

FLUKO*-Solar-Uhr

von Dr. K. Heidler

Zur Zeit entsteht eine neue Generation von Solargroßuhren. Entscheidend für ihren Erfolg wird die Verbesserung der Betriebssicherheit gegenüber früheren Solaruhren sein. Eine ausreichende Dimensionierung der Solarzellen scheiterte bisher oft an den zu hohen Kosten. Hier kann in vielen Fällen ein neuartiger Lichtkonzentrator, der Fluoreszenzkollektor, Abhilfe schaffen, da er die benötigte Solarzellenfläche erheblich reduziert.

Uhrwerk

Der erste Schritt bei einer solaren Energieversorgung ist immer die Optimierung des Verbrauchers, mit dem Ziel, die benötigte Energie so gering wie möglich zu halten. Aus diesem Grund sind die Werke aller Solaruhren energieoptimiert mit einem typischen durchschnittlichen Strombedarf von 5 μ A bei 1,5 V.

Beleuchtungsverhältnisse

Spektr

Die Spektren (und damit die spezifischen Energieinhalte) der Lichtquellen sind sehr unterschiedlich. Bei der Angabe der benötigten Beleuchtungsmenge für eine Uhr genügt also nicht die Angabe 1000 lx h, sondern es muß die Lichtquelle zusätzlich bezeichnet werden. Wir schlagen vor, im allgemeinen ein Leuchtstofflampenspektrum zu verwenden, da es realistisch und leicht reproduzierbar ist. Unsere bisherigen Messungen zeigen, daß dies ein „konservatives“ Spektrum ist, d.h., Systeme, die damit ausgelegt wurden, arbeiten bei anderen Lichtquellen noch besser.

Intensität

Eine grobe konservative Abschätzung der durchschnittlichen Beleuchtungsmenge ergibt 530 lx h/d (diffuses Sonnenlicht) für mit Tageslicht beleuchtete Räume und 160 lx h/d (Leuchtstofflampe) für rein mit Kunstlicht beleuchtete Räume. Der zweite Fall stellt eine sehr harte Randbedingung dar, der erste Fall ist durchaus im Rahmen der solaren Möglichkeiten.

Solarzellen

Als Solarzellen für Solargroßuhren kommen amorphe, polykristalline und monokristalline Silizium-Solarzellen in Betracht. Besonders bei Glühlicht und bei Tageslicht sind die kristallinen Zellen den amorphen weit überlegen.

Diese Verhältnisse drehen sich um, wenn man das Spannungsverhalten der Solarzellen im Schwachlichtbereich betrachtet. Das amorphe Material hat eine höhere Spannung und einen schnelleren Spannungsanstieg als das kristalline Silizium.

Bei stromintensiven Anwendungen oder wenn das Schwergewicht auf Tages- oder Glühlicht liegt, sind kristalline (und hier wegen des Preises polykristalline) Solarzellen vorzuziehen. Soll die Uhr bei extrem niedrigen Beleuchtungsstärken betrieben werden, so können amorphe Solarzellen vorteilhaft sein.

Für den FLUKO gelten wieder ganz andere Auswahlregeln.

Der Fluoreszenzkollektor (FLUKO)

Während bisher Solaruhren allgemein betrachtet wurden, soll nun eine neuartige Komponente vorgestellt werden, die bisher nur in einer Solaruhr kommerziell verwirklicht wurde: der Fluoreszenzkollektor (FLUKO). Sein Prinzip ist in Bild 1 anhand einer Schnittzeichnung dargestellt.

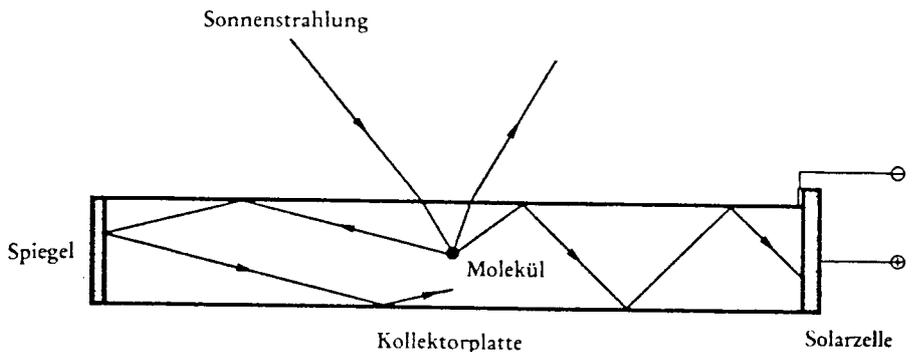
tion. Im Unterschied zu herkömmlichen Konzentratoren wie Linse oder Spiegel kann der FLUKO auch diffuses Licht konzentrieren – eine Eigenschaft, die gerade im Schwachstrombereich (Uhr!) sehr vorteilhaft ist:

- Durch die Lichtkonzentration und -verfärbung ist die Stromausbeute pro Solarzellenfläche größer als bei direkter Beleuchtung (Exposition) der Solarzellen).
- Durch die Lichtkonzentration ist – vor allem bei schwacher Beleuchtung – die Spannung pro Solarzelle höher als bei direkter Exposition.

Weitere Vorteile des Fluoreszenzkollektors sind:

- Der FLUKO ist transparent.
- Der FLUKO kann Anzeigefunktionen übernehmen. Durch geeignetes Auskoppeln von Licht können beliebige Symbole auf der Kollektorfläche zum Leuchten gebracht werden.
- Der FLUKO ist ein integrierender Lichtsammler, d.h., es gibt keine Probleme bei teilweiser Abschattung z.B. durch die Zeiger einer Uhr.

Prinzip des Fluoreszenzkollektors (Schnitt)



Der FLUKO besteht im allgemeinen aus einer 3 mm starken Acrylglasplatte (typische Abmessung 25 x 25 cm², in die ein fluoreszierender Farbstoff eingearbeitet ist. Licht, das auf den Kollektor fällt, wird zum Teil durchgelassen und zum Teil vom Farbstoff absorbiert und mit veränderter Farbe wieder emittiert (Fluoreszenz). 75 % dieses Fluoreszenzlichtes bleibt aufgrund der Totalreflexion im Kollektor gefangen, wird zwischen Ober- und Unterseite der Platte zickzackförmig hin- und hergespiegelt und tritt schließlich an den Schnittkanten der Kollektorplatte wieder aus, wo es von Solarzellen in Strom umgewandelt wird.

Der FLUKO sammelt also mit einer großen Oberfläche Licht und gibt es konzentriert an den kleinen Kantenflächen wieder ab. Je größer das Verhältnis Oberfläche zu Kantenfläche ist, desto größer ist auch die Lichtkonzentra-

- Der FLUKO bietet eine Fülle von Designmöglichkeiten.

Eine Folge dieser Vorteile ist die erhebliche Reduzierung der benötigten Solarzellenflächen. Aufgrund dieses Einspareffektes kann man es sich erlauben, die Uhr erheblich leistungsfähiger zu bauen, als es mit direkter Exposition wirtschaftlich sinnvoll ist.

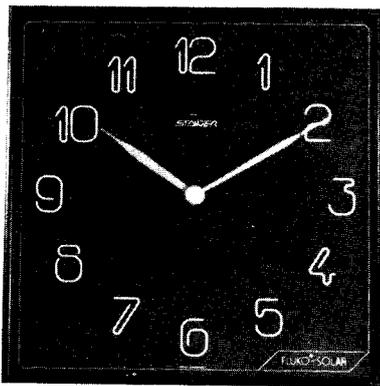
Bei der Auswahl der Solarzellen verliert das Spannungsargument (schneller Anstieg) wegen der Lichtkonzentration an Bedeutung. Dafür wird die Stromfestigkeit (Füllfaktor!) wegen der höheren Stromdichten wichtiger. Schließlich muß die spektrale Verteilung des Fluoreszenzlichtes mit der spektralen Empfindlichkeit der Solarzelle zusammenpassen. So kann z.B. bei dem roten Farbstoff keine amorphe Silizium-Solarzelle verwendet werden.

* FLUKO ist ein eingetragenes Warenzeichen

Kriterienkatalog

Eine Solarwanduhr sollte folgende Bedingungen erfüllen:

- A) **Tageszyklus:**
Nach 9 h Beleuchtung mit 100 lx (Leuchtstofflampe) muß die Uhr 15 h im Dunkeln arbeiten.
- B) **Wochenzyklus:**
Nach 5 Tageszyklen (s. A) muß die Uhr 48 h im Dunkeln arbeiten.
- C) **Langzeitzyklus:**
Nach 24 Wochenzyklen (s. B) muß die Uhr 14 h im Dunkeln arbeiten.
- D) **Anlaufbedingungen:**
Die Bedingungen A – C müssen auch dann von der Uhr erfüllt werden, wenn zu Beginn des jeweiligen Zyklus der Speicher entleert wurde.



Einige Beispiele für die graphische Gestaltung einer Fluko-Uhr

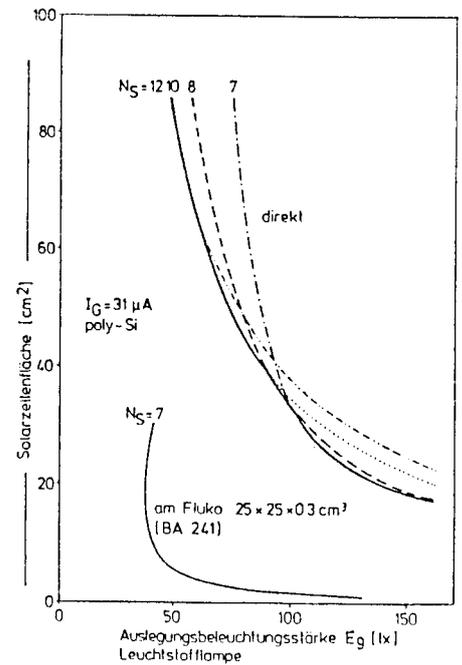
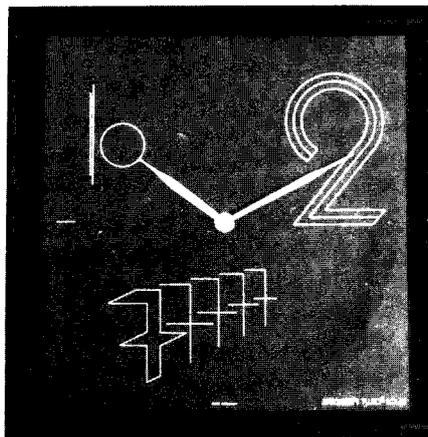
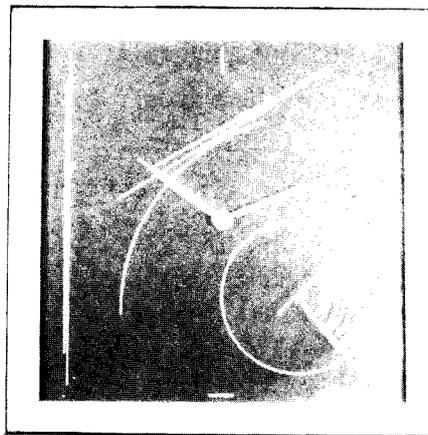


Bild 2: Optimale Solargeneratorfläche für einen Gesamtstrombedarf von 31 µA als Funktion der durchschnittlichen 9stündigen Beleuchtungsstärke.

Vergleich direkte Exponierung – FLUKO

In Bild 2 wird die benötigte Solarzellenfläche (polykristallines Silizium), 31 µA Gesamtstrombedarf) für direkte Exponierung und FLUKO miteinander verglichen. Zum einen sieht man deutlich den Einsparungseffekt an Solarzellenfläche, der über einen weiten Bereich einen Faktor 16 beträgt, zum anderen erkennt man einen Bereich, in dem der Solarzellenbedarf am FLUKO drastisch ansteigt, da hier die Lichtkonzentration nicht mehr ausreicht. Durch einen größeren Fluoreszenzkollektor kann auch dieser Bereich sinnvoll abgedeckt werden.

Aus diesem Grund wird der FLUKO zur Zeit nur in Wanduhren eingesetzt. Durch weitere Forschungsarbeiten müßte aber auch die Tischuhrgröße erreichbar sein.

Systemaspekte von Solargroßuhren

Anforderungen

Die wichtigsten Parameter, die die Leistungsanforderungen der Uhr beschreiben, sind

- U_B Betriebsspannung,
- E_n Durchschnittliche Beleuchtungsstärke während n Stunden pro Tag,
- I_G Gesamtstrombedarf.

Die Batteriespannung ergibt sich aus den Uhrwerks- und Speicherdaten, sie liegt typischerweise bei 1,5 V.

Die durchschnittliche tägliche Beleuchtungsstärke hängt vom geplanten Einsatzbereich ab, die den Mindestanforderungen entsprechende Größe ist $E_9 = 100 \text{ lx}$ (Leuchtstofflampe).

Der Gesamtstrombedarf ist

$$I_G = a \cdot I_U + b \cdot I_S$$

wobei I_U mittlerer Uhrwerksstrom, I_S zusätzlicher Strom des Gesamtsystems.

Die Koeffizienten a und b geben im wesentlichen das Tastverhältnis zwischen Beleuchtung und Dunkelheit wieder. Ein typischer Wert für a liegt bei 4, zusammen mit dem b-Term ergeben sich typische Gesamtströme von der Größenordnung $5 \cdot I_U$.

