butan, um einige zu nennen, lassen sich Expansionsmotoren oder -turbinen betreiben, die zwar nur einen geringen Wirkungsgrad erreichen, dafür aber Gratisenergie umsetzen und somit wieder wirtschaftlich arbeiten können. Als Beispiel für die Nutzung geringer Temperaturgefälle seien die Projekte zur Stromerzeugung in tropischen Gewässern genannt. Hier soll die Temperaturschichtung in Ozeanen als Energiequelle zur Stromerzeugung oder zur Wasserspaltung erschlossen werden.

Die direkte Umsetzung von Strahlungsenergie in Wärme mittels Flachkollektor ist bereits vielerorts ausführlich behandelt worden. Für unsere Breiten ergeben sich hier interessante Möglichkeiten im Niedertemperaturbereich. Da bekanntlich etwa die Hälfte der heute benötigten Energie zur Bereitstellung von Wärme für Heizung und Warmwasser benötigt wird, ist diese Art der Nutzung von Sonnenenergie auch bei uns von enormer wirtschaftlicher Bedeutung. Zu ergänzen wäre allenfalls, daß mit guten Flachkollektoren Warmwasser und Dampf für Wäschereien, Schlachthöfe, Färbereien, Holztrockner usw. heute schon während der Sommermonate wirtschaftlich erzeugt werden kann, wenn man sich weise auf das "Abernten" des hohen Energieangebots an sonnigen Tagen beschränkt.

Sicher wird man später auch mit Flachkollektoren, bzw. mit vakuumisolierten Röhrenkollektoren oder leicht fokussierenden Systemen auch bei uns Wärme zum Betrieb von thermischen Kraftwerken gewinnen, wobei viele der oben erwähnten, mit Kältemitteln betriebenen kleineren Expansionskolbenma-

schinen die großen konventionellen Dampfturbinen von heute ablösen werden. Die aufwendige Speicherung des am Tage produzierten Stromüberschusses kann bei bivalentem Betrieb der Anlage, also bei Nachtfeuerung mit solar erzeugten Brennstoffen, entfallen. Solche Anlagen gelten bereits heute in manchen Teilen der Erde als sehr wirtschaftlich. Bild 3 zeigt die in Petit Badon in der Camargue (vgl. "Sonnenenergie" 2/76 S. 12) erstellte Anlage von 108 Parabol- und 48 Flachkollektoren.

Sonnenöfen

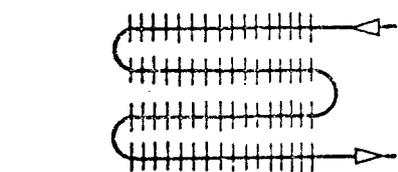
Stark konzentrierende Kollektoranlagen, etwa der bekannte "Sonnenofen" von Odeillo in Frankreich, erreichen enorm hohe Temperaturen von einigen Tausend Grad Celsius. Für die Herstellung von Metallen und keramischen Werkstoffen könnten solche Anlagen einmal große Bedeutung erlangen. Allerdings bedarf es für alle optischen Systeme direkter Sonneneinstrahlung. Für den kommerziellen Einsatz ist darüber hinaus die Aufstellung in einer sonnenreichen Gegend zu bevorzugen. Hier ergeben sich im Augenblick für die mitteleuropäische Industrie interessante Exportchancen in die sonnenreichen Gebiete des arabischen Raumes. Wird im Brennpunkt statt des Schmelztiegels ein Dampferzeuger installiert, dann läßt sich jedes fokussierende System auch als solar-thermisches Kraftwerk betreiben. Anlagen dieser Art, die normalerweise mit einem ölbefeuerten Zusatzkessel ausgestattet sind, entstehen zur Zeit an verschiedenen Orten. Bild 4 zeigt den schematischen Aufbau einer solchen Anlage.

Hochtemperaturwärme kann auch zur Thermolyse, d. h. zur Zerlegung von Wasser in seine Bestandteile eingesetzt werden. Verfahren dieser Art eröffnen interessante Gesichtspunkte für die Sonnenenergienutzung im nordafrikanischen Raum und für den Energietransport in Form von Wasserstoffgas über große Distanzen.

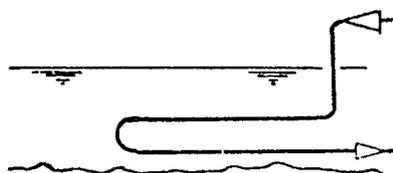
Wärmepuffer, bivalente Systeme

Bekanntlich kann man Wärme nicht als Wärme konservieren. Wärme fließt durch alle Wände in Richtung abnehmender Temperatur. Wärmedämmungen verlangsamen lediglich den Wärmefluß. Verhindern können sie ihn nicht. Wegen dieser physikalischen Grundtatsache sollte man alle sog. Wärmespeicher als Wärmepuffer betrachten, deren Aufgabe die kurzzeitige Glät-

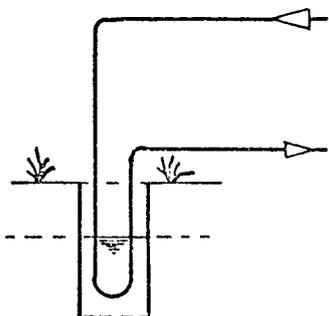
Wärmeentnahme



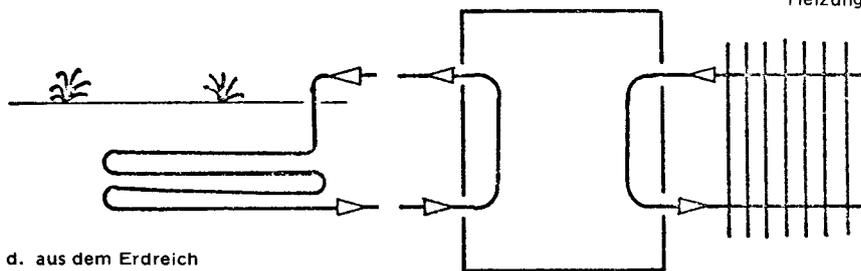
a. aus der Luft



b. aus fließenden oder stehenden Gewässern



c. aus dem Grundwasser



d. aus dem Erdreich

Bild 2: Möglichkeiten zur indirekten Nutzung der Sonnenenergie mittels Wärmepumpe

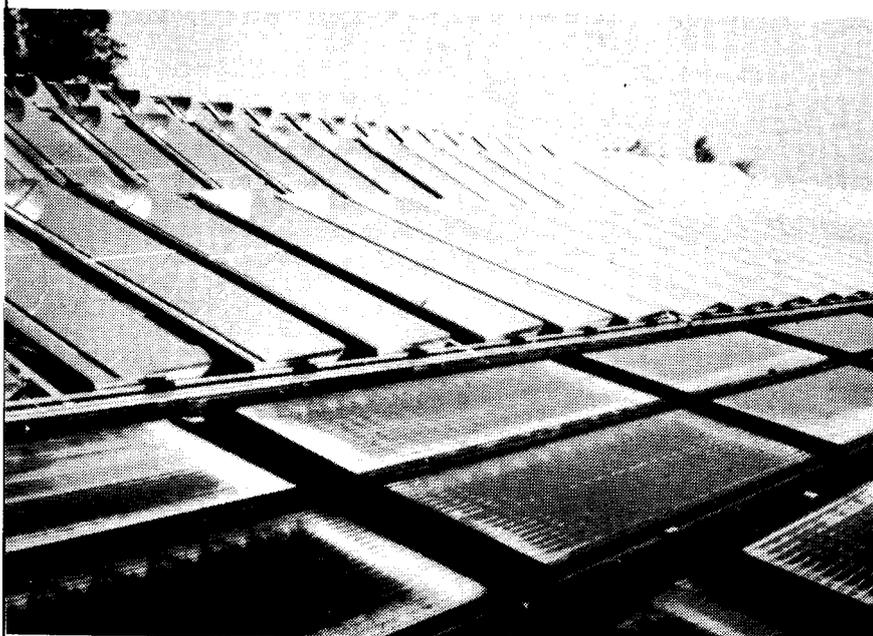


Bild 3: Kombination von 108 Parabol- und 48 Flachkollektoren in Petit Badon (vgl. „Sonnenenergie“ 2/76 S. 12)

tung von Wärmeangebot und -nachfrage ist und die im Regelfall mit einer Zusatzheizung zu einem betriebswirtschaftlich optimierten System ergänzt werden müssen. Als Zusatzheizung könnte in solchen bivalenten Anlagen sowohl der mit solar erzeugtem Brennstoff (Holz, Methan, Wasserstoff) gefeuerte Kleinkessel als auch ein elektrischer Heizstab oder die Wärmepumpe angesehen werden.

Die Langzeitspeicherung von Warmwasser wird für ausschließlich solar beheizte Einfamilienhäuser bis auf weiteres enorme Kosten verursachen. Die Nutzung von chemisch gespeicherter Energie, d.h. von solar gewonnenen Brennstoffen, in bivalenten Heizsystemen wird aller Voraussicht nach kostengünstigere Lösungen ermöglichen. Eine Ausnahme könnten die mit Erdschicht abgedeckten Großspeicher bilden. Bei minimaler Beeinträchtigung der Umwelt bieten sie vielleicht kostengünstige Möglichkeiten zur solaren Beheizung dicht besiedelter Wohnviertel. Auch die Weiterentwicklung sog. Latentwärmespeicher könnte eine wirtschaftliche Wende des Speicherproblems mit sich bringen.

Strom

Für die Erzeugung von elektrischem Strom aus regenerativen Energiequellen kommen wiederum direkte und indirekte Wege in Betracht. Offenbar stehen heute die indirekten Verfahren an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit, während die photovoltaische Konversion in großem Stil noch hohe Kosten verursacht.

Indirekte Verfahren

Durch zonale Energiezufuhr durch Sonneneinstrahlung werden in der Atmosphäre und in den Ozeanen Strömungsvorgänge ausgelöst, die global gesehen enorme Mengen an Bewegungsenergie mit sich tragen. Diese kinetische Energie kann an geeigneten Standorten mittels Wind- oder Wasserturbinen und Generatoren in elektrische Energie umgewandelt werden.

Durch ein im Verbund arbeitendes Netz von Windgeneratoren im norddeutschen Küstengebiet läßt sich ein beachtlicher Prozentsatz des heutigen Strombedarfs äußerst wirtschaftlich bei erstaunlich hoher Verfügbarkeit decken. Auch Wasserkräfte könnten

durch Kleinanlagen in verstärktem Umfang, dazu noch umweltfreundlich und kostengünstig (Fortfall der Energieübertragung), genutzt werden, obgleich bei uns eine wesentliche Ausweitung der hydroelektrischen Energieerzeugung nicht mehr möglich zu sein scheint.

Für sonnenreiche Küstengebiete wird die Möglichkeit untersucht, durch Abdämmung von Buchten künstliche Seen zu schaffen, deren Wasserspiegel durch Verdunstung soweit gesenkt wird, daß der stetige Zustrom von Meerwasser zur Stromerzeugung genutzt werden kann (Dawhat Salwah-Projekt am Persischen Golf). Auch natürliche Senken, so etwa die El Kattara-Senke in Ägypten, werden für die indirekte Nutzung der solaren Einstrahlung zur Stromerzeugung in Betracht gezogen.

Die Gezeitenkraftwerke nutzen eine regenerative Energiequelle, die Anziehungskraft des Mondes und der Sonne. Es gibt allerdings nur wenige Küstenregionen mit nutzbarem Tidenhub und nur wenige abdämbbare Buchten an günstigen Küstenstreifen. Außerdem liegen die besten Standorte für Gezeitenkraftwerke oft weit von den Siedlungszentren entfernt.

Direkte Verfahren

Die Solarzelle, gleich ob Silizium, Kadmium-Sulfid, Gallium-Arsenid usw. hat sich in der Raumfahrt, wo Kosten keine Rolle gespielt haben, glänzend bewährt. Der hohe Preis für die im Weltraum eingesetzten Solarzellen beruht nicht zuletzt auf den enorm strengen Qualitätsansprüchen. Die Preise für den irdischen Gebrauch sind jedoch für spezielle Anwendungsbereiche bereits wirtschaftlich, wenn man

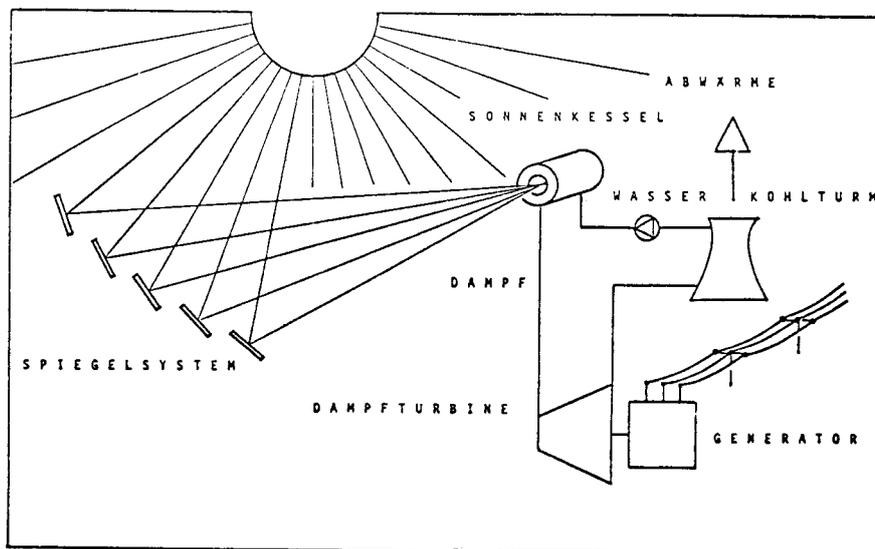


Bild 4: Solar-thermisches Kraftwerk

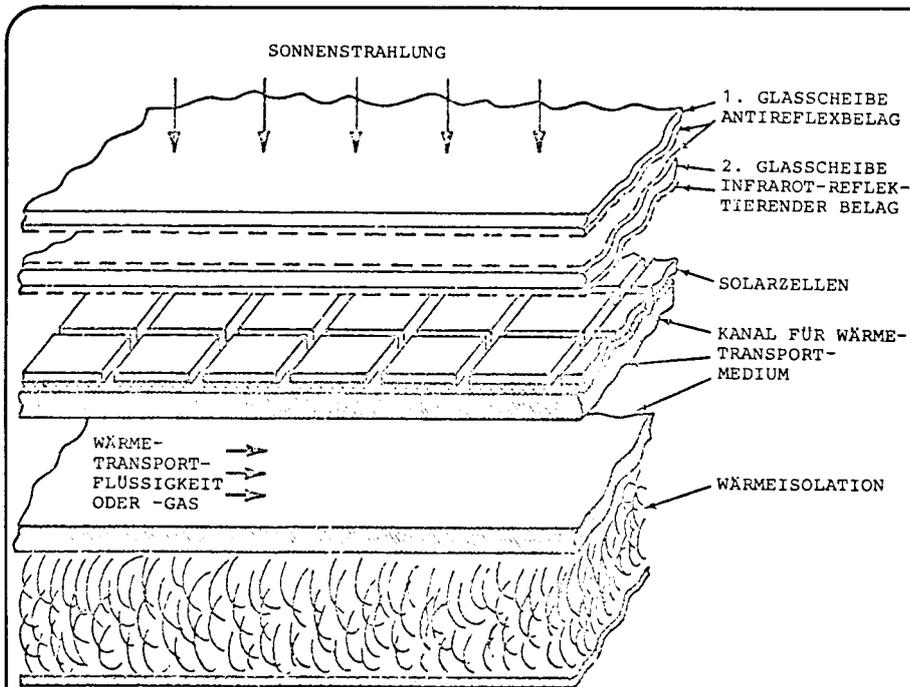


Bild 5: Aufbau eines Kollektors zur Umwandlung von Strahlung in Wärme und Strom

davon ausgeht, daß man für den Energieinhalt einer Taschenlampenbatterie etwa 1000 DM/kWh zu zahlen bereit ist.

Großtechnisch sind Solarzellen heute allerdings noch nicht wirtschaftlich einsetzbar. Die Entwicklung schreitet jedoch rasch voran. Die von einem Heer von Wissenschaftlern und Ingenieuren durchgeführten Untersuchungen werden nicht ohne Erfolg bleiben.

Erwähnt sei auch der Vorschlag, eine Raumstation von enormen Ausmaßen zu errichten, die mit flügelartigen Kollektorflächen versehen sein und Sonnenlicht in Strom umwandeln soll. Nach den Vorstellungen des Erfinders soll die Energie dann über einen gebündelten Mikrowellenstrahl auf eine kreisförmige Empfangsstation von 7 km Durchmesser abgestrahlt werden. Es sei dahingestellt, ob solche Projekte jemals verwirklicht werden können.

Interessant sind Vorschläge, Solarzelle und Sonnenkollektor in eine Einheit zu integrieren. Dadurch würde der Wärmegehalt nur unerheblich vermindert. Es ließe sich jedoch eine völlige Energieautarkie alleinstehender Gebäude erreichen. Bild 5 stellt eine solche Anlage dar.

Stromspeicherung und bivalente Systeme

Strom läßt sich noch schlechter speichern als Wärme. Fast alle auf der Nutzung regenerativer Energiequellen aufbauenden Verfahren zur Stromerzeugung sind Tages-, Wetter- und Jahreschwankungen ausgesetzt. Glückli-

cherweise sind diese Schwankungen weitgehend komplementär: Solarzellen produzieren nachts, wenn auch der Energiebedarf nachläßt, nicht. Im Winter, wenn der Strombedarf bekanntlich am größten ist, ist auch der Windanfall am höchsten. Wasserkräfte lassen sich für die Nachtspitzen aufstauen. Man muß keineswegs befürchten, daß in einem wohlgedachten, nur auf regenerative Quellen aufbauenden Energiesystem der Spitzenbedarf bei rationeller Energienutzung und ausgeklügelter Nutzungsstrategie nicht mehr gedeckt werden könnte.

Natürlich wird man bisweilen elektrische Energie einspeichern müssen, wofür neben den herkömmlichen Verfahren (Pump-, Druckluft- oder Schwungradspeicher) auch die Elektrolyse von Wasser in Frage kommt. Wasserstoff und Sauerstoff könnten dann durch Pipelines in die Wohnzentren gebracht und dort umweltfreundlich unter voller Nutzung der Abwärme rückverstromt werden. Auch eine Kopplung der wirtschaftlichen Abläufe mit dem jeweiligen Stromangebot erscheint als durchaus gangbare Lösung. Kleine Schwungradspeicher für den Hausgebrauch scheinen hier ein lohnendes Entwicklungsziel zu sein.

Bemerkenswert ist, daß wiederum bivalente Systeme benötigt werden: Solarzellenkraftwerk mit Windanlage und Pumpspeicherwerk, solarthermisches Kraftwerk mit Elektrolysestation zur chemischen Einspeicherung von Energieüberschüssen und einer Brennstoffzelle, in der die Gase Wasserstoff und Sauerstoff bei Bedarf durch Rekombination wieder zu Strom zurückverwandelt werden.

Am Beispiel Strom wird noch deutlicher als bei der Wärme, daß die konventionellen Verfahren zur Energiespeicherung allenfalls eine Pufferfunktion übernehmen können, während nur elektro-chemische Prozesse eine dauerhafte Konservierung von Überschussenergie ermöglichen.

Biomasse

Seit Tera Jahren (Milliarden von Jahren) hat sich die Natur auf die Nutzung der Sonnenenergie spezialisiert. Mit Hilfe von Lichtquanten wird zuerst Wasser zerlegt und erst im zweiten Schritt Kohlendioxyd der Luft zu Stärke und Zucker verarbeitet. Hieraus bilden die Pflanzen dann Biomasse: Holz, Blattwerk, Rinde, Früchte, Halme usw. Die Photosynthese ist also eine photochemische Speicherung von Sonnenenergie, denn Biomasse ist energiereicher als die Ausgangsprodukte Wasser und Kohlendioxyd, was man z.B. durch Verbrennen von Holz leicht feststellen kann.

Bis zum Durchbruch der industriellen Entwicklung, d.h. bei uns noch weit ins 19. Jahrhundert hinein, lieferten die speicherfähigen Energieträger Holz und Holzkohle die Energie für den gesamten Wärmebedarf in allen Temperaturbereichen. Es wäre jedoch mit dem heutigen Wissen unvereinbar, wollte man der energiesammelnden Pflanze im nachfossilen Zeitalter lediglich die Rolle des Brennholzlieferanten zugestehen. Die Verfahrenstechnik hat gelehrt, wie man aus Biomasse gasförmige, flüssige und feste Brennstoffe, ohne die eine Gestaltung der Zukunft kaum möglich ist, erzeugen kann.

Brennstoffe aus Biomasse

Wasserstoff, Methan und Methanol ("Kraftstoff der Zukunft") können bereits durch Eingriffe in den natürlichen Photosyntheseprozess erzeugt werden. Aber auch ohne die Veränderung der natürlichen Abläufe läßt sich aus jeglicher Biomasse (Gartenabfälle, Laub, Stroh, Stallung usw.) über die anaerobische Zersetzung "Biogas" (45% Methan, 55% CO₂) erzeugen. Dieses kann in Kleinanlagen geschehen. Man kann Biogas speichern bzw. in den Flüssigkraftstoff Methanol umwandeln. Man kann mit "Biogas" heizen, kochen, Strom erzeugen oder Fahrzeuge betreiben. Das Schema einer Biogasanlage ist in Bild 6 dargestellt.

Beim Anbau von Getreide, Kartoffeln, Hülsenfrüchten, Zuckerrüben usw. werden bekanntlich nur die Früchte, nicht aber Halme und Kraut verwertet. Durch Methanisierung der Abfallprodukte, die heute zum Teil sorglos

verbrannt werden, ließe sich ein wesentlicher Beitrag zur Energieversorgung in ländlichen Regionen sicherstellen.

Neben der Methanisierung von Biomasse bieten sich noch weitere Verfahren zur Veredelung pflanzlicher Substanz an. Bei der Pyrolyse wird die Masse unter Luftabschluß destilliert, wobei eine gewisse Hydrierung, die Brenngase und Öl entstehen läßt, abläuft. Durch reine Hydrierung kann Biomasse ebenfalls in hochwertigere Brennstoffe umgewandelt werden. Auch die bio-thermische Stromerzeugung, d. h. die Verbrennung von Holz statt Kohle in thermischen Kraftwerken stellt letztlich eine Veredelung von Biomasse dar. Anlagen zur Umsetzung von biologischer Substanz in brauchbare Energieträger könnten mit solchen zur Erzeugung von Niedertemperaturwärmen kombiniert werden, um durch Abwärmenutzung eine optimale Ausbeute der Sonnenenergie zu erreichen.

Speicherung von photochemisch erzeugten Brennstoffen

Über die Speicherung von chemischen Brennstoffen, gleich wie sie erzeugt worden sind, muß man sich nicht vertiefen. Wichtig ist, daß die biotechnisch hergestellten Substanzen im allgemeinen ganz konventionelle und ungefährliche Energieträger sind, deren Weiterverarbeitung keine nennenswerten Schwierigkeiten bereitet. Wegen ihrer günstigen Eigenschaften werden solar erzeugte Brennstoffe im regenerativen Energiesystem eine wichtige Schlüsselstellung einnehmen. Nicht nur wird der Kraftverkehr auch weiterhin Kohlenwasserstoffe als Treibstoffe benötigen, sondern die vielen bivalenten Sy-

steme werden nachts, im Winter oder während längerer Schlechtwetterperioden aus der Gasflasche, dem Methanoltank oder der Pipeline mit Brennstoff versorgt werden müssen. Für die Wirtschaft bieten sich völlig neue Aspekte im Bereich der herkömmlichen Technologie.

neneinstrahlung schwierig sein dürfte. Es ist durchaus denkbar, daß sich der internationale Energiehandel einmal mit dem Austausch von solartechnisch erzeugtem Wasserstoff gegen solarbiologisch gesammelten Kohlenstoff zu einer energiepolitischen Partnerschaft entwickelt.

Solartechnologie	1985	2000	2020
Direkte Wärmenutzung Einheit: q = 10 ¹⁵ BTU pro Jahr			
Heizen und Kühlen	0,15 q	2,0 q	15 q
Landwirtschaftliche Anwendungen	0,03 q	0,6 q	3 q
Industrielle Anwendungen	0,02 q	0,4 q	2 q
Untersumme	0,2 q	3 q	20 q
Installierte solar-elektrische Leistung Einheit: Gwe			
Windanlagen	1,0	20	60
Photovoltaische Anlagen	0,1	30	80
Solarthermische Anlagen	0,05	20	70
Nutzung der Meereswärme	0,1	10	40
Untersumme der inst. Leistung	1,3	80	250
umgerechnet auf thermische Energie pro Jahr in Einheiten von q	0,07 q	5 q	15 q
Brennstoffe aus Biomasse	0,5 q	3 q	10 q
Summe des Beitrags der Sonnenenergie	etwa 1 q	etwa 10 q	etwa 45 q
Voraussichtlicher Energiebedarf in den USA	100 q	150 q	180 q
Voraussichtlicher Anteil des Beitrags der Sonnenenergie in Prozent	1	6,7	25

Tabelle 1: Prognose der Energy Research and Development Administration (ERDA) für die USA (aus SCIENCE Bd 189 S. 538: "Solar Energy Reconsidered: ERDA Sees Bright Future")

Wegen des im Vergleich zu den sonnenreichen Zonen Nordafrikas üppigen Pflanzenwuchses im mitteleuropäischen Raum kann man der Zukunft dann zuversichtlich entgegenblicken, wenn das natürliche Gleichgewicht bei uns erhalten bleibt. Wohl werden wir mit Wärme, sicher auch mit solar erzeugtem Strom haushalten müssen. Im Vergleich zu den sonnenreichen Staaten gestattet unsere Flora jedoch die solare Erzeugung von Kohlenwasserstoffen, was in den Wüstengebieten trotz der starken Son-

Wann wird Sonnenenergie zum Zuge kommen?

Ohne Zweifel stehen wir am Beginn einer technologischen Entwicklung, die sich ihrer Bedeutung entsprechend mit Forschungsstätten, Industrieverbänden, Hochschulinstituten, Lehrberufen, Förderungsvereinen usw. etablieren wird.

Für die Marktdurchdringung der Solartechnik sind jedoch andere Gesichtspunkte ausschlaggebend, die teils dem Bereich der betriebswirtschaftlichen Optimierungsbemühungen entspringen, teils aber volkswirtschaftlicher oder politischer Natur sind.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte

Triebfeder für wirtschaftliche Entwicklungen waren seit eh und je betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte. Für den Nutzer ist ein System nur dann attraktiv, wenn es im Vergleich zu konkurrierenden Anlagen wirtschaftlicher betrieben werden kann. Für die kostensenkende Massenfertigung muß natürlich ein entsprechender Absatzmarkt existieren. Die Wirtschaftlichkeit von Anlage zur Sonnenenergienutzung ist also nicht nur eine Funktion der Marktdurchdringung. Beide Einflußgrößen sind zeitlichen Veränderungen unterworfen, wobei die Marktbeeinflussung jedoch durch politische Entscheidungen ganz erheblich beschleunigt oder verzögert werden kann.

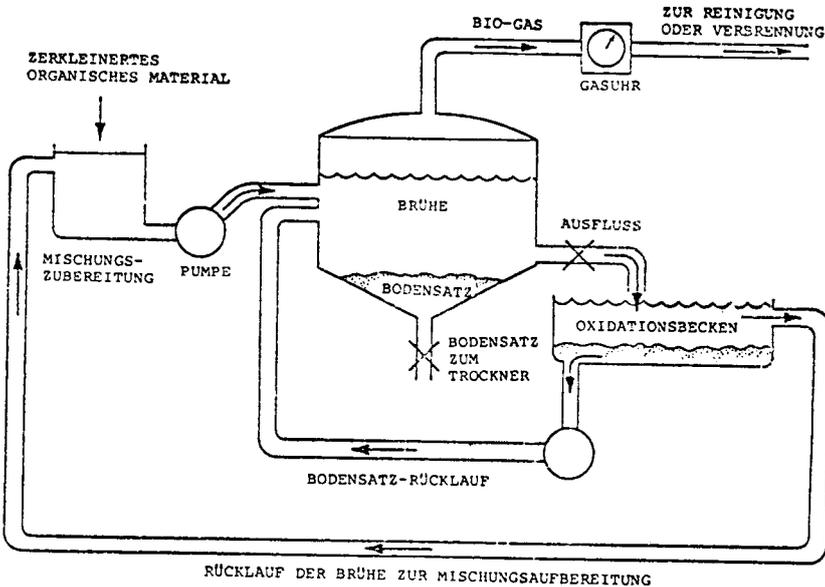


Bild 6: Erzeugung von Biogas aus organischem Material