

Solarthermische Systeme

Von Dr.-Ing. Werner Kleinkauf, Kassel

Auf die gesamte Erdoberfläche wird jährlich Energie von ca. 10^{18} kWh, d.h. in etwa das 15 000 fache des gesamten Primärenergieverbrauchs des Jahres 1973, eingestrahlt. In Bild 1 ist die mittlere Intensität (langjähriges 24-Stunden-Mittel) der Globalstrahlung für Europa und Nordafrika angegeben. Daraus geht hervor, daß die Bestrahlungsstärke in der Bundesrepublik etwa um den Faktor 2 niedriger liegt als in Südeuropa oder Nordafrika. Dies trifft in etwa auch auf die Sonnenscheindauer zu. Für die Bundesrepublik liegt die Sonnenscheindauer zwischen 1300 h/a und 1900 h/a, während im Sudan Werte bis 4000 h/a erreicht werden.

Durch die Nutzung von nur knapp 2 % der Saharafläche ($8,7 \text{ Mio. km}^2$) hätte bei einem Gesamtwirkungsgrad der Solarenergieanlagen von 20 % der Weltprimärenergieverbrauch im Jahre 1973 (68 Mio. GWh/a) gedeckt werden können.

Solarthermische Nutzung

Im wesentlichen unterscheidet man die vier in Tabelle 1 aufgeführten Arten der Nutzung solarer Strahlungsenergie. Im folgenden wird nur die solarthermische Nutzung weiter behandelt, da sie z.Z. am ehesten eingesetzt

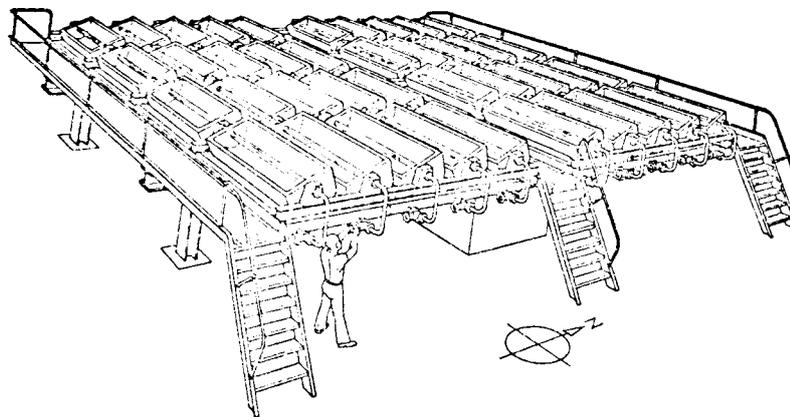


Bild 2: Gesamtansicht einer kleinen Solar-Farm-Anlage in O-W-Montierung

	Nutzungsart	Sekundärenergie
1	solar-thermisch (terrestrisch)	Wärme (elektr. Energie, chem. Energie)
2	fotovoltaisch (terrestrisch)	elektr. Energie, (chem. Energie)
3	biologisch u. chemisch (terrestrisch)	chem. Energie
4	solar-thermisch, fotovoltaisch (orbital)	elektr. Energie

Tabelle 1: Nutzungstechniken solarer Strahlungsenergie und zugehörige Sekundärenergie

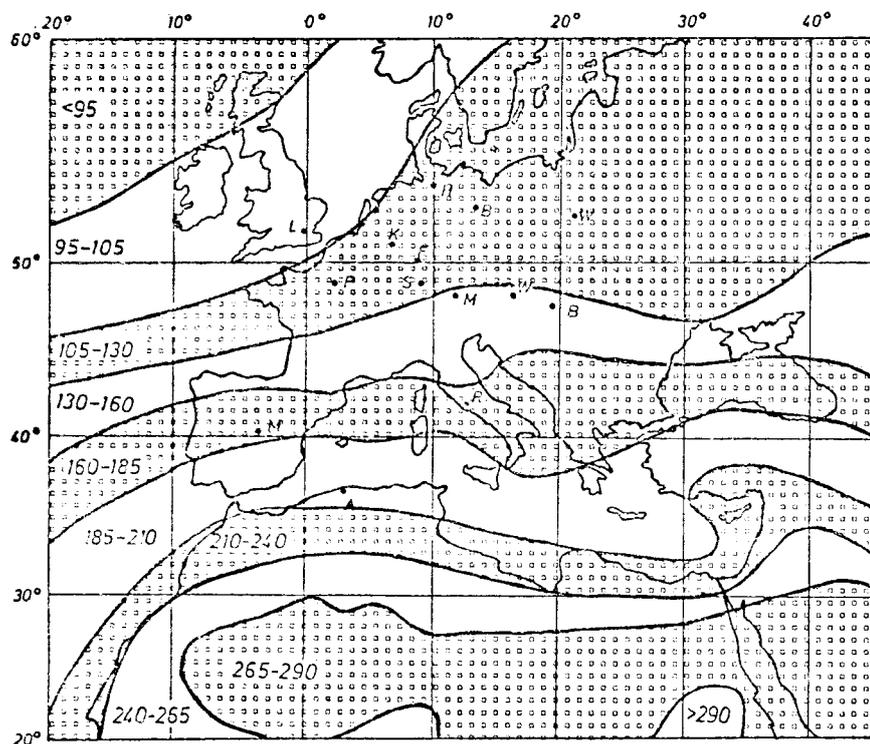


Bild 1: Mittlere jährliche Intensität der Globalstrahlung in W/m^2 (24 h-Mittel)

werden könnte. Über den Stand und die Einsatzmöglichkeiten anderer Nutzungsarten gibt eine Programmstudie des BMFT ¹⁾ nähere Informationen. Bei der Nutzung der Solarstrahlung mit solarthermischen Systemen kann man nach dem Temperaturniveau des Wärmetransportmediums Nieder- ($t \leq 200 \text{ }^\circ\text{C}$) und Hochtemperatur-Kollektoren ($t \geq 200 \text{ }^\circ\text{C}$) unterscheiden.

Niedertemperatur-Kollektoren werden i.a. als Flachkollektoren ausgeführt und finden hauptsächlich in dezentralen Systemen (Bereitstellung von Heiz- und Brauchwasserwärme) Verwendung. Sie nutzen sowohl die diffuse als auch die direkte Solarstrahlung aus und können daher auch in Ländern mit einer mittleren bis niedrigen Anzahl von Sonnenscheinstunden eingesetzt werden.

Bei Hochtemperatur-Kollektorsystemen werden zur Erhöhung der Bestrahlungsstärke fokussierende Elemente (Spiegel oder Linsen) eingesetzt. Diese Systeme eignen sich besonders zur Erzeugung mechanischer Energie, d.h. wenn an den Solar Kollektor eine Wärmekraftmaschine angeschlossen wird. Sie nutzen praktisch nur den direkten Anteil der

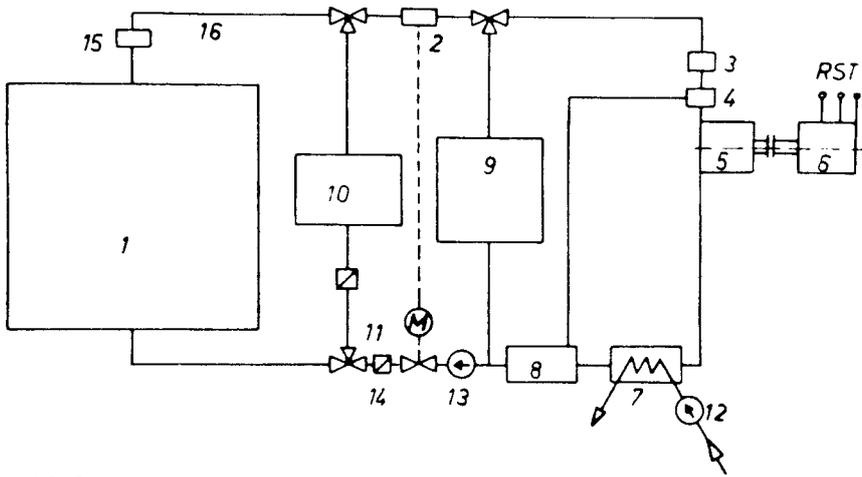


Bild 3: Blockschahtplan der Solar-Farm-Anlage
 1: Kollektor
 2: Temperaturregler
 3: Leistungsregler
 4: Elektromagn. Ventil für Entwässerung
 5: Dampfmotor
 6: Synchron-Generator
 7: Kondensator
 8: Kondensatsammelbehälter

9: Druckspeicher
 10: Zusatzkocher
 11: Motordrosselventil
 12: Kühlwasserpumpe
 13: Speiswasserpumpe
 14: Rückschlagorgane
 15: Sicherheitsventil
 16: Frischdampfleitung

Sonnenstrahlung aus und müssen daher der Sonne nachgeführt werden. Der Einsatz derartiger Systeme wird sich aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auf sonnenreiche Gegenden beschränken (z.B. Südeuropa, Nordafrika, Entwicklungsländer usw.).

Bis zu elektrischen Ausgangsleistungen von einigen MW sind hier voraussichtlich die sog. Solar-Farm-Anlagen, d.h. Felder von einzelnen Solar-Kollektoren, am wirtschaftlichsten. Die Kollektoren bestehen z.B. aus zylinderförmigen Parabolspiegeln, in deren Brennpunkten sich Absorberrohre befinden.

Bild 2 zeigt die Gesamtansicht einer kleinen Solar-Farm-Anlage mit einer Ausgangsleistung von 10 kW_e (Fläche ca. 150 m²).

In Bild 3 ist das zugehörige Blockschaltbild der Gesamtanlage dargestellt.

Bei der 10 kW_e-Anlage –O-W-Montierung, d.h. die Spiegel werden nur der Sonnenhöhe nachgeführt – beträgt bei einer Ausgangstemperatur des Wärmetransportmediums (Wasser) von t_A ≈ 250 °C und einem Konzentrationsfaktor C = 30 der Kollektorstärkegrad knapp 70 %. Der Konzentrationsfaktor beschreibt das Verhältnis der senkrecht zur Einstrahlungsrichtung projizierten Spiegel- oder Linsenfläche zur bestrahlten Absorberfläche.

Die erreichbaren Gesamtwirkungsgrade von Solar-Farm-Anlagen (10 kW_e... 50 MW_e) liegen zwischen 4 % und 15 % (einschließlich des Flächennutzungsfaktors, d.h. einschließlich der Freiräume zwischen den Kollektoren).

Ab elektrischen Ausgangsleistungen von mehreren MW_e arbeiten sog. Solar-Tower-Anlagen (Bilder 4 und 5) wirtschaftlich günstiger.

Eine derartige Anlage besteht aus einer Vielzahl von einzelnen Flachspiegeln (z.B. 4 m X 4 m), die alle auf einen an der Spitze eines mehrere hundert Meter hohen Turmes (ca. 400 m hoch für die 1 GW-Anlage) befindlichen Absorber ausgerichtet sind. Mit Solar-Tower-Anlagen lassen sich für Temperaturen des Wärmetransportmediums (NaK) von 600 °C Kollektorstärkegrade von ca. 80 % erreichen. Die zugehörigen Gesamtwirkungsgrade liegen zwischen 15 % und 22 % (einschließlich des Flächennutzungsfaktors).

Kosten, Potentiale

Ein wesentliches Kriterium für den Einsatz von Solaranlageanlagen sind die Kosten der Sekundärenergie und die nutzbaren Potentiale

Die in der Programmstudie 1) durchgeführten Kalkulationen sind Abschätzungen, die eine gewisse Orientierungshilfe darstellen und einen Eindruck von den zu erwartenden Kosten vermitteln sollen.

Im Bereich der Niedertemperatursysteme, deren Einsatzbereich im wesentlichen außerhalb der Ballungsgebiete in Ein- und Zweifamilienhäusern gesehen werden kann, läßt sich in der Bundesrepublik für das Jahr 2000 ein mögliches wirtschaftliches Potential von 70 bis 140 TWh ableiten. Dies wären maximal ca. 10 % der im Jahre 1973 verbrauchten Nutzenergie (Tabelle 2).

Die Ergebnisse der durchgeführten Kostenabschätzungen für die Hochtemperatur-Kollektorsysteme sind ebenfalls in Tabelle 2 aufgeführt. Als Anlagestandorte wurden aus wirtschaftlichen Gründen sonnenreiche Gegenden gewählt.

Der angeführte elektrische Energietransport (HGÜ) über weite Entfernungen läßt sich insbesondere dann, wenn die Leitungen zeitlich gut ausgelastet sind (7 bis 8 000 h/a). Dies setzt bei Sonnenenergiekraftwerken zumindest einen Energieausgleich zwischen Tag und Nacht voraus. Die Kosten für derartige Speichersysteme dürften für Großkraftwerke (1 GW_e) in der Größenordnung von 3 bis 5

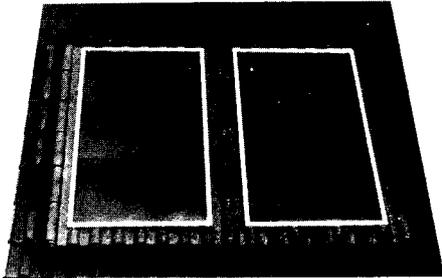
	Flachkollektoren	Solarfarm-Anlage		Solar-Tower-Anlage	
Leistung d. Anlage	15-30 kW (einschl. Zusatzh.)	10 ... 100 kW	500-1000 kW	100-1000 MW	10-20 GW
Standort d. Anlage	BRD Hausdächer	sonnenreiche Entw.-länder	Süd-Europa (Nord-Afrika)	Süd-Europa (Nord-Afrika)	(Süd-Europa) Nord-Afrika
Sekundärenergie	Wärme (60 % Subst.)	elektr. Energie	elektr. Energie	elektr. Energie	elektr. Energie, H ₂
Gestehungskosten in DPf/kWh	7,5	40-15	10	12-14*	9-11* 9-11
Transportkosten (2000... 3000 km) in DPf/kWh	—	—	—	2 (HGÜ)	1 (HGÜ) 1 (Pipeline)
Gesamtkosten in DPf/kWh	11-12	—	—	ca. 16	ca. 12 10-12
Potential TWh	70-150	—	—	gemessen am eigenen Energieverbrauch nahezu unbegrenzt groß	
Anteil an Nutzenergie (1380 TWh) in %	5-11	—	—	0-60 (je nach Wirtschaftlichkeit)	
Mögliche Bedeutung für die BRD	eigene E-Versorgung, Export	Export	—	eigene Energieversorgung, Export	

Tabelle 2: Solarthermische Nutzungssysteme und ihre mögliche Bedeutung für die Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2000

* mit Energiespeicher, d.h. mit Energieausgleich zwischen Tag und Nacht

Die Stromgestehungskosten liegen z.Zt. bei ca. 5 DPf/kWh

DIE ALTERNATIVE ZUR NÄCHSTEN ÖL- PREISERHÖHUNG HEISST NUTZUNG DER SONNENENERGIE



Gleich vorweg, rein mit Sonnenenergie ist in unseren Klimazonen nicht auszukommen. Die Wirtschaftlichkeit einer Solar-Anlage zeigt sich jedoch im Zusammenspiel mit anderen Heizungstechniken am verminderten Ölverbrauch. So kann von April bis September das Brauchwasser zu 90% von der Solar-Anlage gestellt werden. Die Einsparung an Öl im Jahr ist so beträchtlich, daß sich die Anlage bereits nach 6-8 Jahren amortisiert hat.

Eine Solar-Anlage arbeitet optimal bei Heizungssystemen im Niedrigtemperaturbereich, wie z. B. bei Fußboden- und Deckenheizung, Warmluftheizung und bei Schwimmbädern, da über 50% der anfallenden Energie im Haus mit Temperaturen unter 70° benötigt wird.

Die Solar-Technik

1. Unsere Sonnen-Kollektoren sind optisch gut gelöst und fügen sich harmonisch ins Dach ein.
2. Der Dacheinbau ist 100% regendicht ohne zusätzliche Kosten für das Dachabdichten (z.B. einbleien).
3. Solar-Anlagen sind nach dem Prinzip des Baukastensystems weiter ausbaufähig und können mit Ihren Ansprüchen wachsen.
4. Eine zusätzliche gewichtsmäßige Belastung des Dachstuhls durch die Kollektoren ist nicht gegeben.
5. Solar-Anlagen arbeiten mit einem geschlossenen Kreislauf über Warmwasserbereiter mit 2 Heizschlangen. Sie sind vor Frost und vor Überhitzung geschützt.
6. Die Kollektoren sprechen durch den geringen Wasserinhalt von 1,6l sofort an und liefern Energie.
7. Unsere Solar-Anlagen sind nahezu wartungsfrei und haben eine lange Lebensdauer. Wir gewähren eine Garantie von 5 Jahren.

Wir projektieren und planen Ihre komplette Sonnenenergie-Anlage. Montage erfolgt über eingespielte Teams.

SOLAR

Solar-Heizungsvertrieb GmbH.
Luitpoldstraße 16, 8600 Bamberg
Telefon 09 51/2 00 64

Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS)

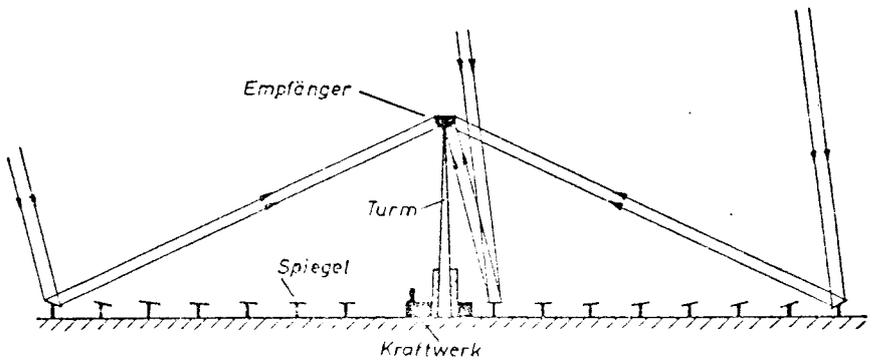


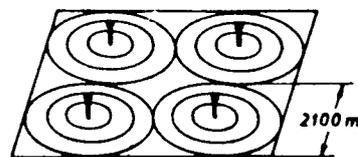
Bild 4: Prinzip einer Solar-Tower-Anlage

Dpf/kWh liegen, so daß sich die Gesamtkosten auf ca. 12 Dpf/kWh_e belaufen würden. Die Kosten für eine großtechnische Erzeugung von Wasserstoff in Nordafrika und den Transport über 3 000 km mit Pipelines liegen ebenfalls bei ca. 12 Dpf/kWh, wobei durch das Volumen einer derart langen Pipeline gleichzeitig auch der Energieausgleich zwischen Tag und Nacht (Druckabfall von z.B. 90 bar auf 40 bar) erreicht werden kann.

Die Kosten der bisherigen Energieträger müßten sich also mehr als verdoppeln, um das quasi unbegrenzte technische Potential Südeuropas und Nordafrikas auch wirtschaftlich nutzen zu können. Dann allerdings könnten einer Nutzung der Solarenergie im großen Stil im wesentlichen nur noch politische Gegebenheiten entgegenwirken, denn die anstehenden Forschungs- und Entwicklungsaufgaben sowie der Test verschiedener Anlagen können bei entsprechendem finanziellen Engagement in den nächsten 15 Jahren erfolgreich durchgeführt werden.

Folgerungen

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Erzeugung von Hochtemperaturwärme aufgrund der zur Verfügung stehenden Sonnenscheindauer von 1300 bis 1900 h/a voraussichtlich unwirtschaftlich. Damit entfällt auch weitgehend die Möglichkeit, elektrische Energie mit Hilfe von thermodynamischen Kreisprozessen zu gewinnen. Die Substitution von bisherigen Energieträgern zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme bietet sich jedoch auch in unseren Breiten an. Besonders geeignet hierzu sind dezentrale Einheiten mit Flachkollektorsystemen zur Versorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern. Für das



ca. 20000 Spiegel pro Turm

Bild 5: Draufsicht auf eine Anlage mit vier Türmen (1 GW_e)

Jahr 2 000 läßt sich die Energieerzeugung mit Niedertemperatur-Kollektoren auf ca. 100 TWh/a abschätzen.

Sind aufgrund der Verknappung sowie der weiter steigenden Preise der bisherigen Energieträger oder aus ökologischen Gesichtspunkten höhere solare Energieausbeuten notwendig, so kommen als Standorte der Solar-kraftwerke südliche sonnenreiche Gebiete in Frage. Schließt man die Gebiete Nordafrikas mit in die Betrachtungen ein, so steht ein hinreichend großes Energiepotential zur Verfügung, um auch den Energiebedarf der Bundesrepublik, bzw. den Europas decken zu können.

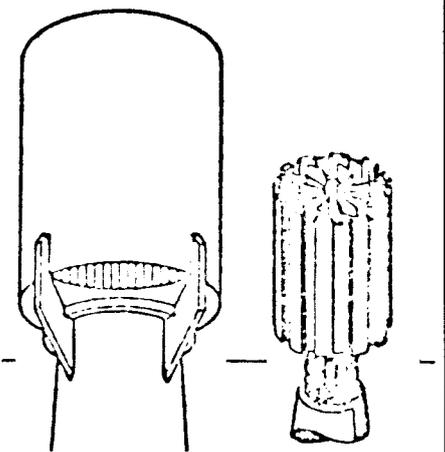


Bild 6: Photoanlagen von Tower-Projekten

Literaturhinweise

- 1) Bundesministerium für Forschung und Technologie: Programmstudie: Energiequelle für morgen? Teil II, Frankfurt/M 1976.
- 2) Kleinkauf, Köhne, Lindner, Simon: A Solar Power Plant in the 10 kW_e Range with Focusing Collectors, XVI Convegno sullo Spazio, Rom 1976
- 3) Colorado State University, Westinghouse Electric Corp.: Solar Thermal Electric Power Systems, Report No NSF/RANN/SE/G1-37815/FR/74-3