

Batterieladungen im Elektroauto mit fahrzeugmontiertem Solardeck - ein Erfahrungsbericht

von Dr. Dieter K.-W. Schulze, Dresden, Beratungsstelle für Elektro-Kfz + Zubehör

Einleitung

Für Kenner der Kfz-Antriebe sind „Solarmobile im Netzverbund“ ein herausragendes Qualitätsmerkmal für Fahren ohne jeglichen Schadstoffausstoß - CO₂ inbegriffen.

Um diese sehr umweltfreundliche Betriebsweise auch für weniger Eingeweihte verständlicher zu machen, wird gern der Vergleich mit dem Modell der Geldinstitute verwendet: Geld hier einzahlen und an anderer Stelle und Zeit wieder abheben bzw. Solarstrom hier ins Netz einspeisen und dann bei Bedarf hier oder örtlich-zeitlich versetzt Ladestrom aus dem Netz entnehmen.

Es ist überraschend, daß der Begriff „Solarmobile im Netzverbund“ unerwünschte Wirkungen zeigt. Am Bau, Kauf und Betrieb von Elektroautos Interessierte werden in ihrer Entschlußkraft gehemmt, weil sie gelesen oder gehört haben, eine Photovoltaikanlage auf dem Dach oder im Garten gehört zwingend dazu. Da oft für beides das Geld nicht reicht, unterbleibt auch der wertvolle erste Schritt. Wer läßt sich schon gern sagen, Du fährst zwar elektrisch, aber mit dreckigem Braunkohlenstrom. Das sind Erfahrungen aus meiner Beratungstätigkeit in letzter Zeit.

Ich meine, daß der Disput um die Herkunft des Ladestroms nicht in einem Dogma enden darf. Auch wenn der Strom überwiegend von Kohlekraftwerken kommt, fahren Elektroautos im Verkehrsraum abgasfrei, lärmarm und deutlich energiesparender als die meisten der Pkw mit Verbrennungsmotor. Diese Argumentation möchte ich stärken. Abstriche davon derart, daß wir im eigenen Lager zwischen blütenweißen, grauen und schwarzen Westen der E-Autofahrer je nach Stromherkunft unterscheiden, tut unserem Gesamtanliegen eines umweltfreundlicheren Verkehrs nicht gut. Das ist keine Absage an das „Real Zero Emission Konzept“. Ich spreche für eine behutsamere und tolerantere Konzeptanwendung. Die hochgesteckte Konzeptzielstellung darf nicht diejenigen in die Ecke stellen, die keine oder noch keine abgasfreie Elektrizität einsetzen können und trotzdem dem Elektroauto zugetan sind.

Für interessierte E-Autofahrer gibt es alternativ zum photovoltaischen Netzverbund auch andere mögliche Varianten. Über die Variante „Solardeck auf dem E-Auto“ und eigene Erfahrungen möchte ich nun berichten.

Solardeck

Das Solardeck besteht aus zwei in Reihe geschalteten PV-Modulen des Typs BP 490, die mit entsprechenden Strang- und Bypass-Dioden verdrahtet auf einem Dachgepäckträger montiert sind. Der Solarstrom wird von einem Amperemeter und einem Ah-Zähler kontrolliert und speist wahlweise die 12 V-Bordbatterie oder die 48 V-Fahrbatterie.

Das Solardeck wurde komplett von der Fa. Hawemann Solar, Dresden mit Zubehör und Aufdachmontage zu einem Preis von rund 3.600,-DM geliefert bei einer Garantiezeit von 10 Jahren für die Module. Es ist jetzt fast 4 Jahre in Betrieb und war in diesem Zeitraum Wind, Wetter und Fahrerschütterungen ausgesetzt ohne jeden Schutz durch Garagenaufenthalt.

Daten eines Moduls (nach Angaben vom Hersteller BP Solar)

effektive Solarfläche:	0,57 m ² (0,5 m x 1,15 m)
Masse:	7,5 kg
Leistung P _{max} :	90 W (30 V, 3 A)
Kurzschlußstrom:	3,15 A
Leerlaufspannung:	36 V
Wirkungsgrad:	17 % (Ausführung „lasergrooved“ ¹⁾)

Das Leistungsmaximum P_{max} bezieht sich auf ein Strahlungsangebot von 1000 W/m², air mass = 1,5 und 25°C Zellentemperatur.

Daten des gesamten Solardecks

effektive Solarfläche:	rund 1,1 m ²
Masse:	15 kg, plus ca. 3 kg für Aufständigung
gemessenes P _{max} :	160 W (2,75 A bei 58 V)



Der Dresdener Solartrabi vor dem Neubau des Autors. Deutlich erkennt man die Module zur Stromgewinnung auf dem Fahrzeugdach. Die Kollektoren auf dem Wohnhausneubau sind Warmwasserkollektoren für Brauchwasser und Raumheizung, die natürlich keine Energie für das Fahrzeug liefern.

Das Solardeck speist die Batterien ohne zusätzliche Regelung, d.h. auch ohne zusätzlichen Kostenaufwand. Spannung und Stromstärke des Solardecks sind keine konstanten Wer-

te, sondern abhängig vor allem von der Richtung und Intensität des Sonneneinfalls und von der Gegenspannung der Batterien. Beim Laden der Bordbatterie (12 V) bei voller Besonnung ist die Kontrolle der Ladung nötig, da der Elektrolyt sonst zu stark gasen kann.

Im Gegensatz dazu habe ich die Fahrbatterie (48 V Nennspannung, Gasungsspannung 58 - 60 V) beliebig lange mit dem Solardeck ohne Aufsicht geladen. Die Strom-Spannungskurven vom Solardeck und von der Fahrbatterie passen gut zueinander und regeln sich gegenseitig selbständig. Nach oben hin ist der Ladestrom durch den Kurzschlußstrom garantiert begrenzt. Oberhalb der Gasungsspannung fällt die Stromstärke des Solardecks bereits stark ab, so daß das Laderegime fast schon einer Erhaltungsladung entspricht. Nur bei idealen Einstrahlungsbedingungen der Sonne beginnt der Elektrolyt, nachdem die Vollladung erreicht ist, deutlich zu gasen.

Wenn man die Kombination geschickt auswählt, ist auch bei anderen Batterie-Solarmodulkombinationen ohne oder nur mit geringem Regelaufwand auszukommen. Beim solaren Netzverbund ist der Aufwand schon deswegen höher, weil man nicht bei Gleichstrom bleiben kann.

Angaben zum Elektroauto

Die erste Erprobung des Solardecks erfolgte auf einem älteren Elektrotrabant leider nur kurzzeitig, weil der Trabant nach über 20 Jahren wegen Durchrostung stillgelegt wurde. (siehe auch im Heft 20 der Solarmobil Mitteilungen)

Im Sommer 1993 ist das Solardeck auf einen neuen Elektrotrabant umgesetzt worden, der im Februar 1994 die Straßenzulassung erhielt und gegenwärtig folgende Daten aufweist:

Leermasse:	700 kg
Nutzmasse:	300 kg
Nutzanteil:	43 %
Batteriemasse:	153 kg
Batterieanteil:	22 %
Solardeckmasse:	18 kg incl. Aufständering
Solardeckanteil:	2,6 %
Antrieb:	Gleichstrommotor 48 V, 4 kW
Motor:	18 kg, am Trabantgetriebe angeflanscht, elektrische Steuerung mit Curtis-Pulsweitensteller
Batterie:	Blei-Säure offen, 48 V, 105 Ah (K 5), Energieinhalt 5 kWh
Lademöglichkeiten:	1. fest installiertes Netz-Ladegerät 2. transportabler Netz-Lader Zivan K 2 3. Solardeck
Geschwindigkeit:	55 km/h
Reichweite:	20 - 30 km, je nach Fahrstil und Straßensituation

Von der Umbaukonzeption her sollte es ein leichtes, preisgünstiges Fahrzeug werden, das fast ausschließlich in unmittelbarer Umgebung des Wohnsitzes als dreisitziges Stadtauto (Zweitwagen) dient.

Nach den Massen und dem Nutzanteil¹ beurteilt ist das Ziel erreicht worden auf Kosten einer eingeschränkten elektri-

schen Motorleistung und bewußt eingeschränkter Batteriekapazität. Entsprechend moderat sind die Fahrleistungen. Dafür hielten sich die Umbaukosten in Grenzen, so daß der Extraaufwand für das Solardeck besser zu verkraften war.



Der Autor und sein Trabi während einer Park- und Ladepause

Testergebnisse

Welche Resultate brachte bisher die Kombination einer relativ kleinen Fahrbatterie mit einer bei Tageslicht stets verfügbaren Nachladung aus dem Solardeck? Läßt sich der Elektrotrabant damit akzeptabel betreiben? Die umfassende Antwort darauf lautet nach meiner bisherigen Erfahrung „nein und ja“ mit zwei Beispielen für diese Extremaussagen:

Volle Besonnung vorausgesetzt bewegt das Solardeck allein das Fahrzeug nicht einen Zentimeter vom Fleck. Selbst mit leerlaufgeschaltetem Getriebe dreht sich der Motor nur schleichend. Dafür ist die Leistung des Solardecks zu klein.

Andererseits - wieder Sonnenschein vorausgesetzt - speist das Solardeck die Batterien tagsüber mit bis zu 22 Ah entsprechend mit rund 1 kWh.

Mit anderen Worten heißt das: bei Fahrstrecken nicht über 5 bis 7 km pro Tag übernimmt das Solardeck die Batterieladung **allein**. Um beurteilen zu können, welches Gewicht diese Kurzstrecke an der Jahresfahrleistung beansprucht, ist die Häufigkeit der gefahrenen Streckenlängen im 5-km-Raster für etwa einen Jahreszeitraum aufgelistet:

bis 5 km :	42 mal, 22%
bis 10 km:	63 mal, 33 %
bis 15 km:	58 mal, 30 %
bis 20 km:	18 mal, 10 %
bis 25 km:	8 mal, 4,5 %
bis 30 km:	1 mal, 0,5 %

Mit 55 % sind die Kurzstrecken bis 10 km am häufigsten vertreten.

Bei Sonnenschein läuft die Ladung auch nach tatsächlicher Anwendererfahrung so ab, daß primär das Solardeck lädt und erst, wenn das zur Vollladung nicht reicht, Netzenergie eingesetzt wird. Auch bei längeren als der Kurzstrecke hat das Solardeck Vorrang bzw. die Ladung erfolgt gleichzeitig mit Solardeck und Netzladegerät. Das richtet sich neben dem Wetter auch danach, wann die nächste Fahrt geplant ist. Letztlich bestimmen die jeweiligen Belichtungsverhältnisse die Solarernte. Die $P_{max} = 160 \text{ W}$ wurden bei strahlend blauem Himmel und -10°C gemessen. An bewölkten oder trüben Tagen werden etwa 15 bis 80 W erreicht. Für die Solarernte

¹ zum Vergleich: Nutzanteil Microcar light 41 %

im Dunkeln kann ich zwei Gags nennen: nachts geparkt unter Dresdner Straßenbeleuchtung fließen 12 mA und eine sehr helle Mondnacht lieferte 490 mAh.

Heizt die Sonne das Solardeck auf, so geht die Stromstärke deutlich zurück - ein negativer Effekt, der auch von stationären Anlagen bekannt ist. Beim fahrzeugmontiertem Solardeck ist das gut zu erkennen in umgekehrter Folge. Fahrtwind kühlt das vorher im Stand aufgeheizte Solardeck und als Auswirkung steigt die Stromstärke bei sonst gleichen Bedingungen.

Bei Stadtfahrten, die mit längerem Parken verbunden sind, erweitert das Solardeck die Reichweite. In einigen Fällen war es möglich, die unterwegs weitgehend entladene Batterie mit dem Solardeck soweit zu laden, daß die Heimfahrt ohne Tiefentladung gelang.

Damit komme ich zur Batteriepflege mittels Solardeck. Wird der Elektrotrabant längere Zeit nicht gefahren, wie z.B. im letzten Winter, so übernimmt das Solardeck automatisch die Erhaltungsladung. Mehrere Kontrollen ergaben stets einen Volladezustand kurz unter der Gasungsspannung.

Im Freien stehend fällt die Batterietemperatur fast auf die Außentemperatur ab. Das ist sehr nachteilig und wirft die Frage auf, wie eine Garage für Elektroautos mit Solardeck gebaut sein muß. Als sich die Batterie im Frühjahr wieder auf 15°C erwärmte, konnte die Fahrt sofort starten.

Das Solardeck wurde weiterhin benutzt, Kapazitätsunterschiede der Batterieblöcke auszugleichen, einmal durch Ausgleichsladen aller Zellen oder mit mehr Erfolg durch gezieltes Nachladen schwacher Zellen. Dazu dient ein Bat-

teriewächter, der z. Zt. in der Erprobung ist und das Solardeck als Energiequelle nutzt.

Die folgende Tabelle bringt einen Überblick zur gewonnenen Solarenergie ab Juli 1992. Sie enthält die Erträge in Ah und kWh, berechnet mit einer durchschnittlichen Batteriespannung von 50 V. Die kWh wurden in Stromkosten auf der Basis des EVU-Arbeitspreises pro kWh berechnet und mit den kWh-Preisen aus den Kosten des Solardecks verglichen.

Die Stromkosten des Solardecks liegen um Größenordnungen höher als die des Netzstroms und übersteigen auch wesentlich die meist mit 2,-DM/kWh angegebenen Stromkosten aus dem solaren Netzverbund. Die Kosten des Solarstroms fallen mit der Funktionsdauer des Solardecks. Sie erreichen z.B. 2,-DM/kWh nach einer summarischen Solarernte von 1600 kWh, vorausgesetzt das Solardeck bleibt noch ca. 5 Jahre nach der Garantiezeit intakt. Für längere Zeiträume fällt auch die vom Solardeck gewonnene Elektroenergie kostensenkend ins Gewicht. Das ist ein Blick weit in die Zukunft; was sie dem Solardeck bringt, bleibt abzuwarten.

Von 1993 an stiegen die Erträge, was nicht bedeutet, daß die Sonne von Jahr zu Jahr kräftiger schien. Vielmehr lernte ich den jeweiligen Stellplatz des Elektrotrabant zur Sonne besser zu wählen und Teilabschattungen des Solardecks zu vermeiden. Der Ertrag im 1. Jahresquartal interessiert vor allem Saisonfahrer, wenn es um die Mindestenergie für die Erhaltungsladung geht oder zusätzlich eine Batterieheizung zu speisen ist.

Batterieladung mit fahrzeugmontiertem Solardeck

2 x BP-Solar 490: 60 Volt / 180 Watt, 1,1 m², 15 kg, EVU-Arbeitspreis: 0,23 DM/kWh, (Jan. 1996)

Jahr	Ertrag in Ah		Ertrag in kWh bei 50 V	
	gesamt	bis 31.3.	pro Jahr	Summe
1992 (ab Juli)	925		47	
1993	1418	100	71	118
1994	1836	230	92	210
1995	2142	280	107	317

Jahr	EVU-Äquivalent in DM		Modul-Äquivalent in DM/kWh	
	pro Jahr	Summe.	Modul (3135 DM)	Zubehör (504 DM)
1992 (ab Juli)	11,00		67,00	11,00
1993	16,50	27,50	26,50	4,27
1994	21,00	48,50	15,00	2,40
1995	25,00	73,50	10,00	1,59

Aus dem Energieverbrauch des Elektrotrabant in kWh/100 km und den Solardeck-kWh pro Jahr errechnet sich die mit Solarstrom zurückgelegte Fahrstrecke pro Jahr bzw. daraus der Anteil an der Gesamtjahresfahrstrecke mit folgenden Werten:

	1994	1995
Energieverbrauch	18 kWh/100 km	17,5 kWh/100 km
Fahrstrecke	1.860 km	1.733 km
mit Solarstrom	510 km (27 %)	611 km (35 %)
mit Netzstrom	1.350 km (73 %)	1.122 km (65 %)

In beiden Jahren sind rund 1/3 der Jahresfahrstrecke mit Solardeckenergie gefahren worden. Bei 1,1 m effektiver Solarfläche und im Hinblick auf die günstigen Investitionskosten, verglichen mit einer Solaranlage im Netzverbund, ist das aus meiner Sicht ein akzeptables Resultat.

Wie kann dieser Anteil noch erhöht werden? Gelingt es, den Photovoltaikwirkungsgrad deutlich zu verbessern, dann steckt dort die größte Leistungsreserve. Die Solarfläche auf dem Autodach zu vergrößern ist wegen der Zulassungsvorschriften nur begrenzt möglich.

Aussichtreicher ist es, die Neigung der Solarfläche zur Sonne zu optimieren bzw. bereits geneigte Autoflächen einzubeziehen, vor allem für die Parkzeiten. Dann muß man sich vom fest montierten Solardeck verabschieden und mit technischem Aufwand die Solarfläche in unterschiedlicher Neigung arretieren. Das ist schon in den 80er Jahren erfolgreich mit dem Erlanger Solarmobil demonstriert worden und gegenwärtig wird im Solar- und Hybridmobil-Verein Pirna daran gearbeitet. Bei den autarken Solarmobilen ist es für effektives Laden ohnehin eine zwingende Pflichtübung.

Die Frage ist, wieviel dabei noch zu gewinnen ist. Photovoltaische Leistungsvergleiche verwenden als Kriterium den spezifischen jährlichen Solarstromertrag in kWh bezogen auf 1 kW installierte Spitzenleistung. Für das Solardeck errechnet sich mit 107 kWh für 1995 ein Wert von

- 600 kWh pro kW Spitzenleistung nach Herstellerangabe,
- 670 kWh pro kW gemessene Spitzenleistung

Zum Vergleich dienen 700 kWh/kWpa aus dem 1000-Dächerprogramm und 800 - 900 kWh/kWpa, die H. Wilk⁽¹⁾ für stationäre PV-Anlagen anführt. Nach diesen Werten beurteilt sind die stationären Anlagen effektiver als das Solardeck. Jedoch ist die Differenz nicht so groß, daß es sich im vorliegen-

den Fall lohnen würde, die bewährte Festmontage des Solardecks zu Gunsten einer veränderlichen Justage aufzugeben. Die Vorteile größerer Solarflächen und optimierter Sonneneinfallswinkel bleiben ohne Frage die Domäne stationärer Solarflächen.

Zum Zweck der Batterieladung treten dabei im solaren Netzverbund Aufwendungen und Verluste auf, die beim hier beschriebenen fahrzeugmontiertem Solardeck entfallen. Im solaren Netzverbund erfordert die Wandlung Gleichstrom - Drehstrom - Gleichstrom mit der notwendigen Spannungsanpassung zusätzliche Investitionen und bedeutet Energieverluste (Wirkungsgrad, Eigenstrombedarf) in jeder Wandlungsstufe.

Abschließend darf ich an das eingangs verwendete Modell der Geldinstitute erinnern. Die Geldbewegung der Banken ist ein gutes Modell des solaren Netzverbunds bei Elektroautos: Energieeinspeisung ins Netz (Einzahlung) und -entnahme (Auszahlung) sowieso, aber auch: bei jeder Bearbeitung (Wandlung) bleibt was hängen.

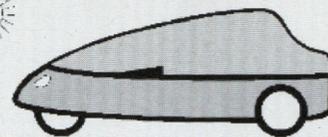
(1) H. Wilk in ÖVE-Schriftenreihe Band Nr. 6, S. 130, 1994

Autor: Dr. Dieter Schulze, In den Teichwiesen 5,
01109 Dresden, Tel. 0351 880 9452

Anzeigen:

KÜRTEEN GMBH I.G.

Elektroleichtmobile



Ihr City-EI und TWIKE Vertragshändler für Nürnberg, Fürth und Erlangen
Eichenstraße 35 • 90587 Obermichelbach • Tel. / Fax: (0911) 765 81 91

In Nürnberg gibt es 2,00 DM je eingespeiste kWh Solarstrom.

Bauen Sie Ihre eigene Solaranlage für die Umwelt auf.

Solarmodule aus EG - Fertigung ab 195.- DM

Solar - Netzeinspeisung im Baukastensystem ab 9999.- DM

Solarsysteme für Kleingärten zur unabhängigen Stromversorgung ab 499.- DM

Bei uns kommt der Strom in die Steckdose

MARQUART-SOLARTECHNIK

Fischbacher Hauptstr. 31
90475 Nürnberg
Tel. 83 06 14 / 83 11 85

SOLARMOBIL - Literatur

Konstruktion eines Solarrennfahrzeuges, von Thomas Jeltsch,
160 S., zahlr. Abbildungen,
ISBN 3-926388-15-3 DM 26,00

Aufbau und Anwendung solarelektrischer Systeme, v. Stefan Sachs, Grundlagen und stationäre System, Broschüre, 60 S.,
ISBN 3-926388-16-1 DM 8,00

SOLARSOFT Programm, V.3.0 PC
Programm zur Fahrzeugberechnung: Leistung, Verbrauch etc.
jetzt mit Grafik und mit Fahrzyklen, mit Anleitung DM 59,00

G. Reichel Verlag, Reifenberg 85
D-91365 Weilersbach,
Tel. 09194-8900, FAX 09194-4262

Verlag „Solare Zukunft“

...der Verlag, der Solarmobil-Literatur preiswert macht!!

Martin Krugmeister:
Das Elektrofahrzeug in einem integrativen Verkehrssystem
ISBN 3-9802768-4-8, DM 25,00,

Wolfgang Streicher:
Technik, Chancen und Umweltverträglichkeit von Solar- und Elektromobilen
ISBN 3-9802768-5-6, DM 30,00,

Verlag „Solare Zukunft“,
Christian Dürschner
Zenkerstr. 19,
D-91052 Erlangen
Tel. 09131-303 222
Fax 09131-303 566