

Photovoltaik-Anwendungen

für batteriebetriebene Elektrogeräte

von Dr. F. Scharf und W. Amrhein

Der Einsatz von Solarzellen bei batteriebetriebenen Geräten hat das Ziel, mindestens die Erhaltung des Ladungszustandes der Batterie bei Indoor-Verhältnissen zu erreichen. In günstigen Fällen soll auch eine Nachladung der Batterie möglich sein. Dabei ist bei der Bestückung eines Batteriegerätes mit einem Solargenerator darauf zu achten, daß dieser sich organisch in das Gerät einfügt und dessen Handhabung nicht beeinträchtigt.

Kriterien für den Einsatz

Geräte-Oberflächen und -Batterien

Eine wichtige Kenngröße für die solare Batterieladung ist die für den Einbau von Solarzellen zur Verfügung stehende Oberfläche eines Gerätes. Da gegenwärtig nur plane Solargeneratoren angeboten werden, müssen ebene Teile der Gehäuseoberfläche gefunden werden, die bei normaler Lagerung des Gerätes von der Bestrahlung erreicht werden. Die weiteren relevanten Einflußgrößen ergeben sich aus dem Batterietyp, durch den Batteriekapazität und Selbstentladung festgelegt sind. Sie bestimmen die Grenzen der solaren Ladeströme. In Tabelle 1 sind batteriebetriebene Erzeugnisse unseres Hauses zusammengestellt. Sie zeigt, daß bei den unterschiedlichen Geräten ein Anteil von 7-27 % der Geräteoberfläche zur Aufnahme von Solarzellen geeignet ist.

Das Verhältnis von Solarzellenfläche zur Batteriekapazität des Gerätes ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit des Systems. Je mehr Solarfläche pro installierte Wattstunde der Batterie zur Verfügung steht, um so größere Ladeströme können eingespeist werden. Der Mittelwert dieser Größe liegt bei den aufgeführten Geräten bei ca. 15 cm²/Wh. Starke Abweichungen hiervon zeigen der Batteriepack der Akku-Bohrmaschine mit 2,3 cm²/Wh und der Tragkasten der Bohrmaschine mit 57 cm²/Wh. Im ersteren Fall steht für die erhebliche Batteriekapazität der Elektrobohrmaschine nur die Oberfläche des Batteriegehäuses zur Verfügung und diese ist relativ klein. Hingegen bietet der Tragkasten eine Solarfläche an, die so groß ist, daß damit auch das Laden der Batterie möglich wird.

Einstrahlung

Bei einem Batteriegerät sind der Auswahl der Solarflächen, insbesondere ihrer Vergrößerung durch konstruktive Maßnahmen und damit der solaren Ladungseinspeisung, enge Grenzen gesetzt. In weit stärkerem

Maße hingegen wird diese von der Bestrahlung der Solarzellen und damit vom Ort der Aufstellung beeinflusst.

In Tabelle 2 sind für die verschiedenen Beleuchtungsverhältnisse die zugehörigen Bestrahlungsstärken angegeben. Da hier von natürlichem

Sonnenlicht ausgegangen wird, kann man die Beleuchtungsstärke von 100 000 lx einer Bestrahlungsstärke von 100 mW/cm² gleichsetzen.

Des weiteren ist die spezifische Leistung eines Solargenerators aufgeführt. Man erkennt, daß die Bestrahlungsstärke um den Faktor 500 schwanken kann. Berücksichtigt man, daß der Wirkungsgrad der Solarzelle bei schwächeren Bestrahlungen auf etwa den halben Wert abnimmt, so erhält man durch die unterschiedlichen Bestrahlungsverhältnisse Leistungen, die sich um den Faktor 1000 unterscheiden können.

Gerät	Oberfl.	Solarfl.	Solarfl. Oberfl.	Batterie-		Solarfl. Kapazität
	cm ²	cm ²		Ah	Wh	
Funkgerät HFE 165	367	48	0,13	0,5	2,4	20
Batteriepack 9,6 V	246	27	0,11	1,2	11,5	2,3
Ladestation für Bohrmaschine	2409	650	0,27	1,2	11,5	57
Bohrmaschinenhalter	645	54	0,08	1,2	5,8	9,3
Handscheinwerfer HK 100	1450	278	0,19	7	33,6	8,3
Ladegerät für HK 100	1498	205	0,14	7	33,6	6,1
Handsender GTF	166	24	0,14	0,35	3,2	7,5
Fernbedienung TV/Btx	369	24	0,07	0,35	3,2	7,5
Blitzgerät M 32	383	52	0,14	1,6	4,8	10,8
Leitungssuchgerät M 200	210	31	0,15	0,35	3,2	9,7
Hörbrille (zwei Bügel)	84	9,5	0,11	0,21	0,3	32

Tabelle 1: Einsatz von Solargeneratoren bei batteriebetriebenen Geräten

Sonnenschein	100 000	100	10	0,1
stark bewölkt	10 000	10	8x10 ⁻¹	0,08
natürliche Raumbelichtung in Fensternähe	5 000	5	3x10 ⁻¹	0,06
künstliche Raumbelichtung	200	0,2	8x10 ⁻³	0,04

Tabelle 2: Einstrahlung und Solargeneratorleistung

Bestrahlungsstärken in Innenräumen

Da die Erhaltungsladung unter Indoor-Verhältnissen ermöglicht werden soll, ist die genaue Kenntnis der Bestrahlungsverhältnisse innerhalb von Räumen von Bedeutung. Es wurden deshalb die Bestrahlungsstärken auf unterschiedlich orientierten Solarzellenflächen in einem Laborraum mit durchgehender Fensterfront bei diffussem Tageslicht ermittelt. Als Meßkörper diente ein Würfel, an dessen Flächen die Bestrahlungsstärken gemessen wurden.

In Bild 1 sind die Bestrahlungsstärken von fünf Würfel­flächen bezogen auf die Einstrahlung an der Fensterfläche für verschiedene Abstände des Würfels zum Fenster wiedergegeben. Es zeigt sich, daß die Würfel­flächen, die zum Fenster und zur Decke gerichtet sind, wesentlich besser bestrahlt werden als die Seitenflächen und verständlicherweise die Rückseite. Die beiden Würfel­flächen 1 und 2 bieten also für den Einsatz von Solargeneratoren gute Voraussetzungen, wobei der Fläche 2 die Reflexion an der Decke zugute kommt. Diese Aussage kann nur als Orientierung verstanden werden, da die Bestrahlungsverhältnisse in Räumen durch folgende Parameter zum Teil erheblich beeinflußt werden können:

- Orientierung des Raumes
- Anzahl, Größe und Anordnung der Fenster
- Größe und Form des Raumes
- Reflexionsverhalten von Wänden, Decke und Boden
- Lage und Ausrichtung des bestrahlten Gegenstandes im Raum
- Richtungsverteilung des einfallenden Lichtes.

Indikator zur Lageorientierung photovoltaischer Geräte

Um die Erhaltungsladung sicherzustellen, ist es vorteilhaft, den Anwender von solaren Batteriegeräten bei

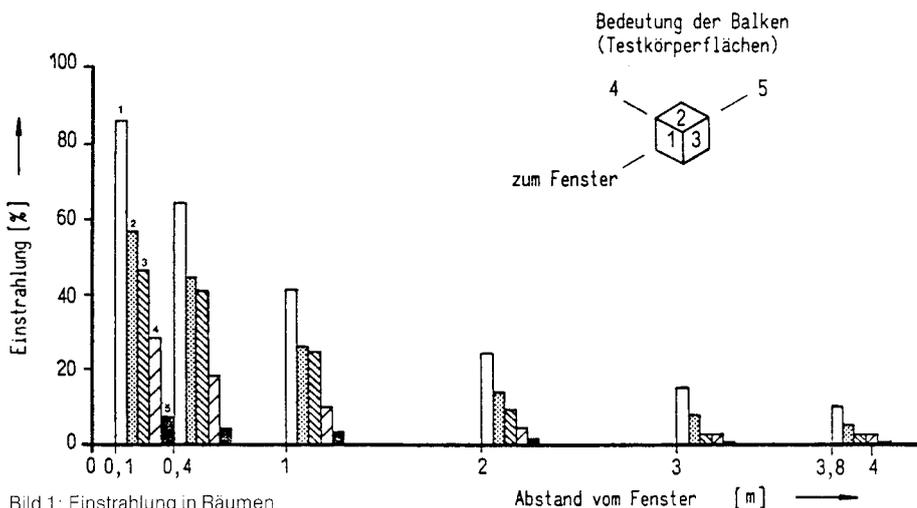


Bild 1: Einstrahlung in Räumen

der Auswahl des Standortes und der optimalen Lage des Solargenerators zur Lichtquelle mit einer Anzeige zu unterstützen. Ein Beleuchtungsmesser könnte zwar die Beleuchtungsbeziehungswise Bestrahlungsstärke an jeder Stelle anzeigen, ein Hinweis auf den Ladestrom wäre damit aber nicht zwangsläufig gegeben. Deshalb wurden die Möglichkeiten weiterverfolgt, die eine Anzeige des Ladestroms gewährleisten. Der Indikator sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- Anzeige des Ladebetriebs
- Solargenerator als Sensor
- Anzeige ermöglicht optimale Geräteausrichtung
- geringerer Energiebedarf
- minimaler Platzbedarf
- niedrige Kosten.

Nach diesen Vorgaben wurde ein Funktionsmuster des Indikators entwickelt und in die Erprobung genommen. Da der Ladestrom als Meßgröße herangezogen wird, ist gewährleistet, daß nur im Ladebetrieb eine Anzeige erfolgt. Es werden vom Ladestrom abhängige Impulse erzeugt und von einer Leuchtdiode angezeigt. Die Blinkfrequenz ist ein Maß für den Ladestrom und damit ein Indikator zur Ausrichtung des Solargenerators auf die einfallende Strahlung. Eine höhere Blinkfrequenz bedeutet einen größeren Ladestrom. Die elektronische Schaltung wird bei Serienfertigung den Forderungen nach minimalem Platzbedarf für den Geräteeinbau und niedrigen Kosten gerecht.

Solargespeiste Batteriegeräte Handsprechfunkgerät

Für den Einsatz von Solargeneratoren erwies sich das Handsprechfunkgerät, das in Bild 2 abgebildet ist, als gut geeignet. Es besteht aus zwei Teilen, dem elektronischen, dem eigentlichen Funkgerät, und dem aufgesteckten Energieversorgungsteil, dem Batteriepack, wobei beide Teile mit Solargeneratoren bestückt wur-

den. Im Batteriepack sind vier Ni-Cd-Zellen mit 1,2 V – 0,5 Ah/0,6 Wh zu einer Nennspannung von 4,8 V in Reihe geschaltet. Sie sind mit Sinter­elektroden ausgerüstet. Wie aus Bild 3 ersichtlich ist, weisen sie nach Herstellerangaben eine große Selbstentladung auf. Diese liegt bei voller Batterie bei 2,9 mW pro Wh Batteriekapazität, d. h. für die 2,4 Wh des Batteriepacks bei 7 mW. Der Wert reduziert sich nach zwei Monaten Lagerzeit auf 0,2 mW/Wh, also auf 0,5 mW. Dies sind 8 % der Selbstentladeleistung der vollen Batterie. Die Restkapazität beträgt dann noch 0,45 Wh, somit bei 2,4 Wh Batteriekapazität noch 1,1 Wh. Die Verhältnisse bei der Ladungseinspeisung lassen sich anhand von Bild 4 in den wesentlichen Zügen erläutern. Die obere Kurve stellt die Solargeneratorleistung P des Handsprechfunkgerätes über der Einstrahlung dar. Den Verlauf der Generatorleerlaufspannung U_0 gibt die untere Kurve wieder. Bei einer Batteriespannung von 4,8 V ist ab 500 lx ein Laden möglich. Bei dieser Bestrahlungsstärke kann die Selbstentladeleistung von 0,5 mW erreicht werden. Bei höherer solarer Bestrahlung kann die Ladungseinspeisung ab 52 000 lx auf den Wert der Normalla-



Bild 2: Handsprechfunkgerät

dung von 240 mW ansteigen. Ein Überladen der Batterie ist wegen des Tagesganges der Sonneneinstrahlung nicht möglich. Der Stand-by-Betrieb erfordert eine Leistung von 77 mW. Diese kann ab 18 000 lx, also beim Betrieb im Freien, vom Solargenerator allein gedeckt werden.

Die bisherigen Überlegungen geben nur über die Leistungsbilanz, d.h. ab welcher Bestrahlungsstärke eine Stromspeisung in die Batterie möglich ist, Aufschluß. Zur Beantwortung der Frage nach der effektiven Batterieladung sind neben dem Verlauf der Bestrahlungsverhältnisse vor allem auch Kenntnisse über den Ladewirkungsgrad von Ni-Cd-Batterien bei kleinen Ladeleistungen erforderlich. Da diese aus der Literatur nicht bekannt sind, werden sie mit Hilfe eines Batterieteststandes, der in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg gebaut worden ist, ermittelt. Auf diesem Prüfstand soll auch untersucht werden, ob und unter welchen Bedingungen durch solares Laden eine Kapazitätserhaltung bei Primärzellen möglich ist.

Akku-Bohrmaschine und Tragkasten mit Ladestation

Bei der in Bild 5 dargestellten batteriebetriebenen Bohrmaschine ist der Batteriepack mit zwei parallelgeschalteten Solargeneratoren ausgerüstet. Das Verhältnis Solarzellenfläche zur Kapazität von 2,3 cm²/Wh ist nicht sehr günstig. Die Selbstentladeleistung des vollgeladenen 9,6 V-Batteriepacks beträgt nach zwei Monaten noch 2,3 mW. Es zeigt sich, daß die für die tägliche Selbstentladung von 55 mWh erforderliche Energie beispielsweise mit 6 000 lx Einstrahlung über 8 Stunden/Tag oder bei voller Sonneneinstrahlung von 0,6 Stunden/Tag abgedeckt werden kann. Dadurch wird die Batteriekapazität auf 45 % der Nennkapazität gehalten.

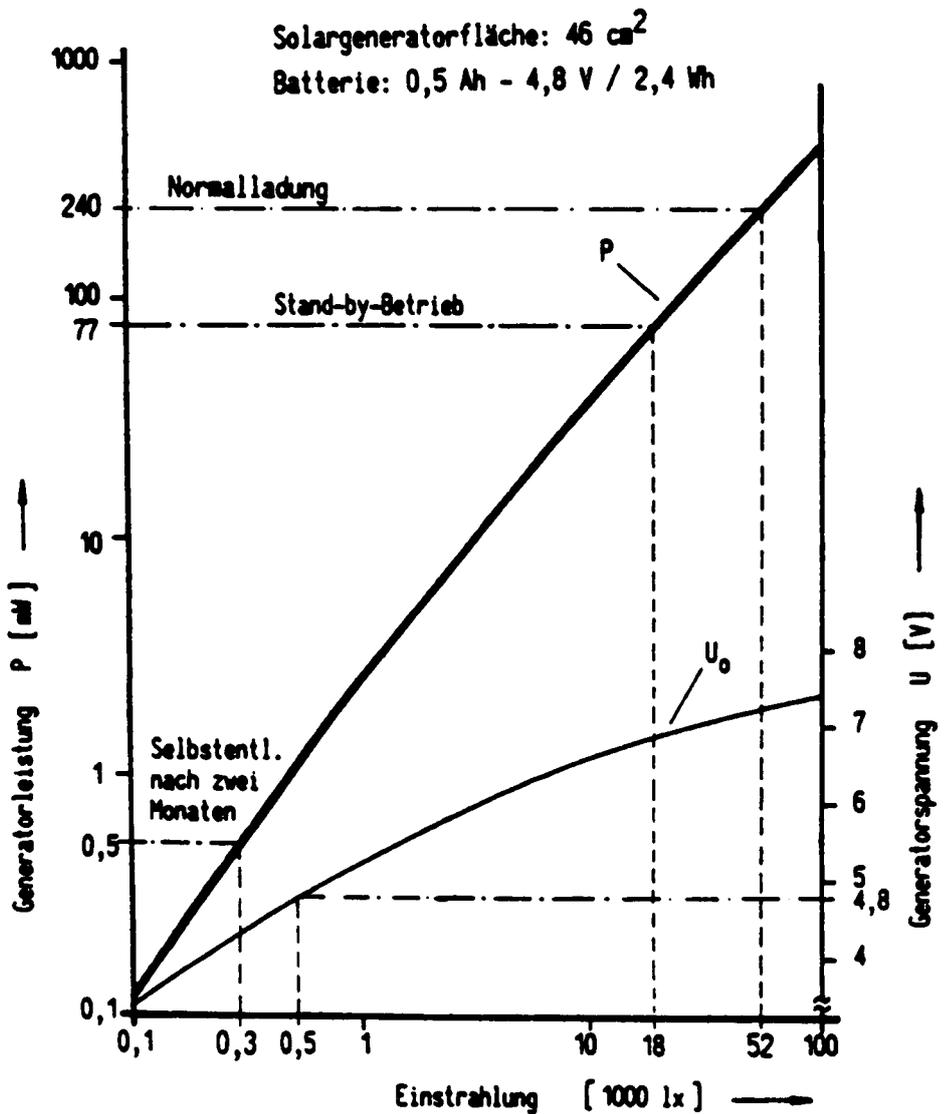


Bild 4: Solare Ladungseinspeisung beim Sprechfunkgerät mit Batteriepack

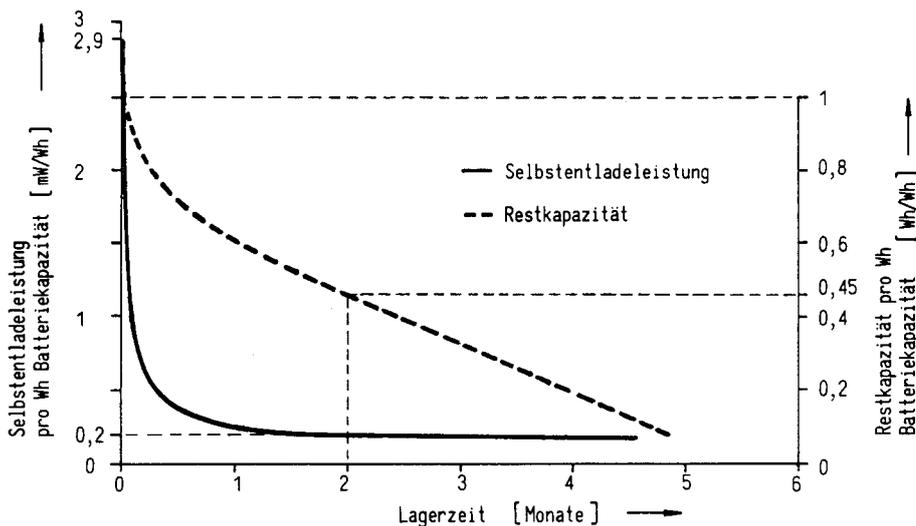


Bild 3: Selbstentladung bei Ni-Cd-Zellen mit Sinterelektroden

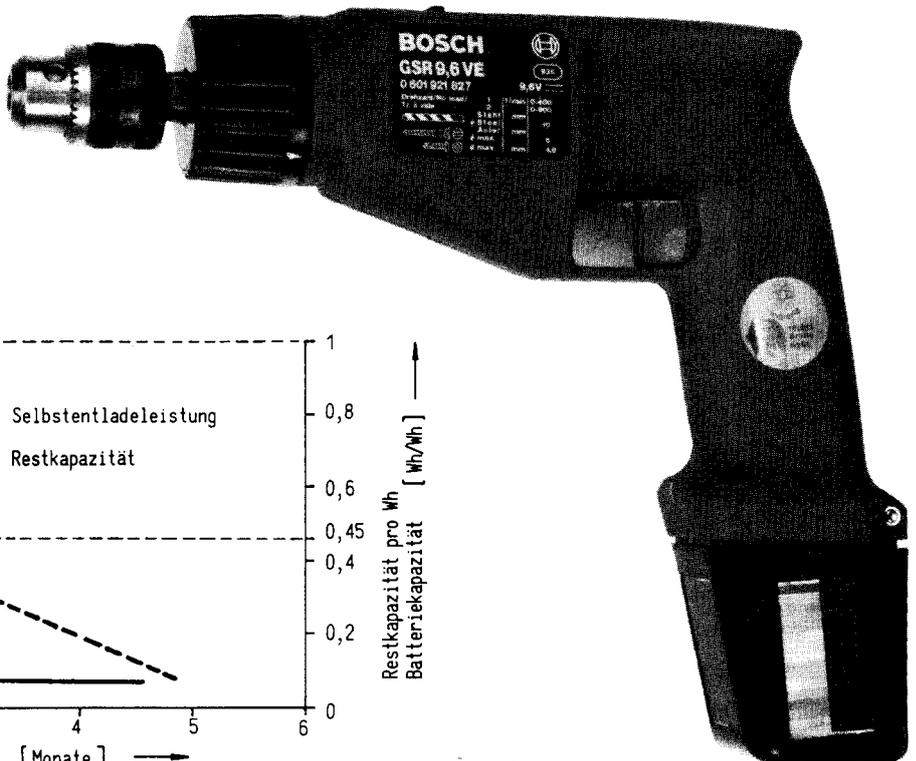


Bild 5: Bohrmaschine mit integrierten Solargeneratoren

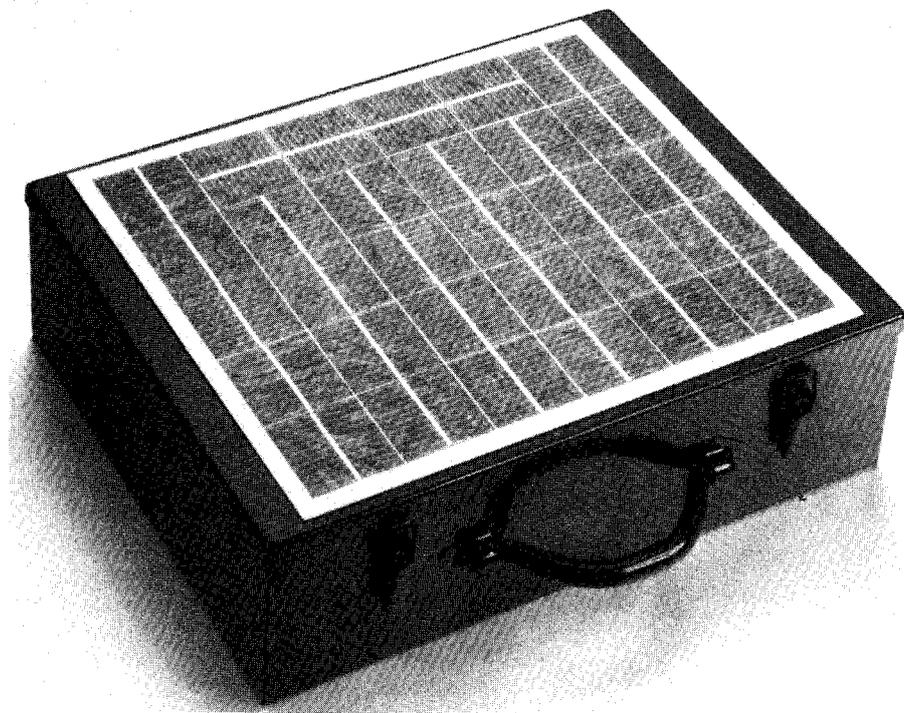


Bild 6: Tragkasten als solare Ladestation

Wesentlich günstigere Voraussetzungen für den Einsatz von Solargeneratoren bietet der Tragkasten als Ladestation. Bei einem Verhältnis von $57 \text{ cm}^2/\text{Wh}$ ist ein effektiver Ladebetrieb möglich. Bild 6 zeigt den Tragkasten, auf dessen Deckel der Solargenerator mit einer wirksamen Fläche von $6,5 \text{ dm}^2$ aufgebracht ist. Der Batteriepack befindet sich zum Laden im Inneren des Kastens. Die Auslegung des Solargenerators erfolgte für den Ladebetrieb im Freien.

In Bild 7 ist die Leistung P des Solargenerators, seine Leerlaufspannung U_0 und die optimale Arbeitsspannung U_{MPP} für die maximale Leistungsabgabe in Abhängigkeit von der Einstrahlung wiedergegeben. Man erkennt ganz deutlich, daß bei der Kombination mit der Batterie der Akku-Bohrmaschine im Outdoor-Betrieb die Ladungserhaltung überschritten wird und die Bereiche der Batterie-Normalladung und -Schnellladung erreicht werden. Bei $16\ 000 \text{ lx}$

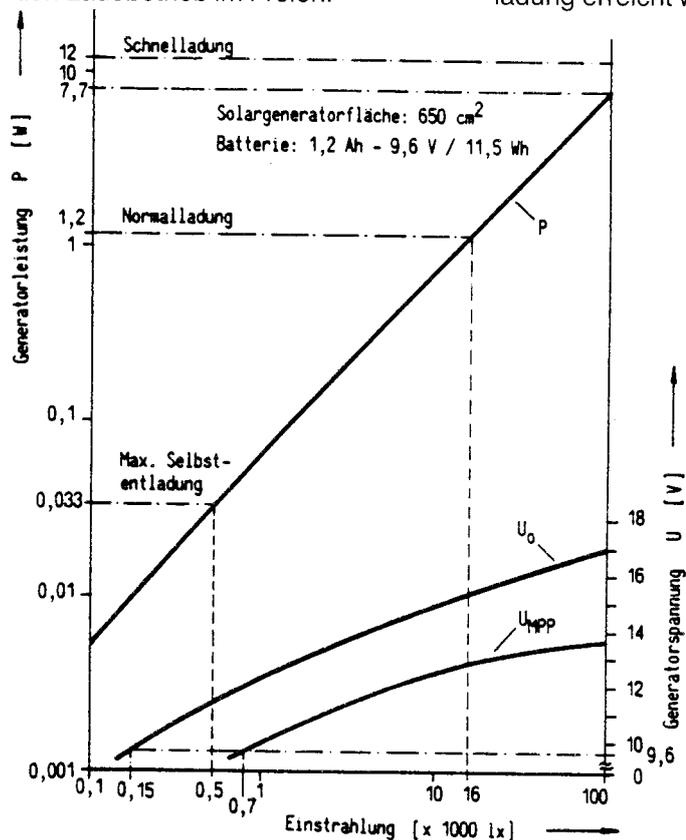


Bild 7: Solare Ladungseinspeisung beim Tragkasten für Akku-Bohrmaschine

wäre die Normalladung unter Berücksichtigung eines Ladefaktors von 1,4 in 14 Stunden, d. h. in 2 Tagen gegeben. Die hierzu erforderliche Strahlungsmenge von $224\ 000 \text{ lx h}$ kann aber an Sonnentagen auch in kürzerer Zeit eingestrahlt werden.

Bei direkter Ausrichtung des Solargenerators auf die Sonne erhält man eine Ladeleistung von $7,7 \text{ W}$. Damit läßt sich eine leere Batterie in ca. 2 Stunden wieder aufladen. Im Indoor-Betrieb ist die Ladungserhaltung auch bei schwachen Einstrahlungen größer als 150 lx möglich. Die volle Generatorleistung kann allerdings erst ab 700 lx abgegeben werden.

Im Outdoor-Betrieb können bei geschlossenem Deckel und bei voller Einstrahlung in der Ladestation Temperaturen über 60°C erreicht werden. Hierdurch kann die Batterie geschädigt werden, wodurch sich ihre Ladeigenschaften verschlechtern. Zur Abhilfe wurden folgende Maßnahmen untersucht:

- Einsatz einer speziellen Wärmeschutzfolie
- elektrische Überwachung des Ladevorgangs
- Öffnen des Deckels.

Dabei erscheint das Öffnen des Deckels die einfachste und zweckmäßigste Lösung zu sein.

Ausblick

Die mit Solarzellen bestückten Geräte werden zur Zeit sowohl hinsichtlich der solaren Batterieladung als auch der mechanischen Stabilität der Solarzellen, insbesondere der durchsichtigen Schutzoberfläche, praxiserprobten Tests unterzogen. Darüberhinaus werden weitere Erzeugnisse unseres Haus mit Solarzellen ausgerüstet, wie z. B. die Handsender für den Garagentorantrieb und für eine Kfz-Sicherungsanlage.

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, werden mit Hilfe des dort aufgebauten Batterieteststandes die Randbedingungen ermittelt, unter denen eine Ladungserhaltung bei Ni-Cd-Zellen und Primärbatterien erreicht werden kann.

Aufgrund der Ergebnisse bei den Erprobungen der Geräte in der Praxis soll schließlich aufgezeigt werden, unter welchen Bedingungen und in welchem Maße sich die erwarteten Vorteile, wie Erhöhung der Einsatzbereitschaft, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von batteriebetriebenen Geräten verwirklichen lassen und unter welchen Voraussetzungen sich der Einsatz von Solargeneratoren auch wirtschaftlich anbietet.

Dr. Friedrich Scharf und Ing. (grad.) Wilhelm Amrhein sind Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH in Stuttgart im Bereich Zentralstelle Forschung - Physikalisch-technische Systeme