

Zeitschrift: Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen
Herausgeber: Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere
Band: 49 (1976)
Heft: 2

Artikel: Sonnenenergie : grosstechnische Erschliessung durch Halbleiter
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-561961>

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: 17.07.2025

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

Sonnenenergie

Grosstechnische Erschliessung durch Halbleiter

Die auf die Erde einfallende Sonnenenergie steht von allen bekannten und technisch nutzbaren Energiequellen nahezu uneingeschränkt zur Verfügung. Ausserhalb der Erdatmosphäre beträgt der Energiestrom $1,4 \text{ kW/m}^2$, auf der Erdoberfläche unter idealen Bedingungen 1 kW/m^2 , und gemittelt über das Jahr liegt der Wert in unseren Breiten bei etwa 100 W/m^2 . Zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme bieten sich zur Ausnutzung dieses Energiestroms Sonnenkollektoren an, die diese Energie mit einem Wirkungsgrad von etwa 50 % in Wärme umwandeln. Eine Umwandlung in elektrische Energie wird mit vernünftigen Wirkungsgraden nur mit Solarzellen erreicht.

In bedeutendem Umfang wird die Sonnenenergie in diesem Sinne heute nahezu ausschliesslich in der Raumfahrt genutzt. Hier wird sie mit Solargeneratoren direkt in elektrische Energie umgewandelt. Das Wandlerelement ist die Silizium-Solarzelle — ein Halbleiterbauelement. Bei diesen aus einkristallinem Silizium hergestellten Zellen liegt einige $1/10 \text{ }\mu\text{m}$ unter der beleuchteten Oberfläche die aktive Sperrschicht der Zelle. Elektrische Kontakte werden durch aufgedampfte Titan-Palladium-Silber-Schichten erzeugt. Die Interferenzfarbe einer reflexmindernden Schicht gibt der Zelle ihr charakteristisches blaues Aussehen. Für die Raumfahrt werden Zellen mit Standardmassen von $2 \times 2 \text{ cm}$ und $2 \times 4 \text{ cm}$ bei einigen $1/10 \text{ mm}$ Dicke verwendet. Die runden Zellen mit einer Fläche von 20 cm^2 sind für spezielle terrestrische Anwendungen bestimmt. Sie sind mit die grössten Bauelemente der Halbleitertechnik.

Nach der Raumfahrtanwendung ...

Mit dem Beginn der Raumfahrtaktivitäten in Europa sind vor zehn Jahren Entwicklungen von Energieversorgungssystemen auf der Basis von Solarzellen begonnen worden. Bereits im ersten Jahr der Entwicklung wurde für den ersten deutschen Satelliten «AZUR» mit der Fertigung von Solarzellen begonnen. Seit 1966 wurden mehr als 300 000 Solarzellen hergestellt, was einer Zellenfläche von 150 m^2 und einer äquivalenten elektrischen Leistung von etwa 20 kW entspricht.

Die grundlegenden technologischen Entwicklungsarbeiten, die Voraussetzung für diese verschiedenen Projekte waren, sind weitgehend im Rahmen der öffentlichen Raumfahrtförderung durchgeführt worden. Durch in hohem Masse zielorientierte Entwicklung wurden mit einem optimalen Einsatz der vorhandenen Fördermittel eine

Reihe neuer Technologien entwickelt, die inzwischen als weltweit richtungsweisend bei Solargeneratoren eingesetzt werden. Der Erfolg der parallel laufenden Grundlagenentwicklung zeigt sich in der ständigen Steigerung des Wirkungsgrades der Solarzellen. Modernste Hochleistungs-Solarzellen werden heute mit einem mittleren Wirkungsgrad, der unter Raumfahrtbedingungen zwischen 12 und 13 % liegt, serienmässig gefertigt. Grundlegende Materialuntersuchungen haben gezeigt, dass eine obere physikalische Grenze des Wirkungsgrades von etwa 16 % zu erwarten ist. Im Labor konnten an Versuchsmustern bereits Werte von 15 % realisiert werden. Die Entwicklung von rationellen Fertigungsverfahren für solche Zellen ist Gegenstand der laufenden Arbeiten.

An zwei konkreten Beispielen soll der Einsatz der fortschrittlichen Technologien erläutert werden. Die Konfiguration und ein Generatorpanel wurde in der Sonnensonde HELIOS angewandt, die am 10. Dezember 1974 in Amerika gestartet wurde, zeigt. Im Punkt nächster Sonnennähe, den die Sonde im März und September 1975 passiert hat, ist der HELIOS-Solargenerator einer Intensität von 11 Solarkonstanten ausgesetzt. Dies hat eine neue Generatortechnik notwendig gemacht, die von -60°C bis zu $+180^\circ\text{C}$ qualifiziert werden musste. Speziell für diese Einsatzbedingungen wurden Solarzellen mit lotfreien schweissfähigen Kontakten entwickelt, die mit einem Mikro-Schweissverfahren verschaltet sind. Diese Technik ist mittlerweile zu einem Standardverfahren geworden.

Für den kanadischen Nachrichtensatelliten CTS wurde der erste flexible ausklappbare Solargenerator entwickelt und gebaut. Eine elektrische Leistung von $1,3 \text{ kW}$ wird mit zwei identischen Generatorstrukturen von je 8 m^2 erzeugt. Jedes der sogenannten «Laken» ist mit 12 500 Solarzellen belegt. Sie sind weniger als $2/10 \text{ mm}$ dick, wodurch das Gewicht eines Generatorteils unter 7 kg realisiert werden konnte.

... jetzt terrestrischer Einsatz

Neben diesen spektakulären Anwendungen in der Raumfahrt gewinnt das Halbleiterbauelement Solarzellen steigende Bedeutung bei der terrestrischen Nutzung der Sonnenenergie. Im Gegensatz zur Raumfahrt, wo Leistungsgewicht, Zuverlässigkeit und Beständigkeit gegen Partikelbestrahlung von wesentlicher Bedeutung sind, stehen bei der terrestrischen Anwendung nur Kostenüberlegungen im Vordergrund. Basierend auf dem bei der Entwicklung von Solargeneratoren für die Raumfahrt bewährten Entwicklungskonzept sind bei AEG-Telefunken-Experimentierstudien begonnen worden mit dem Ziel:

- bestehende Verfahren hinsichtlich ihrer möglichen Kostenreduzierung zu untersuchen;
- neue unkonventionelle Technologien zu erproben, die drastische Kostenreduzierungen erwarten lassen;
- festzustellen, bis zu welcher Grössenordnung für welchen Anwendungsfall terrestrische Solarzellengeneratoren ökonomisch sinnvoll sind.

Als Ergebnis der ersten Phase sind Solarzellen entstanden, deren Struktur und Herstellungsverfahren weitgehend den gegenüber der Raumfahrt anders gearteten Forderungen der erdgebundenen Anwendung angepasst sind. Daneben wurden zwei einfache Generatorkonzepte entwickelt. So sind 32 Zellen von je 20 cm^2 Fläche in Serie geschaltet, mit denen unter terrestrischen Bedingungen etwa 7 W Ausgangsleistung erreicht werden. Mit diesen Versuchsmodulen werden die Einsatzbedingungen für terrestrische Anwendungen geprüft und Langzeittests durchgeführt. Bei einem Versuchsaufbau eines Versuchsgenerators mit etwa 140 W Ausgangsleistung beträgt die Zellenfläche etwa $1,3 \text{ m}^2$. Ein weiterer Versuchsgenerator mit 250 W elektrischer Leistung ist zur Zeit bei der «Instituts-gemeinschaft für die technische Nutzung solarer Energie» in Stuttgart für einen Dauerversuch im Aufbau. Seine Erweiterung auf 1 kW ist für 1976 geplant. Solargeneratoren dieses Typs sind heute schon für spezielle Anwendungen geeignet, so etwa für spezielle Energieversorgungssysteme dort, wo keine elektrische Energie zur Verfügung steht. Gedacht ist hier an Bojen, Leuchttürme, Wetterstationen oder Notstromaggregate für Bohrschiffe.

Herstellkosten von Solarzellen

Eine Analyse der Herstellkosten von Solarzellen, aufgegliedert in die wesentlichen Positionen des Fabrikationsprozesses entsprechend den heute verwendeten Technologien, zeigt folgende Gegenüberstellung:

	Raumfahrt	Terrestrisches Versuchsmodell	
Produktionsvolumen			
	2 kW/a	50 kW/a	
Kosten			
	500 Fr.	45 Fr.	
Kontrollen			
	220 Fr. 44 %	2 Fr.	4 %
Zellenherstellung			
	205 Fr. 41 %	28 Fr.	63 %
Scheibenherstellung			
	40 Fr. 8 %	3 Fr.	7 %
Rohmaterial			
	35 Fr. 7 %	12 Fr.	26 %

Bei der Raumfahrt liegen die Kosten bei 500 Fr., wobei allein 44 % als Prüfkosten infolge der hohen geforderten Zuverlässigkeit anfallen. Bei einer Serienproduktion

konventioneller Zellen für terrestrische Anwendung ergeben sich 45 Fr. Gegenüber der Raumfahrtzelle steigt dabei der Anteil des Ausgangsmaterials von 15 auf 33 % an. Dies zeigt, welche Bedeutung dem Kostenanteil des Halbleiter-Materials Silizium bei einer weiteren Kostenreduzierung zukommt.

Entwicklungen zur grosstechnischen Anwendung von Solargeneratoren sind in mehreren Ländern mit grossem finanziellem Aufwand angelaufen. Die am Ende dieser Entwicklung erwartete Kostensituation zeigt folgende Darstellung:

Entwicklungsziel terrestrischer Grossgenerator

Zellenfläche	0,5 km ² /a
Produktionsvolumen	50,0 MW/a
Kosten	60,0 Rp.
Zellenherstellung	20 Rp. 33 %
Scheibenherstellung	25 Rp. 42 %
Rohmaterial	15 Rp. 25 %

Das für derartige grosstechnische Anwendungen vorausgesetzte Produktionsvolumen liegt fünf Grössenordnungen über der heutigen Menge, und allein der Siliziumbedarf ist grösser als die heute weltweit produzierte Menge. Um dieses Vorhaben zu realisieren, werden neue Verfahren für die Halbleiterherstellung und die Zellenfabrikation entwickelt, die nicht mehr mit den Masstäben der heutigen Halbleiterindustrie zu messen sind und nur über einen langwierigen Entwicklungsprozess zu erreichen sind. Detaillösungen werden auch schon heute in den Labors vorbereitet. So sind in intensiver Zusammenarbeit zwischen Material- und Zellenhersteller neue kostengünstige Verfahren zur Herstellung des Halbleitermaterials beschritten worden. Mit diesem unkonventionellen Material können neuartige grossflächige Zellenstrukturen verwirklicht werden.

Aehnlich wie in der Raumfahrt, wo durch öffentliche Förderung der technologische Rückstand von Deutschland nicht nur verringert wurde, sondern speziell für die Solarzellentechnik eine Spitzenstellung erreicht wurde, ist es jetzt notwendig, die Anschluss an den internationalen Stand zu finden. Zusammenfassend ergibt sich für die Nutzung von Sonnenenergie durch Solarzellen die folgende Situation:

Stand der Technik 1975

- Theorie vollständig erfasst
- Technologie hoch entwickelt und ausgereift
- Ausgangsmaterial problemlos, Eigenschaften bekannt
- Zuverlässigkeit erwiesen, Langzeiterfahrung vorhanden
- Multi-kW-Generatoren sind bereits gebaut
- Hohe Kosten pro Watt — potentielle Reduzierung möglich

- Zielrichtung der weiterführenden Entwicklung klar

Wichtigste Entwicklungsziele zur grosstechnischen terrestrischen Anwendung:

- Einfacher Herstellprozess für «SolarGrade» Silizium
- Kostengünstiger Herstellprozess für Silizium-Scheiben
- Automatisierbarer Herstellprozess für Zellen mit hohem Wirkungsgrad

- Automatisierbares Verfahren zur Herstellung von Solar-Generatoren

Der hohe Stand, den diese Technik in der Raumfahrt erreicht hat, erlaubt es, die für die weitere Entwicklung erforderlichen Aufgaben klar zu formulieren. Unterstellt man das Erreichen des Fernziels, Kosten pro Watt zu ermöglichen, die vergleichbar mit anderen Energieerzeugern sind, so werden Solargeneratoren attraktive Alternativen bei der Lösung des Energieproblems sein.

Halbleitertechnik im internationalen Wettbewerb

Schluss aus Nr. 1 1976

Daneben gab es Steuer-Erleichterungen für den Export vollintegrierter Fernsehgeräte unter anderem. Die eigene Industrie wurde jahrelang durch das Verbot ausländischer Mehrheitsbeteiligungen geschützt.

Situation in Europa

In Europa hat man relativ spät erkannt, welche Gefahr für die europäische Elektronikindustrie aufzog: Mit dem Abwandern von immer mehr Fertigungs- und Entwicklungstiefe zum Halbleiterbauelement hin entsteht eine immer grössere Abhängigkeit zwischen dem Geräte- und dem Bauelementhersteller. Und gerade auf den modernen Halbleitergebieten, wie z. B. auf dem der Schaltkreisenentwicklung, war die führende Stellung der US-Halbleiterhersteller zu spüren. So stellten die USA 1973 mehr als 80 % aller in der westlichen Welt erzeugten integrierten Schaltkreise her, und auch 1974 betrug der Importüberschuss noch 59,5 %. Erst mit dem stürmischen Vordringen des Taschenrechners wurde auch in Europa klar, dass dieser im wesentlichen aus dem in Halbleitertechnik umgesetzten System-Know-how und einem relativ unbedeutenden Plastikgehäuse besteht. Erst hier erkannten viele, dass um die grossen Halbleiterhersteller, wie Texas Instruments, Motorola und NSC, neue Konzerne entstehen würden, die ihr entscheidendes Fundament im Halbleiter haben und die über die sogenannte Vorwärtsintegration erhebliche Konkurrenz bieten würden. Wollte man in Europa in Zukunft an der Entwicklung noch teilhaben, so mussten schnellstens folgende Aufgaben gelöst werden:

1. War die entstandene technologische Lücke zu schliessen. Insbesondere auf den zukunftsorientierten Produktgebieten bipolarer integrierter Schaltkreise, MOS-Technik, optoelektronischer Bauelemente.
2. Waren neue Produktionsstrukturen und fortschrittliche Fertigungsverfahren zu entwickeln, die es erlauben würden, preislich auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig zu werden.

3. Waren Produktstrategien zu entwickeln, die trotz der auf vielen Gebieten durch ihre überlegene Wirtschaftlichkeit infolge von Grossserien (Economy of Scale) bedingten ausländischen Uebermacht erfolgversprechend schienen.

Ergebnisse europäischer Wettbewerbsstrategien

Stand der Technologie

Im Ergebnis kann heute folgendes festgestellt werden: Es gelang in den letzten drei Jahren, auf den im Schwerpunkt bearbeiteten Halbleitergebieten die technische Lücke weitgehend zu schliessen. Und dies nicht nur aufgrund grosser Eigenanstrengungen, sondern auch durch mittlerweile wirkungsvolle öffentliche Förderung der Halbleitertechnik in Europa.

Das ist wirkungsvoll, aber es wird leicht übersehen, dass auch 1974 der Anteil öffentlicher Mittel am «Total Technical Effort» eines einzigen US-Halbleiterherstellers noch 19 Mio Dollar betrug, das ist fast das Fünffache der derzeitigen jährlichen Gesamtförderung in Deutschland. Dennoch können sich die europäischen Halbleiterhersteller heute schon sehen lassen. So stammen z. B. derzeit 75 % aller im Farbfernsehgerät eingesetzten Schaltkreise aus europäischen Entwicklungen bzw. werden in Europa produziert. Ähnliche Beispiele lassen sich für die Optoelektronik anführen: Die gefertigten Solarzellen, die in vielen amerikanischen Satellitenprojekten verwendet werden, oder Bauelemente des Unternehmens für die Glasfaser-Nachrichtentechnik, die zur absoluten Weltspitze gezählt werden. Stolz ist AEG-Telefunken auch auf sein Mikroprozessor-System CP 3F, das erste, das in Europa entwickelt wurde.

Produktionsstrukturen und Automatisierung

Auch im zweiten Punkt «Produktionsstruktur und Automatisierung» konnte die deutsche Halbleiterindustrie den Weltbestand einholen oder ihn sogar übertreffen. Billiglohnmontage in Fernostfabriken ist für deutsche Hersteller heute ebenso selbstverständlich wie für ihre amerikanischen Konkurrenten. So fertigt AEG-Telefunken