Energie von der Sonne

Autor(en): **Glaser, P.E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **66 (1975)**

Heft 5

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915260

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Energie von der Sonne

Von P. E. Glaser

Es wird quantitativ auf die auf die Erde einfallende Sonnenenergie eingegangen und die Möglichkeiten zu deren Nutzung aufgezeigt. Anhand von praktischen Anwendungen und Projekten wird der heutige technische Stand, insbesondere in bezug auf die Erzeugung elektrischer Energie aus Sonnenenergie, dargestellt. Abschliessend wird ein Projekt eines Satelliten-Sonnenkraftwerkes vorgestellt.

Il est question de la quantité d'énergie solaire atteignant la Terre et des possibilités de l'exploiter. Au gré des applications pratiques qui en sont faites et des projets en cours, l'auteur fait le bilan actuel de l'état des recherches techniques particulièrement dans la production d'énergie électrique à partir de l'énergie solaire. Il présente, en conclusion, un projet de centrale solaire satellisée en orbite terrestre.

1. Allgemeines

Die Energiemenge, die die Erde ununterbrochen von der Sonne auffängt, ist gewaltig – etwa 167 000mal mehr Energie, als wir heute verbrauchen. Ein Quadratmeter Land, direkter Sonnenbestrahlung ausgesetzt, nimmt die Energie auf, die etwa einer Pferdestärke oder einem Kilowatt entspricht. 300 Quadratmeter Land empfangen so viel (in elektrische Kraft umgewandelte) Energie, dass damit der Bedarf eines Einfamilienhauses gedeckt werden könnte. Gelänge es, eine 400 Quadratkilometer grosse Fläche in einer Wüste mit zweckmässigen Anlagen zur Energieumwandlung auszurüsten, so könnte damit der gesamte Energiebedarf eines Landes wie der Vereinigten Staaten gedeckt werden.

Die wirksame Gewinnung von Sonnenenergie bringt zwei Probleme: Zunächst ist Sonnenenergie nicht konstant verfügbar. Damit ist eine Speicherung erforderlich, um auch in den Nachtstunden und bei ungünstigen Witterungsverhältnissen – wenn der Nachschub an Solarenergie ausfällt – ein Sonnenkraftsystem aufrechtzuerhalten.

Zweitens ist Sonnenenergie diffus. Wohl ist die gesamte verfügbare Energiemenge riesig, doch nicht an jedem Orte gross genug, als dass sie brauchbar wäre. Sonnenenergie muss gesammelt und in nutzbringende Form umgewandelt werden.

2. Prinzip der Nutzung von Sonnenenergie

Sonnenstrahlungsenergie in Wärme umzuwandeln ist einfach. Es genügt eine Oberfläche, durch die sie absorbiert werden kann. Ist die Oberfläche schwarz, so werden 95 % der Strahlungsenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt. Wird mit der erwärmten Oberfläche eine Flüssigkeit wie Luft oder Wasser in Verbindung gebracht, so kann die Wärme in die Flüssigkeit geleitet und praktisch verwendet werden.

Die beiden Hauptmöglichkeiten sind Sonnenkollektoren und ebene Auffangflächen. Sonnenkollektoren verwenden Parabolspiegel zur Konzentration der Sonnenenergie. Solche Anlagen erweisen sich als recht wirksam. Aber sie müssen ständig der Sonnenbahn folgen: das macht sie kompliziert und kostspielig. Ebene Auffangflächen sind im Bau einfacher und billiger, aber sie erreichen keine hohen Temperaturen und weisen geringere Wirkung auf.

Auffangflächen hinter Glas heizen Luft oder Wasser bis zu Temperaturen von 35 bis 100 °C auf. Sie reichen durchaus für Wohnraumheizung, Wassererwärmung, Getreidetrocknung und dergleichen aus.

Sonnenstrahlenkollektoren können dagegen grosse Energien an Kleinverbraucher abgeben und bei hohen Temperaturen für Dampferzeugung, Metallschmelze und dergleichen eingesetzt werden.

In über einem Dutzend Ländern wird die Heisswasserversorgung durch Sonnenenergie ermöglicht. Mehrere Millionen Solarwassererwärmer stehen schon in Japan, Australien, Israel, in den USA und der Sowjetunion in Betrieb.

Die Anlage auf dem Hausdach besteht meist aus einer geschwärzten Metallfolie in einem flachen, glasbedeckten Gehäuse von 1 bis 5 Quadratmetern.

Wasser zirkuliert in Röhren, die an der Metallplatte befestigt sind; das erwärmte Wasser wird in einem isolierten Tank, meist etwas oberhalb der Auffangfläche, gespeichert. In sonnigem Klima kann die Warmwasserversorgung einer Durchschnittsfamilie durch eine solche Anlage sichergestellt werden. Nötigenfalls wird zusätzliche Wärme aus einem elektrischen Heizelement oder aus einer anderen Wärmequelle verwendet.

Eine einfachere Konstruktion ist eine transparente Plastikhülle, ähnlich einer Luftmatratze, mit einer schwarzen Bodenfläche. Das Gerät wird am Morgen mit kaltem Wasser gefüllt; die tagsüber absorbierte Sonnenenergie liefert am späteren Nachmittag zusätzliche Wärme. Dieser Typ wird recht häufig in Japan verwendet.

Vonnöten ist auch ein Wärmespeicher. Es bedarf einer ausreichenden Kapazität, um den grössten Wärmebedarf an typischen Wintertagen zu decken. Konventionelle Energiequellen müssten bereitgestellt werden, um einen Ausgleich zum Warmwasserbedarf bei unfreundlichem Wetter herzustellen.

Auch Luft lässt sich als Wärmeübertragungsmittel in Heizungssystemen, welche Sonnenenergie nutzen, verwenden. Die Luft zirkuliert hinter den geschwärzten Oberflächen in dem auf dem Dach montierten, glasbedeckten Täferwerk. Die Warmluft wird durch Rohrleitungen in die Wohnräume geblasen.

Den aktivsten Anteil an dieser Entwicklung hatten in den letzten fünfundzwanzig Jahren die Vereinigten Staaten, Australien und Japan. Die meisten Installationen funktionierten technisch erfolgreich. Energieeinsparungen durch Wohnraumheizung mit Solarenergie können sich auf den Energieverbrauch entscheidend auswirken.

Wohnungskühlsysteme, die auf dem Kreislauf von Absorption und Kälteerzeugung beruhen, erfordern noch weitere technische Forschung, bevor sie solar erwärmtes Wasser oder Warmluft aus den auf dem Dach montierten Kollektoren nutzen können.

Der eindeutige Vorteil der Solarkühlung liegt darin, dass der Maximalbedarf etwa mit dem Zeitpunkt zusammenfällt, da die Höchstenergiemenge zum Betrieb des Systems bereitsteht, d. h. wenn die Sonnenbestrahlung am intensivsten ist. Ausserdem kann der Solarstrahlensammler, der kostspieligste Teil des Systems, fast ganzjährig betrieben werden, wenn die Kühlanlage zusätzlich mit Sonnenheizung kombiniert ist.

Die Entwicklungsarbeiten für Kühl- und Wärmeanlagen in Wohnhäusern auf Basis der Sonnenenergie haben bereits ein Stadium erreicht, das voraussehen lässt, dass in der Massenproduktion die Anlagen in weniger als zehn Jahren bereitstehen werden. Die potentiellen Energieeinsparungen der Vereinigten Staaten könnten so durch intensive Einführung der Sonnenheizung und -kühlung den Ölzufluss von den Ölfeldern Alaskas übersteigen.

3. Die Umwandlung von Sonnenergie in Elektrizität

Der grosse Vorteil einer Umwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität besteht darin, dass praktisch jede unerwünschte Umweltverschmutzung, wie etwa beim Einsatz von Generatoren mit fossilen oder nuklearen Brennstoffen, ausgeschlossen wird.

Für eine umfassende Verwendung von Sonnenenergie auf der Erde liegen verschiedene phantasievolle Vorschläge vor [1]). Welcher sich schliesslich durchsetzen wird, bleibt abzuwarten. Entscheidend ist, dass die meisten Anregungen auf bereits bestehenden Techniken und auf einwandfrei bekannten physikalischen Prinzipien beruhen.

Jede Gewinnung von Sonnenenergie im grossen benötigt angesichts der diffusen Natur der Sonnenbestrahlung eine grosse Fläche. Dies fördert die Entwicklung von Energieumwandlern, die die Sonnenenergie entweder unmittelbar in Elektrizität umformen oder die durch geeignete Verfahren hohe Temperaturen erzeugen können.

Die Möglichkeit zur Energiespeicherung wird von besonderer Bedeutung sein, zumindest für die Zeit, wo die Sonne nicht scheint. Ebenso wichtig ist die Übertragung elektrischer Kraft über weite Entfernungen und die Aufnahme in ein grosses Elektrizitätsnetz.

Sonnenenergie kann mittels einer Zelle – aufgrund eines Halbleiterkristalls wie des Siliziums – direkt in Elektrizität umgewandelt werden. Dieses Verfahren heisst Fotovolta-Umwandlung.

Im Gegensatz zur thermodynamischen Umwandlung kennt die fotoelektrische Energieumwandlung keine beweglichen Teile und keine zirkulierende Flüssigkeit; Material wird nicht verbraucht. Eine Sonnenzelle kann über lange Zeitspannen hinweg ohne jede Wartung arbeiten.

4. Praktische Anwendungen und Projekte

Die erste erfolgreiche Solarzelle wurde 1953 vorgestellt. Heute sind ähnliche Zellen ein unentbehrlicher Bestandteil des Stromversorgungssystems der meisten Raumfahrzeuge. Dank der Weltraumprogramme ist eine entscheidende Grundlage für weitere Entwicklungen geschaffen. Die beiden nächsten Forschungsziele sind Leistungssteigerung und Kostensenkung. Bisher wurde ein Wirkungsgrad von 16 % erzielt. Das theoretische Maximum für Silizium-Sonnenzellen beträgt 23 %. Der Ankaufspreis für Silizium-Solarzellen liegt heute bei etwa 20 Dollar pro Watt.

Neue Techniken bei der Produktion von Silizium-Einkristallen sowie eine automatische Montage von Sonnenzellen könnten die Preise bei einer Massenproduktion auf einen Dollar je Watt in den nächsten zehn Jahren herabdrücken. Ist ein wichtiger Absatzmarkt einmal erschlossen, so könnten die Kosten für Silizium-Sonnenzellen auf das Fünffache der Kosten für Spiegelglas reduziert werden. Siliziumsand, das Material, das zur Herstellung von Spiegelglas verwendet wird, ist der grundlegende Rohstoff für Sonnenzellen.

Bei der Kostensenkung liegt eine Variante darin, die Sonnenbestrahlung teilweise durch Spiegelreflektoren zu konzentrieren, um die Zahl der Sonnenzellen herabzusetzen. Grossanlagen reflektierender Spiegel und Sonnenzellen könnten zu preisgünstigeren, direkten Sonnenenergieumwandlern führen.

Ein Beispiel: Ein Quadratkilometer, den man mit solchen Anlagen mit einem Wirkungsgrad von nur 10 % ausstattet, könnte 70 000 kW erzeugen – sofern die Sonne scheint. Da dies aber nicht jederzeit der Fall ist, wäre eine Energiespeicherung durch Batterien oder vielleicht durch die Produktion von Wasserstoff durch Elektrolyse notwendig.

Die Aussichten, Sonnenenergie zur Dampferzeugung für eine Maschine zu benutzen, waren schon immer faszinierend. Eine mit Sonnenkraft angetriebene Dampfmaschine, die mit einem grossen Spiegel die Sonnenstrahlung auf einen Dampfkessel konzentrierte, war die Hauptattraktion einer Pariser Ausstellung im Jahre 1878. Ähnliche Anlagen wurden 1901 in Kalifornien und 1913 in Ägypten gebaut.

Kürzlich sind grosse Sonnenkraftanlagen angeregt worden, die mit konventionellen Kraftwerken zusammengekoppelt würden. Man überlegt bereits, wie die Sonnenstrahlen-Absorptionsröhren und die Wärmespeicheranlagen konstruiert sein müssten.

Mit selektiver Strahlenabsorptionsschicht überzogene Röhren sollen, so hofft man, eine umlaufende Flüssigkeit bis zu 500 °C aufheizen. Die Flüssigkeit kann dann die Wärme dem Wärmespeicher abgeben: damit verhütet man, dass die Wärme an Wolkentagen und in den Nachtstunden zurückfliesst. Beim Durchlauf werden Turbogeneratoren zur Stromerzeugung angetrieben.

Erweist sich dieser Plan als erfolgreich, so sollen in einigen Jahren Demonstrationsanlagen errichtet werden. Grosskraftwerke werden in etwa zwanzig bis dreissig Jahren erwartet. Als Standorte für solche Werke kämen sonnige Wüstenflächen in Frage, die voraussehbare, regelmässig reichliche Sonnenenergiemengen auffangen.

Sonnenenergie treibt auch die Winde an. Das Kraftpotential der Winde über dem Kontinentalgebiet der USA und ihren Küstenstreifen übersteigt zumindest zehnfach den mutmasslichen Strombedarf der Vereinigten Staaten im Jahre 2000. Winde kommen und gehen und lassen sich voraussagen. Ein Windkraftwerk könnte einen eigenen Elektrizitätsspeicher enthalten. Dazu gehört die Wasserelektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff, der durch Fernleitungen als zusätzlicher Brennstoff weitergeleitet würde.

Im Jahre 1915 wurden in Dänemark schon 100 MW Elektrizität durch Windkraft erzeugt. In den vierziger Jahren wurde in Vermont (USA) versuchsweise eine 1000-kW-Maschine betrieben. Wesentliche Fortschritte beim Bau von sehr leichtgewichtigen Aeroturbinen lassen erkennen, dass eine Windkrafterzeugung in kleinem oder in grossem Ausmass realisierbar ist. Voraussichtlich könnte die Windkraft etwa 20 % der jährlichen Elektrizitätsproduktion im Jahre 2000 erzeugen dank der Verwendung von Windturbinen bis 100 MW.

Der Temperaturunterschied zwischen den von der Sonne erwärmten oberen Meerwasserschichten und dem tiefen

[1]) Eine Konstruktionsidee für ein Sonnenkraftwerk ist auf Seite 249 ff dieses Bulletins beschrieben.

Kaltwasser der Ozeane liesse sich durch sehr grosse Wärmemaschinen zur Krafterzeugung nutzen.

Im Jahre 1929 entstanden Versuchskraftwerke vor der Küste von Kuba und 1956 vor Afrika. Diese Werke erlitten teils durch Konstruktionsmängel, teils durch Stürme schwere Schäden. Erneut aufgegriffen und weiterentwickelt, sollte es möglich werden, die gewaltige Wärmemenge, die z. B. im Golfstrom gespeichert ist, auszunutzen.

Um diese Energie zu erschliessen, würden im Golfstrom besonders konstruierte Schiffe mit einer Leistung von 500 MW verankert. Das warme Oberflächenwasser würde durch Wärmeaustauscher ein Gas wie Propan erhitzen, das mit Generatoren gekoppelte Riesenturbinen antreiben müsste. Das aus der Meerestiefe gepumpte Kaltwasser müsste im Wärmeaustauscher das umlaufende Propan wieder kondensieren.

Das Verfahren muss sich auf Wärmemaschinen stützen, die bei einer Temperaturdifferenz von etwa 20 °C arbeiten.

Man rechnet mit einem Leistungsgrad von weniger als 5 %. Das Hauptproblem liegt darin, die wirkungsvollsten Wärmeaustauscher zu entwickeln und die Grossturbinen zu konstruieren, die dem umlaufenden Propan die Energie entziehen werden. Ausserdem ist Material zu wählen, das den Wirkungen von Meereswasser auf längere Zeit standzuhalten vermag.

5. Stromerzeugung in Satelliten-Sonnenkraftwerken

Umwandlungsverfahren auf der Erdoberfläche haben den Nachteil, dass Sonnenlicht nicht ständig verfügbar und dass es diffus ist. Dies bedeutet, dass alle terrestrischen Systeme grosse Auffangflächen und Speicherkapazitäten benötigen. Ausserdem können Umwandlungsanlagen demnach nur an wenigen geographisch günstigen Standorten wirtschaftlich eingesetzt werden.

Will man die erdgebundenen Hindernisse überwinden, muss man die Umwandlungsanlage in einen Sonnenkraftsatelliten verlegen, der um die Erde kreist, wobei fast 24 Stunden täglich Sonnenenergie aufgenommen werden kann. Während der Tagundnachtgleiche durchläuft der Satellit während höchstens 72 Minuten täglich den Erdschatten. Grösstmögliche Nutzung der Sonnenenergie wird auf einer Umlaufbahn um die Sonne erzielt. Den ersten Schritt könnte schon ein Satellit, der um die Erde kreist, tun. Bleibt nur noch die Umwandlung der Sonnenenergie auf der Erde.

Ähnlich wie das bereits bestehende weltweite Satellitten-Nachrichtennetz besitzt Energie aus dem Weltraum ein Potential, das wirtschaftlich tragbar und für Umwelt wie Menschheit annehmbar ist und das den künftigen Weltversorgungsbedarf an Energie zu decken vermag.

Ein Satelliten-Sonnenkraftwerk kann in einer mit der Erddrehung gleichlaufenden Umlaufbahn, 36 000 Kilometer über dem Äquator, unterhalten werden. Zwei symmetrisch angeordnete Sonnenkollektoren wandeln die Sonnenenergie durch das Fotovolta-Verfahren direkt in Elektrizität um. Die Elektrizität wird in Mikrowellengeneratoren geleitet, die in einer Übergangsantenne zwischen den beiden Sonnenkollektoren befestigt sind. Die Antenne richtet einen Mikrowellenstrahl zu einer Empfangsantenne auf der Erde, wo die Mikrowellenenergie in Elektrizität zurückverwandelt wird.

Ein derartiger Satellit kann so konstruiert werden, dass er auf der Erde elektrische Energie von 3000 bis 20 000 MW erzeugt. Ein System von Satelliten, die in gewünschter Umlaufstellung gehalten werden, könnte an die meisten geographischen Orte Strom abgeben, wobei die Empfangsantenne entweder bei den Hauptzentren oder auf Schiffen errichtet werden müsste.

Man braucht nur wenig Brennstoff, um umlaufstörende Einflüsse wie etwa Gravitationswirkungen von Sonne und Mond, den Druck des Sonnenwindes oder die exzentrische Erdmasse ausser Kraft zu setzen.

Die von der Satellitenstation erzeugte Kraft muss zu einer Empfangsantenne auf der Erde geleitet und umgeformt werden. Die Energie braucht eine Form, die sich für eine wirksame Übermittlung grosser Mengen über weite Strecken bei Minimalverlusten und ohne Beeinträchtigung der Ionosphäre und der Atmosphäre als am zweckmässigsten erweist.

Die Kraftstromdichte, wie sie auf der Erde empfangen wird, muss einen Grad aufweisen, der sich auf Umwelt und Leben nicht unerwünscht auswirkt. Glücklicherweise besitzt der Mensch bedeutende Erfahrung in der Mikrowellenerzeugung von Starkstrom, in Übertragung und Umformung, so dass er diese Ziele zu erreichen vermag.

Für einen Solarenergiesatelliten ist ein Zweistufentransportsystem erforderlich: eine relativ billige Stufe für den Transport von Nutzlasten in eine niedrige Erdumlaufbahn sowie eine zweite Stufe, die montierte Elemente in die Synchronumlaufbahn bringt, zur Betriebsaufnahme.

Das Problem der Einrichtung einer solchen Satellitenstation, die auf der Erde zum Beispiel 5000 MW Strom zu erzeugen vermöchte, liegt darin, eine Nutzlast von etwa 10 000 Tonnen und dazu jährlich etwa 12 Tonnen Treibstoff in die Umlaufbahn zu schiessen. Dieses Problem wäre durch ein Raumtransportsystem wie dem «Space shuttle»-Programm, das zurzeit in den Vereinigten Staaten entwickelt wird, lösbar.

Der «Space shuttle» ist eine flugzeugähnliche Rakete, die schwere Lasten in eine Umlaufbahn um die Erde bringen und ohne zu verglühen wieder zur Erde zurückfliegen und normal landen kann. Statt dem einmaligen Verbrauch von teuren Saturnraketen kann dieser «Space shuttle» (Raumpendler) hunderte Male gestartet werden und ist damit sehr wirtschaftlich.

6. Zusammenfassung

Aber noch befindet sich die Gewinnung von Sonnenenergie in einem frühen Entwicklungsstadium. Noch ist es verfrüht, vorauszusehen, welche der heute studierten Techniken sich auf lange Sicht als zweckmässig erweisen wird. Die Aussicht dieser Verfahren im Vergleich zu anderen Techniken der Energieerzeugung ist sehr günstig. *Rasche Lösungen sind freilich nicht in Sicht.* Dessenungeachtet würde die erfolgreiche Entwicklung auch nur einiger weniger Sonnenenergieanwendungen in den nächsten Dekaden der Menschheit erlauben, mit der Gewissheit über das Jahr 2000 hinauszublicken, dass der künftige Energiebedarf aller Nationen weiterhin gedeckt werden könnte, ohne dem Planeten Erde Schaden zuzufügen.

(Auszug aus dem «UNESCO-Kurier» 1974/1)

Adresse des Autors:
Dr. *Peter E. Glaser,* Vizepräsident der Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Massachusetts (USA).