

Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme

H. Kabisch, Berlin

Ganz gleich, ob netzunabhängig gewonnener Solarstrom für Geräte oder Kleinsysteme verwendet wird, für nicht wenige Elektrofachleute ist diese Anwendungsform der Photovoltaik ein interessantes Betätigungsfeld. Das gilt vor allem für Ideenträger und Tüftler, aber auch für Unternehmen, die ein neues Produkt in ihr Fertigungsprogramm aufnehmen wollen. Der nachstehende Beitrag führt anhand bereits entwickelter und vielfach auch auf dem Markt angebotener Erzeugnisse in die Thematik ein.

Seit Bereitstellung erster solarversorgter Taschenrechner in den 80er Jahren stiegen Anzahl und Typenspektrum photovoltaisch versorgter Geräte und Kleinsysteme stetig an. Heute steht dieses Marktsegment gleichberechtigt neben Anlagen, die netzgekoppelt oder als Inselssysteme bis in den MW-Bereich betrieben werden. Beiden gemeinsam ist die klimafreundliche Energieversorgung.

Während aber die Anlagentechnik weitgehend von finanzieller Förderung abhängt, sind photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme bereits heute wirtschaftlich attraktiv.

1 Aufbau solarer Gerätestromversorgungen

Während PV-Anlagen in der Regel 50 Hz-Wechselstrom für 230 V bereitstellen, liefern die nachstehend behandelten Stromversorgungssysteme ausschließlich oder zumindest zu erheblichen Anteilen Gleichstrom im Schutzkleinspannungsbereich. Ihre Leistung ist genau auf das zu versorgende Gerät bzw. den zu versorgenden Kleinverbraucher abgestimmt. Insgesamt reduzieren sich dadurch Verluste, Volumen, Gewicht und Kosten. In gleicher Richtung wirken die Bemühungen, den Energiebedarf der angeschlossenen Verbraucher zu minimieren und die Stromversorgung in das Gehäuse des Gerätes komplett zu integrieren.

Im einfachsten Fall besteht die Stromversorgung aus dem Solargenerator (PV-Modul) und – wenn die Spannung an den Verbraucher angepaßt werden muß – aus einer dazwischengeschalteten Spannungs-

aufbereitung (DC/DC-Wandler). Stimmen wie beim Taschenrechner, Springbrunnen, Sonnenschutzrollo und beim Ventilator Energienachfrage und Solarangebot überein, ist die Speicherung von Elektroenergie überflüssig. Das gilt auch für Wasserpumpen, sofern das geförderte Wasser gespeichert werden kann.

Um Stromspitzen zu vermeiden, sollte der DC/DC-Wandler bei größeren Pumpenleistungen spannungsverstellbar (ein Gleichstromsteller) sein. In der Mehrzahl der Anwendungsfälle sind allerdings Energiespeicher unverzichtbar. Im Freien ist der ohnehin gegen Über- und Tiefentladung unempfindlichere NiCd-Akku der für den Tieftemperaturbereich wenig geeigneten Bleibatterie vorzuziehen. Ein spezieller Laderegler mit niedrigem Eigenverbrauch bietet zusätzlichen Schutz. In Einzelfällen reichen sogar die neu entwickelten, hochleistungsfähigen Kondensatoren mit „Superkapazitäten“ als Energiespeicher aus [3]. Mit den bisher aufgezeigten Varianten wird auch in Zukunft die Masse der Anforderungen an eine umweltfreundliche Energieversorgung abgedeckt. Trotzdem sind Solargenerator, Laderegler und Energiespeicher, ergänzt um eine kleinere elektronische Steuerung, nicht immer die optimale Lösung.

Durch Integration weiterer Stromlieferanten wie Diesellaggregate entsteht ein PV-Hybridssystem, mit dem die Versorgungssicherheit erhöht und die Gesamtkosten begrenzt werden können. Wie in anspruchsvollen PV-Systemen wird hier die elektronische Steuerung durch ein Energiemanagement (eine kleine Leiterplatte) ersetzt. Damit kann beispielsweise ein Signalverstärker für den Mobilfunk durchgängig mit Energie versorgt werden [4]. Die Telekom erprobt eine durch kleine Windenergiekonverter gestützte PV-Stromversorgung als alternative Energiequelle an mehr als 20 öffentlichen Fernsprecheinrichtungen.

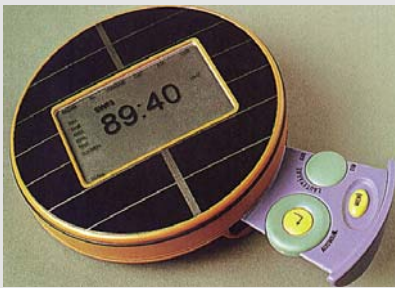
2 Photovoltaisch versorgte, mobil einsetzbare Geräte

Überall dort, wo flexibel einsetzbare Geräte ihre Energie bisher aus Primärbatterien, Akkus oder direkt aus der 230 V-Steckdose beziehen, ist die umweltfreundliche Solarstromversorgung eine auch wirtschaftlich vertretbare Alternative. Sie reduziert den Stromverbrauch und den Aufwand zur Entsorgung des Sondermülls „Batterie“, vermeidet den Batteriewechsel bzw. die notwendige Akkuladung. Erhöhte Mobilität, vergrößerte Freiheitsgrade bei der Aufstellung und Stromeinsparung sind die Folge. Dennoch vergleicht der Käufer den Preis des neuen mit dem des alten Gerätes. Die Erfahrungen zeigen, daß bei einer werbewirksamen Herausstellung der Vorteile – ggf. in Form eines Vergleichs – und durch ein neues Design eine im Einzelfall unvermeidbare geringe Preiserhöhung akzeptiert wird (Bild 1). Zur Energieversorgung von Geräten und Kleinverbrauchern stellt ASE – bisher Deutschlands einziger Hersteller von Solarzellen – spezielle PV-Module auf Basis von kristallinem und amorphem Silizium zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Während die erstgenannten universell einsetzbar sind, sind amorphe Dünnschicht-Solarmodule in Abhängigkeit von den Beleuchtungsverhältnissen auszuwählen. Für Außenanwendungen mit Sonnenlicht stehen Outdoor-Module, für den Innenbereich mit Kunstlicht als Indoor bezeichnete Module zur Verfügung. Eine Vielzahl von Formen und einige farbliche Abstufungen eröffnen dem Designer gestalterische Freiräume.

Die Größe der Modulfläche wird bei Anwendungen ohne Energiespeicher durch die Leistung, bei Einsatz von Energiespeichern durch die erforderliche Energieausbeute und die zu überbrückenden sonnenlosen Zeiträume bestimmt. Da etwa 10 bis 30 % der gesamten Gerätekosten auf den Solargenerator entfallen, ist die Minimierung des Energiebedarfs die eigentliche Hauptaufgabe des Elektrofachmanns. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist auch zu entscheiden, ob kristalline, amorphe oder andere zukünftig verfügbare Dünnschichtzellen zum Einsatz kommen sollen. Aus gestalterischen Gründen ist in Ausnahmefällen aber selbst der Einsatz teurer Solarzellen mit höchstem Wirkungsgrad nicht auszuschließen. Typische Beispiele dafür sind das in Bild 2 gezeigte Handy und der auf der Leipziger TerraTec vorgestellte 220 Wp-Solargenerator für eine Leuchte. Die Module sind gegen Umwelteinflüsse zu schützen. Im Wohnbereich genügen in der Regel einfache Abdeckungen und farblose Schutzüberzüge. Das gilt u.a. für die in Bild 3 gezeigte Personenwaage. Mit einer stromsparenden Elektronik reicht ein nur wenige cm² großes PV-

Autor

Dipl.-Ing. Helmut Kabisch ist als freier Fachjournalist in Berlin tätig.



1 Vielfach beeinflusst die äußere Gestaltung die Kaufentscheidung. Das Bild zeigt den Designer-Entwurf eines digitalen Empfangsgerätes, das über Radio- und Weckfunktionen verfügt und verschiedenartige Dienstleistungen auf einem Display anzeigt.

reform design



2 Mobiltelefon mit acht Hochleistungszellen, Wirkungsgrad >20% und dadurch im Vergleich zu Standardsolarzellen ein auf 66% reduzierter Flächenbedarf.

ISE



3 Solargespeiste Personenwaage: Ohne Energiespeicher ist sie kostengünstig und wartungsfrei.

Soehnle-Waagen



4 Ideen muß man haben: Solarstromversorgte Müllschleuse – ein durchgängig neu entwickeltes Gerät.

Solarwatt

Modul zur Versorgung aus. Es ist so angeordnet, daß selbst während des Wiegevorgangs Solarstrom gewonnen werden kann. Die erwähnten Geräte haben bruchempfindliche Module. Diese sind für gekrümmte Montageflächen ungeeignet. Speziell entwickelte Solarmodule in Folientechnik überwinden die dadurch gegebenen Einsatzgrenzen. An Dächern von PKW, Kleinbussen und Booten sichern sie beim abgestellten Fahrzeug umweltfreundlich Batterieladung und Senkung der Innentempera-

INFORMATIONEN

Für innovationsfreudige Unternehmen

Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme

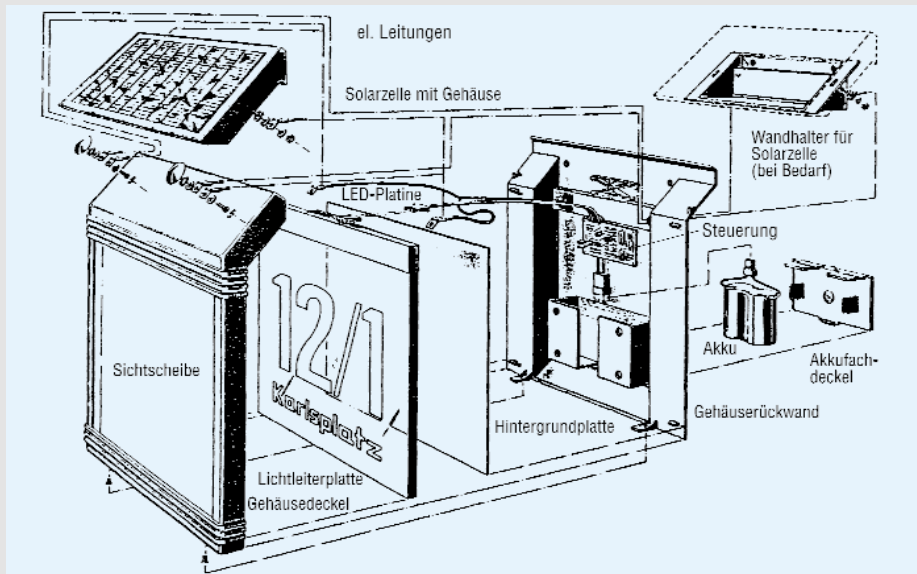
- Finanzielle Förderung der Entwicklung marktfähiger Geräte und Kleinsysteme für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) durch das Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie (BMBF) u.a. mit Unterstützung des ISE.
- Kooperation des KMU mit dem ISE, je nach Wunsch von der Beratung bis zur Produktentwicklung – gut geeignet für Unternehmen, die selbst über wenig PV-Know-how oder die nicht über eine geeignete Laborausstattung verfügen.
- Durchführung der Entwicklungsarbeiten komplett im KMU.
- Weitere Infos einschl. unverbindlicher Beratung über eine maßgeschneiderte Realisierung ihrer Produktidee durch das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)
Dipl.- Ing. *Werner Roth*
Oltmannstr. 5
D 79100 Freiburg
Tel.: (0761)4588-227
Fax: (0761)4588-217
e-mail: roth@ise.fhg.de

Entwicklung, Herstellung, Betrieb

- Information zur Entwicklung, Herstellung, Installation und zum Betrieb von photovoltaisch versorgten Geräten und Kleinsystemen siehe Literaturverzeichnis [1], ergänzend dazu zu den komplexen netzferne Anwendungen, Hybridsysteme, Inselsysteme und Pumpenantriebe, siehe auch [2]. Sofern kein Seminarbesuch vorgesehen ist, ist ein Bezug über *W. Roth*, ISE, möglich.
Preis: jeweils 150,- DM.

Seminar

- „Photovoltaische Energieversorgung von Geräten und Kleinsystemen“
OTTI-Technologie-Kolleg
Wernerwerkstr. 4
D - 93049 Regensburg
Tel.: (0941)29688-20
Fax: (0941)29688-19
<http://www.otti.de>



5 Aufbau der photovoltaisch versorgten Hausnummernbeleuchtung in den Abmessungen 370 x 254 x 85 mm³.

Lisol

tur. Serienmäßig hergestellte Baugruppen mit Solargenerator, Laderegler und Ventilator sind seit Jahren auf dem Markt erhältlich. Darüber hinaus wurden biegsame Solarmodule zur Kühlung von Wintergärten sowie zum Propellerantrieb von Motorseglern (USA, Deutschland) eingesetzt. Während die Solarstromversorgung für Handys und Segelflugzeuge bisher noch nicht die Serienreife erreichte, haben sich andere mobil einsetzbare Erzeugnisse längst durchgesetzt. Das gilt auch für die 1997 unter dem Berliner Funkturm vorgestellte photovoltaisch versorgte Baustellenbake (vgl. ep 05/97, S. 410). Ihr deutschlandweiter Einsatz beruht auf einer hochzuverlässigen Beleuchtungseinrichtung, deren Energiespeicher mehr als zwei Wochen ohne Sonnenschein überbrückt. Das wurde vor allem durch die Reduzierung des Energiebedarfs auf 5 % und durch eine robuste, den rauen Umweltbedingungen entsprechende Integration der elektrischen Ausrüstung erreicht. Der Wegfall der umständlichen, regelmäßigen Batterieladung aus dem Netz und Stromeinsparung sind die Hauptursachen des Markterfolges der 21 Beschäftigte zählenden Dresdener Solarwatt, die diese Energieversorgung entworfen hat und fertigt.

3 Photovoltaik statt Netzanschluß

3.1 Kostengünstigere Photovoltaik und Qualitätsansprüche

Daß auch ortsfest aufgestellte Stromverbraucher photovoltaisch versorgt werden können, beweisen eine steigende Anzahl von PV-Modulen an Parkplätzen und Straßen sowie die zugehörigen Parkscheinautomaten, Telekommunikationseinrich-

tungen, Meßcontainer und Notrufsäulen. Nicht nur der Verzicht auf lange Anschlußleitungen und damit überflüssige Kabelgräben sichern die Wirtschaftlichkeit. Auch die einfachere Umsetzung von Beleuchtungseinrichtungen oder Meßstationen spricht für die Versorgung mit Solarstrom. Wenn Parkuhren, Verkaufsautomaten und andere Stromverbraucher selbst in unmittelbarer Nähe von Zugängen zum öffentlichen Netz photovoltaisch versorgt werden, bedeutet das gleichzeitig den Verzicht auf Zähler, Miete und Abrechnung. Auch wenn ein Batteriebetrieb wegen des geringen Energieverbrauches möglich wäre, kann wegen der besseren Umweltverträglichkeit für ortsfeste Verbraucher die Entscheidung zugunsten der Photovoltaik ausfallen. Bild 4 „Zwickauer Müllschleuse“: Mehrere Wohnungsbaugesellschaften erwarten von ihr eine zumindest teilweise Vermeidung der heimlichen Müllentsorgung. Sie setzen dabei auf Besitzer einer 3,90 DM teuren Chipkarte, die den Zugang zum Müllcontainer öffnet.

Obwohl die Stromversorgung der Müllschleuse gegen Vandalismus und Diebstahl gesichert integriert wurde und die geräte-technische Gestaltung akzeptabel erscheint, bleibt ein Problem: Der im Handbereich waagrecht angeordnete Solargenerator könnte verschmutzen oder durch abgestellte Gegenstände verschattet und damit funktionsunfähig werden. Verschattungen können aber auch durch Bäume, Sträucher, Gebäudeteile und selbst Fahnenstangen hervorgerufen werden. Insbesondere Verkaufsautomaten sowie Beleuchtungseinrichtungen im Garten, im Park, auf Wegen oder für Wartehallen an Haltestellen von Bus und Tram können davon betroffen sein. Der Nutzer kennt die



6 Hausnummernbeleuchtungen nach Aufbauschema Bild 5. Sie sollen u.a. helfen, daß Notarzt und Rettungswagen ihr Ziel schnell erreichen. Der gleiche Grundaufbau kann zur Werbung, für Hinweise oder beliebige andere Informationen genutzt werden.

Lisol



7 Solarversorgte Außenuhr, als „Markenzeichen“ am Eingangstor des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg installiert.

Kabisch

Ursachen der mangelhaften Funktion nicht und verliert das Vertrauen zur Photovoltaik. Er kann meistens nicht bewerten, ob ein funktionsuntüchtiges Gerät bei Netz- oder Batterieversorgung unbeanstandet arbeitsfähig wäre. So stellte sich beispielsweise bei der Untersuchung photovoltaisch versorgter Wühlmausvertreiber heraus, daß sie unabhängig von der Art der Stromversorgung biologisch unwirksam waren [1, S. 513]. Auch Funktionsausfälle durch Zerstörung oder allzu leicht gemachte Diebstähle bringen die Photovoltaik in Mißkredit. Aufklärung, qualitätsorientierte Arbeitsweise und die Ausschöpfung aller vorbeugenden Maßnahmen helfen, das Vertrauen in eine zuverlässige photovoltaische Stromversorgung zu festigen.



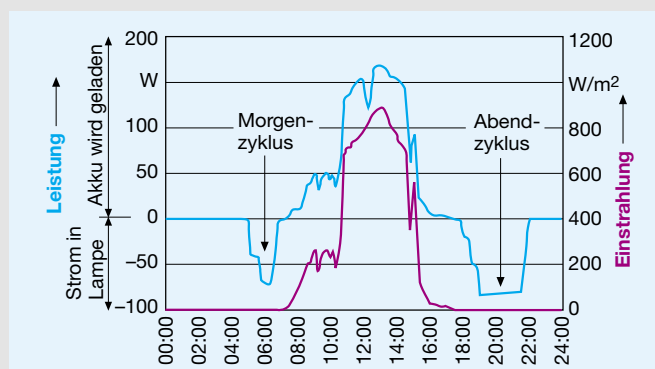
⑧ Photovoltaisch versorgter elektronischer Fahrplan mit hinterleuchtetem LC-Display, das künftig in Verbindung mit einer Datenfernübertragung nicht mehr die geplanten, sondern die tatsächlich zu erwartenden Abfahrzeiten anzeigen kann.

ISE



⑨ Kombinierte Platz- und Wegeleuchte mit zwei auf der Rückseite integrierten Schaukästen. Das ansprechende Design ist von hohem Werbewert. Die Kugelleuchten werden in der Abenddämmerung in drei Laststufen bis zur Gesamtleistung von 72 W für alle Kompaktleuchtstofflampen stufenweise ein- und bei Tagesanbruch wieder abgeschaltet.

solare Beleuchtungssysteme



⑩ Tagesgang der kombinierten Platz- und Wegeleuchte aus Bild ⑨, im Winter gemessen.

solare Beleuchtungssysteme

3.2 Photovoltaisch versorgte Anzeigen und Außenleuchten mit minimiertem Stromverbrauch

Sollen Anzeigenvitrinen oder Beleuchtungen von Netz- auf photovoltaische Stromversorgung umgestellt werden, steht an erster Stelle eine problemorientierte Reduzierung des Stromverbrauchs. Für den Beleuchtungsanteil bedeutet das, durch Auswahl stromsparender Lichtquellen, durch Ausnutzung geeigneter Materialien und zweckmäßige Konstruktionen den Energieverbrauch zu minimieren, ergänzt durch geeignete Sparschaltungen bei Nichtbenutzung. Standen am Anfang der Entwicklung vor allem Leuchtstofflampen, so verschiebt sich inzwischen der Schwerpunkt immer mehr zu Leuchtdioden (LED), den hoch zu-

verlässigen Lichtquellen in Miniaturausführung mit steigender Lichtausbeute [5]. Beispielhaft ist die gerätespezifische Energieoptimierung für die in den Bildern ⑤ und ⑥ vorgestellte Haus-Nummernbeleuchtung, die in ähnlicher Form auch als Werbeträger und Informationsvitrine nutzbar ist. Bei Eintritt der Dämmerung wird die tagsüber gespeicherte Energie automatisch ein- und am nächsten Morgen ausgeschaltet. Eine einzige LED reicht dank eines Fluoreszenzskollektors zur Nachtbeleuchtung aus. Bedingt durch seinen Lichtsammeleffekt und Totalreflektion, sichert er auch bei Tageslicht die Lesbarkeit der Hausnummer. Dadurch konnte die Leistung für Beleuchtung und elektronische Ablaufsteuerung auf etwa 40 mW begrenzt

werden. Zwei in Serie geschaltete 1,2 V NiCd-Akkus mit zusammen 4 Ah reichen auch für Schlechtwetterperioden aus; die Gangreserve beträgt 200 h. Das oberhalb des Schriftfeldes angeordnete 226 cm² große, 2,7 Wp leistende PV-Modul deckt dafür gerade den Bedarf. Die relativ kleine Fläche des Moduls ermöglicht eine ästhetisch befriedigende Gestaltung des gesamten Gerätes. Eine andere Anwendungsmöglichkeit des vorgenannten Fluoreszenzkollektors können Außenuhren sein (Bild 7). Es handelt sich dabei um einen hochtransparenten Kunststoff, in dem ein spezieller Fluoreszenzfarbstoff eingearbeitet ist. Hier wird das durch die Kollektoren gesammelte Licht konzentriert und den verdeckt angeordneten Solarzellen zugeführt. Die Solarzellen sind vor Verschmutzung, Beschädigung und Diebstahl geschützt. Als Energiespeicher für die Nacht bzw. sehr trübe Tage reicht ein Kondensator aus. Das Gehwerk der Uhr ist mit einem Empfänger gekoppelt, der ein Funkuhrsignal aufnimmt und so immer für eine exakte Uhrzeit sorgt. Beim Entwurf einer Fahrplan-Informationsvitrine bestand die Aufgabe darin, den Stromverbrauch sowohl für die Beleuchtung als auch für die Ablaufelektronik zu reduzieren. Mit Übergang auf Nachtbetrieb wird lediglich eine pulsierende Tasterbeleuchtung von 2 mA mit einer täglichen Energieaufnahme von 0,18 Wh aktiviert. Nach Betätigung des Tasters erlischt seine Beleuchtung und der Fahrplan wird 20 sec mit einer LED-Leistung von 1,3 W erhellt. Danach kann das Spiel von neuem beginnen. Bei angenommenen 100 Tasterbetätigungen werden einschl. Tastatur für Beleuchtung etwa 0,9 Wh benötigt. Die rund um die Uhr aktive Ablaufsteuerung

verbraucht demgegenüber lediglich 0,01 Wh/Tag. Das setzt den Einsatz einer Elektronik mit stromsparenden „Low-Power“-Bauelementen und einer extrem geringen Ruhestromaufnahme voraus. Damit konnten die Leistung des Solargenerators auf 2,5 Wp begrenzt sowie seine gegen Diebstahl und Vandalismus geschützte Integration in die Vitrine erleichtert werden.

Bild 8 zeigt eine wesentlich komfortablere Fahrgastinformation. Nicht nur ein hinterleuchteter Fahrplan, sondern auch ein integrierter Fahrplanrechner, der die wartenden Fahrgäste durch ein Display jederzeit aktuell über Abfahrzeiten der Fahrzeuge informiert, werden photovoltaisch versorgt und mittels Energiemanagement optimal gesteuert. Zum Schluß noch eine Anzeigeeinheit, die gleichzeitig auch als Platz- und Wegeleuchte eingesetzt werden kann. Bild 9 vermittelt einen Eindruck von der mit zwei 110 Wp-Solarmodulen bestückten Sonnen- und den darunter angeordneten, mit Blumenkästen geschmückten Containern. Sie nehmen einen 2,4 kWh-Gel-Bleiakku, ein Energiemanagementsystem und die Vorschaltgeräte für die Hochleistungsleuchtstofflampen auf. Die Errichtung eines vergleichbaren, mit Netzstrom versorgten Systems, inklusive Verlegung eines ca. 35 m langen Kabels, würde Investitionen in Höhe von 17.650,- DM erfordern. Die Anlage – so die Aussage des Lieferanten – wäre selbst bei Einrechnung wartungsfreier Hochleistungsakkus 3150,- DM billiger. Hinzu kommen die eingesparten Stromkosten.

■ 4 Ideenträger werden unterstützt

Wirtschaftliche und umweltpolitische Überlegungen haben dazu geführt, daß be-

reits von 1986 bis 1991 in einem ersten Förderungsprogramm wissenschaftlich-technische Grundlagen zur solaren Stromversorgung von Geräten und Kleinverbrauchern geschaffen wurden. Darauf aufbauend sind inzwischen viele neue problemorientierte Lösungen geschaffen worden. Nur wenige davon wurden vorgestellt. Wenn auch nicht alle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu marktfähigen Produkten führten, konnte sich so manches meist klein- und mittelständische Unternehmen (KMU) ein neues Marktsegment erschließen. Inzwischen haben sich die Absatzmöglichkeiten für gute Erzeugnisse verbessert. Wachsendes Umweltbewußtsein, Nutzung der mit netzgekoppelten Anlagen sowie photovoltaisch versorgten Geräten und Kleinsystemen gesammelten Erfahrungen wie auch der allgemeine technische Fortschritt zahlen sich aus. Ein neues Förderprogramm und Hilfsangebote unterstützen Ideenträger bei der Entwicklung marktfähiger Produkte (siehe Info-Kasten Seite 555).

Literatur

- [1] Roth, W., Steinhüser, A. (Hrsg.): Photovoltaische Energieversorgung von Geräten und Kleinsystemen – Begleitbuch zum gleichnamigen Seminar, veranstaltet vom OTTI-Technologie-Kolleg und vom ISE, Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), 1997
- [2] Roth, W., Schmidt, H.: Photovoltaik-Anlagen – Begleitbuch zum gleichnamigen Seminar, veranstaltet vom OTTI-Technologie-Kolleg und vom ISE, Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), 1997
- [3] Superkapazitäten als Energiespeicher. Elektropraktiker, Berlin 53 (1999) 3, LuK S. 1 bis 2
- [4] Chancen für innovationsfreudige PV-Tüftler. Elektropraktiker, Berlin 52 (1998) 12, LuK S. 1 bis 2
- [5] Wolf, J.: Mehr Licht mit Leuchtdioden. Elektropraktiker, Berlin 53 (1999) 4, S. 314 bis 317 ■