Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 61 (1970)

Heft: 10

Artikel: Bordenergieanlagen mit solarer Energie

Autor: Roth, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915940

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Bordenergieanlagen mit solarer Energie [1])

Von *J. Rath,* Hamburg

815-821

629.78.064.56

Die Wirkungsweise und der Aufbau von Solargeneratoren werden beschrieben. Dabei wird insbesondere auf ihre Beeinflussung durch Umweltbedingungen eingegangen. Abschliessend wird auf die z. Z. sichtbaren Entwicklungsziele hingewiesen.

L'article décrit le fonctionnement et la constitution des générateurs solaires en approfondissant plus particulièrement les conditions du monde ambiant. Pour terminer, il indique les buts d'évolution actuellement apparents.

1. Einleitung

Bordenergieanlagen haben generell die Aufgabe, Satelliten im Weltraum für die Dauer ihrer Mission hinreichend mit elektrischer Energie zu versorgen. Neben dieser spezifischen Anforderung bestehen weitere Forderungen, die z. T. auch für die anderen Systeme eines Satelliten gelten. Dazu gehören:

1. Hoher Wirkungsgrad;
2. Hohe Zuverlässigkeit;
3. Geringes Gewicht;
4. Hohe Umweltresistenz.

Neben diesen rein technischen Anforderungen sollen schliesslich die Kosten wirtschaftlich vertretbar sein.

Eine vollständige Energieversorgungsanlage besteht im wesentlichen aus:

1. Solarzellengenerator, der die Aufgabe hat, Lichtenergie der Sonne mit Hilfe des photoelektrischen Effektes in elektrische Energie umzuwandeln;
2. Speicherbatterie, zur Aufnahme überschüssiger elektrischer Generatorleistung bzw. zur Deckung des Energiebedarfes, wenn beispielsweise sehr hohe Lastspitzen auftreten oder der Satellit sich im Erdschatten befindet;
3. Energieaufbereitungsanlage, bestehend aus Reglern und Konvertern zur Anpassung der ungeregelten Generatorspannung an die einzelnen Verbraucher.

Im folgenden soll ausschliesslich vom Solargenerator die Rede sein und dabei seine Wirkungsweise und sein Aufbau besprochen werden.

2. Wirkungsweise eines Solargenerators

Die Wirkungsweise eines Solargenerators und insbesondere seine funktionelle Beeinflussung durch Umweltparameter wie:

1. Intensität und Spektralverteilung der umzuwandelnden Lichtstrahlung,
2. Betriebstemperatur,
3. Degradation durch hochenergetische Teilchenstrahlung,
4. Lichteinfallsrichtung,

lässt sich am einfachsten anhand einer einzelnen Solarzelle diskutieren.

Solarzellen sind Energiewandler mit selektiver (d. h. wellenlängenabhängiger) spektraler Lichtempfindlichkeit, die von etwa 3800 Å im blauen bis 12 000 Å im roten Spektralbereich reicht und ein Maximum bei etwa 8500 Å hat.

Fig. 1 zeigt den typischen relativen Verlauf der spektralen Empfindlichkeit einer Silizium-Solarzelle und die spektrale Intensitätsverteilung der extraterrestrischen Sonnenstrahlung (Johnson-Kurve). Man sieht, dass die optische Anpassung der Solarzelle an die Johnson-Kurve nicht ideal ist und dass man von blauempfindlichen Solarzellen nur in dem Sinne sprechen darf, als ihre spektrale Empfindlichkeit weit in den intensiven blauen Bereich der Sonnenstrahlung hineinreicht und alle z. Z. technisch realisierbaren Optimierungsmassnahmen hinsichtlich einer optimalen Anpassung an das Sonnenspektrum praktisch ausgeschöpft sind. In diesem Zusammenhang ist es auch verständlich, dass die Angabe eines Solarzellenwirkungsgrades nur unter Angabe des zugrundegelegten Lichtspektrums eindeutig ist.

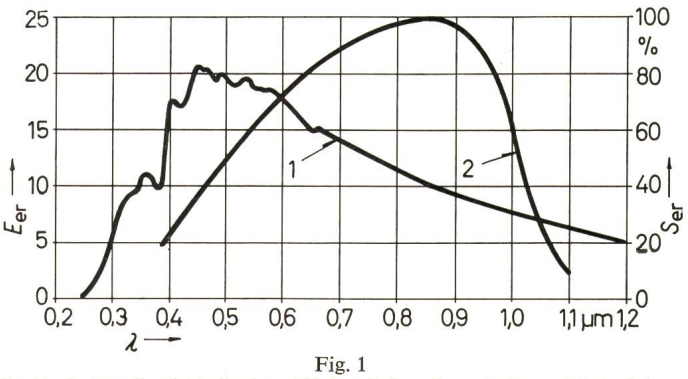

Fig. 1

Spektrale Empfindlichkeit einer Silizium-Solarzelle und die spektrale Intensitätsverteilung der extraterrestrischen Sonnenstrahlung (Johnson-Kurve)

1 extraterrestrische Sonnenstrahlung (Johnson-Kurve); *2* spektrale Empfindlichkeit einer Solarzelle; E_{er} relative Bestrahlungsstärke; S_{er} relative Empfindlichkeit; λ Wellenlänge

[1]) Vortrag, gehalten auf dem Kolloquium des Instituts für Rundfunktechnik am 9. Oktober 1969 in Hamburg.

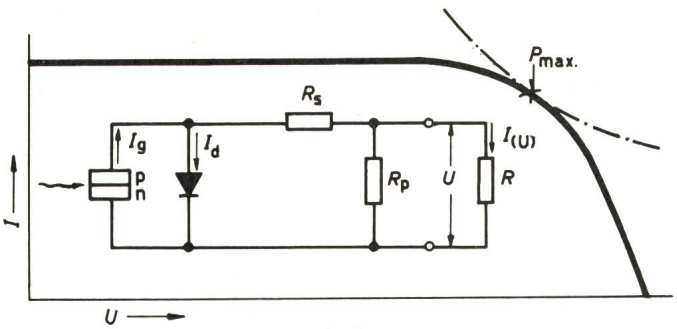

Fig. 2
Ersatzschaltbild einer Solarzelle und deren Kennlinie

I Strom durch den Lastwiderstand; $I_d = I_0\left(e^{\frac{q(U+IR_s)}{akt}} - 1\right)$ I_g light generated current; R Lastwiderstand; R_p Parallelwiderstand der Solarzelle; R_s Serienwiderstand der Solarzelle; U durch den Strom I über dem Lastwiderstand R erzeugter Spannungsabfall

Für Satelliten lassen sich heute Silizium-Solarzellen mit Wirkungsgraden von 10...11 % in grossen Stückzahlen fertigen. Höhere Wirkungsgrade, wie sie bei Labormustern bereits hergestellt wurden, sind für Raumfahrtprojekte aus Kostengründen unrealistisch.

Das elektrische Verhalten von Solarzellen und der Einfluss von Umweltparametern wird im allgemeinen in Form von Strom-Spannungs-Kennlinien dargestellt. Sie haben einen Verlauf wie Diodenkennlinien mit einem überlagerten konstanten Stromterm, dem sog. «light generated current» (Fig. 2) und lassen sich näherungsweise wie folgt darstellen:

$$I(U) = I_g - I_0\left(e^{\frac{q(U+JR_s)}{AkT}} - 1\right) - \frac{U}{R_p}$$

worin

- I Strom durch den Lastwiderstand
- U Spannungsabfall über dem Lastwiderstand
- I_g light generated current
- I_0 Sperrstrom der p/n-Grenzschicht
- q elektrische Elementarladung
- R_s Serienwiderstand der Solarzelle
- R_p Parallelwiderstand der Solarzelle
- A Konstante (liegt bei Si-Solarzellen zwischen 1 und 2)
- k Boltzmannsche Konstante
- T absolute Temperatur (°K)

Fig. 3 zeigt Kennlinienscharen für verschiedene Betriebstemperaturen und Bestrahlungsraten mit 1-MeV-Elektronen. Die Kennlinien für degradierte und undegradierte Solarzellen sind temperaturabhängig. Für Solarzellengeneratoren ist dabei von besonderer Bedeutung, dass bis auf kleine Bereiche in der Nähe des Kurzschlußstromes die gesamte Kennlinie, insbesondere das Leistungsmaximum, sehr grosse negative Temperaturkoeffizienten haben. Es ist verständlich, dass der günstigen thermischen Auslegung von Generatoren hinsichtlich der Erzielung hoher Generatorleistungen eine besonders grosse Bedeutung zukommt.

Einer weiteren negativen Beeinflussung sind die Solarzellen durch hochenergetische Teilchen im Weltraum ausgesetzt. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Elektronen und Protonen im Strahlungsgürtel der Erde, dem sog. van-Allen-Belt. Am Beispiel von 1-MeV-Elektronen ist in Fig. 3 gezeigt, wie stark die einzelnen Solarzellenkennlinien degradieren. (Zur Orientierung sei an dieser Stelle angegeben, dass die Strahlungsbelastung des AZUR nach einer Missionsdauer von 1 Jahr einem 1-MeV-Elektronenäquivalent von etwa $2{,}5 \times 10^{15}$ e/cm² bei Verwendung von 10-Ωcm-Si-Zellen mit 0,5 mm starker Quarzabschirmung entspricht.)

Geeignete Massnahmen zur Reduzierung der Strahlungsdegradation sind:

a) Die geeignete Wahl des Si-Basismaterials und dessen Dotierung;
b) Die Abschirmung der Solarzellen durch transparente Quarzplättchen.

Man verwendet deshalb heute ausschliesslich n/p-Solarzellen, deren Strahlungsresistenz wesentlich höher ist als bei p/n-Solarzellen. Ausserdem lässt sich durch die Stärke der Dotierung des Basismaterials ebenfalls die Strahlungsresistenz erhöhen. (Die Strahlungsresistenz steigt mit zunehmendem Basiswiderstand, so dass für strahlungsreiche Satellitenbahnen heute ausschliesslich 10-Ωcm-Zellen verwendet werden.)

Die Abschirmwirkung von Quarz gegen hochenergetische Protonen ist in Fig. 4 angegeben. Darin ist die Energie E_1 der auftreffenden Protonenstrahlung über der Restenergie E_2 der Protonen nach Durchqueren einer Quarzschicht der Dikke S aufgetragen.

Neben den bisher genannten Parametern beeinflussen Intensität und Einfallswinkel der Lichtstrahlung den Kennlinienverlauf.

Bis etwa 3...4 Solarkonstanten ist der Kurzschlußstrom von 10-Ωcm-Zellen praktisch proportional der Lichtintensität. Aufgrund von inneren Serienwiderständen (bei 10-Ωcm-Zellen $R_S \approx 0{,}4\Omega$) machen sich jedoch Nichtlinearitäten bei höheren Intensitäten stark bemerkbar und äussern sich in einer starken Reduzierung des Kurvenfaktors und damit des Wirkungsgrades.

Eine Reduzierung des Serienwiderstandes auf $R_S = 0{,}1\,\Omega$, wie er bei 1-Ωcm-Zellen realisierbar ist, wirkt sich hinsichtlich des Kurvenfaktors und des Wirkungsgrades bei hohen Intensitäten sehr günstig aus.

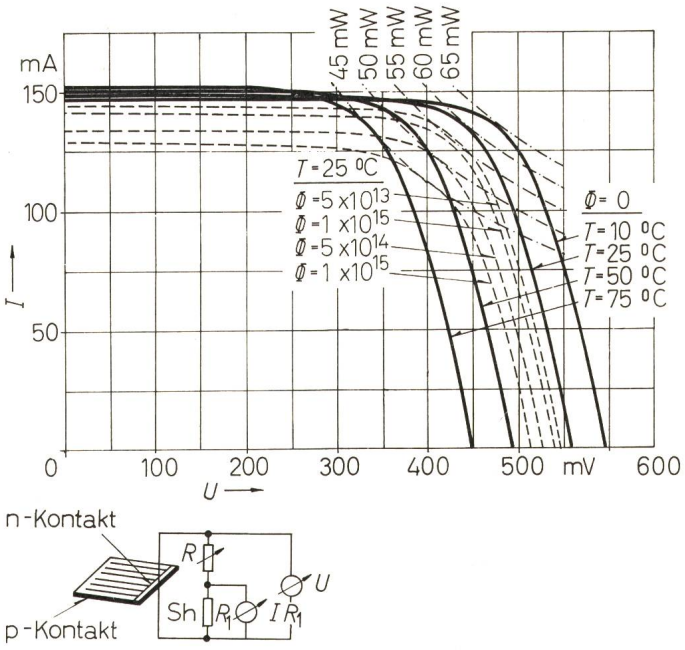

Fig. 3
Solarzellen-Kennlinienscharen für verschiedene Betriebstemperaturen T und Bestrahlungsraten Φ mit 1 MeV-Elektronen

R Lastwiderstand; R_1 Shuntwiderstand; Sh Shunt; U Solarzellenspannung; I Solarzellenstrom

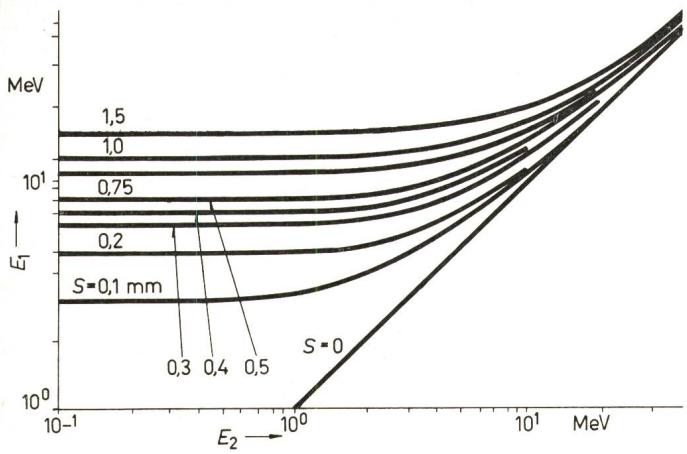

Fig. 4
Abschirmwirkung von Quarzglas gegen Protonenstrahlung
$E_1 = f(E_2)$, Parameter S; E_1 Energie der auftreffenden Protonen; E_2 Restenergie; S Quarzschichtdicke

Der Kurzschlußstrom ist im wesentlichen proportional dem cosinus des Lichteinfallswinkels (Lambertsches Gesetz). Bei hohen Einfallswinkeln jedoch ist die Abweichung vom Lambertschen Gesetz nicht mehr vernachlässigbar. Ursachen für diese Abweichung sind hauptsächlich das einfallswinkelabhängige Reflexionsverhalten der Solaroberfläche und eine Rotverschiebung der spektralen Empfindlichkeit. Die genaue Kenntnis der Abhängigkeit der Solarzellenkennlinie vom Lichteinfallswinkel ist von grosser Bedeutung bei der Auslegung und Optimierung von zylindrischen, konischen oder kugelähnlichen Solarzellengeneratoren.

Das Verhalten eines Solargenerators lässt sich mit Kenntnis der soeben diskutierten Effekte berechnen. Durch geeignete Serien- bzw. Parallelschaltung der einzelnen Solarzellen lässt sich die optimale Belegung auf der für den Solarzellengenerator zur Verfügung stehenden Satellitenoberfläche finden.

Im Prinzip muss man zur Berechnung der Generatorkennlinie lediglich die Kennlinien der einzelnen Solarzellen superponieren, d. h. bei Parallel- bzw. Serienschaltung die Zellenkennlinien strom- bzw. spannungsmässig aufaddieren. In der Praxis werden jedoch die einzelnen Solarzellen eines Generators mit verschiedenen Einfallswinkeln beleuchtet (z. B. kugelähnlicher Satellitenkörper), Ausleger- oder Antennenarme können je nach Orientierung des Satelliten zur Sonne Teile des Generators abschatten, und in den meisten Fällen ist die Generatortemperatur nicht konstant, so dass gegebenenfalls auch eine örtliche Temperaturverteilung über den Generator berücksichtigt werden muss. In vielen Fällen kommt hinzu, dass die Differenz zwischen Energieangebot und Leistungsbedarf erst zu einem späteren Zeitpunkt der Mission kritisch wird, so dass die Optimierung für diesen Zeitpunkt erfolgen muss. In diesem Fall muss zusätzlich der vorausberechnete Degradationszustand des Solarzellengenerators für diesen Zeitpunkt berücksichtigt werden. Es leuchtet ein, dass derartige Generatorberechnungen, wenn sie detailliert durchgeführt werden sollen, nur noch mit Hilfe von Computern möglich ist.

3. Aufbau eines Solarzellengenerators

Ein Solarzellengenerator wird durch Serien bzw. Parallelschaltung von Einzelzellen aufgebaut. In den häufigsten Fällen geschieht die elektrische Zusammenschaltung der Solarzellen nach dem in Fig. 5 angegebenen Schema.

Aus Redundanzgründen werden meistens zwei (in speziellen Fällen auch mehr) Einzelzellen parallel zu einem Submodul geschaltet. Durch Serienschaltung mehrer Submodule erhält man ein Modul. Vollständige Module (einschliesslich Deckgläser, Rückleiter und Substrat, wie in den folgenden Abschnitten beschrieben) werden anschliessend auf die Satellitenstruktur oder Paddel aufgeklebt und elektrisch in Serie zu einem sog. Streifen geschaltet. Durch fortlaufende Parallelschaltung einzelner Streifen erhält man einen Solarzellengenerator. Die flächenmässige Belegung der für den Generator zur Verfügung stehenden Satellitenoberfläche erfolgt so, dass möglichst viele Solarzellen auf ihr untergebracht werden, um eine hohe Packungsdichte und damit einen hohen Generatorwirkungsgrad zu erzielen.

Alle Solarzellenstreifen eines Generators werden grundsätzlich durch Blockdioden elektrisch entkoppelt. Aus Redundanzgründen verwendet man meistens zwei Dioden pro Streifen, in speziellen Fällen werden vier Dioden pro Streifen in Quodschaltung eingesetzt. Aufgabe der Dioden ist es, eine gegenseitige Belastung der Streifen zu verhindern. Sie kann dadurch hervorgerufen werden, dass nicht alle Streifen elektrisch identisch sind, sondern kleine Unterschiede aufgrund von Toleranzen sowohl bei der Solarzellenfertigung als auch bei der elektrischen Verschaltung und Verkabelung des gesamten Generators aufweisen. Ausserdem können vereinzelnd Kurzschlüsse in den Streifen durch die Startbelastung hervorgerufen werden und Streifendefekte durch Mikrometeorite auftreten.

Andererseits liefern die einzelnen Streifen bei zylindrischen, konischen und kugelähnlichen Satellitenkonfigurationen aufgrund der unterschiedlichen Betriebsbedingungen (Lichteinfallswinkel, Zellentemperatur, partielle oder totale Abschattung einzelner Zellen durch Antennen und Ausleger usw.) verschiedene Ströme, so dass auch in diesem Falle eine wechselseitige Streifenbelastung durch Verwendung von Blockdioden vermieden werden muss.

Fig. 6 zeigt im Schema zwei Längsschnitte durch einen Solarzellenstreifen. Die Fig. 6a zeigt die heute fast ausnahmslos verwendete flache Bauweise, bei der die Zellen parallel

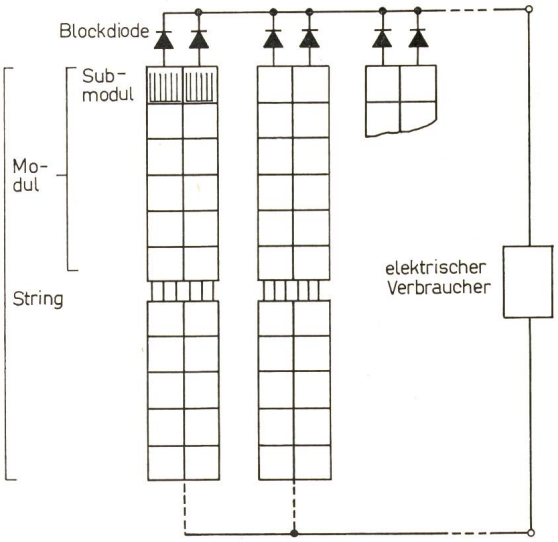

Fig. 5
Prinzipielle Schaltung eines Solarzellen-Generators

zur Strukturoberfläche angeordnet werden. Die Serienschaltung geschieht mit kleinen speziell geformten Metallblechen oder -drähten, die die elektrische Verbindung vom n-Kontakt der einen Zelle zum p-Kontakt der benachbarten herstellen. Zur Aufnahme von mechanischen Spannungen werden die Verbindungsbleche möglichst elastisch gestaltet.

Für die Stromrückführung verwendet man meistens flache in Isolierfolie eingebettete Stromleiter direkt unter den Modulen. Dadurch vermeidet man grosse Stromschleifen und reduziert die in der Solarzellenanlage erzeugten Magnetfelder auf ein Minimum.

Die mit dieser Bautechnik erzielbaren Packungsdichten (Verhältnis von totaler Solarzellenfläche und Generatorfläche) hängt massgebend von den Abständen der Zellen, Module und Streifen untereinander ab. Beim AZUR-Generator wurden Zellenabstände von 0,5 mm realisiert und Packungsdichten auf dem Zylinder von über 0,9, auf dem Konus von etwa 0,7 erreicht. Die mittlere Packungsdichte einschliesslich der Streifenverkabelung betrug 0,82.

Noch höhere Packungsdichten kann man mit der in Fig. 6b angegebenen Technik erzielen. Hier verschwinden bei Serienschaltung die Abstände zwischen den Zellen, ausserdem erhöht man bei vorgegebener Generatorfläche die photoelektrisch wirksame Oberfläche dadurch, dass die n-Kontakte der Zellen durch benachbarte Zellen überdeckt werden. Der Vorteil dieser Technik gegenüber der beschriebenen wird jedoch teilweise dadurch aufgehoben, dass eine derartige Verschaltung weniger elastisch und damit anfälliger gegen hohe mechanische Belastungen ist. Ausserdem ist sie wegen der relativ dicken keilförmigen Kleberschicht unter den Zellen gewichtsmässig und thermisch nicht so vorteilhaft.

In Fig. 7 ist ein senkrechter Schnitt durch ein Modul dargestellt. Die Solarzelle wird auf ihrer der Sonne zugewendeten photoelektrisch aktiven Seite mittels eines transparenten Klebers zum Schutz gegen hochenergetische Teilchen und Mikrometeorite mit einem Quarzplättchen beklebt. Zur guten optischen Anpassung trägt das Quarzplättchen auf seiner sonnenseitigen Oberfläche eine Antireflexionsschicht. Auf der zellenseitigen Quarzfläche befindet sich ein Interferenzfilter, das aus bis zu 50 im Vakuum aufgedampften Metalloxydschichten besteht. An diese Filter werden mehrere Anforderungen gestellt: Im Bereich der photoelektrischen Empfindlichkeit der Solarzellen sollen sie eine sehr hohe Transparenz haben, für Lichtstrahlen unterhalb 3800 Å sollen

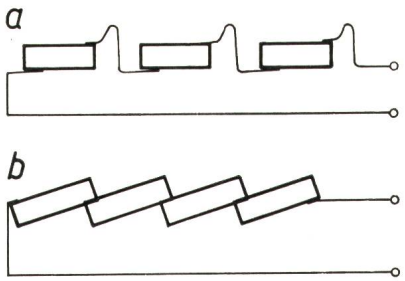

Fig. 6
Flache und geschindelte Montagetechnik für Solarzellenstreifen
a flache Bauweise; *b* geschindelte Bauweise

sie praktisch undurchsichtig sein und eine Eintrübung (und damit Transparenzverminderung) des Deckglasklebers durch UV-Strahlung verhindern. In speziellen Fällen sollen sie ausserdem den über 12 000 Å liegenden Anteil der Sonnenstrahlung wieder reflektieren, da dieser Anteil aufgrund der Zellenempfindlichkeit nicht in elektrische Energie umgewandelt wird, jedoch den Temperaturhaushalt des Satelliten nachteilig beeinflussen kann.

Die mit Deckgläsern versehenen Solarzellen werden auf ein Substrat aus isolierendem Material, z. B. Kapton oder mit Glasfasern verstärkter Kunststoff (GfK), aufgeklebt. Das Substrat umschliesst meistens auf beiden Seiten den metallischen Stromrückleiter.

Die aus Zellen, Zellenverbindern, Deckgläsern und Substrat bestehenden Module werden schliesslich mit speziellen Strukturklebern auf die Satellitenoberfläche oder Generatorpaddel geklebt.

4. Entwicklungsziele

Die Herstellung leistungsstarker Solarzellengeneratoren ist durch das maximale Nutzlastvolumen und -gewicht der Trägerraketen begrenzt. Der z. Z. im Bau befindliche Fernsehsatellit INTELSAT IV, der 1971 gestartet werden soll, dürfte den bisher grössten Solarzellengenerator enthalten (wenn man von den z. T. bemannten russischen Raumflugkörpern mit riesigen Generatorauslegern absieht). Der INTELSAT IV-Generator enthält auf einer zylindrischen Struktur von etwa 2,5 m Höhe und ca. 2 m Durchmesser 50 000 Solarzellen der Grösse 2×2 cm und wird eine Generatorleistung von schätzungsweise 1 kW liefern.

Zur Erzielung höherer Leistungen werden z. Z. zwei Möglichkeiten untersucht:

a) Herstellung von flexiblen grossflächigen Generatoren;

b) Herstellung von polykristallinen Dünnfilmsolarzellen von etwa 50 cm² Fläche.

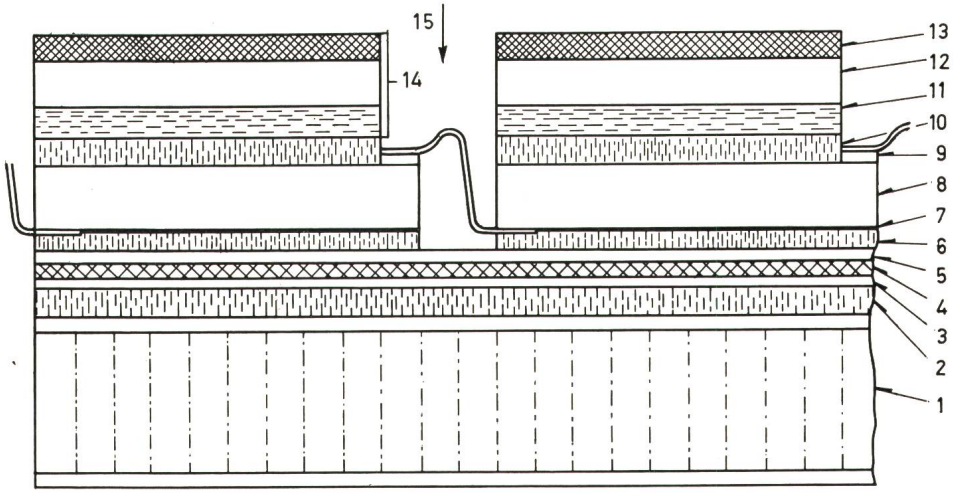

Fig. 7
Senkrechter Schnitt durch ein Solarzellenmodul
1 Panel; *2* Strukturkleber; *3* Substrat (Gfk oder Kapton); *4* Rückleiter; *5* Substrat (Gfk oder Kapton); *6* Substratkleber; *7* Zellen p-Kontakt; *8* Solarzelle; *9* Zellen n-Kontakt; *10* Deckglaskleber; *11* Filterschicht; *12* Quarz; *13* Antireflexschicht; *14* Deckglas; *15* Sonne

Bei den flexiblen Generatoren geht man davon aus, dass die Solarzellenflächen auf ein kleines Volumen aufgerollt bzw. zusammengefaltet werden. Die auf diese Weise erzielbaren Generatorflächen und -leistungen würden damit ein Vielfaches von dem betragen können, was heute mit «body mounted» Generatoren oder starren und relativ schweren Generatorauslegern (Paddel) möglich ist. Solche Generatormodelle werden bereits in verschiedenen Entwicklungslaboratorien getestet. Eine Vorhersage auf die damit erzielbaren Generatorleistungen ist jedoch schwer möglich, weil noch nicht abzusehen ist, wie weit sich die verwendeten Materialien und Ausfaltmechanismen unter Weltraumbedingungen eignen.

Entwicklungsziel bei den Dünnfilmzellen sind Wirkungsgrade von über 5 % (derzeitiger technologischer Stand: $\eta = 2...3$ % gegenüber konventionellen Si-Solarzellen mit $\eta = 10...12$ %).

Trotz des vergleichsweise geringen Wirkungsgrades der Dünnfilmzellen haben sie eine Reihe von Vorzügen gegenüber den Si-Solarzellen. Sie zeichnen sich aus durch:

a) Hohe Bruchfestigkeit aufgrund ihrer flexiblen Struktur und damit geringe mechanische Anforderungen an den Sonnenzellenträger;

b) Geringe Degradation durch hochenergetische Teilchen.

Vergleichende Angaben über die Strahlungsresistenz von Dünnfilmzellen(CdS) und konventionellen Si-Zellen sind in Tabelle I zusammengestellt.

Vergleich von Strahlungsresistenz von Dünnfilmzellen (CdS) und konventionellen Si-Zellen

Tabelle I

Degradation	bei CdS-Zelle	bei Si-Zelle
Durch Elektronenstrahlung (10^{15} e/cm²)	< 5 %	ca. 25 %
Durch Protonenstrahlung (3×10^{12} p/cm²)	ca. 2 %	ca. 40 %

Auch wenn man berücksichtigt, dass beim Einsatz von Dünnfilm-Solarzellen aufgrund des geringen Wirkungsgrades etwa das 2,5...3fache der Fläche wie für konventionelle Zellen benötigt werden, scheinen Dünnfilmzellen in Verbindung mit flexiblen Generatorstrukturen gute Zukunftschancen für die Anwendung bei Raumflugkörpern zu haben.

Adresse des Autors:
Dipl.-Phys. *J. Rath,* Riststrasse 1a, D–2 Hamburg-Wedel.

THOMAS JOHANN SEEBECK

1770 — 1831

1146

Deutsches Museum München

Lötet man zwei aus verschiedenen Metallen bestehende Drähte zu einer Schleife und erwärmt oder kühlt die eine Lötstelle, so entsteht in der Drahtschleife ein elektrischer Strom. Diese, von Seebeck im Jahre 1821 entdeckte Erscheinung — den Seebeck-Effekt — bezeichnet man als Thermoelektrizität. Die treibende Spannung ist abhängig von der Lage der beteiligten Metalle in der sog. thermoelektrischen Spannungsreihe, die Seebeck auf Grund vieler Messungen zwei Jahre später aufstellen konnte.

Seebeck wurde am 9. April 1770 in Reval geboren, studierte dann zuerst in Paris und London Naturwissenschaften. In Paris war er Schüler *Fourcroys,* der die Wärmewirkung des elektrischen Stromes entdeckt hatte. Später lag Seebeck in Berlin und Magdeburg medizinischen Studien ob, liess sich 1802 in Jena als Privatgelehrter nieder und gehörte dort zum Freundeskreis *Goethes.* Nach kurzem Aufenthalt in Nürnberg zog er 1813 nach Berlin, wo er bald Mitglied der Preussischen Akademie der Wissenschaften wurde. Seebeck, ein hervorragender Experimentator, widmete sich vorwiegend dem Magnetismus und dem Studium der galvanischen Ketten. Die Anregungen zu diesen Untersuchungen gingen vorwiegend auf *Fourcroy* zurück.

Wenn Elektrizität in Wärme umgewandelt werden kann, ist es dann nicht auch möglich, Wärme in Elektrizität umzusetzen, fragte sich Seebeck. Als er 1821 Versuche mit einer Wismutscheibe und einer Kupferplatte anstellte, beobachtete er am «Multiplikator» (so nannte man damals eine Art Strommesser) auffällige Ausschläge. Er ging der Sache nach und fand, dass es sich nicht wie erwartet um galvanische Ströme handelte, sondern dass seine Handwärme im Spiele war.

Seebeck erlebte die Bedeutung seiner Entdeckung nicht mehr. Er starb am 10. Dezember 1831 in Berlin. Erst in neuerer Zeit erlangte die Erscheinung eine gewisse Bedeutung. Heute wird der Seebeck-Effekt unter anderem dazu benützt, in Satelliten durch Sonnenwärme elektrischen Strom zu erzeugen. Auch die seit langem bekannte Temperaturmessung mit Thermoelementen beruht auf der gleichen Erscheinung.

H. Wüger