

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 85 (1994)

**Heft:** 19

**Artikel:** Einfache Methode zum Blitzschutz von Photovoltaikanlagen

**Autor:** Häberlin, Heinrich / Minkner, Ruthard

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902605>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Solarmodule von Photovoltaikanlagen werden oft in Fassaden oder Dächer von Gebäuden integriert und sind der Gefahr von Blitzschlägen ausgesetzt. In einem früheren Beitrag wurde darauf hingewiesen, dass Solarmodule mit Metallrahmen ziemlich robust sind, und dass Blitzströme, die in unmittelbarer Nähe von Solarzellen fließen, an diesen nur relativ geringe Schäden verursachen. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass sich diese sogar vollständig vermeiden lassen, wenn die Distanz zwischen Blitzstrompfad und Solarzellen auf einige Zentimeter erhöht wird. Durch eine geeignete Modulverdrahtung mit niedriger Gegeninduktivität gegenüber dem Blitzstrompfad und angemessenem Einsatz von Varistoren dürfte ohne allzu grossen Aufwand ein vollständiger Schutz gegenüber Blitzschlägen erreichbar sein.

# Einfache Methode zum Blitzschutz von Photovoltaikanlagen

■ Heinrich Häberlin  
und Ruthard Minkner

## Erhöhung der Immunität von Photovoltaikanlagen gegenüber Blitzströmen

In einer früheren Arbeit wurde gezeigt, dass die vom Stossstromgenerator der ISB erzeugten Ströme (siehe Bilder 1 und 2) Solarmodule etwas beschädigen, wenn diese Ströme direkt im Rahmen eines So-

larmoduls oder bei rahmenlosen Modulen in einem Leiter unmittelbar unter den Solarzellen fließen [1, 2]. Der Schaden zeigt sich in einer mehr oder weniger grossen Veränderung der U-I-Kennlinie des betreffenden Solarmoduls, bei der insbesondere die Leistung im Punkt maximaler Leistung (*MPP*) und damit der Füllfaktor (*FF*) verringert wird (siehe Bild 3). Da die festgestellten Schäden besonders bei Modulen mit Metallrahmen relativ gering sind, liegt die Vermutung nahe, dass diese Schäden durch eine Vergrösserung des Abstands zwischen Blitzstrompfad und Solarzellen vermeidbar sind.

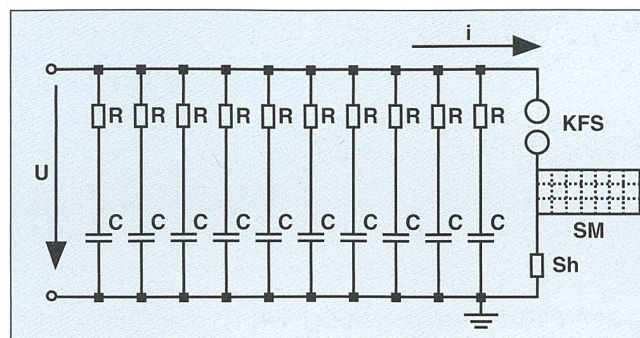
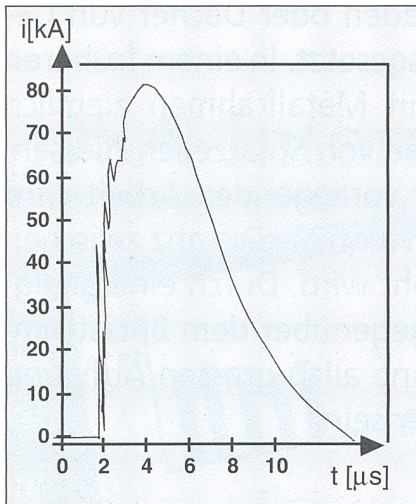


Bild 1 Schema des Stossstromgenerators der ISB siehe [1]

### Adresse der Autoren:

Dr. Heinrich Häberlin, Professor, Ingenieurschule Burgdorf (ISB), 3400 Burgdorf, und Dr. Ruthard Minkner, Dozent, c/o Ingenieurschule Burgdorf (ISB), 3400 Burgdorf.



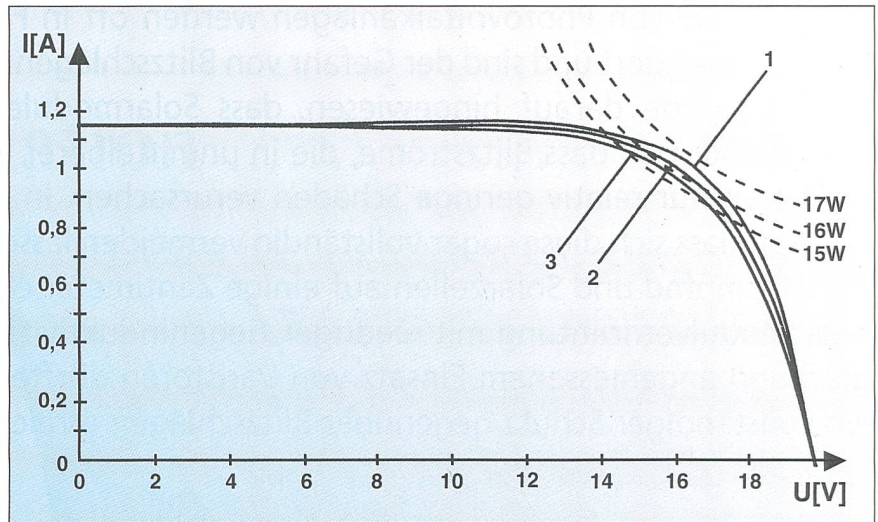
**Bild 2** Stossstrom der ISB-Anlage

Typischer Verlauf eines mit dem ISB-Generator erzeugten Stossstromes mit  $I_{max} = 80 \text{ kA}$  und  $di/dt = 53 \text{ kA}/\mu\text{s}$  [1].

Im Frühjahr 1993 durchgeführte experimentelle Untersuchungen zeigten, dass bei einem gerahmten Solarmodul Siemens M65 mit monokristallinen Solarzellen bereits keine Schäden mehr auftreten, wenn die Stossströme (mit  $I_{max}$  bis 111 kA und  $di/dt$  bis 56 kA/ $\mu\text{s}$ ) statt im Modulrahmen in einem unmittelbar darunter montierten, metallisch mit diesem verbundenen Aluminium-U-Profil fließen [4]. Bild 4 zeigt die verwendete Testanordnung, bei der der Schwerpunkt des durchfließenden Stossstromes ungefähr 6 cm von der nächsten Solarzelle entfernt ist, Bild 5 die dabei gemessene U-I-Kennlinie vor und nach der Stossstrombeanspruchung. Früher durchgeführte Tests mit ähnlichen Stossströmen, die direkt in den Rahmen eines Solarmoduls M65 eingespeist wurden, hatten noch leichte Schäden wie die in Bild 3 gezeigten zur Folge gehabt [5].

Aufgrund der durchgeführten Experimente scheint es möglich zu sein, durch einfache Vergrößerung des Abstandes zwischen Blitzstrompfad und Solarzellen Schäden an gerahmten Solarmodulen durch das elektromagnetische Feld von Blitzströmen völlig zu vermeiden. Das dabei zu lösende Problem ist dabei natürlich, diesen Minimalabstand unter allen Bedingungen zu gewährleisten und insbesondere Direkteinschläge in das Modul oder die Zellen zu vermeiden. Dies ist durch die an der ISB entwickelten Miniatur-Blitzfänger, die im nachfolgenden Kapitel näher beschrieben werden, sehr leicht und mit relativ geringem Aufwand erreichbar.

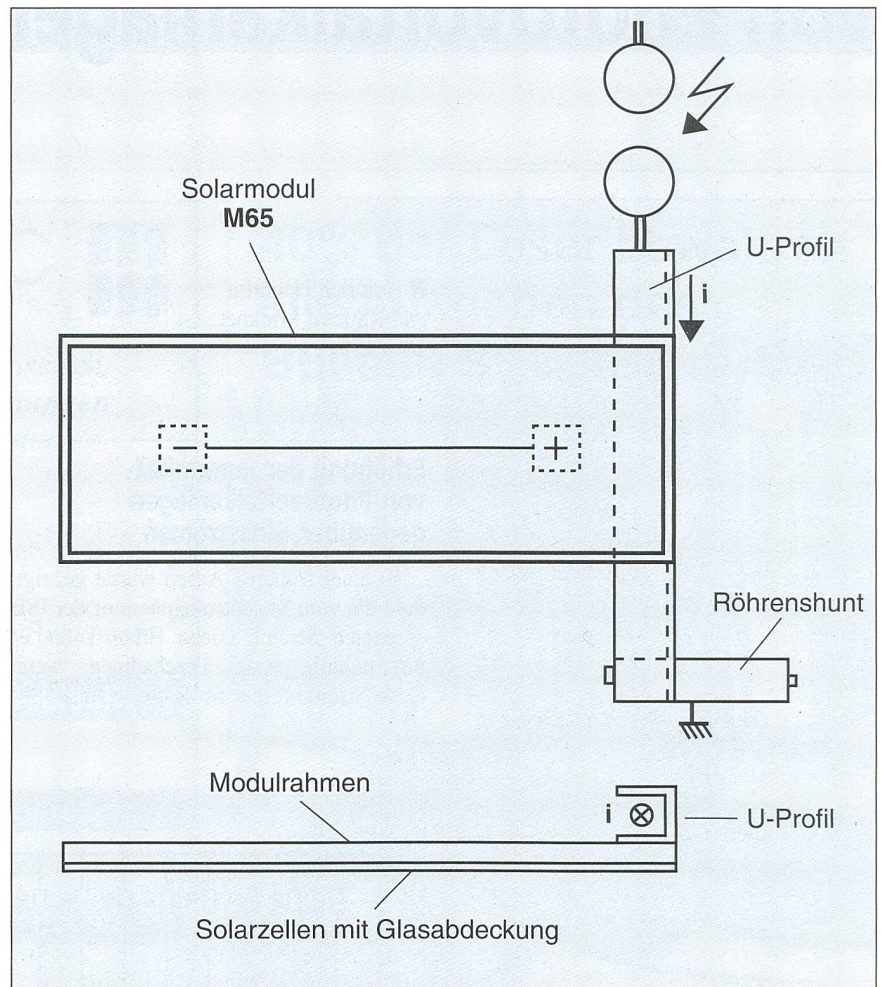
**Wichtiger Hinweis:** Bei den durchgeführten Experimenten war nur bei Modulen mit metallischem Rahmen ein vollständiger Schutz möglich. Die durch den Rahmen



**Bild 3** Kennlinien eines PV-Moduls

Veränderung der U-I-Kennlinien eines Solarex MSX60-Moduls bei einer Einstrahlung von  $G' = 300 \text{ W}/\text{m}^2$  vor und nach dem Einspeisen eines Stossstroms in den Metallrahmen, bei während des Tests kurzgeschlossenem Modul [1].

- 1 ursprüngliche Charakteristik
- 2 nach Stossstrom mit  $I_{max} = 53 \text{ kA}$ ,  $di/dt = 33 \text{ kA}/\mu\text{s}$
- 3 nach einem weiteren Stoss mit  $I_{max} = 80 \text{ kA}$ ,  $di/dt = 53 \text{ kA}/\mu\text{s}$



**Bild 4** Testanordnung mit erhöhter Distanz zwischen Strompfad und Solarzellen

Testanordnung mit erhöhter Distanz (etwa 6 cm) zwischen Schwerpunkt des Stossstroms  $i$  und Solarzellen bei einem gerahmten Modul (kurzgeschlossen während des Tests). Der Stossstrom wird in ein Aluminium-U-Profil 50 mm  $\times$  40 mm  $\times$  4 mm mit einem direkt darauf montierten Solarmodul Siemens M65 eingeleitet. Bei dieser Anordnung konnte auch mit den stärksten Stossströmen kein Schaden mehr registriert werden (siehe Bild 5).

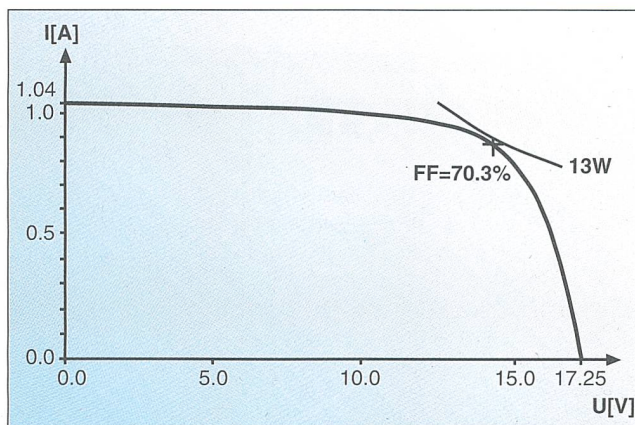
gebildete, kurzgeschlossene Schleife schwächt wahrscheinlich das magnetische Feld etwas ab und verringert dadurch die schädlichen Einflüsse von Blitzströmen (siehe auch [3]). Es wurden auch einige Versuche mit rahmenlosen Laminaten M55 (Typ Mont-Soleil) durchgeführt. Bei den auf dem Mont-Soleil verwendeten Laminaten und U-Profilen liegt der Schwerpunkt des Blitzstromes etwas näher bei den Solarzellen (Abstand rund 3,5 cm) und ein Schenkel des blitzstromführenden Profils sogar nur etwa 2 mm unter der Solarzellenebene. Wie bei den früher durchgeführten Versuchen mit Flachprofilen [1, 5] traten auch bei der Verwendung von U-Profilen (gleicher Typ wie auf dem Mont-Soleil verwendet) noch ziemlich starke Veränderungen der U-I-Kennlinie auf [4]. Für die vollständige Vermeidung von Schäden an rahmenlosen Modulen müsste der notwendige Abstand zwischen Blitzstrompfad und Solarzellen also noch vergrößert und durch weitere Untersuchungen näher bestimmt werden.

### Miniatur-Blitzfänger für Photovoltaikanlagen

Bei früheren Versuchen zur Vermeidung direkter Blitzschläge in Photovoltaikanlagen wurden meist grosse vertikale Fangstangen von vielen Metern Höhe oder horizontale, über die Anlage gespannte Erdungsseile verwendet [6]. Solche Strukturen werfen zu bestimmten Tages- und Jahreszeiten Schatten, welche die Energieproduktion der Photovoltaikanlage reduzieren. Sie sind zudem aus ästhetischen Gründen nicht überall einsetzbar (z.B. auf Gebäuden). Die Tatsache, dass bereits einige wenige Zentimeter Distanz zwischen Blitzstrom und Solarmodul zur Vermeidung von Schäden ausreichen, erlaubt die Verwendung viel kleinerer Fanganordnungen. Für den Blitzschutz der Photovoltaik-Testanlage (60 kWp) auf dem Neubau der Abteilung Elektrotechnik der ISB [7] wurden deshalb Miniatur-Blitzfänger von nur 30 cm Höhe entwickelt. Die Wirksamkeit dieser Blitzfänger wurde im Hochspannungslabor der EPF Lausanne und bei der Emil Haefely AG in Basel mit Blitzen bis zu 3 m Länge und Stossspannungen ( $1,2\mu\text{s}/50\mu\text{s}$ ) bis 2 MV eingehend getestet (siehe Bild 6). Die Tests zeigten, dass zwei auf beiden Seiten montierte Miniatur-Blitzfänger ein Solarmodul sicher vor Blitzen schützen. Bei mehr als 40 positiven und negativen Stössen schlugen die Blitze immer in die Blitzfänger ein, das heisst es wurden keine Einschläge in den Rahmen oder in das Modul registriert. Da diese Miniatur-Blitzfänger nur einen Durchmesser von 1 cm haben,

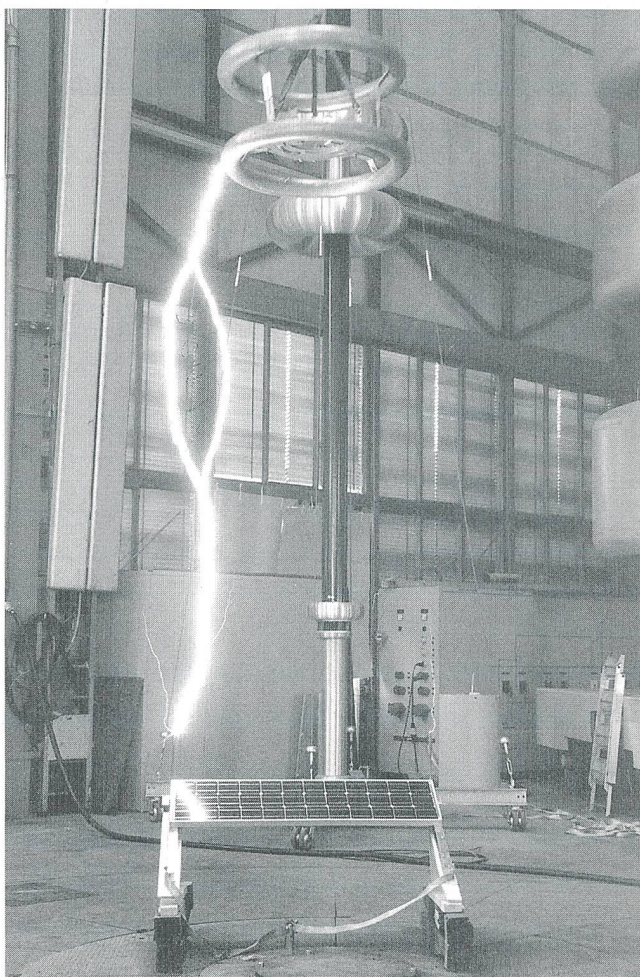
**Bild 5** Ergebnis des Tests gemäss Bild 4

U-I-Charakteristik eines Solarmoduls Siemens M65 bei einer Einstrahlung von  $G' = 295 \text{ W/m}^2$ . Es besteht kein messbarer Unterschied mehr zwischen den U-I-Kennlinien vor und nach der Beanspruchung mit Stossströmen von bis zu  $I_{\text{max}} = 111 \text{ kA}$  und  $dI/dt$  bis zu  $56 \text{ kA}/\mu\text{s}$  in der Testanordnung gemäss Bild 4.



**Bild 6** Blitzeinschlag in geschütztes Solarmodul

Test der an der ISB entwickelten Miniatur-Blitzfänger im Hochspannungslabor der Emil Haefely AG in Basel: Einschlag eines Blitzes von etwa 3 m Länge und einer Spitzenspannung von ungefähr 2 MV in ein mit Blitzfängern geschütztes Solarmodul Siemens M55. Zusätzliche externe Tests waren nötig, weil im neuen Hochspannungslabor der ISB nur Stossspannungen bis rund 1 MV erzeugt werden können.



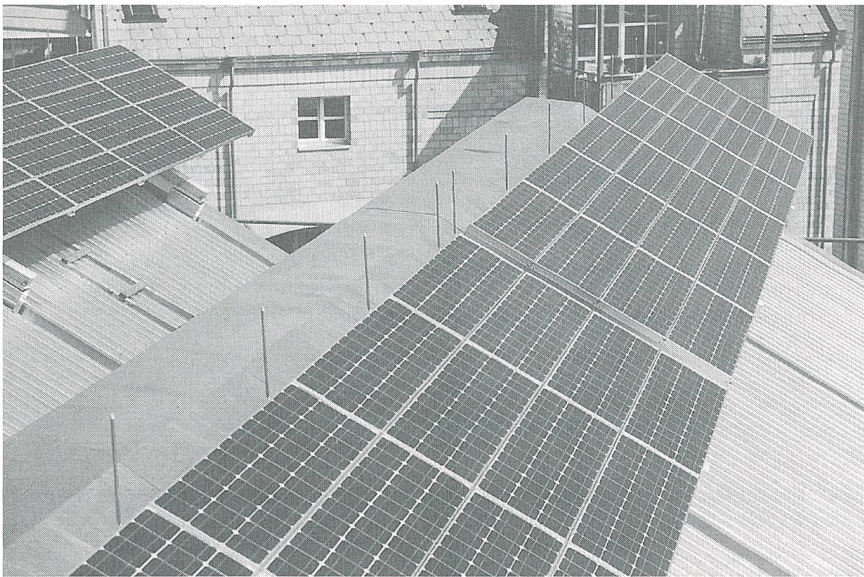
ist die Beschattung von benachbarten Modulen in grösseren Solargeneratoren vernachlässigbar.

Bild 7 zeigt die Miniatur-Blitzfänger, wie sie in der ISB-Anlage montiert sind. Oberhalb der obersten Modulreihe jedes Arrays ist pro Modul einer dieser Blitzfänger montiert. Ein eventuell einschlagender Blitz wird in die geerdete Tragstruktur, einige Zentimeter von der Solarzellenebene entfernt, eingeleitet. Infolge der Spitzenwirkung der Blitzfänger liegt nicht nur die oberste Modulreihe, sondern der ganze

Array im Schutzbereich, das heisst die ganze Anlage ist vor direkten Blitzschlägen geschützt [8].

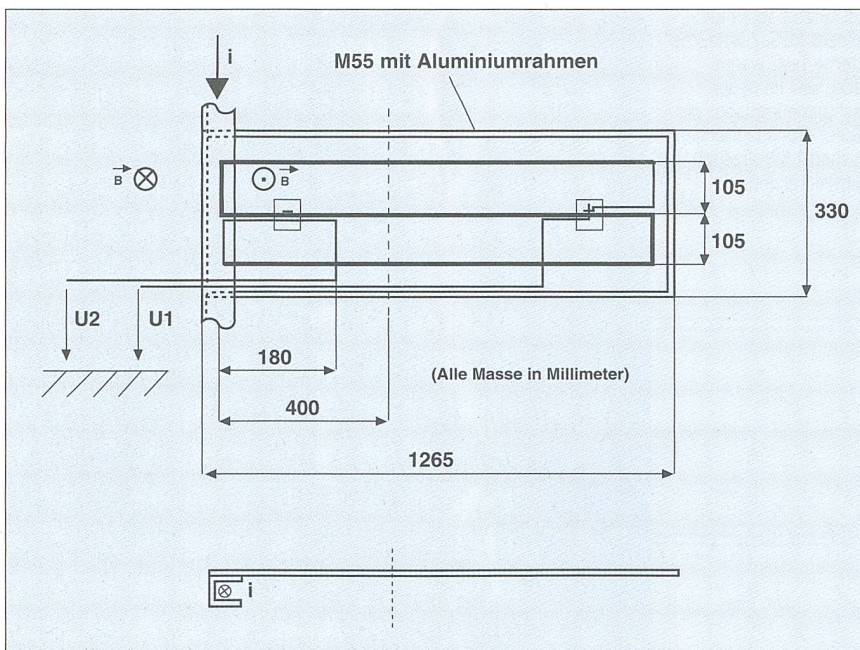
### Gegeninduktivität zwischen Blitzstrompfad und Modulverdrahtung

Auch wenn eine elektrische Anlage gegen direkte Blitzeinschläge geschützt ist, so können trotzdem Schäden durch indirekte Blitzeinwirkungen entstehen, besonders durch induktiv eingekoppelte Überspan-



**Bild 7 Solargenerator der ISB**

Teilansicht des Solargenerators von 60 kWp auf dem Neubau der Abteilung Elektrotechnik der ISB. Oberhalb der obersten Modulreihe (Siemens Solar M55HO mit ungefähr 57 Wp pro Modul) sind die ISB-Miniatur-Blitzfänger montiert. Ein eventuell einschlagender Blitz wird direkt in das U-Profil der Tragstruktur eingeleitet, auf dem die Module montiert sind, und fliesst somit einige Zentimeter von der Solarzellenebene entfernt, so dass keine Schäden am Solargenerator entstehen.



**Bild 8 Testanordnung zur Bestimmung der Gegeninduktivität**

Verwendete Testanordnung zur Messung der in die Verdrahtung von Solarmodulen induzierten Spannung  $U = U_2 - U_1$  zur Bestimmung der Gegeninduktivität  $M_s$ . Die Distanz zwischen dem Schwerpunkt des Stossstromes und den Solarzellen beträgt wie in Bild 4 ungefähr 6 cm, um mögliche Schäden an den Solarzellen auszuschliessen.

nungen. Die Berechnung der bei einem Blitzschlag in der Modulverdrahtung induzierten Spannungen erfolgt zweckmässigerweise über die Gegeninduktivität  $M$  zwischen Blitzstrompfad und Verdrahtung. Da die induzierten Spannungen proportional zu  $M$  sind, ist eine Verdrahtung mit möglichst kleinem  $M$  anzustreben. Besonders günstig sind schmale, lange Schleifen

senkrecht zum Blitzstrompfad, da sie in der Nähe des Blitzstroms, wo das magnetische Feld gross ist, nur relativ wenig Fläche aufweisen. Bei der auf einem Sheddach realisierten Anlage der ISB wurde diese Verdrahtungsart gewählt, bei der jeweils bis zu sechs Module horizontal in Serie geschaltet sind, da sie nicht nur bezüglich Gegeninduktivität, sondern auch bezüglich Teil-

abschattung im Winter sehr günstig ist (siehe Bild 7). Als kleiner Nachteil dieser Montageart muss erwähnt werden, dass die unteren Kanten der Metallrahmen der Module das Abgleiten des Schnees im Winter etwas verzögern. Dies spielt bei Anlagen in tiefen Lagen nur eine geringe Rolle, ist aber bei Anlagen in höheren Regionen zu beachten.

Für die Berechnung der Gegeninduktivität eines Stranges der Photovoltaikanlage wurde zunächst versucht, die auftretende Gegeninduktivität zwischen Blitzstrompfad und dem nächstliegenden Modul bei der gewählten Verdrahtungsart mit sinnvollen Vereinfachungen zu berechnen und diese gerechnete Gegeninduktivität anschliessend messtechnisch durch Versuche mit dem Stossstromgenerator der ISB zu bestätigen. Bei genügender Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung kann dann mit der gleichen Methode die Gegeninduktivität eines ganzen Stranges mit genügender Genauigkeit berechnet werden.

Für die Berechnung wird angenommen, dass der Blitzstrompfad unendlich lang ausgedehnt ist, und dass die interne Modulverdrahtung durch eine Drahtschleife auf der Verbindungslinie der Solarzellenschwerpunkte approximiert werden kann (dicke Linien in Bild 8). Weiter ist beim Vergleich mit einer mit der Stossstromanlage experimentell bestimmten Gegeninduktivität zu beachten, dass infolge des koaxialen Aufbaus des Stossstromgenerators der ISB das magnetische Feld ab etwa 40 cm Abstand vom Blitzstrompfad verschwindet (Bild des Stossstromgenerators in [1]). Für die Überprüfung des verwendeten Modells wurde deshalb zunächst die Gegeninduktivität  $M_s$  für den in der Stossstromanlage auftretenden Fall berechnet. Die in der Praxis auftretende Gegeninduktivität  $M$  ist natürlich etwas höher, da bei einem echten Blitzschlag auch für Distanzen über 40 cm noch ein Magnetfeld auftritt.

Mit den getroffenen Annahmen und der Verwendung einer Hilfsfläche gemäss Bild 9 kann man für die Testanordnung nach Bild 8 die Gegeninduktivität  $M_s$  mit relativ geringem Aufwand zu etwa 21 nH berechnen. In der Testanordnung von Bild 8 beträgt die in der Schleife induzierte Spannung

$$U = U_2 - U_1 = -M_s \cdot di/dt \quad (1)$$

Durch gleichzeitige Registrierung von  $U$  und  $i$  im Hochspannungslabor kann durch Umstellen dieser Formel  $M_s$  bestimmt werden:

$$M_s = -U / (di/dt) \quad (2)$$

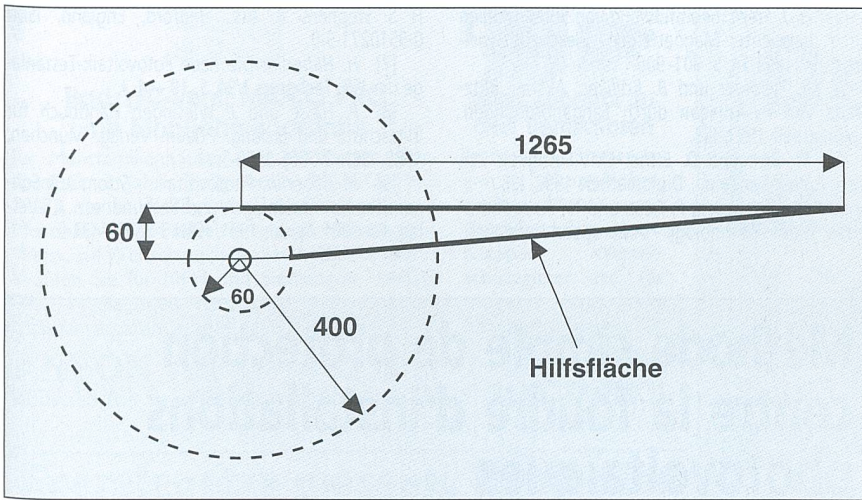


Bild 9 Zur Berechnung der Gegeninduktivität verwendete Hilfsebene

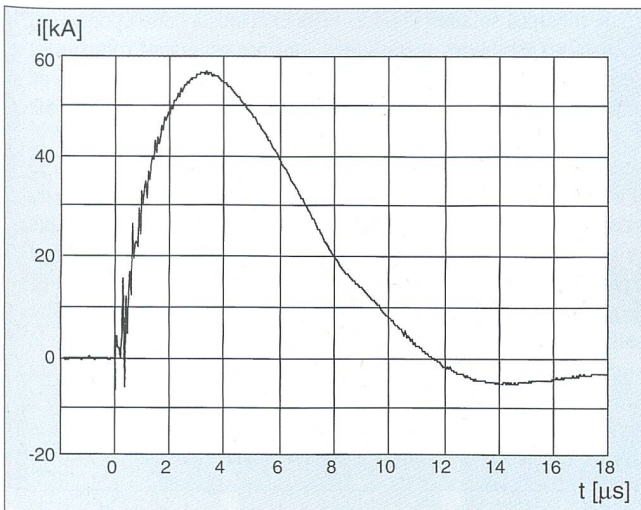


Bild 10 Stossstrom zur Bestimmung der Gegeninduktivität

In Testanordnung von Bild 8 eingespeister Stossstrom  $i$  zur Messung der induzierten Spannung  $U = U_2 - U_1$ , zwecks Bestimmung der Gegeninduktivität  $M_s$ .

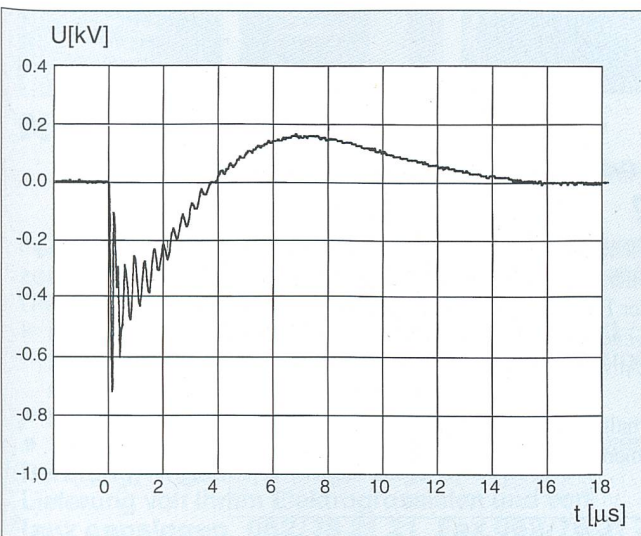


Bild 11 Induzierte Spannung

In Testanordnung gemäss Bild 8 induzierte Spannung  $U$ , wenn ein Stossstrom gemäss Bild 10 durch das U-Profil fliesst.

Wird in die Testanordnung von Bild 8 ein Stossstrom gemäss Bild 10 in das U-Profil eingespeist, kann eine differentielle Spannung  $U$  gemäss Bild 11 gemessen werden.

Die Messung einer solchen differentiellen Spannung ist nicht ganz einfach; sie erfolgte mit Hilfe von zwei kapazitiven Teilern, die sorgfältig an je ein doppelt

abgeschirmtes triaxiales Kabel angepasst wurden. Da die induzierte Spannung in der Front des Stromes etwas gestört ist, werden für die Bestimmung von  $M_s$  aus den gemessenen Kurven die Werte bei  $t = 8 \mu\text{s}$  verwendet ( $U = 150 \text{ V}$ ,  $di/dt = -7,5 \text{ kA}/\mu\text{s}$ ). Daraus erhält man einen messtechnisch bestimmten Wert  $M_s = 20 \text{ nH}$ , was sehr gut mit dem früher berechneten Wert von  $21 \text{ nH}$  übereinstimmt.

Dank der guten Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung kann auf die gleiche Art die bei einem effektiven Blitzschlag wirksame Gegeninduktivität  $M$  approximativ berechnet werden, indem auch das Magnetfeld für Abstände über  $400 \text{ mm}$  in die Rechnung einbezogen wird. Für ein einziges Modul, das gemäss Bild 8 positioniert und verdrahtet ist, ergibt sich so eine Gegeninduktivität  $M$  von etwa  $46 \text{ nH}$ , für einen Strang mit sechs auf die gleiche Art verdrahteten und senkrecht zum Blitzstrompfad in Serie geschalteten Modulen eine Gegeninduktivität  $M$  von etwa  $79 \text{ nH}$ .

Wird zur Sicherheit mit dem leicht aufgerundeten Wert von  $100 \text{ nH}$  gerechnet, ergibt sich bei einem Blitz mit einer Frontsteilheit von  $50 \text{ kA}/\mu\text{s}$  eine maximal in der Installationsschleife induzierte Spannung von  $5 \text{ kV}$ , ein Wert, der sich mit geeignet dimensionierten Varistoren beherrschen lässt.

Für die Dimensionierung der Überspannungsschutzeinrichtungen ist auch der maximal auftretende Strom von Interesse. Eine obere Grenze kann grob abgeschätzt werden, indem der Scheitelwert des in der kurzgeschlossenen Schleife induzierten Stromes berechnet wird. Man kann leicht zeigen, dass ein Blitzstrom  $i_1$  in einer widerstandslosen, kurzgeschlossenen Schleife mit der Induktivität  $L_2$  den folgenden Strom  $i_2$  induziert:

$$i_2 = i_1 \cdot M/L_2 \quad (3)$$

Wird mit einem Induktivitätsbelag von  $1,5 \mu\text{H}/\text{m}$  gerechnet (relativ wenig für eine Solarmodulverdrahtung), erhält man mit einer Stranglänge von  $8 \text{ m}$  eine Induktivität  $L_2$  von  $12 \mu\text{H}$ .

In der vorgesehenen Verdrahtungsart liegt also der Schleifen-Kurzschlussstrom sicher unter  $1\%$  des Blitzstromes. Aufgrund der in der Literatur angegebenen Stromscheitelwerte von Blitzen [8] scheint eine Dimensionierung der Überspannungsableiter auf Spitzenströme von mindestens  $2 \text{ kA}$  in diesem Fall deshalb ausreichend zu sein. Effektiv in die Anlage eingebaut wurden schliesslich Varistoren vom Typ VM360 und VM500 der Firma Dehn mit einer Stossstrombelastbarkeit von  $10 \text{ kA}$ .

### Schlussfolgerung

Werden Blitze mit den an der ISB entwickelten Miniatur-Blitzfängern aufgefangen und in einen metallischen Leiter eingespeist, der einige Zentimeter von den Solarzellen entfernt ist, scheint mit vertretbarem Aufwand ein vollständiger Blitzschutz von Solargeneratoren möglich zu sein, wenn die Verdrahtung gegeninduktivitätsarm ausgeführt wird und wenn an der richtigen Stelle geeignete Varistoren eingesetzt werden.

### Verdankungen

Die Autoren danken allen Beteiligten in den Hochspannungslabors an der EPF Lausanne und bei Emil Haefely AG, Basel, für die Durchführung der praktischen Tests der in diesem Artikel beschriebenen ISB-Miniaturblitzfänger. Ein spezieller Dank gilt auch allen Studenten, welche im Rahmen ihrer Semester- und Diplomarbeiten die meisten praktischen Arbeiten im Hochspannungslabor durchgeführt haben.

### Literatur

- [1] H. Häberlin und R. Minkner: Blitzschläge – Eine Gefahr für Solarmodule? Bulletin SEV/VSE 84(1993)1, S. 42–47.  
[2] H. Häberlin und R. Minkner: Tests of Lightning Withstand Capability and Measurements of Induced Voltages at a Model of a PV-System with ZnO-Surge-Arresters. Proc. 11th EC-PV-Conf., Montreux 1992, p. 1415–1418.

[3] H. J. Stern: Beeinflussung von Solarmodulen durch transiente Magnetfelder. Elektrizitätswirtschaft, 92(1993)14, S. 901–906.

[4] R. Heiniger und B. Kölliker: Aktiver Blitzschutz von PV-Anlagen durch Fanganordnungen. Diplomarbeit 1993, ISB.

[5] M. Boss und D. Ettlin: EMV-Festigkeit von Photovoltaik-Systemen. Diplomarbeit 1992, ISB.

[6] M. S. Imamura, P. Helm and W. Palz: Photovoltaic System Technology – A European Handbook.

H S Stephens & Ass., Bedford, England, ISBN 0-9510271-9-0.

[7] H. Häberlin: Die neue Fotovoltaik-Testanlage der ISB. Techpress 1/94, S. 10–14.

[8] P. Hase und J. Wiesinger: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. Pflaum Verlag, München, 1989, ISBN 3-7905-0559-5.

[9] H. Häberlin: Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbundnetz. AT-Verlag, CH-5001 Aarau, 1991, ISBN 3-85502-434-0.

## Méthode simple de protection contre la foudre d'installations photovoltaïques

Les modules solaires d'installations photovoltaïques sont souvent intégrés aux façades ou aux toits de bâtiments et sont exposés au danger de coups de foudre. Dans un précédent article on a analysé les dommages qui ont été causés par les courants de foudre s'écoulant dans le cadre de modules solaires [1]. Les tests exécutés à cette époque ont montré que les modules solaires en cadres métalliques sont passablement robustes et que les courants de foudre qui s'écoulent à proximité immédiate de cellules solaires ne leur causent que des dommages relativement minimes. Une protection intégrale semble possible.

De nouveaux examens ont montré expérimentalement que des dommages ne se produisent plus suite à un champ électromagnétique, si la distance entre le trajet du courant de foudre et les cellules solaires est augmentée à quelques centimètres. Des tests effectués en laboratoire de haute tension ont en outre montré que la foudre peut être captée de manière sûre par des collecteurs de quelque 30 cm de longueur. Les courants de foudre ainsi capturés se laissent conduire de manière contrôlée dans un parafoudre qui passe à quelques centimètres des cellules solaires et qui fait si possible partie de la structure porteuse. Ces mesures alliées à un câblage approprié des modules présentant une basse inductivité mutuelle par rapport au trajet du courant de foudre, et à l'utilisation convenable de varistors devraient permettre d'atteindre une protection intégrale contre les coups de foudre, sans une trop grande dépense.



### Kennen Sie die ETG?

Die Energietechnische Gesellschaft des SEV (ETG) ist ein *nationales Forum* zur Behandlung aktueller Probleme der elektrischen Energietechnik im Gesamttrahmen aller Energieformen. Als *Fachgesellschaft des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)* steht sie allen interessierten Fachleuten und Anwendern aus dem Gebiet der Energietechnik offen.

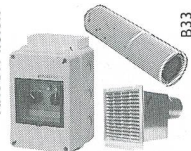
Auskünfte und Unterlagen erhalten Sie beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verein, Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf, Telefon 01/956 11 11.



**Bad/WC-Venti MAICO PRO mit Mehrjahresgarantie**

für Mehrfamilienhäuser und Siedlungen. Top-Qualität. 3 Jahre Vollgarantie. MAICO PRO 220 V nur 13 W 85 m<sup>3</sup>/h IP 44 Schutzklasse II. Motor für Dauerbetrieb ausgelegt, wartungsfrei. Weiss, auf Wunsch auch in allen NCS-Farben. — Wählen Sie für MFH und Siedlungen MAICO PRO — die neue Ventilatorengeneration mit Mehrjahresgarantie von: ANSON ZÜRICH

**ANSON AG 01/461 11 11**  
8055 Zürich Friesenbergstrasse 108



**alles Zubehör zu den Ventilatoren**

Schalter, Steuerungen, Lüftungsrohre, Briden, Mauer- und Dachdurchführungen, Klappen, Wetterschutzgitter etc. für saubere, rationelle Montagen. Fragen Sie:

**... wählen Sie MAICO PRO!**

**Energienetze messen, beurteilen**  
**Nanovip**

Der kleine Leistungsanalysator mit grossem Messumfang

misst:

- V, A, kW, kVar, kVA, Hz
- speichert Belastungsspitzen
- Messbereich 7 W ... 750 kW
- für Gleichstrom
- für Wechselstrom 20 ... 600 Hz

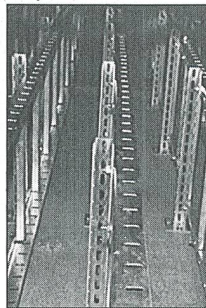
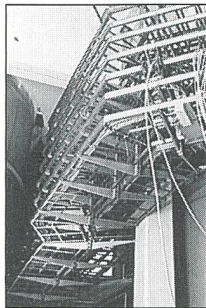
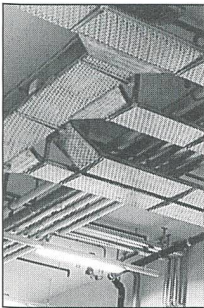


Partner für Elektro-Energie-Optimierung · erfahren · kompetent · individuell beratend seit 1965



**detron ag**

Zürcherstrasse 25, CH 4332 Stein  
Tel. 064-63 16 73 Fax 064-63 22 10



**NEU Feuerverzinkte Kabelbahnen Kabelpritschen und Steigleitungen**

Feuerverzinkt — das gute und preisgünstige Schweizer Kabelträgersystem NEU auch feuerverzinkt nach DIN 50976 lieferbar. **NEU: MULTIBAHNEN**

- Kabelbahnen und Kabelpritschen feuerverzinkt — NEU in 3 m oder 6 m Länge für grössere Abhängedistanzen und raschere Montage
  - NEU Deckenstützen und Konsolen schwer
  - Steigleitungen — NEU noch montagefreundlicher
- Beratung, Angebot, preisgünstige und rasche Lieferung von Ihrem Elektrogrossisten und von **lanz oensingen 062/78 21 21 Fax 062/76 31 79**

Die feuerverzinkten LANZ Kabelbahnen, Kabelpritschen und Steigleitungen interessieren mich. Bitte senden Sie mir Unterlagen.

Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name/Adresse/Tel.: \_\_\_\_\_



**lanz oensingen ag**  
CH-4702 Oensingen · Telefon 062 78 21 21

**Der Leser ist's**

der Ihre Werbung honoriert!

86% der Bulletin-SEV/VSE-Leser sind Elektroingenieure.

91% der Leser haben Einkaufsentscheide zu treffen.

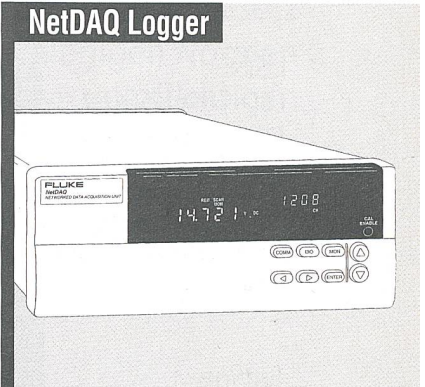
**Bulletin SEV/VSE – Werbung auf fruchtbarem Boden.**

Tel. 01/207 86 34

**Der Leser ist's**

der Ihre Werbung honoriert!

**DATA Logger**



**Messdatenerfassung... die schnellste und günstigste Lösung ... mit NetDAQ**

NetDAQ verbindet alle Einzelkomponenten zu einer integrierten Lösung. Vier verschiedene netzwerkfähige Modelle bieten Ihnen die Messgeschwindigkeit von 1000 Messungen/Sek. und liefern Ihnen die Daten in Echtzeit auf Ihren PC.

- Universelle Eingänge erleichtern die Systemkonfiguration
- Aufbaubar bis zu 400 Kanälen
- NetDAQ Logger Software bietet umfangreiche Trenddarstellungen in Echtzeit ohne Programmierung
- Einfache Verbindung zu anderer Software für Analysen und Protokollierung
- Hohe Auflösung durch 18 Bit A/D-Wandler (1µV und 0.02°C)

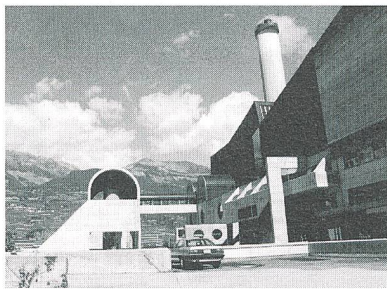
The Best in Test & Measurement.



**FLUKE**  
Fluke (Switzerland) AG  
Rütistrasse 28  
8952 Schlieren  
Telefon: 01/730 33 10  
Telefax: 01/730 37 20

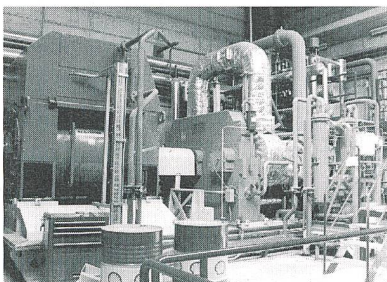
UVRIER VS

USINE  
D'INCINÉRATION  
DES ORDURES



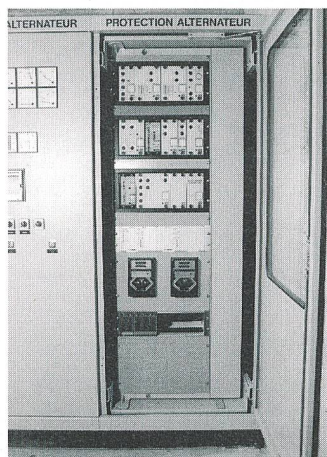
**AVEC RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE**

Turbine et  
générateur  
5'650 KVA



**SYSTÈMES DE PROTECTION PFIFFNER**

- générateur
- alimentation de ligne



**LA PROTECTION PFIFFNER**

- réseaux MT
- générateurs
- transformateurs
- moteurs

Votre partenaire compétent .....

# PFIFFNER

**Emil Pfiffner & Co. AG**

5042 Hirschthal

Tel. 064 80 11 80

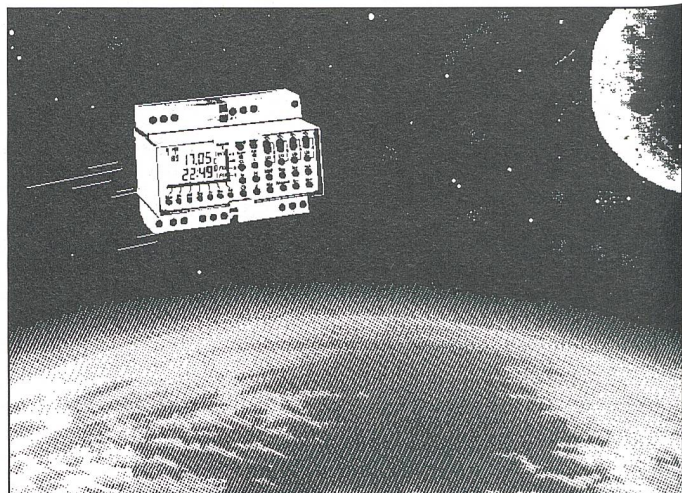
Fax 064 81 12 52

**Suisse Romande,**

1114 Colombier

**Sotero SA**

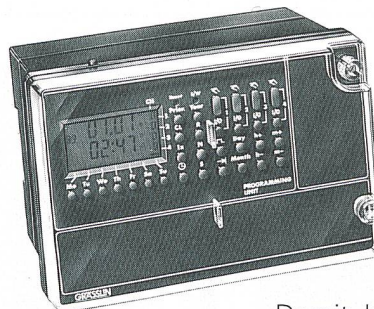
Tel. 021 869 81 81



## Vielseitig: Dank austauschbaren EEPROM's.

Die Jahresschaltuhrserie MIL 96/4 digi 322 von Grässlin. Mit kombiniertem Jahres-, Wochen- und Tagesprogramm. In marktgängiger 4-Kanaltechnik.

Neu dabei: Die Festprogrammierung mit den austauschbaren EEPROM's.



Damit lassen sich vielfältigste Aufgaben flexibel, rasch und sehr bedienerfreundlich lösen.

Dazu weitere technische Feinheiten wie z. B. vollautomatische Umstellung von Winter- auf Sommerzeit, Impulssteuerung, 1x-Funktion, etc. Und all dies in der wegweisend einfachen Bedienungsphilosophie von Grässlin.

# GRÄSSLIN

Grässlin & Co. CH-1713  
St. Antoni, Tel. (037) 35 10 65