

Leicht, flexibel, transparent

Geräte, die nicht dauerhaft an einer zentralen/stationären Energieversorgung angeschlossen sind und die in bestimmten Zeiträumen ihren Aufstellungsort wechseln und/oder in Bewegung sind, fasst man allgemein unter dem Begriff „mobil-versorgte Geräte“ zusammen. Bekannte Vertreter dieser 'Gattung' sind Solarmobile, Handys, Taschenlampen, Baustellenabsicherungen, Laptops usw. In der Regel verfügen diese Geräte nicht über einen eigenen Generator sondern über einen Akku oder eine Batterie.

All diesen Geräten ist gemeinsam, dass sie infolge ihrer Mobilität zusätzlichen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Aufgrund des Kompromisses zwischen Akku-/Batterie-Gewicht und Laufzeit des Gerätes ist der Speicher fast immer zu klein. Bei Akku-versorgten Geräten ohne Generator wird der Akku in einem entsprechenden Zyklusbetrieb gefahren. Dieser Zyklusbetrieb bedingt wiederum spezielle zyklusfeste Akkus. Bedauerlicherweise sind die Akkus mit der höchsten Zyklusfestigkeit sehr teuer, idealerweise ortsfest und verhältnismäßig schwer.

Da dieser Umstand seit der Existenz der mobil-versorgten Geräte bekannt ist, sind auch die Lösungsansätze seit langem bekannt:

- Um den Zyklusbetrieb zu vermindern, dass Gewicht zu reduzieren und die Laufzeit des Gerätes zu erhöhen, muss an Bord des Gerätes ein Generator sein. Diese Lösung wurde beim Auto und beim Fahrrad gewählt.
- Die Verbesserung des Speichers. Hier zeichnet sich mit der Verfügbarkeit von serienreifen Brennstoffzellen eine Revolution in der Speichertechnik ab. Nicht unerwähnt sollte sein, dass auch heute noch ca. 25.000 t belasteter Batteriemüll allein in Deutschland deponiert werden [1].

- *Reduktion des Energieverbrauchs.* Dieser Punkt sollte eigentlich am Anfang dieser Aufzählung stehen, ist aber am konkreten Beispiel gesehen eher ein frommer Wunsch. So müsste der Energieverbrauch im Fahrzeug aufgrund immer besserer Leuchtmittel (lm/W), zunehmender Miniaturisierung von Komponenten usw. eigentlich sinken. Durch immer neue Funktionen wie Navigationssystem, HiFi und Entertainment-System, Sicherheitstechnik, Klimatisierung usw. im Kfz steigt der Verbrauch aber permanent an. So verfügen heute schon die meisten Fahrzeuge über eine Lichtmaschine > 1kW.

Gründe für die Integration eines Solar-Generators

Während vom Konsumenten immer neue Funktionen im Auto gefordert werden, ist der Ruf nach immer sparsameren Autos ebenso vernehmlich. Dies geht natürlich nicht so ohne weiteres zusammen. Immerhin beträgt der Anteil der elektrischen Verbraucher am Kraftstoffverbrauch mitunter 10 % und mehr. Am Beispiel Kfz wird deutlich, wie sinnvoll eine Integration in ein bestehendes System sein kann. So kann ein 144-zelliges Modul mit circa 200 Wp im Autodach durchaus einen Beitrag zur Innenraumklimatisierung leisten (Reiseverkehr Stau Motor aus Klimaanlage aus). Bei anderen Fortbewegungsmitteln kann ein schon verhältnismäßig kleiner Generator einen nennenswerten Beitrag für die Fortbewegung leisten (siehe Projekt Läufer, S. 52).

Im Falle eines solar-versorgten Bootes stellt sich die Situation ähnlich dar. Allerdings kommt als spezieller Nutzen hinzu, dass diese Boote auch auf Flüssen und Seen, auf denen Verbrennungsmotoren nicht gestattet sind, fahren dürfen.

Während sich Mobile wie das Läufer-Projekt, Autos oder Boote zwangsläufig der Sonne aussetzen, ist dies bei Kleingeräten wie Handys, Photoapparaten, Taschenlampen usw. nicht unbedingt der Fall. Hier sollte die Variante einer mobilen 'Solartankstelle' in Betracht gezogen werden. Bei Produkten aus dem Freizeitbereich wie zum Beispiel Fahrradlicht, Strandradio usw. ist die Integration schon eher sinnvoll. Ausgesprochen sinnvoll und mittlerweile stark verbreitet ist die Integration in Büroprodukten wie Waagen [2] und Taschenrechnern, Messgeräten und Armbanduhren.

Anforderung an Solarmodule in mobilen Anwendungen

Solarmodule sind in mobilen Anwendungen erhöhten Belastungen ausgesetzt. Hierzu zählen:

- dynamische Belastungen durch Vibration,
- Übertragung von Chassisverformungen auf die Module. Entsprechend der Zuladung, der Temperatur, dem Alter usw. eines Fahrzeugs verändert sich dessen Chassis. Die Verformung führt zu sich verändernden Zug- und Druckbelastungen auf die Module.
- chemische Beeinflussung zum Beispiel durch Glauber-Salz, Seewasser usw. Dieser Punkt wird bei bestimmten Anwendungen immer wieder gerne vernachlässigt. So sieht man Module an Bushaltestellen oder ähnlichen Orten im Straßenbereich, an denen die Rahmen stark korrodiert sind.
- thermische Belastung durch hohen Temperaturgradienten. Im Fahrzeug sollen sich die Temperaturen von Innen und Außen fast immer stark unterscheiden. Temperaturdifferenzen von bis zu 50 Grad im Modul führen zu thermischen Spannungen.
- elektrische Belastungen durch Abschattungen. Auch wenn der Hot-Spot-Effekt und Verschattung beim Modul-Designer heute keine Panik mehr hervorruft, sollte dieser Punkt nicht unberücksichtigt bleiben, denn in jedem Fall müssen die Module vor übermäßiger Erwärmung infolge von Verschattung geschützt werden.

Aufgrund dieser Belastungsfälle und dem Pflichtenheft des Konstrukteurs und Designers ergeben sich folgende Anforderungen an ein entsprechendes Modul:



Dipl. Ing.
Sven Tetzlaff

Anschrift des Autors:
Sunovation GmbH,
Vital-Daelen-Str. 1c,
63911 Klingenberg,
Tel. 09372/949109,
Fax 09372/949110,
www.sunovation.de

Wissenschaft
und Technik



Fotos: Sunovation





- *Flexibilität.* Um Vibrationen, Chassisverformungen, Temperatureinflüsse usw. entgegenwirken zu können, ist von solchen Modulen eine gewisse Flexibilität gefordert. Die transparenten Bestandteile des Moduls (obere Abdeckung, eventuell untere Abdeckung) dürfen durch die entsprechenden Belastungen nicht zerbrechen oder reißen. Die Zelle sowie deren Verbindungen müssen in der neutralen Faser gelagert sein, damit die auftretenden Kräfte diese nicht zerstören.

- *Transparenz.* Meistens wird verlangt, dass die Module möglichst transparent sind. Entsprechend sind obere und untere Abdeckung aus transparenten Materialien.

- *geringes Gewicht.* Selbstverständlich müssen diese Module sehr leicht sein, um mit der zur Verfügung stehenden Fläche die maximale Reichweite zu erzielen. Ein weiterer sehr wichtiger Punkt ist die Verschiebung des Schwerpunktes des Fahrzeugs zum Dach hin. Will man den Elch-Test bestehen, muss der Schwerpunkt so tief wie möglich liegen. Alles Gewicht, was man oben zuviel hat, muss unten gegenvert werden. Dies führt zu einer weiteren Gewichtszunahme und damit zu einer Verminderung der Reichweite.

- *Schattentoleranz.* Sowohl das einzelne Modul als auch der gesamte Generator müssen schattentolerant ausgeführt sein. Siehe hierzu [3].

Aus diesen Forderungen und Belastungen ergibt sich, dass für hier Kunststoff der ideale Werkstoff ist. Ein Makrolon®-Modul ist bis zu einem Radius von 1.800 mm kalt verformbar, es ist bis zu 130 °C temperaturstabil, es wiegt circa 9 kg/m² und ist damit um den Faktor 5-10 leichter als ein vergleichbares Glas/Glas-Modul für den Überkopfbereich.

Kunststoff-Solarmodule im Bootsbau

Bekanntestes Beispiel für den Einsatz dieser Module ist die Alstersonne in Hamburg. In diesem Boot wurden insgesamt 8,2 kWp integriert. Bei dem oben genannten Flächengewicht ergibt dies ein 'Zusatzgewicht' von ca. 750 kg, hätte das Boot kein Dach. So bildet die PV-Anlage den Generator, das Dach und die Verschattung in einem. Das heißt, das tatsächliche Zusatzgewicht beträgt ca. 500 kg bzw. 16 W/kg. An einem guten Sommertag (10h) können so ca. 160 Wh/kg/d geerntet werden. 160 Wh/kg entspricht ungefähr dem Energieinhalt eines Li-Ion Akkus [4]. Der eingesetzte Blei-Gel-Akku hat eine Energiedichte von ca. 30 Wh/kg[5] und wiegt insgesamt 6.000 kg! Dies ist ein Fünftel des Gesamtgewichts. Anhand dieses Rechenbeispiels ist relativ leicht ersichtlich, dass ein solches Projekt mit Photovoltaik überhaupt erst möglich ist.

Kunststoff-Solarmodul im Läufer-Projekt

Im Projekt Läufer sind 25 Wp Modulleistung integriert. Eine spezielle Anforderung an dieses Modul war die Realisierung einer dauerhaft flexiblen Modulkontaktierung. Das Modul ist ähnlich wie die Schuppen eines Gürteltieres aufgebaut, die einzelnen Streifen des Moduls können die Lage und den Abstand zueinander verändern. Dies ist insofern wichtig, da der Rahmen des Fahrzeugs sich in der Höhe bedingt durch die Größe des Fahrers verändert.

Kunststoff-Solarmodul im Auto

Im Automotivbereich gibt es bereits seit einiger Zeit Bestrebungen, Solarmodule in das Dach zu integrieren. Die zum Teil extremen mechanischen Belastungen im Fahrzeugdach (Temperaturgradient, Längenausdehnung, Über- und Unterdruck in der Kabine, hohe Geschwindigkeiten) sowie die strengen Sicherheitsbestimmungen im Automobilbau machen die Integration in Serienfahrzeuge außerordentlich kompliziert. Ein weiteres k.o.-Kriterium für die Integration von PV im Fahrzeugdach kommt nicht zuletzt von den Produktdesignern. Das ideale Modul muss sich dem Design-Paradigma unterwerfen, darf nichts kosten, nichts wiegen usw. Mit dem allmählichen Einzug von Kunststoffen in den Automobilbereich (Frontscheinwerfer, Heckfenster aus Makrolon®) setzt sich aber auch dort allmählich das Kunststoff-Modul im Dachbereich durch.

Ausblick

Durch die immer noch rasante Entwicklung in der Chemieindustrie und die Verknüpfung der Werkstoffeigenschaften der transparenten Kunststoffe mit der Photovoltaik werden zahlreiche Projekte überhaupt erst möglich. Leichtgewichtige Module im Überkopfbereich, gebogene Anwendungen usw. Durch die sehr einfache Verarbeitbarkeit und die fast unbegrenzten zusätzlichen Ausrüstungsmöglichkeiten wird der Anteil der Kunststoff-solarmodule am gesamten PV-Markt weiter steigen. Dennoch soll an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass das Kunststoffmodul nicht das Standard-Modul oder das Glas/Glas-Fassadenmodul ersetzen soll. Vielmehr stellt das Kunststoffmodul eine sinnvolle Ergänzung beziehungsweise die einzig mögliche Variante für bestimmte PV-Projekte dar.

Dipl.Ing. Sven Tetzlaff ■

Literatur

- [1] Carsten Fabich, Stromkonserven, Auswahl und Pflege von Akkumulatoren, c't 10/02, S.208
- [2] www.maul.de
- [3] Volker Quaschnig: Simulation der Abschattungsverluste bei solar-elektrischen Systemen. - Verlag Dr. Köster Berlin 1996
- [4] www.buchmann.ca
- [5] www.sunovation.de
- [6] www.auto-news.de/auto2/fo00eka2.htm