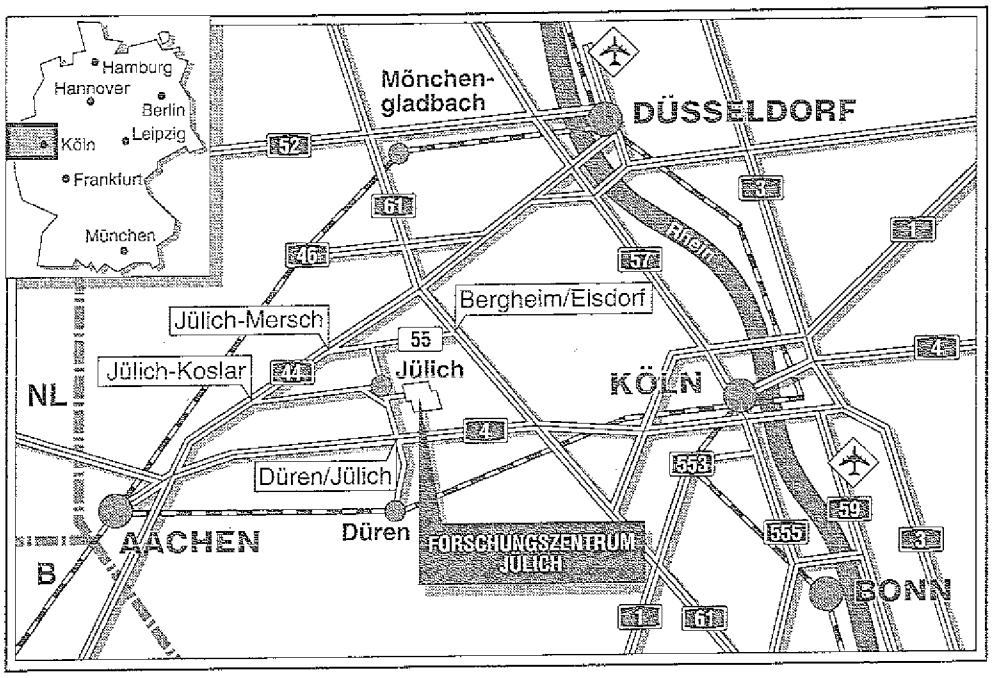
FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH KFA

Institut für Schicht- und Ionentechnik

Aufbau einer rechnerunterstützten Versuchsanlage zur Erfassung der Strom-Spannungskennlinie amorpher Solarmodule

Andreas Mück



Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 2736
ISSN 0366-0885
Institut für Schicht- und Ionentechnik Jül-2736

Zu beziehen durch: Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek
Postfach 1913 · D-5170 Jülich · Bundesrepublik Deutschland
Telefon: 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · Telex: 833556-70 kfa d

Aufbau einer rechnerunterstützten Versuchsanlage zur Erfassung der Strom-Spannungskennlinie amorpher Solarmodule

Andreas Mück

Vorwort und Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen einer Diplomarbeit, in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Aachen/Abt. Jülich, angefertigt. Der Bearbeitungszeitraum betrug etwa 6 Monate. Die Arbeit befaßte sich mit dem Aufbau einer Versuchsanlage zur Messung der Strom-Spannungskennlinie für amorphe Solarmodule. Die Anlage soll für Langzeitmessungen ausgelegt werden und ist daher rechnerunterstützt.

Insgesamt kommen 6 verschiedene Module von 6 verschiedenen Herstellern in der Leistungsklasse zwischen 10 Wp bis 30 Wp zum Einsatz.

Die Solarmodule sind auf einem Montagesystem aufgebracht. Die Konstruktion ist so ausgelegt, daß der Neigungswinkel über Lochstangen variabel einstellbar ist. Da die Module alle unterschiedliche Abmaße haben und es keine entsprechende Normung gibt, wurde eine Aluminiumplatte auf das Montagegestell genietet. Die Befestigung ist so flexibel und einfach handhabbar. Das ganze Gestell wurde nach Süden ausgerichtet und in kleine Betonsockel fest verankert. Durch die umliegenden Gebäude ist keine Abschattung zu befürchten.

Bei der Meßwerterfassung wird ein PC in Verbindung mit einem modularen Datenerfassungs- und Steuerungssystem eingesetzt. Neben der I-U Kennlinienaufnahme der Module werden auch die Bestrahlungsstärke mit einem Pyranometer und verschiedene Temperaturen mit Hilfe von PT 100 Meßwiderständen gemessen und erfaßt.

Die Module selber können über Relais zu dem Meßerfassungssystem geschaltet und vermessen werden. Es besteht immer nur die Möglichkeit, die Module nacheinander zu vermessen. Man gibt hierbei den Laststrom vor und mißt die sich einstellende Spannung. Alle benötigten Komponenten, einschließlich der Spannungsversorgung für die Operationsverstärker, werden in ein Einschubgehäuse von 19 Zoll untergebracht.

Die Software wurde in der Sprache Quick Basic 4.5 entwickelt. Das Programm kann entweder eine manuelle oder automatische Meßwerterfassung vornehmen. Es lassen sich verschiedene Diagramme erstellen. Der Benutzer kann sich außer der

I-U Kennlinie auch die Maximalleistung über der Zeit ausgeben lassen. Dabei läßt sich sowohl eine Tages- als auch eine Wochenübersicht erstellen.

Der Punkt Ausblick und Diskussion ist so zu verstehen, daß er den Stand der Arbeit nach 6 Monaten bewertet und Anregungen für Folgearbeiten aufzeigt.

Im weiteren Verlauf wurden dort gemachte Verbesserungsvorschläge verwirklicht und die Versuchsanlage ausgebaut.

So wurde z. B. das Softwareprogramm um eine Monatsübersicht erweitert, die Benutzerfreundlichkeit des Programmes verbessert und die Meßdatenspeichernung so geändert, daß pro Tag eine Datei für alle Meßdaten angelegt wird. Die Druckerausgabe der Meßkurven ist übersichtlicher gestaltet worden.

Die Umgebungstemperatur wird nunmehr mit Hilfe einer Jalousiehütte nach Friedrichs aufgenommen. Dieser Fühler entspricht der DIN IEC 751. Dies wurde notwendig, da die ursprüngliche Konstruktion sich in der Praxis nicht bewährt hatte.

Zur allgemeinen Information von Besuchern wurde eine Informationstafel errichtet. Dort werden wichtige Meßdaten, wie z. B. Einstrahlungsleistung, Temperatur, Wirkungsgrad und Leistung des Teststandes bzw. der Module über LCD-Displays angezeigt. Die Tafel befindet sich auf dem Flur des Gebäudes 02.13.

Im Anhang befindet sich neben dem Programmlisting eine Auswahl erster Meßergebnisse.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

Da in absehbarer Zeit die fossilen Brennstoffe aufgebraucht sein werden, muß die Menschheit spätestens zu diesem Zeitpunkt über andere Energiequellen verfügen.

Sieht man einmal von der risikoreichen und problematischen Nutzung der Kernenergie ab, liegt es nahe, umweltfreundliche und regenerative Energiequellen zu nutzen. Hierbei spielt die Sonnenenergie eine große Rolle, da die jährlich auftreffende Energie auf der Erde den benötigten Weltjahresenergiebedarf um etwa das 20 000 fache übersteigt.[5]

Es sprechen viele Argumente für die Nutzung der Sonnenenergie. Sie ist fast überall, unabhängig von politischen und wirtschaftlichen Krisen, auf der Erde nutzbar. Sonnenenergie ist umweltfreundlich und spart wertvolle Rohstoffe. Die Möglichkeiten sind sehr vielseitig.

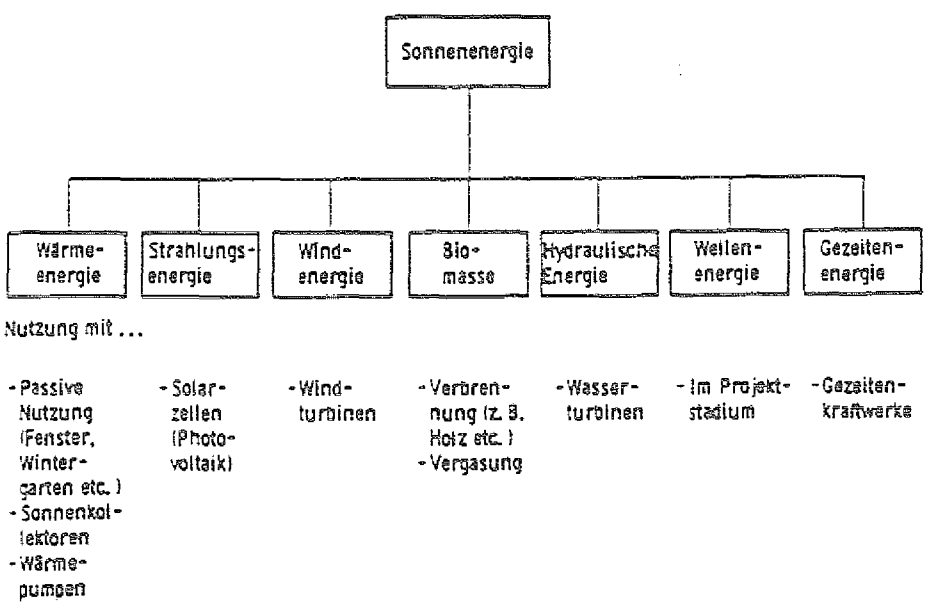


Bild 1.1: Möglichkeiten der Sonnenenergie Nutzung
Quelle: Muntwyler [5]

Neben der passiven Nutzung der Wärmestrahlung findet in jüngster Zeit die Anwendung von Wind- und Wasserkraftwerken mehr und mehr Verbreitung. Die direkte Nutzung der Sonnenenergie wurde in den letzten Jahren intensiv erforscht und die Photovoltaik findet bereits in vielen Bereichen ihre Anwendung. Häuser, die nicht vom öffentlichen Stromnetz erreicht werden, lassen sich mit Hilfe der Photovoltaik relativ leicht mit elektrischer Energie versorgen. So wurden im Alpenraum Tausende von Ferienwohnungen elektrifiziert oder solarbetriebene Straßenlampen kostengünstig installiert, da die Kosten für Kabel, Verlegung und Netzanschluß eingespart wurden.

Die direkte Nutzung der Sonnenenergie ist u. a. mit Hilfe von Solarzellen möglich. Hierbei ist der photovoltaische Effekt das Grundprinzip. Die elektromagnetische Strahlung der Sonne wird von der Solarzelle direkt in elektrische Energie umgesetzt.

Es gibt viele verschiedene Typen von Solarzellen. Im praktischen Einsatz sind allerdings fast ausschließlich Silizium Solarzellen. Man unterscheidet kristalline, polykristalline und amorphe Zellen. Um eine Substitutionsenergie für fossile Energieträger zu werden, sind aber noch erhebliche Anstrengungen nötig. Bei fallenden Preisen muß man den Wirkungsgrad der Zellen und Module weiter erhöhen. Gerade diesen Punkten muß man in der zukünftigen Forschung große Beachtung schenken. Insbesondere der nicht stabile Wirkungsgrad (Degradation) von amorphen Modulen verhindert eine breite, industrielle Nutzung dieses Solarzellentyps. Die vorliegende Arbeit soll, durch Langzeitmessungen an amorphen Modulen, einen kleinen Beitrag zum Verständnis dieses Effektes liefern.

Die ersten Solarzellen wurden 1954 für den Weltraumeinsatz entwickelt und hatten einen Wirkungsgrad von 5 %.[2] Sie dienten und dienen noch heute zur Energieversorgung von Satelliten. Dabei stehen die Kosten der Zelle nicht im Vordergrund. Viel wichtiger ist ein hoher Wirkungsgrad bei gleichzeitig möglichst geringem Gewicht. Auch die Lebensdauer der Solarzelle ist ein entscheidender Punkt, da eine Reparatur im Weltall sehr teuer oder gar unmöglich ist.

Erst nach der Energiekrise von 1973 wurde die Nutzung der Sonnenenergie öffentlich diskutiert. Neue Herstellungsmethoden führten zu ganz neuen Solarzellentypen. Die Photovoltaik erobert seitdem einen stetig steigenden Marktanteil bei der Energieversorgung.

Allerdings sind auch noch viele Schwierigkeiten bei der Nutzung der Sonnenenergie zu lösen. Da das Energieangebot von der geographischen Lage, vom Klima, der Jahres- und Tageszeit stark abhängig ist, benötigt man geeignete Speichermedien. Außerdem ist in den Gebieten wo die meiste Sonnenenergie anfällt oft ein nur geringer Energiebedarf, wie z. B. in Afrika. Man benötigt billige und möglichst robuste Solarzellen mit einem hohen Wirkungsgrad. Erst dann lassen sich zentrale Anlagen wirtschaftlich bauen. Es muß daher das Ziel der zukünftigen Forschung sein, auf den o. g. Gebieten Fortschritte zu erzielen. Nur so können die regenerativen Energiequellen sinnvoll genutzt werden und eine echte Alternative zu der jetzigen Energieversorung werden.

2. Aufgabenstellung

Das Ziel der Arbeit war der Aufbau einer Testversuchsanlage für amorphe Solarmodule. Die Meßwerterfassung soll für Langzeitmessungen ausgelegt sein und neben der I-U Kennlinie auch die Bestrahlungsstärke und die Temperatur erfassen.

Es ergaben sich verschiedene Anforderungen für die Module selber, den Meßplatz - sowohl Ort als auch Aufbau - und das Meßerfassungssystem.

Es sollten alle großen Solarmodulhersteller berücksichtigt werden. Die Module sollten alle der gleichen Leistungsklasse entsprechen, um ein einfaches Verschalten untereinander zu ermöglichen. Die Verkapselung und Wetterbeständigkeit muß vernünftig und zuverlässig sein. Gerade hinsichtlich dieses Punktes hatten einige Hersteller in der Vergangenheit noch erhebliche Schwierigkeiten, so daß hier mit Problemen zu rechnen ist.

Die Meßanordung sollte, unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten, nach Süden ausgerichtet werden. Eine Verstellung des Neigungswinkels zur Horizontalen ermöglicht eine Optimierung bezüglich der zu erzeugenden Leistung. Da keine Normung der Breite und Höhe von Solarmodulen existiert und jeder Hersteller unterschiedliche Maße verwendet, ist dieser Punkt besonders zu betrachten.

Bei der Meßwerterfassung sind neben den Kenndaten der Module, wie z. B. I-U Kennlinie, Leerlaufspannung, Kurzschlußstrom, Füllfaktor, Wirkungsgrad usw. auch die Bestrahlungstärke und die Temperatur von Interesse. Bei der Temperaturmessung ist der Aufwand gegenüber der Meßgenauigkeit abzuwägen. Sinnvoll ist eine Auflösung von 1 °C, bei einer Genauigkeit von ± 0,5 °C. Neben der Umgebungstemperatur ist die Modultemperatur von Wichtigkeit.

Bei dem Aufbau des Meßsystems waren folgende Punkte vorgegeben:

Das Meßsystem muß rechnerunterstützt arbeiten. Die Schnittstelle zwischen Rechner und Meßkomponenten bildet ein modulares Datenerfassungs- und Steuerungssystem. Die zu messenden Ströme und Spannungen sind auf einen Bereich

zwischen 0 bis 10 Volt umzuwandeln, damit sie problemlos weiterverarbeitet werden können. Hierfür sind Verstärker und Spannungsteiler nötig. Um eine I-U Kennlinie zu messen, muß man entweder den Strom oder die Spannung vorgeben und nach Möglichkeit beide Komponenten nachmessen, um den Meßfehler klein zu halten. Besonders kritisch sind dabei die Punkte Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom. Die Kennlinienaufnahme muß innerhalb kurzer Zeit geschehen sein, um keine Verfälschung des Ergebnisses durch Schwankungen der Bestrahlungsstärke zu erhalten.

Für die Softwareentwicklung steht die Programmiersprache Quick Basic 4.5 und ein IBM-kompatibler 386er AT Rechner zur Verfügung. Es versteht sich von selber, daß das Programm übersichtlich aufgebaut sein muß, damit es von dem Benutzer schnell und einfach zu handhaben ist. Die Anforderungen an das Programm sind im einzelnen:

- Manuelle und automatische Meßwerterfassung. Wobei die Meßzeit jedes Moduls nur einige Sekunden betragen darf.

- Neben der Kennlinieaufnahme die Erfassung weiterer wesentlicher Daten, wie Datum, Zeit, Temperatur und Bestrahlungsstärke und das automatische speichern der Meßdaten, wenn dies vom Benutzer explizit gewünscht wird.

- Ausgabe von Diagrammen - entweder I-U Kennlinie oder die Maximalleistung (Pmax) über die Zeit - auf dem Bildschirm oder dem Drucker.

- Die Möglichkeit alle Module parallel zu schalten um damit eine Last zu betreiben.

Die Lösung der anstehenden Aufgaben wurde wie folgt vorgenommen.

1. Auswahl und Beschaffung der amorphen Solarmodule.

2. Konstruktion des Montagesystems.

3. Ausarbeitung und Aufbau der Meßapparatur.

4. Erstellung der Software mit entsprechenden Testläufen.

5. Inbetriebnahme des gesamten Meßerfassungssystems.

3. Grundlagen

3.1 Allgemeines

Die mittlere Entfernung Erde - Sonne beträgt 150 Millionen km. Im Inneren der Sonne werden durch einen Fusionsprozeß ständig Wasserstoffkerne zu Heliumkern verschmelzt. Die dabei freiwerdende Energie wird von der Sonne in das Weltall abgestrahlt. Die Erde fängt hiervon nur 0,5 Milliardstel auf, dies ist aber immerhin noch das 20 000 fache des heutigen Weltenergiebedarfs.[5]

Das Sonnenspektrum reicht vom ultravioletten über den sichtbaren bis zum infraroten Bereich. Die Intensität des Spektrums hängt davon ab, ob man sich im Weltraum oder auf der Erde befindet. Durch Absorptionsvorgänge innerhalb der Atmosphäre nimmt die Energiedichte bis zum Erreichen der Erdoberfläche ab. Dieser Zusammenhang wird in Bild 3.1 dargestellt. Durch entsprechende Normung gilt für die Strahlung außerhalb der Erdatmosphäre AM 0 (Air Mass 0).

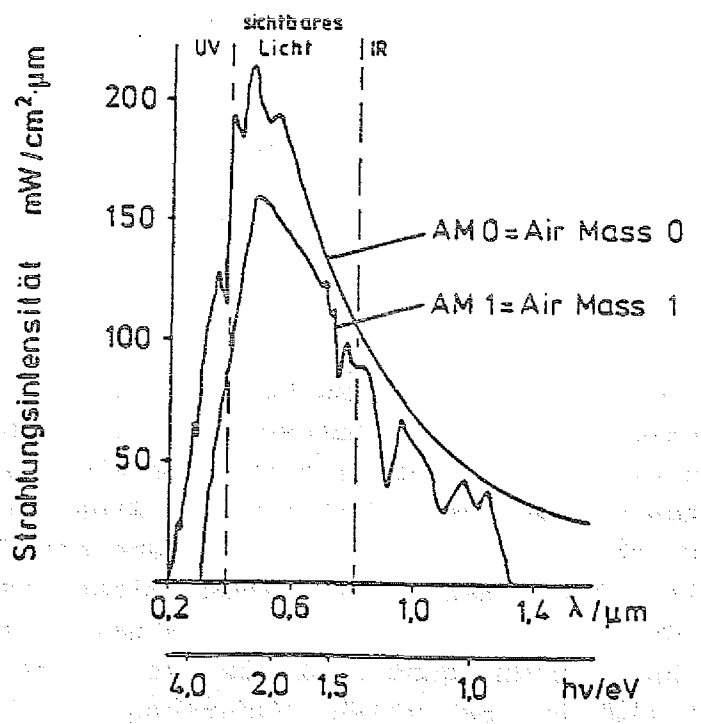


Bild 3.1: Spektralverteilung der Solarstrahlung
Quelle: Krug [2]

Die Bezeichnung AM 1 besagt, daß die Strahlung genau senkrecht durch die Atmosphäre läuft. Bei nichtsenkrechtem Strahlungseinfall verlängert sich also die Strecke durch die Atmosphäre. Die Strahlungsintensität bei einem mittleren Abstand Sonne - Erde beträgt 1353 W/m². Diesen Wert bezeichnet man auch als Solarkonstante. Durch Absorptionsvorgänge in der Atmosphäre verringert sich die auf der Erde auftreffende Leistung, die Maximalleistung der Sonnenstrahlung beträgt hier nur noch etwa 1000 W/m².

Die Sonnenstrahlung auf der Erde wird entweder durch die Anzahl der Sonnenscheinstunden oder durch die Globalstrahlung angegeben. Eine Sonnenscheinstunde entspricht einer direkten Strahlung von mehr als 200 W/m² während einer Stunde. In Deutschland hat man zwischen 1400 bis 2000 Sonnenscheinstunden pro Jahr. Allerdings gibt die Anzahl der Sonnenscheinstunden keine ausreichende Berechnungsgrundlage für die Dimensionierung einer Photovoltaikanlage. Viel wichtiger ist in diesem Zusammenhang die Globalstrahlung, welche sich aus einem direkten Strahlungsanteil und einem diffusen Anteil zusammensetzt.

Solarzellen können die Globalstrahlung nutzen und produzieren auch bei Bewölkung elektrische Energie. Die produzierte Leistung ist proportional der Bestrahlungsstärke. Über 24 Stunden gemittelt beträgt die durchschnittliche jährliche Intensität der Globalstrahlung in Deutschland 110 bis 135 W/m². Zum Vergleich ist dieser Wert in der Sahara etwa 240 bis 290 W/m².[5]

Die Messungen der Globalstrahlung beziehen sich meist auf eine horizontale Fläche. Bei Photovoltaikanlagen hat man jedoch geneigte Flächen, so daß sich für die Globalstrahlung in unseren Breiten ein größerer Wert ergibt. Eine optimale Neigung wird erreicht, wenn die Sonnenstrahlung senkrecht auf die Solarzellenfläche fällt. Der Neigungswinkel ist abhängig vom Standort der Anlage und von der Jahreszeit, da sich der Winkel der Sonne zum Horizont im Laufe des Jahres ändert. Bei einer vollständige und optimalen Ausnutzung der Strahlung muß die Solarzelle also um zwei Achsen nachgeführt werden. Da eine solche Konstruktion sehr aufwendig und teuer ist, wird

sie nur bei Großanlagen realisiert. Bei kleineren Anlagen wird die Fläche für bestimmte Jahreszeiten optimal ausgerichtet. Man vernachlässigt den Tagesgang der Sonne. Günstige Neigungswinkel bei südlicher Ausrichtung der Solarzelle sind im Sommer 20° bis 50° und im Winter 60° bis 90°.

3.2 Solarzellen

3.2.1 Aufbau und Arbeitsweise

Solarzellen sind Energiewandler. Sie wandeln das Licht der Sonne direkt in elektrische Energie um. Solarzellen haben Eigenschaften von Generatoren, sie haben sowohl eine Leerlaufspannung als auch einen Innenwiderstand. Der Umwandlungsprozeß beruht auf dem inneren Photoeffekt. Dieser Effekt tritt vor allem in Halbleitern, wie in Silizium oder Germanium auf. Man versteht darunter die Anregung von Elektronen aus dem Valenz- in das Leitungsband. Die Elektronen verlassen dabei nicht das Material, im Gegensatz zum äußeren Photoeffekt.

Ausgehend von den Atomniveaus werden im Festkörper die Energieniveaus zu Bändern verbreitert. Das oberste Band heißt Leitungsband, in ihm können sich die vorhandenen Elektronen frei bewegen. Das Leitungsband ist vom Valenzband durch eine verbotene Zone getrennt. Diese Energielücke ist materialabhängig und beträgt bei Silizium 1,1 eV. Wird nun ein Elektron im Valenzband durch elektromagnetische Strahlung angeregt, so besetzt es einen Zustand im Leitungsband und hinterläßt einen unbesetzten Zustand im Valenzband. Diesen bezeichnet man auch als Loch oder Defektelektron.

Ist die Energie der Strahlung größer als die Bandlücke, so wird die Überschußenergie als Wärmeenergie an das Atomgitter abgegeben.

Den Anregungseffekt kann man ausnutzen, wenn man in dem Halbleiter ein elektrisches Feld aufbaut, was die Ladungsträger trennt. Ein solches Feld bildet sich zwischen einem pn-Übergang. Man dotiert eine reine Siliziumschicht einmal mit dreiwertigen Elementen und erhält eine p-Schicht und einmal mit fünfwertigen Elementen und erhält so eine n-Schicht. Wenn man

die n-Schicht sehr dünn macht, so wird diese fast ganz von der Raumladungszone durchsetzt. Der Lichteinfall bewirkt die Freisetzung der Elektronen, welche durch das elektrische Feld beschleunigt werden. Durch entsprechende Kontaktierung der beiden Schichten und bei ständigem Lichteinfall kann ein Stromfluß durch einen Verbraucher erreicht werden.

Die Leerlaufspannung U_0 steigt zunächst stark mit der Bestrahlungsstärke an. Ab einem bestimmten Wert, etwa 200 W/m², nimmt die Spannung nur noch wenig zu. Zwischen Bestrahlungsstärke und Kurzschlußstrom I_k besteht ein sehr guter linearer Zusammenhang.

Eine weitere wichtige Größe ist die spektrale Empfindlichkeit von Solarzellen. Man bestimmt sie bei konstanter Einstrahlung, indem man den Kurzschlußstrom in Abhängigkeit zur Wellenlänge mißt. Solarzellen aus verschiedenen Materialien haben auch verschiedene spektrale Empfindlichkeit.

Zum Vergleich sind in Bild 3.2 die spektrale Empfindlichkeit von Silizium- und Selen-Solarzellen, sowie die Augenempfindlichkeit und die spektrale Verteilung von Glühlampenlicht aufgetragen.

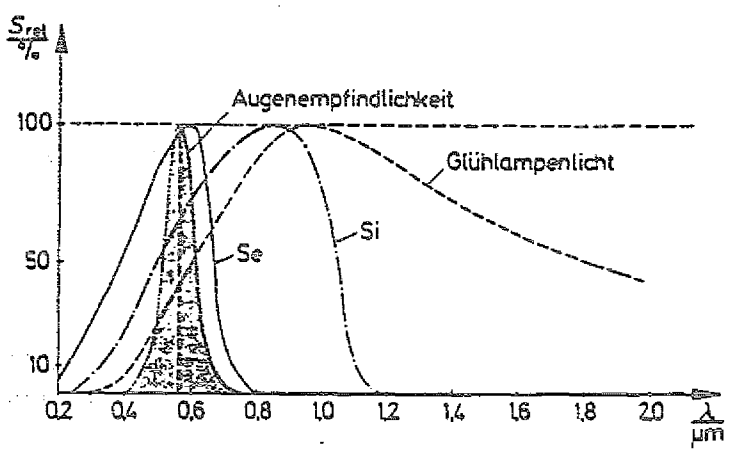


Bild 3.2: Spektrale Empfindlichkeit
Quelle: Beuth [1]

Durch Mehrschichtsolarzellen aus verschiedenen Materialien läßt sich so die spektrale Empfindlichkeit von Solarzellen beeinflussen. So brauchen Solarzellen für Taschenrechner, die

häufig unter Kunstlicht betrieben werden, eine ganz andere spektrale Empfindlichkeit als Solarzellen, die zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

3.2.2 Typen von Solarzellen

Das Ziel der Solarzellenproduktion ist ein niedriges Preis-Leistungsverhältnis. Am weitesten verbreitet sind die Silizium Solarzellen. Trotzdem sind andere Materialzusammensetzungen durchaus interessant und finden in Forschungsprojekten mehr und mehr Beachtung. Hier kann man in Zukunft noch erhebliche Fortschritte erwarten.

Die ältesten und weltweit am meisten produzierten Solarzellen sind kristalline Silizium Solarzellen. Monokristalline Zellen werden durch eine aufwendige Methode produziert. Es werden hochreine, polykristalline Siliziumstäbe hergestellt. Diese Stäbe werden dann in einem Tiegel eingeschmolzen und mit einer Keimzelle geimpft. Durch langsame Umdrehung wird aus der Schmelze ein monokristalliner Stab gezogen.

Der Stab, der jetzt aus einem einzigen Kristall besteht, kann einen Durchmesser von bis zu 100 mm und eine Länge von bis zu 2 m haben. Man schneidet den Stab in Scheiben von ca. 0,5 mm Dicke.

Die Nachteile von monokristallinen Zellen liegen in den hohen Produktionskosten und der recht großen Schichtdicke. Dafür ist man aber in der Lage, Laborzellen mit einem Wirkungsgrad von ca. 23 % herzustellen.

Die aufwendige und teure Herstellung von monokristallinen Zellen hat zur Entwicklung der polykristallinen Zellen geführt. Weil das Grundmaterial zu Blöcken vergossen werden kann, entfällt einmal die aufwendige Herstellung der Einkristalle und zum anderen ist die Flächenfüllung viel besser als bei runden Solarzellen, da die Zellen rechteckig bzw. quadratisch sind. Es wird viel weniger Energie bei der Herstellung benötigt als bei monokristallinen Zellen.

Der Nachteil liegt darin, daß der Wirkungsgrad mit 10 bis 13 % niedriger als bei monokristallinen Solarzellen ist.

Amorphe Silizium Solarzellen werden erst seit 1975 hergestellt, da man zuerst glaubte, daß amorphes Silizium für Solarzellen unbrauchbar sei.

Es zeigte sich aber, daß die Lichtabsorption bei amorphem Silizium rund 40 mal höher ist als bei kristallinem Silizium. So ist bereits eine dünne Schicht von etwa 1 μm in der Lage genügend Licht zu absorbieren. Dementsprechend kann man sehr dünne Solarzellen herstellen, was einen geringen Materialverbrauch bewirkt. Alle Dünnschichtzellen brauchen allerdings wegen der geringen Schichtdicke ein Substrat auf dem sie abgeschieden werden. Ansonsten ist die mechanische Stabilität nicht genügend gewährleistet.

Die amorphe Siliziumstruktur weist keine regelmäßige und periodische Anordnung der Atome auf. Das Material ist allerdings auch nicht völlig ungeordnet, es besitzt eine Nahordnung. Im Gegensatz dazu haben kristalline Festkörper eine Fernordnung, d. h. bei Silizium ist jedes Atom von vier nächsten Nachbaratomen umgeben.

Die Vorteile von amorphen Silizium Solarzellen sind einmal der geringe Materialaufwand durch die hohe optische Absorption, der hohe Bandabstand von 1,7 eV - daraus ergibt sich eine höhere Leerlaufspannung gegenüber kristallinen Zellen - und die Möglichkeit zur relativ preisgünstigen automatischen Fertigung.

Nachteilig ist der geringe Wirkungsgrad und die noch ungelösten Probleme bezüglich der Langzeitstabilität.

Neben den Silizium Solarzellen gibt es noch eine Vielzahl anderer Typen, die aber bis heute im praktischen Einsatz eine untergeordnete Rolle spielen.

Vollständigkeitshalber seien hier zwei Typen exemplarisch vorgestellt:

Sehr vielversprechend sind Zellen aus Galliumarsenid. Vorteilhaft sind der hohe Wirkungsgrad, sowie die geringe Leistungsabnahme bei Temperaturerhöhung gegenüber Silizium. Ein Nachteil ist die schlechte Rohstoffverfügbarkeit.

Bei Solarzellen aus Cadmiumsulfid-Kupferoxydsulfid ergeben sich große Probleme mit dem giftigen Schwermetall Cadmium. Dieser Aspekt muß bei der eventuellen Serienproduktion dieses Typs unbedingt beachtet werden, da ansonsten neue Umweltprobleme auftreten.

4. Modulauswahl

Es soll eine Testversuchsanlage für Langzeitmessungen an amorphen Solarmodulen entwickelt und aufgebaut werden.

Die Module müssen vorgegebene Anforderungen erfüllen, damit man am Ende vergleichbare und aussagefähige Ergebnisse erhält.

Sicherlich bestehen erhebliche Unterschiede zwischen einer Versuchsanlage und einer Anlage die zur Stromerzeugung eingesetzt wird.

Photovoltaikanlagen die zur Stomgewinnung genutzt werden, müssen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgelegt werden. Der konstruktive Aufwand ist nach Möglichkeit einfach und kostengünstig zu halten.

Bei der Modulauswahl ist in erster Linie das Preis-Leistungsverhältnis ausschlaggebend. Da die Module parallel und in Serie verschaltet werden, sollten sie alle etwa die gleiche Kennline haben. Werden Module mit unterschiedlichen Maximalleistungen verschaltet, können eventuell Ausgleichsströme fließen. Dies führt dann zu Leistungsverlusten, was den Wirkungsgrad der Anlage herabsetzt. Die Hersteller vermessen auf Wunsch ihre Module und es ist daher zweckmäßig, sie von einem Produzenten zu beziehen.

Bei der im Rahmen dieser Arbeit aufzubauenden Versuchsanlage steht das Preis-Leistungsverhältnis nicht so gravierend im Vordergrund, es wird aber natürlich auch in der Kostenrechnung berücksichtigt.

Laut Aufgabenstellung sollen amorphe Silizium Module getestet werden, da bei dieser Art von Modulen Probleme der Langzeitstabilität auftreten.

Nach Möglichkeit sollen alle großen Solarmodulhersteller berücksichtigt werden, um ein entsprechend großes und umfassendes Versuchsfeld zu erhalten. Da der Markt für Solarprodukte zur Zeit ständig wächst, gibt es eine genügend große Anzahl von Modulanbietern, wovon aber einige keine amorphen Module vertreiben.

Weiterhin ist die Leistungsklasse der Module wichtig. Man findet von Kleinmodulen bis zu 5 Wp und Großmodulen von über 50 Wp alles auf diesem Markt. Es hat sich herausgestellt, daß Solarmodule mit 10 bis 30 Wp in der Praxis am weitesten verbreitet sind. Dementsprechend ist das Angebot in dieser Klasse vielseitig und die Beschaffung der Module relativ einfach.

Bei der Verkapselung und Wetterbeständigkeit lassen sich im voraus keine genauen Aussagen machen. Es hat sich aber gezeigt, daß einige Hersteller hier erhebliche Probleme hatten. In Datenblätter wird dieser Punkt nur unzureichend behandelt. Es lassen sich also keine Auswahlkriterien festlegen. Die Ergebnisse im Alltag sind abzuwarten und man wird sehen wie die Qualität der einzelnen Module ist.

Ebensowenig lassen sich die Abmaße der Solarmodule berücksichtigen. Jeder Hersteller hat andere Maße für die Höhe, Breite und Tiefe seiner Module. Entsprechende Normungen bestehen nicht. Manche Module sind quadratisch und haben Maße von 79 cm * 79 cm. Andere sind bis zu 1,3 m hoch und nur 30 cm breit. Bei der Befestigung der Module auf das Montagesystem ist auf ein gleichmäßiges und optisch gutes Erscheinungsbild zu achten.

Auf dem Markt bietet ein Hersteller - Sovonics, USA - ein 23 Wp Modul mit Tandemzellen an. Da Mehrschichtzellen wahrscheinlich in Zukunft eine immer wichtigere Rolle im Bereich der Photovoltaik spielen werden, wurde dieser Modultyp mit in den Test einbezogen. Das Modul ist flexibel, was aber für den Teststand nicht unbedingt relevant ist. Beim Einsatz auf Wohnwagen und Booten ist es aber eine gute Alternative zu herkömmlichen Modulen.

Von der Firma Phototronics Solartechnik GmbH (PST) wurde dem Institut freundlicherweise ein 30 Wp Modul kostenlos zur Verfügung gestellt, wofür wir uns an dieser Stelle noch einmal recht herzlich bedanken.

Nach gründlicher und ausgiebiger Studie der auf dem Markt an-

gebotenen Module wurden 6 Solarmodule in der Leistungsklasse zwischen 10 bis 30 Wp ausgewählt. Alle Module, mit Ausnahme des von PST, haben im Arbeitspunkt eine Spannung von ca. 17 V und einen Strom von 1 bis 2 A. Das PST-Modul hat eine Spannung von 50 V und einen Strom von ca. 600 mA im Arbeitspunkt.

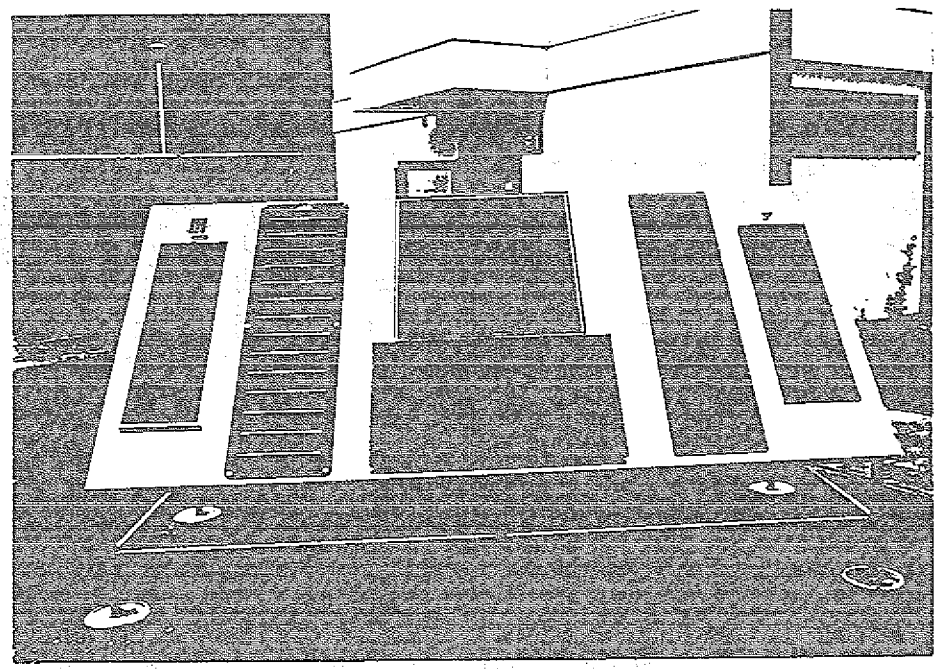


Bild 4.1: Solarmodule im Testfeld

Die Module und ihre Kenndaten im einzelnen:

Hersteller	Typ	P/Wp	DM/Wp	U_0/V	I_k/A
Siemens	T20	20	10,50	23,0	1,90
Chronar	CSB 13 R	10	17,40	22,0	0,90
Rade Koncar	RKT 12	12	11,63	23,5	0,79
APS	EP 25	25	18,72	25,5	1,96
Sovonics	MA 20	23	25,57	21,5	1,70
PST	PM-P64B	30	---	68,0	0,75

Die Preise je Modul liegen zwischen 140 bis 550 DM ohne MWST. Die Solarmodule von Siemens und Rade Koncar sind mit einem Preis-Leistungsverhältnis von 10,50 DM/Wp bzw. 11,63 DM/Wp am günstigsten.

Die hier gemachten Preisangaben können nur Richtwerte darstellen; sie besitzen keine Allgemeingültigkeit und sind daher nicht verbindlich.

Selbstverständlich gelten immmer die aktuellen Listenpreise der Hersteller bzw. der Lieferanten.

5. Montagesystem für die Solarmodule

Solarmodule werden in nördlichen Breiten nach Süden ausgerichtet. Der Neigungswinkel richtet sich nach dem Zeitraum in dem der Energieertrag optimiert werden soll. In jedem Fall sollte der Neigungswinkel in gewissem Rahmen einstellbar sein.

Diese Forderung an das Montagesystem ist im allgemeinen recht leicht zu erfüllen. Eine Nachführung um zwei Achsen ist dagegen schon sehr viel aufwendiger und vor allem wesentlich teurer.

Die Befestigung der Module muß stabil sein. Eine gute Verankerung ist notwendig, damit die Anlage auch Stürme unbeschadet übersteht.

Die Windkraft auf Module kann enorm sein. Sie läßt sich nach folgender Formel berechnen:

$$F = \frac{1}{2} \cdot c \cdot A \cdot \delta_{Luft} \cdot v^2 \cdot \sin \alpha \qquad \text{(Gl. 5.1)}$$

Hierbei ist F die Kraft, die auf die Solarmodule wirkt. Der Widerstandskoeffizient c ist von der Form der Solarmodule abhängig. Für eine flache Platte ist c etwa 1,1. A ist die Fläche in Quadratmetern und δ_{Luft} die Dichte der Luft. Sie ist höhen- und temperaturabhängig und beträgt ca. 1,29 kg/m^3. Der Ausdruck v steht für die Windgeschwindigkeit und α ist der Neigungswinkel.

Die meisten Lieferanten bieten auch Montagesysteme oder zumindestens Montageanleitungen an. Diese sind aber genau auf ihre Module abgestimmt, und leider hat fast jeder Lieferant ein eigenes Konstruktionsprinzip. Es ist also nicht ohne weiteres möglich, Module von verschiedenen Herstellern auf ein Befestigungssystem zu installieren.

Bei der Lösung der anstehenden Konstruktionsaufgabe für die Versuchsanlage mußte das o. g. Problem daher berücksichtigt werden.

Es wurde auf kein bestehendes Montagesystem zurückgegriffen, sondern eine eigenständige Tragekonstruktion entwickelt und in der Werkstatt gefertigt.

Das Montagesystem besteht aus Stahl und ist lackiert um es vor Korrosion zu schützen. Der Neigungswinkel ist über Lochstangen variabel einstellbar. Da 6 Module von 6 verschiedenen Herstellern getestet werden und die Solarmodule alle unterschiedliche Abmaße besitzen, wurde eine Platte aus Aluminium auf das Gestell genietet. Sie ist 1,4 m breit und 3 m lang. Auf diese Platte werden die Module dann mit Schrauben befestigt.

Das ganze Montagesystem wurde nach Süden ausgerichtet und mit vier kleinen Beton-Sockeln fest verankert.

Die baulichen Gegebenheiten sind so günstig, daß keine Probleme mit einer Teil- oder gar Vollabschattung zu bestimmten Tageszeiten auftreten.

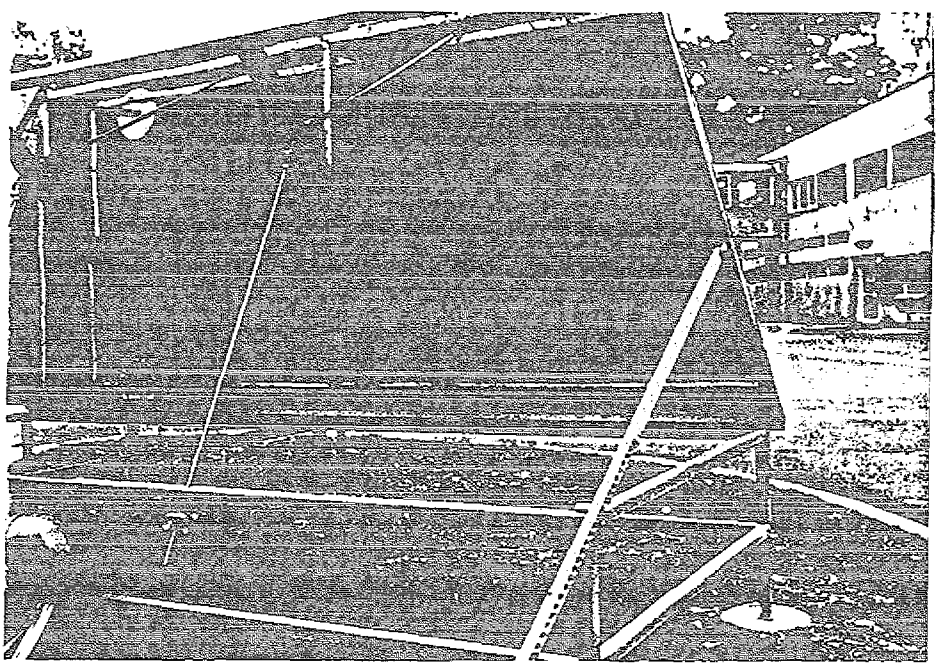


Bild 5.1: Rückseite des Montagesystems

Die Platte bietet natürlich dem Wind eine gute Angriffsfläche. Rechnet man mit einer maximalen Windstärke 12, so ergibt dies eine Windgeschwindigkeit von 33 m/s. Der Winkel sei 70°. Die Kraft F ist dann nach Gleichung 5.1:

$$F = \frac{1}{2} \cdot 1{,}1 \cdot 4{,}2\ m^2 \cdot 1{,}293\ kg/m^3 \cdot (33\ m/s)^2 \cdot \sin 70^\circ$$

$$F = 3{,}06\ kN$$

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Hinterlüftung der Module. Durch ihre Konstruktion bedingt liegen sie nicht direkt auf der Aluminiumplatte auf, sondern es besteht ein Luftspalt von 2 bis 4 cm je nach Modul. Dadurch wird im Sommer eine zu starke Modulerwärmung verhindert.

Von dem Montagesystem führen die Kabel - sowohl die der Solarmodule, als auch Meßkabel für Temperatur und Bestrahlungsstärke - durch ein Hohlrohr im Erdreich bis zum Rechnerplatz im angrenzenden Bürogebäude.

6. Aufbau der Meßapparatur

Zu Beginn mußten beim Aufbau der Meßapparatur einige grundlegende Fragen geklärt werden.

Die Meßwerterfassung soll rechnerunterstützt erfolgen. Dieser Punkt ergibt sich schon daher, weil eine Langzeitdatenerfassung wünschenswert ist.

Zwischen Rechner und Meßkomponenten befindet sich ein modulares Datenerfassungs- und Steuerungssystem.

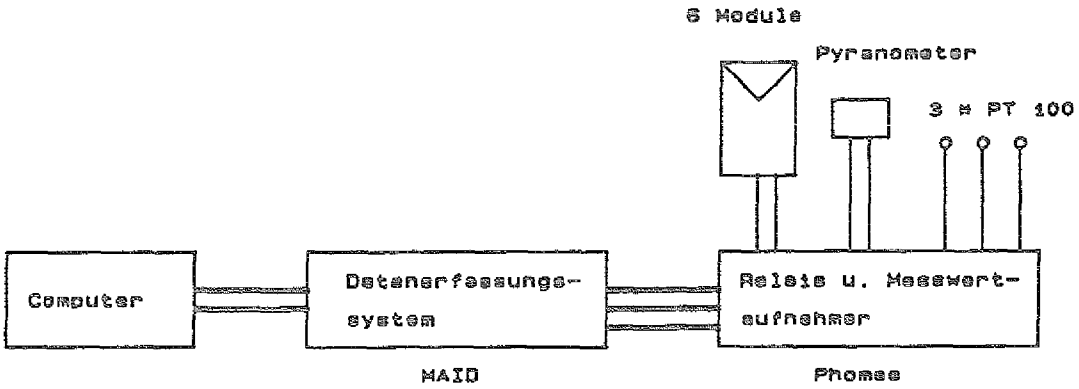


Bild 6.1: Allgemeiner Aufbau des Meßsystems

Hier findet das MAID System (Modular Acquisition and Instrumentation Device) Anwendung, welches im Institut für Schicht- und Ionentechnik (ISI) des Forschungszentrum Jülich (KFA) entwickelt wurde.

Das System ist modular aufgebaut und kann für beliebige Experimentiereinrichtungen eingesetzt werden. Es verfügt über 13 Steckplätze für diverse Module und die CPU-Einheit, die im allgemeinen in einem 19 Zoll Tischgehäuse mit 3 HE (Höheneinheiten) untergebracht sind.

Es läßt sich mit verschiedenen Programmiersprachen benutzen und auf das jeweilige Steuer- oder Meßproblem anpassen.

Die Anschlußleitungen sind über Optokoppler galvanisch getrennt. Die Vorteile liegen einmal darin, daß der PC vor Überspannung geschützt und der hohe Rauschpegel unterdrückt wird.

Zur Steuerung und zur Meßwerterfassung werden nachstehende Module neben der CPU Karte eingesetzt:

1. IO Karte
   16 Bit digitaler Aus- und Eingang. Bei dieser Karte werden nur die digitalen Ausgänge benötigt. Mit ihnen werden über Transistoren die Relais angesteuert.

2. DA 312 Karte
   Dreifach Analogausgang mit 12 Bit Auflösung. Hier wird nur ein Ausgang benötigt. Mit der Analogspannung gibt man über einen Darlington-Transistor den Belastungsstrom für die Module vor.

3. AD 812 Karte
   8-fach analoger Eingang mit 12 Bit Auflösung. Der Kanal und die Empfindlichkeit sind programmierbar. Für das anstehende Meßproblem wird der Bereich 0 bis 10 V gewählt, wobei nur 6 der analogen Eingänge benutzt werden. Drei für die Temperaturmessung, da drei verschiedene Temperaturen gemessen werden, einen für die Bestrahlungsstärke, sowie je einen für die Strom- und Spannungsmessung an den Modulen.

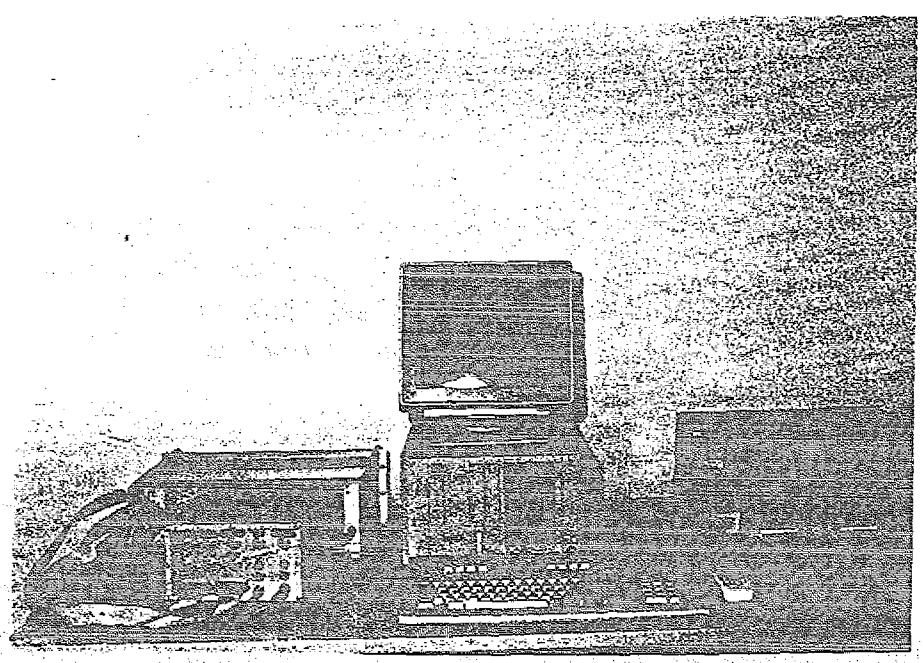


Bild 6.2: Experimenteller Aufbau

Neben der I-U Kennlinieaufnahme der Solarmodule sind weiterhin die Bestrahlungstärke und die Temperatur von Interesse.

Ein Pyranometer in der Modulebene dient zur Aufnahme der Bestrahlungsstärke. Das Meßsignal wird zuerst verstärkt und dann weiterverarbeitet.

Bei der Temperaturmessung werden PT 100 Meßwiderstände eingesetzt. Sie ändern ihren Widerstandwert in Abhängigkeit der Temperatur. Das Meßsignal wird hierbei ebenfalls verstärkt. Es werden die Umgebungstemperatur, die Modultemperatur und die Temperatur an einer im Forschungszentrum Jülich selber hergestellten amorphen Siliziumsolarzelle von 10 cm * 10 cm gemessen. Hier besteht die Möglichkeit, den Temperaturfühler direkt an den Rückseitenkontakt anzubringen; dies ist bei Modulen leider nicht machbar.

Alle benötigten elektronischen Komponenten, einschließlich ihrer Spannungsversorgungen, werden in ein 19 Zoll Einschubgehäuse aus Metall untergebracht. Dieses Gerät wird mit dem MAID System verbunden.

Das Meßerfassungssystem bekommt den Namen Phomes (Photovoltaik Meßsystem).

Sie ist für die Meßerfassung von maximal 8 Solarmodulen ausgelegt, läßt sich aber ohne größeren Aufwand leicht erweitern.

6.1 Prinzip der Meßerfassung

Es besteht die Möglichkeit die einzelnen Module über Relais anzusteuern. In der Grundstellung sind alle Module parallel geschaltet, da das Solarmodul von der Firma PST eine wesentlich andere Spannung im Punkt maximaler Leistung (MPP) hat, nämlich ca 50 V bei 600 mA, ist es als einziges nicht mit den anderen parallel geschaltet.

Die Solarmodule liegen alle auf gleichem Massepotenial und die Gesamtleistung läßt sich an zwei Klemmen abgreifen. Im Lastzweig ist ein weiteres Relais, um die Spannung an den Klemmen abschalten zu können.

In jedem einzelnen Spannungszweig wurde eine Schutzdiode eingebaut. Produziert eines der Module in der Parallelschaltung keine Energie mehr, weil es z. B. abgeschattet ist, wirkt es als Verbraucher. Die übrigen Module speisen nun diesen Verbraucher und erwärmen ihn. Um dies zu verhindern, schaltet man zu jedem Modul eine Diode in Serie. Man verliert zwar eine Spannung von rund 0,7 Volt, vermeidet aber einen Ausfall der Stromversorgung.

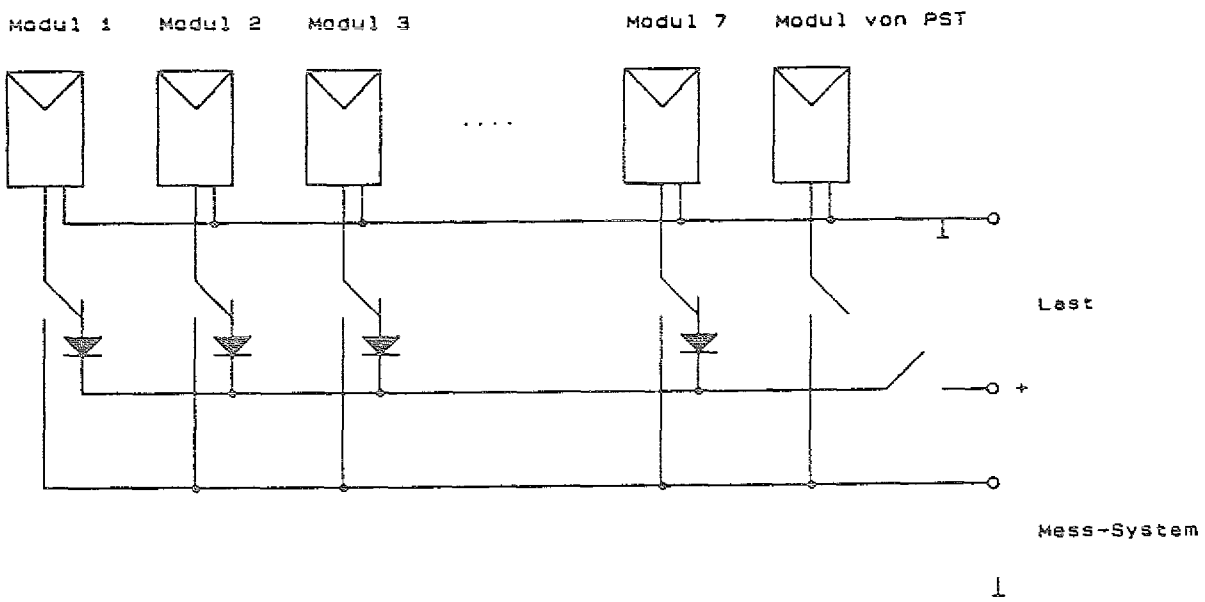


Bild 6.3 Meßerfassung

Zur Bestimmung der I-U Kennlinie eines einzelnen Moduls läßt sich jedes Modul aus der Parallelschaltung umschalten. Es wird über ein Relais zu einem speziellen Meßsystem geschaltet, dann vermessen und wieder parallel zu den anderen geschaltet.

Die Solarmodule können immer nur hintereinander vermessen werden, nie zwei oder mehr zur selben Zeit. Das System ist so aufgebaut, daß bei der I-U Kennlienienaufnahme die nun nicht benötigte Schutzdiode abgeschaltet ist.
Drei Schaltzustände sind ausführbar:

1. Alle Module sind parallel geschaltet und befinden sich im Leerlauf.

2. Über das Relais im Lastzweig läßt sich ein Verbraucher an den Solargenerator zuschalten.

3. Kennlinienaufnahme eines Moduls.

Ein generelles Problem bei Photovoltaikanlagen ist der Spannungsabfall an Leitungen, Dioden und Kontaktstellen. Die Spannung ist mit etwa 17 Volt im MPP nicht besonders hoch. Jeder überflüssige Spannungsabfall bewirkt einen zusätzlichen Leistungsverlust.

Bei Parallelbetrieb der Module kann auf die Schutzdiode nicht verzichtet werden. Diesen Spannungsabfall muß man also hinnehmen. Wird jedoch die Kennlinie von einem Modul aufgenommen ist die Diode nicht nötig, da ja nur ein Solargenerator alleine die Leistung produziert.

Spannungsabfälle an Leitungen lassen sich durch entsprechende Leiterquerschnitte und kurze Leitungen gut vermeiden. Die Zuleitung für jedes Modul zum Meßplatz hat einen Querschnitt von 1 mm^2 und eine Länge von ca. 12 m.

Kontaktwiderstände sind durch gute Lötstellen und vernünftige Steckerverbindungen kein großes Problem. Bei den Relais wurden Schwachstrom-Kleinrelais der Firma Siemens eingesetzt. Sie sind für einen Dauerstrom von bis zu 7,5 A ausgelegt.

6.2 Ansteuerelektronik

Die gesamte Ansteuerelektronik kommt, wie bereits erwähnt, in ein Tischgehäuse aus Metall. Das Metallgehäuse dient gleichzeitig als Abschirmung gegen eventuell auftretende elektrische Störungen.

Die Elektronik setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Einmal die Spannungsversorgung für Operations- und Differenzverstärker. Hierfür wird eine Spannungsquelle von ± 15 Volt benötigt. Zum anderen ist eine Spannungsversorgung von ca. + 12 Volt für die Relais nötig. Sie ist in Bild 6.4 dargestellt.

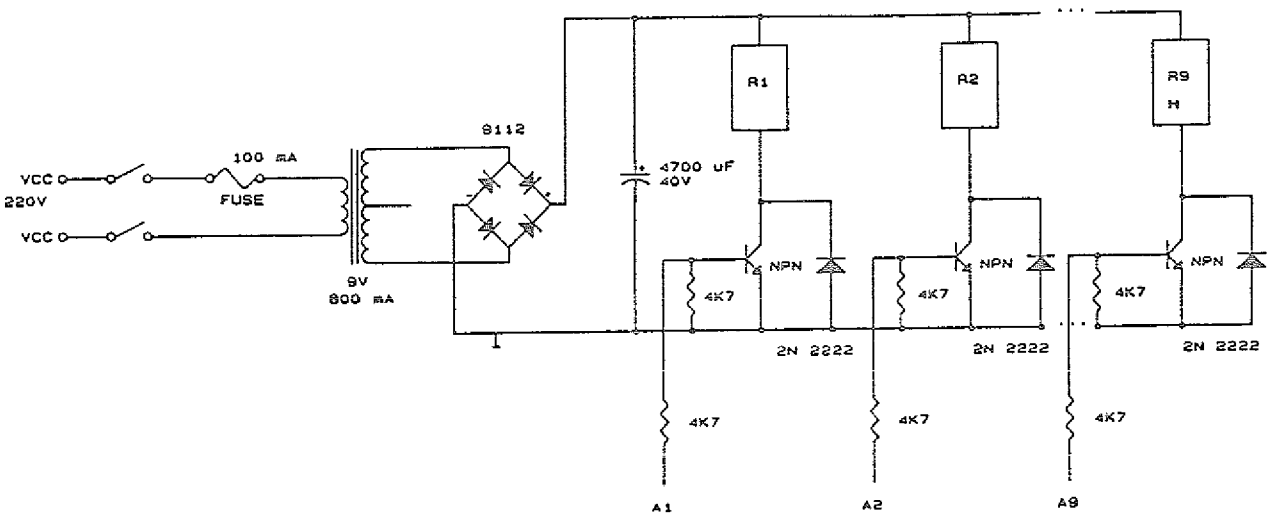


Bild 6.4: Ansteuerung der Relais

Die Gleichspannung an der Sekundärseite des Transformators nach Gleichrichtung und Glättung ergibt sich näherungsweise durch die Formel

$$U_{=} = (U\sim - 2\ V) * 1{,}4 \qquad \text{(Gl. 6.1)}$$

Wobei $U_{=}$ die Gleichspannung nach dem Brückengleichrichter und U~ die Wechselspannung auf der Sekundärseite ist. Nimmt man einen 220/9 Volt Transformator der maximal 800 mA liefern kann, so ergibt sich nach Gleichung 6.1 für die gleichgerichtete Spannung ein Wert von 9,8 Volt. Diese Spannung stellt sich aber nur dann ein, wenn auch 800 mA fließen. Bei geringerer Belastung ist sie wegen des Innenwiderstandes im Transformator entsprechend höher. Da immer nur ein Relais eingeschaltet ist, fließt nur ein Strom von 80 bis 120 mA und die Spannung an der Sekundärseite stellt sich auf ca. 12 Volt ein.

Zur Glättung ist nach dem Brückengleichrichter ein Kondensator parallel geschaltet.

Die IO Karte des MAID Systems steuert über NPN-Transistoren die einzelnen Relais an.

Die Dioden schützen die Transistoren vor Überspannung, welche beim Ausschalten der Relais entstehen kann. Die Spule im Relais induziert nach der Selbstinduktionsregel eine Spannung "die stets der Änderung ihrer Ursache entgegenwirkt". Diese Gegenspannung wird über die Dioden abgeleitet.

Die Primärseite des Transformators wird mit einer 100 mA Schmelzsicherung abgesichert. Der Schalter ist zweipolig und trennt den Transformator vollständig vom Netz.

Die Spannungsversorgung für die Operations- und Differenzverstärker hat ± 15 Volt.

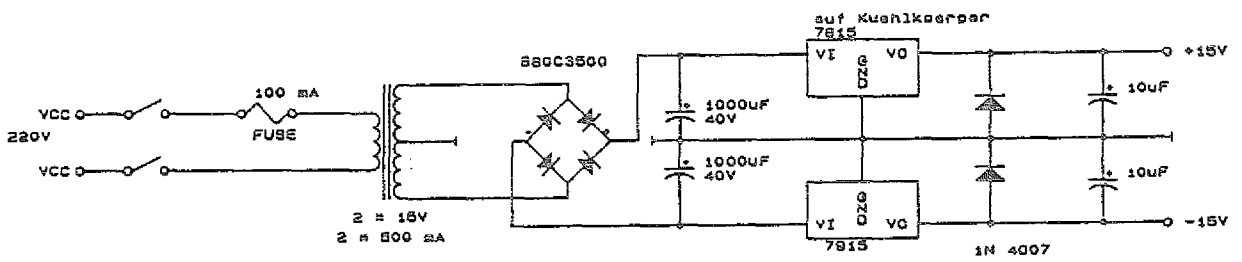


Bild 6.5: Spannungsversorgung ± 15 Volt

Die Mittelanzapfung der Sekundärseite ist auf Masse gelegt um eine symmetrische Ausgangsspannung zu erhalten. Auch hier wird nach dem Gleichrichter ein Glättungskondensator eingesetzt. Die Festspannungsregler sind bis zu einem Strom von 1,5 A ausgelegt und haben eine Toleranz von ± 5 %, was für die geforderte Genauigkeit völlig ausreicht. Zur besseren Wärmeableitung sind sie auf Aufsteckkühlkörper montiert.

Die Sicherung auf der Primärseite ist genauso ausgelegt wie die der Ansteuerelektronik für die Relais.

6.3 Temperatur- und Bestrahlungsmessung

Temperaturmessungen sind über verschiedene Verfahren möglich, wie z. B. mit Thermometern, Thermoelementen, Pyrometer oder Widerstandsthermometer.

Die Temperaturmessung bei der Langzeitversuchsanlage wurde mit PT 100 Meßwiderständen realisiert. Das Verfahren ist einfach und ermöglicht genaue Messungen.

Bei bestimmten Werkstoffen zeigt sich eine extrem große Temperaturabhängigkeit bezüglich ihres Widerstandswertes. Bei PT 100 Widerständen ist der Widerstandswert bei 0 °C genau 100 Ω und steigt bei einer Temperaturerhöhung von 10 °C um etwa 3,9 Ω. Es handelt sich also um einen PTC-Widerstand (PTC = Positive Temperature Coefficient), dessen Widerstand mit ansteigender Temperatur größer wird.

Der Widerstandsdraht ist auf einem stabilen Träger aus Keramik aufgebracht, um ihn gegen mechanische Beschädigung zu schützen.

Für die Widerstandsmessung ist eine Stromquelle erforderlich, da das Widerstandselement kein eigenes Signal erzeugt. Man schickt einen Konstantstrom durch den Widerstand und mißt den Spannungsabfall, welcher sich je nach Widerstandswert ändert. Um eine allzu große Eigenerwärmung des Elementes durch den Meßstrom zu verhindern, sollte die Spannung bei einem 100 Ω Widerstandsthermometer nicht größer als 1 Volt sein, dies entspricht einer Leistung von 10 mW am Widerstand.

Um den Meßfehler und den Einfluß der Verbindungsleitungen klein zu halten, wurde die "Vier Leiter Schaltung" verwendet.

Durch zwei Leiter schickt man den Meßstrom, die anderen beiden werden zur hochhohmigen Spannungsmessung benutzt. Auf den Spannungs-Meßleitungen entsteht praktisch kein Spannungsabfall, wenn man eine genügend hohe Impedanz im Meßverstärker verwendet.

Die benötigte Stromquelle ist in Bild 6.6 gezeichnet.

Der Konstantstrom wird über das Potentiometer auf 2 mA eingestellt.

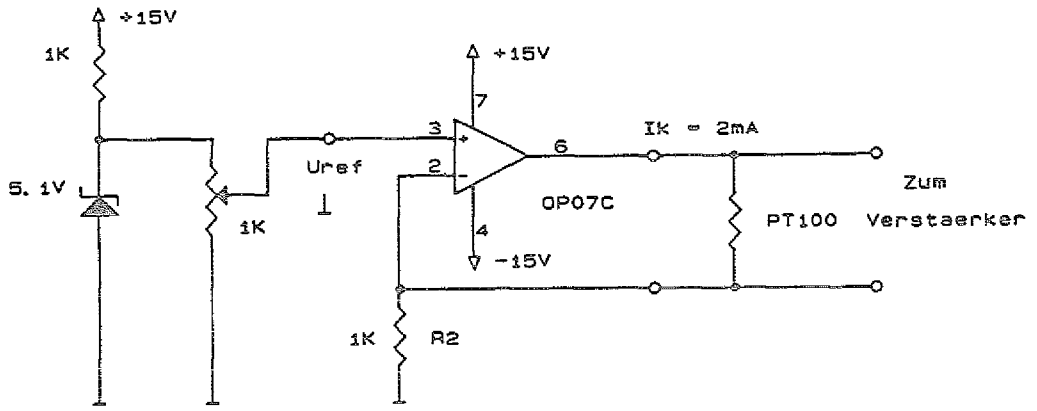


Bild 6.6: Konstantstromquelle

Um die Referenzspannung U_{ref} genau zu halten verwendet man eine Z-Diode. Sinnvollerweise wird eine Z-Diode mit einer Spannung von 5,1 Volt eingesetzt, da die Temperaturabhängigkeit in diesem Spannungsbereich am geringsten ist.

Der Schaltung haftet das Problem an, daß der PT 100 Meßwiderstand beidseitig auf einem schwebenden Potential liegt. Die Größe des Konstantstromes ist

$$I_{konst} = U_{ref} / R_2. \qquad \text{(Gl. 6.2)}$$

Aus der Gleichung 6.2 ergibt sich bei U_{ref} = 2 V und R_2 = 1 kΩ für I_{konst} = 2 mA.[7]

Das Spannungssignal des PT 100 wird mit einem Differenzverstärker mit den Faktor 30 verstärkt.

Die vollständige Beschaltung des Differenzverstärkers INA 101 entnimmt man Bild 6.7.

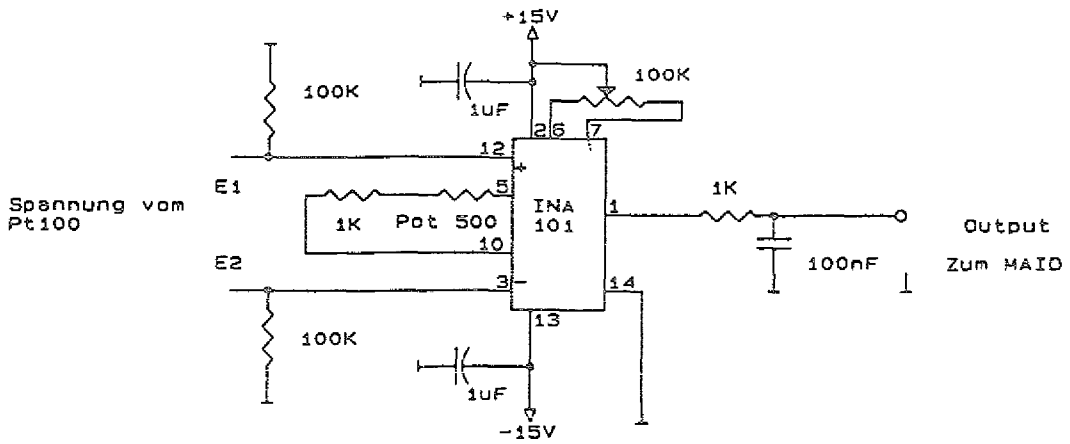


Bild 6.7: Spannungsverstärkung für PT 100

Die Eingangsimpedanz beträgt 10^{10} Ω, d. h. auf den Meßleitungen vom PT 100 zum Verstärker fällt praktisch keine Spannung ab. Die Eingänge sind hochohmig (100 kΩ) gegen Masse gelegt, um ein definiertes Potential zu erhalten, da ja wie bereits erwähnt der Meßwiderstand beidseitig auf schwebendem Potential liegt. Hinter dem Ausgang ist ein Tiefpaß geschaltet. Er soll hochfrequente Störungen herausfiltern.

Es werden insgesamt drei Temperaturen gemessen. Bei der Umgebungstemperatur ist der Sensor vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt anzubringen. Die Lufttemperatur ist grundsätzlich eine Schattentemperatur. Der Fühler wird auf ein kleines Vierkant-Aluminiumprofil befestigt, welches seinerseits thermisch isoliert an das Tragegestell geschraubt wird. Der Sensor befindet sich so immer im Schatten des Gestelles.

Die Sensoren für die Modul- und Solarzellentemperaturen werden jeweils auf der Rückseite des Moduls bzw. der Zelle mit Leitsilber angebracht.

Die Bestrahlungsstärke wird mit einem Silizium Pyranometer - Firma Haenni, Typ Solar 130 - in der Modulebene gemessen.

Das Pyranometer mißt die globale Strahlung im Spektralbereich von 0,4 bis 1,05 µm und erzeugt ein proportionales Spannungssignal als Ergebnis. Das Ausgangssignal beträgt 100 mV bei 1000 W/m².

Nach Herstellerangaben beträgt die Fehlergrenze bei 20 °C und AM 1,5: ± 1 % vom Skalenendwert.

Das Meßsignal wird genauso wie bei der Temperaturmessung mit einem Differenzverstärker verstärkt.

6.4 I-U Kennlinienaufnahme

Solarzellen sind im unbeleuchteten Zustand wie großflächige Halbleiterdioden. Bei Bestrahlung liefern sie einen Strom, der in umgekehrte Richtung zum Diodenstrom fließt. Aus der Kennlinie lassen sich drei wichtige Punkte ablesen:

- Die Leerlaufspannung U_0. Die Spannung wird bei fehlender Belastung gemessen.

- Der Kurzschlußstrom I_K. Das Modul wird kurzgeschlossen und man mißt den Strom.

- Der Punkt maximaler Leistung P_{max}. Man bildet das Produkt aus Strom und Spannung für jeden Punkt der Kurve und findet so den Maximalwert.

Bei der Kennlinienaufnahme ist wichtig, daß die Meßzeit für jedes Modul möglichst kurz ist. Während der Messung muß die Bestrahlungsstärke konstant sein, deshalb ist eine schnelle Kennlinienaufnahme nötig.

Bei dem Prinzip der Meßerfassung wurde auf einen einfachen und damit möglichst störungsunempfindlichen Aufbau wertgelegt.

Die Module lassen sich über die Relais zu der Meßerfassung schalten, werden dort komplett vermessen und wieder in die Parallelschaltung zu den anderen Solarmodulen zurückgeschaltet.

Es wird der Belastungsstrom vorgegeben und die sich einstellende Spannung gemessen.

Der Schaltplan ist in Bild 6.8 abgebildet.

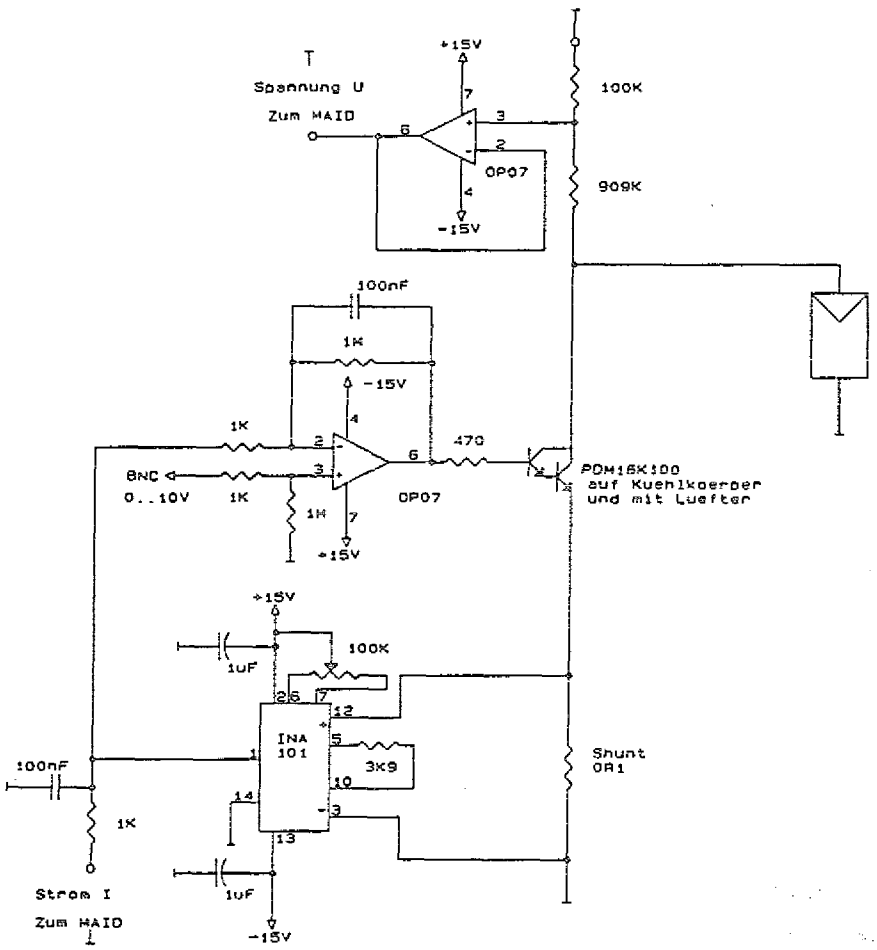


Bild 6.8: Meßsystem für I-U Kennlinie

Der Darlington-Transistor wird über einen Operationsverstärker angesteuert. Er befindet sich auf einem Fingerkühlkörper und wird zusätzlich mit einem Lüfter aktiv belüftet. Je nach Ansteuerung des Transistors stellt sich ein entsprechender Strom ein, dieser wird mit einem Shunt von 0,1 Ω gemessen und dann verstärkt. Das Ausgangssignal des Differenzverstärkers wird einmal über das MAID System in den Rechner eingelesen und gleichzeitig zum invertierten Eingang des Operationsverstärkers zurückgeführt. Über eine BNC Buchse wird vom Rechner eine Spannung auf den nichtinvertierten Eingang gelegt.
Durch diese Regeleinrichtung wird erreicht, daß bei Erwärmung des Transistors - und die damit verbundene Erhöhung des Kollektorstromes durch den steigenden Stromverstärkungsfaktor - der Basistrom kleiner wird.

So ist man in der Lage den vorgegebenen Laststrom mit einer einfachen Regelung konstant einzustellen.

Die Spannung wird über einen hochohmigen Spannungsteiler von 1:10 und nachgeschaltetem Impedanzwandler gemessen.

Durch Änderung der Spannung an der BNC Buchse läßt sich so die ganze Kennlinie durchfahren.

Es ist sinnvoll zwischen den einzelnen Meßschritten eine gewisse Zeit zu warten, bis die Strom- und Spannungswerte einen stationären Zustand erreicht haben.

7. Software

In diesem Kapitel sollen nicht alle Einzelheiten des Programms "Phomes" und seiner Unterprogramme exakt erklärt werden. Vielmehr soll ein grober Überblick über das Programm und seine Anwendungsmöglichkeiten gegeben werden.

Das Programmlisting befinden sich im Anhang.

7.1 Programmaufbau

Die Anforderungen an das Softwareprogramm sind im einzelnen:

- Einfache Handhabung und Benutzerfreundlichkeit.
- Automatische und manuelle Meßwerterfassung.
- Aus den Meßwerten die Berechnung weiterer Größen, wie z. B. Wirkungsgrad oder Maximalleistung.
- Speicherung der Ergebnisse auf Platte oder Diskette in x-y Format.
- graphische Darstellung der Daten auf dem Bildschirm oder Drucker.

Zur Lösung der Aufgabe ist eine Unterteilung des Programms in Unterprogramme sinnvoll. Es ist so nicht nur übersichtlicher, sondern man kann die Unterroutinen einzeln testen und überprüfen bevor man sie in das Gesamtprogramm einbindet.

Der Benutzer kommt von einem Hauptmenü durch entsprechende Tastenwahl in Untermenüs, wobei jedes dieser Menüs eine bestimmte Aufgabe übernimmt.

Nach Abarbeitung des gewählten Menüs gelangt man wieder zum Hauptmenü zurück. Von hieraus besteht auch die einzige Möglichkeit mit der Taste "E" das Programm zu verlassen und zur DOS-Ebene zurückzukehren.

Die Verschachtelungstiefe der Untermenüs muß in einem vernünftigen Rahmen bleiben, da anderenfalls das Programm zu unübersichtlich wird und der Benutzer sonst leicht den Überblick verliert.

Das Programm ist in der Sprache Quick Basic, Version 4.5 geschrieben.

Jedes Solarmodul bekommt einen Kennzahl zugeteilt an der es jederzeit zu identifizieren ist.

Die Meßdaten für Strom und Spannung werden in einem zweidimensionalen Feld, die der Temperaturen in einem eindimensionalen Feld abgelegt.

Bei einem Speichervorgang wandelt das Programm die Werte in Ganzzahlen um. Fließkommazahlen haben einen Speicherbedarf von mindestens 4 Byte, Ganzzahlen aber nur von 2 Byte. Es läßt sich also mit der Umrechnung Speicherplatz einsparen.

7.2 Das Hauptprogramm

Das Programm "Phomes" wird von der DOS-Ebene aus mit dem Befehl "Phomes1" von Festplatte geladen.

```
P h o t o v o l t a i k   M e ß s y s t e m
                Hauptmenü

        <M>anuelle Meßwerterfassung
        <A>utomatische Meßwerterfassung
        <L>ast einschalten
        <T>emperatur/Bestrahlungsstärke ausgeben
        <D>iagramme ausgeben
        <E>nde
```

Bild 7.1: Das Hauptmenü

Es besitzt einen temporären Speicher in dem alle Meßwerte vorübergehend gesichert werden. Die Werte können aber, wenn gewünscht, auf Diskette oder Festplatte gespeichert werden.

Das Hauptmenü ist das zentrale Menü, von hier gelangt man in die einzelnen Untermenüs und kehrt nach deren Ausführung wieder zurück. Die Auswahl der Menüs geschieht mit Hilfe der Tastatur, wobei der jeweilige zu wählende Anfangsbuchstabe des Untermenüs besonders gekennzeichnet ist. Eine Bestätigung durch die Return-Taste ist nicht nötig, auch sind andere Buchstaben als die markierten nicht zulässig und werden vom Programm ignoriert.

Im Hauptprogramm befindet sich auch die zentrale Fehlererkennung. Ein auftretender Fehler wird mit einem Signalton kenntlich gemacht. Anschließend wird bei einer fehlerhaften Eingabe vom Benutzer der entsprechende Fehler angezeigt und um eine Neueingabe gebeten. Handelt es sich um einen nicht vom Benutzer verursachten Fehler, wie z. B. eine vollgeschriebene Diskette, so gibt das System ebenfalls eine Warnung und sagt, wie dieser Fehler zu beheben ist.

7.3 Manuelle Meßwerterfassung

Der Benutzer kann neben der automatischen auch eine manuelle Meßwerterfassung durchführen. Er wird in diesem Untermenü zur Auswahl eines oder aller Solarmodule aufgefordert.

Das Programm mißt die Kennlinie des entsprechenden Moduls sowie die Temperaturen und die Bestrahlungsstärke. Dieser Vorgang geschieht in folgender Reihenfolge:

Zuerst werden die Temperaturen und die Bestrahlungsstärke gemessen. Danach mißt das System die I-U Kennlinie und zwar von der Leerlaufspannung bis zum Kurzschlußstrom, d. h. der Laststrom des Moduls wird schrittweise erhöht.

Der ganze Meßvorgang dauert pro Modul zwischen einer und fünf Sekunden. Die gesamten Meßdaten werden in einen temporären Speicher eingelesen und verbleiben dort solange bis eine neue Messung gestartet wird.

Nach Beendigung der Datenerfassung besteht die Möglichkeit das Ergebnis auf Diskette oder Festplatte unter einem beliebigen Dateinamen zu speichern. Die Werte werden zunächst umgerechnet und dann gesichert. Die Datensicherung erfolgt mit der Angabe der Versionsnummer, hier Phomes1.1, dem Datum und der Uhrzeit.

Die Anzahl der Meßpunkte bei der Kennlinienaufnahme ist variabel. Der Laststrom wird in ca. 50 mA Schritten erhöht. Da der Kurzschlußstrom proportional zu Bestrahlungsstärke ist, wird der Punkt des Maximalstroms den das Solarmodul liefern kann bei starker Sonneneinstrahlung später als bei schwacher Einstrahlung erreicht.

Das Meßerfassungssystem ist in der Lage, Meßdaten die offensichtlich keinen Sinn ergeben, z. B. Ströme kleiner 0 Ampere oder Spannungen größer 100 Volt, zu erkennen und bei Auftreten solcher Fehler den Meßpunkt erneut anzufahren und zu vermessen.

7.4 Automatische Meßwerterfassung

In diesem Untermenü erfolgt eine selbständige Meßwerterfassung in der Zeit von 6.00 Uhr bis 21.00 Uhr.

Eine 24-Stundenmessung ist nicht nötig, da Solarmodule in den Abend- und Nachtstunden keine Leistung produzieren. Das System geht in dieser Zeit in eine Art Ruhezustand, es mißt weder die Kennlinien der Module noch die Temperatur oder Bestrahlungsstärke. Um 6.00 Uhr morgens startet die Messung von neuem.

Bei der automatischen Meßerfassung werden immer alle Module vermessen, um Vergleichswerte der einzelnen Modultypen zu erhalten. Eine Einzelmessung von einem Modul ist nicht vorgesehen.

Der Benutzer kann zwischen zwei Beriebsarten wählen. Entweder werden nur die Punkte maximaler Leistung ermittelt, oder aber es werden komplette Kennlinien durchgemessen.

Wählt man die erste Betriebsart, so brauchen die Werte für Strom und Spannung nicht mit abgespeichert zu werden und man spart erhebliche Mengen an Speicherplatz auf der Diskette.

Genauso wie bei der manuellen Messung ist die Datensicherung auf ein beliebiges, angeschlossenes Laufwerk möglich. Der Dateiname allerdings ist vorgegeben. Das Programm ermittelt ihn von alleine. Er setzt sich aus dem Datum und der Uhrzeit zusammen. Als Beispiel sei der 27. September 1992 um 11.29 Uhr gewählt. Das System speichert dann die Meßwerte unter dem Dateiname 92092711.29, also zuerst das Jahr, dann den Monat, den Tag, die Stunde und die Minute. Die Dateien lassen sich so recht leicht in chronologischer Reihenfolge ordnen.

Die Kennlinien der Module und die Einstrahlung werden einmal pro Minute gemessen. Nach 30 Minuten mittelt das Meßerfassungssystem die Ergebnisse. Man erhält eine Einstrahlungsleistung die über den entsprechenden Zeitraum gemittelt ist, sowie für jedes Modul den Mittelwert der Maximalleistung.

Auch in diesem Programmteil werden nicht sinnvolle Meßwerte erkannt und gegebenenfalls neu gemessen.

Das Menü kann jeder Zeit mit der Funktionstaste "F1" verlassen werden und man kehrt dann zum Hauptmenü zurück.

7.5 Last einschalten

Um mit der produzierten Energie der Solarmodule einen Verbraucher zu betreiben, lassen sie sich mit Hilfe dieses Untermenüs parallelschalten.

Die Leistung ist an zwei Klemmen, welche sich am 19 Zoll Einschubgehäuse befinden, abgreifbar.

Die Solargeneratoren liefern zusammen eine maximale Leistung von 90 Wp. Hierbei ist aber das Modul der Firma PST nicht mitgerechnet.

Dem Benutzer wird auf dem Bildschirm mitgeteilt, daß die Module entsprechend verschaltet sind, und er die Leistung an den Klemmen abgreifen kann.

7.6 Temperatur/Bestrahlunsstärke ausgeben

Bei jeder Messung der Kennlinien, ob automatisch oder manuell, werden die Temperaturen und die Bestrahlungsstärke mitgemessen.

Benötigt man die Solarmodulmeßwerte nicht, so können auch nur die Wetterdaten ausgegeben werden.

Das Programm fragt den Benutzer, ob er die Daten aus dem temporären Speicher oder von Diskette bzw. Festplatte laden möchte. Gegebenenfalls bittet es um Angabe von Laufwerk, Pfad und Dateiname.

Danach werden die Umgebungstemperatur, die Modultemperatur, die Solarzellentemperatur und die Bestrahlungsstärke ausgegeben. Als zusätzliche und unerläßliche Angaben erscheinen das Datum und die Zeit der Messung.

7.7 Diagramme ausgeben

Die Meßdaten lassen sich in graphischer Form auf dem Bildschirm oder dem Drucker ausgeben.

Der Benutzer kann sich zuerst die Ergebnisse auf dem Bildschirm ausgeben lassen, und er entscheidet erst dann, ob er zusätzlich eine Ausgabe vom Drucker möchte.

Es besteht die Auswahl zwischen der I-U Kennlinie oder der Maximalleistung über der Zeit. Aus Übersichtsgründen wird immer nur eine Kurve in ein Diagramm gezeichnet.

Die benötigten Daten lädt der Rechner selbständig und verarbeitet sie für die Graphikausgabe.

Bei der Kennlinienausgabe werden neben dem Graphen weitere wichtige Größen wie Wirkungsgrad, Leerlaufspannung, Kurzschlußstrom, Maximalleistung usw. ausgegeben. Zusätzliche Angaben über Datum und Zeit sowie den vermessenen Modultyp stehen unter dem Diagramm.

Bei der Darstellung der Maximalleistung über der Zeit unterscheidet man zwei Übersichten, nämlich die Tages- und Wochenübersicht.

Der Benutzer muß bei beiden Übersichtsformen das Laufwerk und den Pfad, auf dem sich die Daten befinden, eingeben. Ein nicht existierendes Laufwerk oder Pfad führt zu einer Fehlermeldung und zur Bitte um Neueingabe.

Verschiedene Beispiele für die Diagramme befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

7.7.1 Tagesübersicht

Der Anwender kann ein beliebiges, aber sinnvolles Datum auswählen und sich von einem Solarmodul die Leistungsverteilung über einen Zeitraum von einem Tag ausgeben lassen.

Ein zukünftiges Datum - von dem natürlich noch keine Werte vorliegen können - wird vom Programm nicht anerkannt und ruft eine Fehlermeldung hervor.

Auf der x-Achse ist die Zeit von 6.00 Uhr bis 23.00 Uhr aufgetragen. Angaben zum Modultyp, Datum, Zeit und der gemittelten Bestrahlungsstärke befinden sich unter dem Diagramm.

7.7.2 Wochenübersicht

Der Anwender gibt auch hier ein beliebiges Datum ein. Von diesem Startdatum an wird eine 7-Tages-Übersicht von einem Solarmodul erstellt.

Auf der x-Achse werden nun die entsprechenden Tage aufgetragen. Dabei wird sowohl ein Monatswechsel als auch ein Schaltjahr automatisch berücksichtigt.

Das Programm bildet Stundenmittelwerte der Leistung und trägt diese über den vorgegebenen Zeitraum auf. Die Einstrahlung wird ebenfalls wie bei der Tagesübersicht gemittelt und ausgedruckt.

8. Ausblick und Diskussion

Erste Testmessungen haben gezeigt, daß bei der Kennlinienaufnahme jeder Meßwert vom Programm überprüft werden sollte. Es kann gelegentlich vorkommen, daß nicht sinnvolle Strom- und Spannungswerte gemessen werden. Durch eine Prüfung erkennt das Programm solche Fehler und mißt gegebenenfalls den falschen Meßwert erneut.

Die Erhöhung des Laststroms in 50 mA-Schritten liefert für jede Kennlinie etwa 60 Meßpunkte. Damit läßt sich eine gute und ausreichende Auflösung bei relativ kurzer Meßzeit realisieren.

Durch die Umwandlung der Werte von Fließkomma- in Ganzzahlen und die damit verbundene Speicherplatzeinsparung lassen sich auf einer 3½ Zoll Diskette Meßdaten für fast 8 Tage speichern. Die wesentliche Begrenzung liegt aber nicht im Speicherplatz von 1,44 MB, sondern daran, daß das Betriebssystem MS-DOS in einem Verzeichnis nur bis zu 224 Dateien erlaubt. Bei der automatischen Meßwerterfassung werden pro Tag 30 Dateien gespeichert. Hier läßt sich aber durchaus durch entsprechende Programmierung noch eine Verbesserung erzielen.

Bei der Kennlinienmessung sind die Punkte Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom die kritischsten Stellen. Hier muß man erst einige längere Testreihen abwarten, um sagen zu können, ob eventuell Verbesserungen nötig sind und wenn ja, wie diese aussehen könnten.

Inwieweit bei der automatischen Meßwerterfassung die Zeitvorgabe von 6.00 Uhr bis 21.00 Uhr sinnvoll ist, läßt sich heute ebenfalls noch nicht sagen. Man könnte vielleicht eine variable Zeiteingabe programmieren und so im Sommer den Meßzeitraum vergrößern bzw. im Winter verkleinern.

Bei der Darstellung der Kurven für die Maximalleistung ergibt sich eine gute Auflösung durch die entsprechend hohe Zahl der Meßpunkte. Besonders bei der Wochenübersicht ist es von Vorteil, daß man den 7-Tages-Zeitraum frei wählen kann. Man ist so nicht auf eine Kalenderwoche angewiesen, sondern völlig frei in seiner Darstellungsform. Eine Monatsübersicht ist in absehbarer Zeit sicherlich auch von Interesse.

Überhaupt muß sich das ganze Sofwareprogramm noch im praktischen Einsatz bewähren. Erst wenn man einige Zeit damit gearbeitet hat, lassen sich Schwachstellen in der Handhabung und der Benutzerfreundlichkeit feststellen und beheben.

Die Versuchsanlage läßt sich ohne weiteres ausbauen. Bei der Anschaffung weiterer Module ist zu überlegen, ob das ganze Rechnersystem nicht von den Solargeneratoren selber mit Energie versorgt werden kann. Man benötigt dann einen Speicher mit Laderegler sowie eine Wechselrichter, welcher die Gleichspannung in 220 Volt Wechselspannung umformt. Auch ein Anpassungswandler - Maximum Power Point Tracker (MPPT) - wäre ab einer Anlage von ungefähr 200 Wp von Interesse.

Alle oben beschriebenen Verbesserungsvorschläge und Änderungen würden im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit sicherlich zusätzliche, neue Erkenntnisse im Bereich der amorphen Solarmodule bringen.

9. Literaturangaben

[1] Beuth, Klaus: Elektronik 2, Bauelemente. 12. Auflage, Würzburg: Vogel, 1989

[2] Krug, Wolfgang: Solartechnik II, Vorlesung an der Fachhochschule Aachen/Abt. Jülich, 1990

[3] Kuchling, Horst: Taschenbuch der Physik. 11. Auflage, Frankfurt/Main: Harri Deutsch, 1988

[4] Kulessa, Thomas: Aufbau eines Light Beam Induced Current Meßplatzes für amorphe Siliziumsolarzellen, Diplomarbeit FH Aachen/Abt. Jülich, 1991

[5] Muntwyler, Urs: Praxis mit Solarzellen. 3. Auflage, München: Franzis, 1990

[6] Nührmann, Dieter: Elektronische Bauelemente-Praxis. 2. Auflage, München: Franzis, 1989

[7] Nührmann, Dieter: Operationsverstärker-Praxis. 1. Auflage, München: Franzis, 1988

[8] Quick Basic Version 4.5: Handbuch von Microsoft Corporation. 1988/89

[9] Ritzenhoff, Peter: Erstellung eines Modells zur Simulation der Solarstrahlung auf beliebig orientierte Flächen und deren Trennung in Diffus- und Direktanteil, Bericht des Forschungszentrums Jülich, 1992

[10] Sacht, Hans-Joachim: Programmieren mit Quick Basic 4.0 und 4.5. 1. Auflage, Würzburg: Vogel, 1989

[11] Tietze, Ulrich/Schenk, Christoph: Halbleiter Schaltungstechnik. 5. Auflage, Berlin: Springer-Verlag, 1980

Anhang

```
'   Phomes ist ein Meßwerterfassungssystem für Solarmodule.
'   Photovoltaik Meßsystem  Phomes          Programmname: phomes1.bas
'   Version: 1.1
'   Datum  : 14.09.1992                     Zweck: Diplomarbeit
'   Autor  : Andreas Mück                   Sprache: Quick Basic 4.5
'            Tel.: 02271/61623
'   Betreuer der Arbeit:
'   Prof. Dr. H. Buck, FH Aachen/Abt. Jülich
'   Dipl.-Ing. W. Hilgers, Forschungszentrum Jülich Abt. ISI-PV
'   Geschichte:
'               Das Programm wurde getestet und in Betrieb genommen.
'               Es sind 6 Module angeschlossen.


'   **** Hauptprogramm ****
'Unterprogramme definieren
DECLARE SUB Maid (Selector$, Adr, Value1, Value2)
DECLARE SUB maxleistung ()
DECLARE SUB manuell ()
DECLARE SUB last ()
DECLARE SUB warte (zeitkonstante!)
DECLARE SUB diagramm ()
DECLARE SUB rahmen ()
DECLARE SUB auto ()
DECLARE SUB temp ()
DECLARE SUB alle ()
DECLARE SUB erhoehung ()
DECLARE SUB mess (ausgang!, code%)
DECLARE SUB pst (zeile$)
DECLARE SUB graph (W$, zeile$)
DECLARE SUB taggraph (W$)
DECLARE SUB wochegraph (W$)
DECLARE SUB werte (code%)


'Variablen und Felder definieren
DIM W   AS STRING * 1
DIM gain AS SINGLE
DIM Rep  AS SINGLE
DIM p(120)  AS SINGLE
DIM strom(8, 120)                       ' = strom(code,Meßwerte)
DIM spannung(8, 120)                    ' = spannung(code,Meßwert)
DIM temperatur(3)
DIM pmax(8)
DIM endwert(8) AS INTEGER               ' = endwert(code)
DIM stromint(8, 120) AS INTEGER         'jedes Modul hat einen code
DIM spannungint(8, 120) AS INTEGER
DIM temperaturint(3) AS INTEGER
DIM pmaxint(8) AS INTEGER
DIM mittelwert(8)
DIM mittelwertint(8) AS INTEGER

'Globale Variablen und Felder definieren
COMMON SHARED strom(), spannung(), temperatur(), pmax()
COMMON SHARED p() AS SINGLE
COMMON SHARED endwert() AS INTEGER
COMMON SHARED bestrahlung AS SINGLE
COMMON SHARED bestmittel AS SINGLE
COMMON SHARED bestrahlungint AS INTEGER
COMMON SHARED bestmittelint AS INTEGER
COMMON SHARED stromint() AS INTEGER, spannungint() AS INTEGER
COMMON SHARED temperaturint() AS INTEGER, pmaxint() AS INTEGER
COMMON SHARED dateiname AS STRING * 40
COMMON SHARED laufwerk  AS STRING * 20
COMMON SHARED modulanzahl AS INTEGER
COMMON SHARED faktorspannung  AS SINGLE
COMMON SHARED faktorstrom AS SINGLE
COMMON SHARED faktor AS SINGLE
```

```
COMMON SHARED Zeit AS SINGLE
COMMON SHARED mittelwert(), mittelwertint() AS INTEGER
COMMON SHARED y AS INTEGER, erkennung AS INTEGER


Zeit = .05                      'Zeitkonstante für Warteschleife festlegen
faktorspannung = 10.1           'Berücksichtigt Spannungsteiler in Phomes
faktorstrom = .876377           'Umrechnungsfaktor für Strom
faktor = 1.985559E-02           'Berücksichtigt Verstärkung
modulanzahl = 6                 'Anzahl der Module
ON ERROR GOTO fehler            'Fehlerverfolgung ein
CALL Maid("INIT", -576, 0, 0)   'maid aktivieren
CALL Maid("IO", 1, 1023, 0)     'alle Relais in Grundstellung
CALL Maid("DA312-B", 2, 0, 0)   'alle Analogausgänge auf 0 Volt
gain = 1                                'Eingangsmeßbereich auf 0-10 Volt
Rep = 16                                'Meßwiederholung auf 16 mal
CALL Maid("SETUP", RevCode, gain, Rep)
DO
  CLS
  CALL rahmen
  LOCATE 2, 20
  PRINT "P h o t o v o l t a i k  M e ß s y s t e m"
  LOCATE 4, 35
  PRINT "Hauptmenü"
  LOCATE 8, 25: PRINT "<M>anuelle Meßwerterfassung"
  LOCATE 10, 25: PRINT "<A>utomatische Meßwerterfassung"
  LOCATE 12, 25: PRINT "<L>ast einschalten"
  LOCATE 14, 25: PRINT "<T>emperatur/Bestrahlungsstärke ausgeben"
  LOCATE 16, 25: PRINT "<D>iagramme ausgeben"
  LOCATE 18, 25: PRINT "<E>nde"
  DO
    W = INKEY$
  LOOP WHILE W <> "m" AND W <> "a" AND W <> "l" AND W <> "t" AND W <> "d" AND W <> "e"
  SELECT CASE W
    CASE "m": CALL manuell
    CASE "a": CALL auto
    CASE "l": CALL last
    CASE "t": CALL temp
    CASE "d": CALL diagramm
  END SELECT
ende:
LOOP WHILE W <> "e"
END
fehler:
   BEEP                                 'Bei Fehler Signalton
   IF ERR = 61 THEN                     'Bei Fehlercode 61 Sonderbehandlung
     LOCATE 18, 27: PRINT "Diskette/Festplatte voll"
     LOCATE 19, 27: PRINT "Verlassen Sie das Menü mit <ESC> "
     DO
        W = INKEY$
     LOOP WHILE W <> CHR$(27)
     GOTO ausgang
   ELSE
   SELECT CASE ERR                              'Fehlercode anzeigen
     CASE 1: LOCATE 18, 25: PRINT "Ihre Eingabe ergibt keinen Sinn!"
             LOCATE 20, 27
             INPUT "Neue Eingabe: ", dateiname        'Neue Eingabe
             RESUME NEXT
     CASE 53: LOCATE 18, 27: PRINT "Datei nicht gefunden"
     CASE 64: LOCATE 18, 27: PRINT "Unzulässiger Dateiname"
     CASE 67: LOCATE 18, 27: PRINT "Zu viele Dateien"
     CASE 68: LOCATE 18, 27: PRINT "Gerät nicht verfügbar"
     CASE 70: LOCATE 18, 27: PRINT "Zugriff nicht gestattet"
     CASE 71: LOCATE 18, 27: PRINT "Diskette/Festplatte nicht bereit"
     CASE 76: LOCATE 18, 27: PRINT "Pfad nicht gefunden"
     CASE ELSE: LOCATE 18, 27: PRINT "Fehler!  "; ERR
   END SELECT
   LOCATE 20, 27
   INPUT "Neue Eingabe: ", dateiname            'Neue Eingabe
```

```
   LOCATE 18, 27
   PRINT "                                    " 'Zeilen wieder löschen
   LOCATE 20, 27
   PRINT "                                    "
   END IF
ausgang: RESUME
diagrammfehler:
   p(y) = 0                        'Bei Fehler wird pmax(y) auf Null gesetzt.
   CLOSE #1                        'Datei schließen
   erkennung = 1                   'Erkennung auf 1 setzen
   RESUME NEXT
verlassen: KEY(1) OFF: GOTO ende                    'Bei Betätigung von F1
                                                    'in UP "auto" gehe zu ende
'   **** Ende Hauptprogramm ****

SUB alle
'   **** Procedure alle ****
'Die Procedure mißt alle Module ( + 3 Temp. u. Bestrahlungsstärke).
'Die Variable "code" ist in diesem UP selbstständig. Sie wird am Ende nicht
'an die Procedure "manuell" zurückgegeben. Die Variabel "code" in "manuell"
'ist später = 99 und dient zur Erkennung beim Abspeichern.

DIM i AS INTEGER
DIM a AS INTEGER
DIM v1 AS SINGLE
DIM code AS INTEGER
DIM spg AS SINGLE
DIM kanal AS SINGLE
DIM digit AS INTEGER
DIM alpha  AS SINGLE
DIM beta AS SINGLE

alpha = 3.90784E-03                        'Konstanten alpha und beta
beta = -5.78408E-07                        'sind für die Temperaturberechnung
FOR i = 1 TO 3
   kanal = (i - 1)
   CALL Maid("AD812", 3, temperatur(i), kanal)   '3 Temperaturen messen
   'Formel zur Temperaturberechnung
   temperatur(i) = temperatur(i) / 6
   temperatur(i) = (1 / alpha * (temperatur(i) - 1)) / (1 + beta / (alpha * alpha) * (temperatur(i) - 1))
NEXT i
kanal = 4
CALL Maid("AD812", 3, bestrahlung, kanal)        'Bestrahlungsstärke messen
'Formel zur Berechnung der Bestrahlungstärke
'1000 W/m² = 100 mV
bestrahlung = bestrahlung * faktor
bestrahlung = bestrahlung * 10000
ausgang = 959                                    'Relaiswert voreinstellen
code = 7                                         'Code voreinstellen
v1 = 1                                           'Analoausgnag von maid wählen
digit = 64                                       'Variable um nächstes
                                                 'Modul auszuwählen
FOR i = 1 TO modulanzahl                        'Messung starten bis modulanzahl
    spg = 0: a = 0                              'Spg u. Laufindex setzen
    digit = digit / 2
    code = code - 1                             'nächster code wählen
    endwert(code) = 0                           'endwert auf 0 setzen
    ausgang = ausgang + digit                   'nächstes Relais wählen
    CALL Maid("IO", 1, ausgang, 0)              'Relais durchschalten
    CALL warte(Zeit)                            '50 ms warten
    DO                                          'Messung mit "code"-Modul
      a = a + 1                                 'beginnen
      CALL Maid("DA312-B", 2, spg, v1)          'Analogausgang setzen
      CALL warte(Zeit)                          '50 ms warten
      CALL Maid("AD812", 3, strom(code, a), 5) 'Strom messen auf Kanal 5
      CALL Maid("AD812", 3, spannung(code, a), 6)'Spannung messen auf Kanal 6
      'Umrechnung von Strom und Spannung
      strom(code, a) = strom(code, a) * faktorstrom
      spannung(code, a) = spannung(code, a) * faktorspannung
```

```
      spg = spg + .05                          'Spannung schrittweise erhöhen
      endwert(code) = endwert(code) + 1        'endwert erhöhen
    LOOP WHILE spannung(code, a) >= 1.5        'Abbruchbedingung
NEXT i
CALL Maid("IO", 1, 1023, 0)                   'Relais in Grundstellung
CALL Maid("DA312-B", 2, 0, v1)                'Analogausgang auf 0 V
CALL maxleistung                              'pmax(code) bestimmen
'  **** Ende Procedure alle ****
END SUB

SUB auto
'   **** Procedure auto ****
'Diese Procedure führt eine automatische Meßwerterfassung in der Zeit von
'6.00 bis 21.00 Uhr durch. Alle 30 Minuten werden die Ergebnisse
'abgepeichert; zusätzlich werden die Mittelwerte der Punkte maximaler
'Leistung für alle Module abgespeichert. Dies geschieht wie folgt:
'1 mal in der Minute werden alle Module durchgemessen und die Punkte
'maximaler Leistung ermittelt. Gleichzeitig werden die Mittelwerte für jedes
'Modul berechnet. Nach 30 Minuten ( 30 Mittelwerte) werden alle Meßdaten
'zusammen mit den Mittelwerten abgespeichert. Das Unterprogramm wartet eine
'definierte Zeit und start neu. Abgespeichert wird wahlweise auf Platte
'oder Diskette (JJMMTTSS mm). Das verlassen des Unterprogrammes ist
'mit "F1" möglich.

DIM n AS INTEGER
DIM i AS INTEGER
DIM code AS INTEGER
DIM datum AS STRING * 8
DIM jahr AS STRING * 2
DIM monat AS STRING * 2
DIM tag AS STRING * 2
DIM mi AS STRING * 2
DIM hi AS STRING * 5
DIM stunde AS STRING * 2
DIM minute AS STRING * 2
DIM sekunde AS STRING * 2
DIM hilfe AS STRING * 5
DIM W AS STRING * 1
DIM statuszeile1 AS STRING * 78
DIM statuszeile2 AS STRING * 78

ON KEY(1) GOSUB verlassen            'Zum Verlassen von "auto" F1
KEY(1) ON                            'Tastenerkennung ein
statuszeile1 = "code=99 alle Module,1 Siemens,2 APS,3 Chronar,4 Rade Concar,5 Sovonics,6 PST"
statuszeile2 = "Reihenfolge: code, Endwerte, pmax, Temperaturen, Bestrahl. u. Meßw. < I U >"
code = 99
CLS
CALL rahmen
LOCATE 2, 20
PRINT "P h o t o v o l t a i k  M e ß s y s t e m "
LOCATE 4, 24
PRINT "Menü: Automatische Meßwerterfassung"
LOCATE 7, 10
PRINT "Die Meßwerterfassung erfolgt in der Zeit von 6.00 bis 21.00 Uhr."
LOCATE 8, 10
PRINT "Alle 30 Minuten werden die Ergebnisse automatisch gespeichert."
LOCATE 10, 14
PRINT "Komplette IU-<K>ennlinie / Nur <P>max aufnehmen "
DO
  W = INKEY$
LOOP WHILE W <> "k" AND W <> "p"
LOCATE 10, 10                                  'letzte Zeile löschen
PRINT "                                          "
LOCATE 11, 12
IF W = "k" THEN
   PRINT "Es werden die kompletten Kennlienien aller Module gemessen "
   ELSE PRINT "Es werden nur die Mittelwerte von Pmax ermittelt."
END IF
```

```
LOCATE 22, 27
PRINT " Zum Hauptmenü <F1>"
LOCATE 12, 12
INPUT "Bitte geben Sie das Laufwerk und den Pfad ein ", dateiname
OPEN "o", #1, RTRIM$(dateiname) + "\xx.xx"   'zur Probe öffnen, um eventuell
CLOSE #1                                     'Fehler zu erkennen
KILL RTRIM$(dateiname) + "\xx.xx"            'Probedatei wieder löschen
'Benutzer mitteilen wo er speichern will (Überschreibt die Eingabe)
LOCATE 12, 12
PRINT "                                                                    "
LOCATE 12, 23
PRINT "Datensicherung auf Laufwerk "; RTRIM$(dateiname)

DO
  ERASE mittelwert, mittelwertint
  ERASE strom, spannung, temperatur, endwert, pmax    'alle Felder löschen
  ERASE stromint, spannungint, temperaturint, pmaxint 'Hilfsfelder löschen
  bestrahlung = 0                                     'Variablen löschen
  n = 0
  bestmittelint = 0                                  'Hilfsvariable löschen
  bestmittel = 0
  stunde = LEFT$(TIME$, 2)           'die Stunde von der Systemzeit einlesen
  WHILE stunde < "06" OR stunde > "20"  'Warteschleife solange mindestens
     SLEEP 1                            'eine Bedingungen wahr ist
     LOCATE 14, 12
     PRINT "==> Das System befindet sich im Ruhezustand <==          "
     'Datum einlesen
     jahr = RIGHT$(DATE$, 2)      'Jahr einlesen
     monat = LEFT$(DATE$, 2)      'Monat einlesen
     hi = LEFT$(DATE$, 5)
     tag = RIGHT$(hi, 2)          'Tag einlesen
     datum = tag + "." + monat + "." + jahr
     LOCATE 16, 20
     PRINT TIME$, " ", datum          'Zeit und Datum auf Bildschirm
     stunde = LEFT$(TIME$, 2)         'die Stunde von der Systemzeit einlesen
  WEND
  hilfe = RIGHT$(TIME$, 5)        'Minute der Systemzeit einlesen
  minute = LEFT$(hilfe, 2)
  sekunde = RIGHT$(TIME$, 2)      'Sekunden einlese
  'Speichern bei 29.50 und 59.50. Messung solange mindestens eine Bedingung
  'richtig ist.
  WHILE (minute <> "29" AND minute <> "59") OR sekunde <> "50"
    LOCATE 14, 12
    PRINT "==> Das System befindet sich in der Langzeitmessung <=="
    'Datum einlesen
    jahr = RIGHT$(DATE$, 2)      'Jahr einlesen
    monat = LEFT$(DATE$, 2)      'Monat einlesen
    hi = LEFT$(DATE$, 5)
    tag = RIGHT$(hi, 2)          'Tag einlesen
    datum = tag + "." + monat + "." + jahr
    LOCATE 16, 20
    PRINT TIME$, " ", datum
    sekunde = RIGHT$(TIME$, 2)          'Sekunden der Systemzeit einlesen
    IF sekunde = "05" THEN              'messe bei 5. Sek
      CALL alle
      n = n + 1
  'Mittelwertbildung für pmax und Bestrahlungsstärke nach folgender Formel:
      'Mittelwert = (n-1) Wert + Neuwert / n
      FOR i = 1 TO modulanzahl
          mittelwert(i) = (((n - 1) * mittelwert(i)) + pmax(i)) / n
      NEXT i
      bestmittel = (((n - 1) * bestmittel) + bestrahlung) / n
    END IF
      hilfe = RIGHT$(TIME$, 5)
      minute = LEFT$(hilfe, 2)
      sekunde = RIGHT$(TIME$, 2)
  WEND
  'Nach 29 Minuten und 50 Sekunden wird die Mittelwertbildung von pmax und
  'Bestrahlungsstärke beendet.
```

```
  FOR i = 1 TO modulanzahl                    'alle Meßwerte in Integer-Werte
     mittelwertint(i) = INT(mittelwert(i) * 10 + .5)  'umwandeln
  NEXT i
  FOR i = 1 TO 3
     temperaturint(i) = INT(temperatur(i) * 1 + .5)
  NEXT i
  bestmittelint = INT(bestmittel * 1 + .5)
  FOR a = 1 TO modulanzahl
       FOR i = 1 TO endwert(a)
          stromint(a, i) = INT(strom(a, i) * 100 + .5)
          spannungint(a, i) = INT(spannung(a, i) * 10 + .5)
       NEXT i
  NEXT a
  'Es wird wie folgt gespeichert:  JJMMTTSS.mm
  'rtrim$ entfernt alle rechten Leerzeichen.
  'date$ liefert   MM-TT-JJJJ
  'time$ liefert SS:MM:ss ; mit Hilfe von right$ und left$
  'kann man einzelne Stellen lesen.
  jahr = RIGHT$(DATE$, 2)      'Jahr einlesen
  monat = LEFT$(DATE$, 2)      'Monat einlesen
  hi = LEFT$(DATE$, 5)
  tag = RIGHT$(hi, 2)          'Tag einlesen
  stunde = LEFT$(TIME$, 2)     'Stunde einlesen
  hi = RIGHT$(TIME$, 5)
  mi = LEFT$(hi, 2)            'Minuten einlesen
  datum = tag + "." + monat + "." + jahr
  OPEN "o", #1, RTRIM$(dateiname) + "\" + jahr + monat + tag + stunde + "." + mi
  PRINT #1, "phomes1.1 "; datum; " "; TIME$    'Programmversion, Datum,
  PRINT #1, statuszeile1                       'Zeit, Statuszeile1
  PRINT #1, statuszeile2                       ' Statuszeile2  und
  PRINT #1, code                               'Code speichern.
  IF W = "k" THEN                        'wenn komplette Kennlinie gewählt,
     FOR i = 1 TO modulanzahl            'dann alle Endwerte speichern.
        PRINT #1, endwert(i)
     NEXT i
     FOR i = 1 TO modulanzahl
        PRINT #1, mittelwertint(i)            'pmaxwerte speichern
     NEXT i
     FOR i = 1 TO 3
        PRINT #1, temperaturint(i)       'Temperaturen speichern
     NEXT i
     PRINT #1, bestmittelint             'Bestrahlungsstärke speichern
     FOR a = 1 TO modulanzahl            'I und U Werte speichern und zwar
        FOR i = 1 TO endwert(a)          'nur bis "endwert"
           PRINT #1, stromint(a, i); spannungint(a, i)
        NEXT i
    NEXT a
    ELSE                                  'falls nur pmax gewählt, dann alle
     FOR i = 1 TO modulanzahl             'Endwerte = 0. (Dies dient zur
        PRINT #1, endwert(i) = 0          'späteren Wiedererkennung.)
     NEXT i
     FOR i = 1 TO modulanzahl
        PRINT #1, mittelwertint(i)            'pmaxwerte speichern
     NEXT i
     FOR i = 1 TO 3
        PRINT #1, temperaturint(i)       'Temperaturen speichern
     NEXT i
     PRINT #1, bestmittelint             'Bestrahlungsstärke speichern
    END IF
  CLOSE #1                'Datei schließen
  DO
     sekunde = RIGHT$(TIME$, 2)           'Sekunde einlesen
  LOOP WHILE sekunde <> "00"              'warten bis sekunde = 00
LOOP
'   **** Ende Procedure auto ****
END SUB

SUB diagramm
'   **** Procedure diagramm ****
```

```
'In dieser Procedure können IU Kennlinien und Pmax t Kennlinien aus-
'gegeben werden. Mit Hilfe der Bibliothek "graphpak" ist eine Drucker-
'ausgabe möglich, diese Ausgabe findet in den entsprechenden Unterprogrammen
'statt.

DIM frage AS STRING * 1
DIM W AS STRING * 1
DIM f AS STRING * 1
DIM i AS INTEGER
DIM a AS INTEGER
DIM code AS INTEGER
DIM zeile(3) AS STRING * 78

CLS
CALL rahmen
LOCATE 2, 20
PRINT "P h o t o v o l t a i k  M e ß s y s t e m"
LOCATE 4, 35
PRINT "Menü: Diagramm"
LOCATE 7, 6
PRINT "Es besteht die Möglichkeit verschiedene Diagramme auf dem Bildschirm"
LOCATE 8, 6
PRINT "auszugeben. Ist eine Druckerausgabe erwünscht, so betätigen Sie nach"
LOCATE 9, 6
PRINT "Erstellung des Diagramms die Taste 'd', oder verlassen Sie das Menü "
LOCATE 10, 6
PRINT "mit 'Esc'."
LOCATE 12, 14
PRINT "<I>U-Kennlinie oder <P>max t-Kennlinie ausgeben" 'Abfrage was ausge-
DO                                                       'geben werden soll.
  frage = INKEY$
LOOP WHILE frage <> "i" AND frage <> "p"
IF frage = "i" THEN                        'wenn IU Kennlinie gewählt
   LOCATE 13, 6
   PRINT "Werte von <D>iskette/Festplatte oder aus <t>emporären Speicher laden "
   DO
      W = INKEY$                           'Abfrage ob von Diskette/Festplatte
   LOOP WHILE W <> "d" AND W <> "t"        'geladen werden soll
   IF W = "d" THEN                        'Wenn laden, dann Dateiname erfragen
     LOCATE 14, 14
     INPUT "Laufwerk, Pfad und Dateiname eingeben ", dateiname
     OPEN "i", #1, dateiname          'öffnen zum Daten einlesen
     FOR i = 1 TO 3                   'die drei Infozeilen einlesen
       LINE INPUT #1, zeile(i)
     NEXT i
     INPUT #1, code                   'code einlesen
     IF code = 99 THEN                'wenn code = 99, dann alle endwerte(i)
       FOR i = 1 TO modulanzahl       'und alle pmax(i) einlesen
          INPUT #1, endwert(i)
       NEXT i
       FOR i = 1 TO modulanzahl
          INPUT #1, pmaxint(i)
       NEXT i
     ELSE INPUT #1, endwert(code)       'wenn code <> 99, dann nur den einen
          INPUT #1, pmaxint(code)       'endwert und den einen pmax einlesen
     END IF
     FOR i = 1 TO 3
       INPUT #1, temperaturint(i)  'alle drei Temperaturen einlesen
     NEXT i
     INPUT #1, bestrahlungint         'Bestrahlungsstärke einlesen
     IF code = 99 THEN                'wenn code=99 alle Strom- und Spannungs-
       FOR a = 1 TO modulanzahl       'Werte einlesen
         FOR i = 1 TO endwert(a)
           INPUT #1, stromint(a, i), spannungint(a, i)
         NEXT i
       NEXT a
     ELSE FOR i = 1 TO endwert(code)        'Wenn code <> 99
            INPUT #1, stromint(code, i), spannungint(code, i)
          NEXT i
```

```
      END IF
    CLOSE #1                          'Datei schließen
    ELSE                              'wenn Werte aus temporäen Speicher, dann
    FOR i = 1 TO modulanzahl                  'alle Meßwerte in Integer-Werte
       pmaxint(i) = INT(pmax(i) * 10 + .5)     'umwandeln
    NEXT i
    FOR i = 1 TO 3
       temperaturint(i) = INT(temperatur(i) * 1 + .5)
    NEXT i
    bestrahlungint = INT(bestrahlung * 1 + .5)
    FOR a = 1 TO modulanzahl
        FOR i = 1 TO endwert(a)
           stromint(a, i) = INT(strom(a, i) * 100 + .5)
           spannungint(a, i) = INT(spannung(a, i) * 10 + .5)
        NEXT i
    NEXT a
      END IF
    'Benutzerhinweis
    LOCATE 16, 24: PRINT "Wählen Sie ein Modul aus:"
    LOCATE 18, 20: PRINT "<S>iemens              <R>ade Koncar"
    LOCATE 19, 20: PRINT "<A>PS                  S<o>vonics"
    LOCATE 20, 20: PRINT "<C>hronar France       <P>ST"
    DO
      W = INKEY$
    LOOP WHILE W <> "s" AND W <> "p" AND W <> "c" AND W <> "r" AND W <> "a" AND W <> "o"
    IF W = "p" THEN   'wenn PST Modul ausgewählt ist, dann
      CALL pst(zeile(1))              'UP pst aufrufen
    ELSE                              'sonst UP graph aufrufen
      CALL graph(W, zeile(1))
      END IF
ELSE                            'wenn Pmat t Kennlinie gewählt
LOCATE 14, 15
PRINT "<T>agesübersicht oder <W>ochenübersicht wählen "
DO
  f = INKEY$                          'Tages- oder Wochenübersicht wählen
LOOP WHILE f <> "t" AND f <> "w"
LOCATE 16, 27: PRINT "Wählen Sie ein Modul aus:"
LOCATE 18, 26: PRINT "<S>iemens              <R>ade Koncar"
LOCATE 19, 26: PRINT "<A>PS                  S<o>vonics"
LOCATE 20, 26: PRINT "<C>hronar France       <P>ST"
DO
  W = INKEY$
LOOP WHILE W <> "s" AND W <> "p" AND W <> "c" AND W <> "r" AND W <> "a" AND W <> "o"
SELECT CASE f
  CASE "t": CALL taggraph(W)              'UP tag aufrufen
  CASE "w": CALL wochegraph(W)            'UP woche aufrufen
END SELECT
END IF
'   **** Ende Procedure diagramm ****
END SUB

SUB erhoehung
'   **** Procedure erhoehung ****
'Diese Procedure erhöht das Datum um eine Tag.

DIM tagmon(12)  AS INTEGER

'Anzahl der Tage eines jeden Montas festlegen
tagmon(1) = 31: tagmon(2) = 0: tagmon(3) = 31: tagmon(4) = 30
tagmon(5) = 31: tagmon(6) = 30: tagmon(7) = 31: tagmon(8) = 31:
tagmon(9) = 30: tagmon(10) = 31: tagmon(11) = 30: tagmon(12) = 31

'dateiname in J1 J2 M1 M2 T1 T2 aufteilen
J1$ = LEFT$(dateiname, 1)                 'J1
hilfe$ = LEFT$(dateiname, 2)
J2$ = RIGHT$(hilfe$, 1)                   'J2
hilfe$ = LEFT$(dateiname, 3)
M1$ = RIGHT$(hilfe$, 1)                   'M1
hilfe$ = LEFT$(dateiname, 4)
```

```
M2$ = RIGHT$(hilfe$, 1)                    'M2
hilfe$ = LEFT$(dateiname, 5)
T1$ = RIGHT$(hilfe$, 1)                    'T1
hilfe$ = LEFT$(dateiname, 6)
T2$ = RIGHT$(hilfe$, 1)                    'T2

'String-Werte in INT-Werte umwandeln
tt1% = (ASC(T1$) - 48) * 10
tt2% = (ASC(T2$) - 48) * 1
mm1% = (ASC(M1$) - 48) * 10
mm2% = (ASC(M2$) - 48) * 1
jj1% = (ASC(J1$) - 48) * 10
jj2% = (ASC(J2$) - 48) * 1

'INT-Werte zusammenfassen in j m t
tt% = tt1% + tt2%
mm% = mm1% + mm2%
jj% = jj1% + jj2%


IF (jj% MOD 4) = 0 THEN                    'Abfrage ob Schaltjahr
   tagmon(2) = 29
   ELSE
   tagmon(2) = 28
END IF
tt% = tt% + 1                        'Tag um eins erhöhen
IF tagmon(mm%) < (tt%) THEN          'Abfrage ob neuer Monat
   mm% = mm% + 1
   tt% = 1
END IF
IF mm% = 13 THEN                           'Abfrage ob neues Jahr
   jj% = jj% + 1
   tt% = 1
   mm% = 1
END IF
IF jj% = 100 THEN                          'Abfrage ob Jahr 2000 erreicht
   jj% = 0
END IF

'INT-Werte wieder trennen in jj mm tt
IF tt% < 10 THEN
   tt2% = tt%: tt1% = 0
   ELSE tt2% = tt% MOD 10: tt1% = (tt% - tt2%) / 10
END IF
IF mm% < 10 THEN
   mm2% = mm%: mm1% = 0
   ELSE mm2% = mm% MOD 10: mm1% = (mm% - mm2%) / 10
END IF
IF jj% < 10 THEN
   jj2% = jj%: jj1% = 0
   ELSE
   jj2% = jj% MOD 10: jj1% = (jj% - jj2%) / 10
END IF

'Umwandlung in String
T1$ = CHR$(tt1% + 48)
T2$ = CHR$(tt2% + 48)
M1$ = CHR$(mm1% + 48)
M2$ = CHR$(mm2% + 48)
J1$ = CHR$(jj1% + 48)
J2$ = CHR$(jj2% + 48)
dateiname = J1$ + J2$ + M1$ + M2$ + T1$ + T2$
'   **** Ende Procedure erhoehung ****
END SUB

SUB graph (W$, zeile$)
'   **** Procedure graph ****
'Diese Procedure zeichnet eine IU Kennlinie für alle Module, nicht aber für
'das PST Modul. Die Spannungs- und Strom Int-Werte werden entsprechend um-
```

```
'gerechnet.

DIM st(120) AS SINGLE
DIM sp(120) AS SINGLE
DIM hsp AS SINGLE
DIM hst AS SINGLE
DIM i AS INTEGER
DIM code AS INTEGER
DIM taste AS STRING * 1
DIM modul AS STRING * 15

CLS
SELECT CASE W$                                  'code und Name des Moduls
   CASE "s": code = 1: modul = "Siemens"        'festlegen
   CASE "a": code = 2: modul = "APS"
   CASE "c": code = 3: modul = "Chronar France"
   CASE "r": code = 4: modul = "Rade Kronar"
   CASE "o": code = 5: modul = "Sovonics"
END SELECT
FOR i = 1 TO endwert(code)                      'Erst Int Werte umrechnen,
    strom(code, i) = stromint(code, i) / 100    'dann Umrechnung für
    st(i) = strom(code, i) * 250                'Zeichnung.
    spannung(code, i) = spannungint(code, i) / 10
    sp(i) = spannung(code, i) * 18
NEXT i
SCREEN 12                          '640 * 480 Punkte
WINDOW (-30, -130)-(450, 510)      'Koordinatensystem zeichen
PSET (0, 0)                        ' ->  450 Pkte
LINE -STEP(0, 500)                 '^    500 Pkte
LINE (0, 0)-(570, 0)

i = 25                             'y Achse skaliert
DO                                 '25 Pkte = 0.1 A
   PSET (-1, i)
   i = i + 25
LOOP WHILE i <= 500

i = 18                             'x Achse skalieren
DO                                 '18 Pkte = 1 V
   PSET (i, -2)
   i = i + 18
LOOP WHILE i <= 450

LOCATE 22, 2: PRINT "0.2"
LOCATE 15, 2: PRINT "0.8"
LOCATE 8, 2: PRINT "1.4"
LOCATE 2, 2: PRINT "I/A"

LOCATE 25, 71: PRINT "22"
LOCATE 25, 59: PRINT "18"
LOCATE 25, 47: PRINT "14"
LOCATE 25, 35: PRINT "10"
LOCATE 25, 21: PRINT "5"
LOCATE 25, 77: PRINT "U/V"
LOCATE 27, 2: PRINT "Modul: "; modul              'Ausgabe von Modul, Datum,
LOCATE 27, 58: PRINT RTRIM$(RIGHT$(zeile$, 68))   'Zeit und Bestrahlung
LOCATE 27, 25: PRINT "Bestrahlungsstärke: "; bestrahlungint; " W/m²"
PSET (sp(1), st(1))                               'Ersten Pkt zeichnen
FOR i = 1 TO (endwert(code) - 1)
    hsp = sp(i + 1) - sp(i)                       'Differenz zwischen benachbarten
    hst = st(i + 1) - st(i)                       'Pkt berechen und zeichnen. Für
    LINE -STEP(hsp, hst)                          ' Spannung und Strom.
NEXT i
DO                                                'Auf Eingabe warten
   taste = INKEY$
LOOP WHILE taste <> "d" AND taste <> CHR$(27)
IF taste = "d" THEN                               'Wenn Druckerausgabe gewählt,
  CALL scrndump("100", 1, 0)                      'dann UP scrndump und UP werte
  CLS : CALL werte(code)                          'aufrufen
```

```
  CALL scrndump("100", 1, 0)
END IF
SCREEN 0
'   **** Ende Procedure graph ****
END SUB

SUB last
'   **** Procedure last ****
'Mit dieser Procedure läßt sich eine Last einschalten.
'Alle Module (bis auf PST) werden parallel geschaltet.
'Die Leistung ist an den Klemmen abgreifbar.

DIM ausgang AS SINGLE
DIM W AS STRING * 1

CLS
CALL rahmen
LOCATE 2, 20
PRINT "P h o t o v o l t a i k   M e ß s y s t e m"
LOCATE 4, 30
PRINT "Menü: Last einschalten"
LOCATE 10, 20
PRINT "Die Module sind parallel geschaltet."
LOCATE 12, 17
PRINT "rote Klemme positiv      schwarze Klemme negativ "
LOCATE 18, 30
PRINT "Zum Hauptmenü <ESC>"
ausgang = 767                  'Relais Nr. 9 durchschalten
CALL Maid("IO", 1, ausgang, 0)
DO
  W = INKEY$                   'Auf Tastatureingabe warten
LOOP WHILE W <> CHR$(27)       'Schleife bis Taste= ESC
ausgang = 1023                 'Relais Nr.9 (und alle anderen) in Grundzustand
CALL Maid("IO", 1, ausgang, 0)
'   **** Ende Procedure last ****
END SUB

SUB manuell
'   **** Procedure manuell ****
'Mit dieser Procedure kann eine manuelle Meßwerterfassung durchge-
'führt werden. Der Benutzer wählt ein Modul aus. Dieses wird gemessen.
'Die Meßergebnisse - einschließlich Temp. u. Bestrahlungsstärke - werden
'in einen temporären Speicher gesichert und können, wenn erwünscht, ab-
'gespeichert werden.

DIM statuszeile1 AS STRING * 78
DIM statuszeile2 AS STRING * 78
DIM W AS STRING * 1
DIM speichern AS STRING * 1
DIM i  AS INTEGER
DIM a AS INTEGER
DIM ausgang AS SINGLE
DIM code AS INTEGER
DIM tag AS STRING * 2
DIM monat AS STRING * 2
DIM jahr AS STRING * 2
DIM hi AS STRING * 5
DIM datum AS STRING * 8


ERASE strom, spannung, temperatur, endwert, pmax    'alle Felder löschen
ERASE stromint, spannungint, temperaturint, pmaxint 'alle Hilfsfelder löschen
bestrahlung = 0                                     'Variable löschen
bestrahlungint = 0                                  'Hilfsvariable löschen
CLS
statuszeile1 = "code=99 alle Module,1 Siemens,2 APS,3 Chronar,4 Rade Concar,5 Sovonics,6 PST"
statuszeile2 = "Reihenfolge: code, Endwerte, pmax, Temperaturen, Bestrahl. u. Meßw. < I U >"
CALL rahmen
LOCATE 2, 20
```

```
PRINT "P h o t o v o l t a i k   M e ß s y s t e m"
LOCATE 4, 25
PRINT "Menü: Manuelle Meßwerterfassung"
LOCATE 7, 27: PRINT "Wählen Sie ein Modul aus:"
LOCATE 10, 26: PRINT "<S>iemens              <R>ade Koncar"
LOCATE 12, 26: PRINT "<A>PS                  S<o>vonics"
LOCATE 14, 26: PRINT "<C>hronar France       <P>ST"
LOCATE 16, 26: PRINT "           a<l>le Module"
DO
  W = INKEY$
LOOP WHILE W <> "s" AND W <> "p" AND W <> "c" AND W <> "r" AND W <> "a" AND W <> "o" AND W <> "l"
SELECT CASE W
     CASE "s": ausgang = 1022: code = 1        'Relais Nr 1
     CASE "a": ausgang = 1021: code = 2        'Relais Nr.2
     CASE "c": ausgang = 1019: code = 3        'Relais Nr.3
     CASE "r": ausgang = 1015: code = 4        'Relais Nr.4
     CASE "o": ausgang = 1007: code = 5        'Relais Nr.5
     CASE "p": ausgang = 991: code = 6         'Relais Nr.6
     CASE "l": code = 99                 '"code"=99 besagt, daß alle Module ge-
END SELECT                               'messen werden. "code" wird nicht an
LOCATE 22, 28: PRINT "Messung läuft, bitte warten"   'UP alle übergeben
IF W = "l" THEN                            'Auswahl ob ein oder alle Module
   CALL alle                               'gemessen werden.
    ELSE CALL mess(ausgang, code)
END IF
CLS                                      'neuer Bildschirm, nachdem Messung
CALL rahmen                              'beendet.
LOCATE 2, 20
PRINT "P h o t o v o l t a i k   M e ß s y s t e m"
LOCATE 4, 25
PRINT "Menü: Manuelle Meßwerterfassung"
LOCATE 8, 27: PRINT "Messung ist beendet!"
LOCATE 10, 18
PRINT "Die Werte befinden sich im temporären Speicher."
LOCATE 11, 13
PRINT "Sie haben die Möglichkeit in das Hauptmenü zurückzugehen ohne"
LOCATE 12, 13
PRINT "das die Werte verloren gehen oder die Meßwerte zu speichern. "
LOCATE 14, 27
PRINT "Wollen Sie speichern?  <j/n>  "
DO
    speichern = INKEY$
LOOP WHILE speichern <> "j" AND speichern <> "n"
IF speichern = "j" THEN                     'Wenn speichern =j, dann
   FOR i = 1 TO modulanzahl                 'alle Meßwerte in Integer-Werte
      pmaxint(i) = INT(pmax(i) * 10 + .5)   'umwandeln
   NEXT i
   FOR i = 1 TO 3
      temperaturint(i) = INT(temperatur(i) * 1 + .5)
   NEXT i
   bestrahlungint = INT(bestrahlung * 1 + .5)
   FOR a = 1 TO modulanzahl
       FOR i = 1 TO endwert(a)
          stromint(a, i) = INT(strom(a, i) * 100 + .5)
          spannungint(a, i) = INT(spannung(a, i) * 10 + .5)
       NEXT i
   NEXT a
   'Datum bestimmen ( TT.MM.JJ)
   jahr = RIGHT$(DATE$, 2)
   monat = LEFT$(DATE$, 2)
   hi = LEFT$(DATE$, 5)
   tag = RIGHT$(hi, 2)
   datum = tag + "." + monat + "." + jahr
   LOCATE 16, 17
   INPUT "Pfad und Dateiname eingeben: ", dateiname
   OPEN "o", #1, dateiname
   PRINT #1, "phomes1.1 "; datum; " "; TIME$    'Programmversion, Datum,
   PRINT #1, statuszeile1                       'Zeit, Statuszeile1
   PRINT #1, statuszeile2                       'Statuszeile2  und
```

```
    PRINT #1, code                              'Code speichern.
    IF W = "1" THEN                            'Wenn alle Module gemessen wurden,
       FOR i = 1 TO modulanzahl                'dann alle Endwerte speichern.
           PRINT #1, endwert(i)
       NEXT i
       FOR i = 1 TO modulanzahl
           PRINT #1, pmaxint(i)               'pmaxwerte speichern
       NEXT i
       FOR i = 1 TO 3
          PRINT #1, temperaturint(i)          'Temperaturen speichern
       NEXT i
          PRINT #1, bestrahlungint              'Bestrahlungsstärke speichern
       FOR a = 1 TO modulanzahl               'I und U Werte speichern und zwar
           FOR i = 1 TO endwert(a)            'nur bis "endwert"
             PRINT #1, stromint(a, i); spannungint(a, i)
           NEXT i
       NEXT a
    ELSE                                   'Wenn nur ein Modul gemessen wurde
          PRINT #1, endwert(code)              'nur den entsprechenden Endwert
          PRINT #1, pmaxint(code)              'und pmax speichern
          FOR i = 1 TO 3
            PRINT #1, temperaturint(i)         'Temperatur speichern
          NEXT i
            PRINT #1, bestrahlungint           'Bestrahlungsstärke speichern
             FOR i = 1 TO endwert(code)        'I und U Werte speichern
                PRINT #1, stromint(code, i); spannungint(code, i)
             NEXT i
    END IF
    CLOSE #1                                    'Schließen der Datei
ELSE
END IF                                         'Wenn nicht speichern, tue nichts
'    **** Ende Procedure manuell ****
END SUB

SUB maxleistung
'    **** Procedure maxleistung ****
'Diese Procedure berechnet aus den Meßdaten den Punkt maximaler Leistung
'(pmax). Dieser Vorgang wird für jedes Modul durchgeführt. Die Procedure
'findet nur im Zusammenhang mit Procedure "alle" ihre Anwendung, da bei der
'Vermessung von nur einem Modul - Procedure "mess" - die Berechnung separat
'geschieht.

DIM hilfe  AS SINGLE
DIM i AS INTEGER
DIM a AS INTEGER

FOR i = 1 TO modulanzahl                   'für alle Module pmax(i) bestimmen
    hilfe = 0: pmax(i) = 0                                  'Variablen löschen
    FOR a = 1 TO endwert(i)                                 'pmax(i) bestimmen
        hilfe = pmax(i) - (strom(i, a) * spannung(i, a))
        IF hilfe < 0 THEN
           pmax(i) = strom(i, a) * spannung(i, a)
        END IF
    NEXT a
NEXT i
'    **** Ende Procedure maxleistung ****
END SUB

SUB mess (ausgang!, code%)
'    **** Procedure mess ****
'Diese Procedure mißt ein Modul durch ( + 3 Temperaturen u. Bestrahlungs-
'stärke). Der "code" entspricht einem bestimmten Modul. Pmax wird berechnet.

DIM i AS INTEGER
DIM a AS INTEGER
DIM kanal AS SINGLE
DIM v1 AS SINGLE
DIM spg AS SINGLE
DIM hilfe AS SINGLE
```

```
DIM alpha  AS SINGLE
DIM beta AS SINGLE

alpha = 3.90784E-03                        'Konstanten alpha und beta
beta = -5.78408E-07                        'sind für die Temperaturberechnung
FOR i = 1 TO 3                             'Drei Temperaturen messen
    kanal = (i - 1)
    CALL Maid("AD812", 3, temperatur(i), kanal)
    'Formel zur Temperaturberechnung
    temperatur(i) = temperatur(i) / 6
    temperatur(i) = (1 / alpha * (temperatur(i) - 1)) / (1 + beta / (alpha * alpha) * (temperatur(i) - 1))
NEXT i
kanal = 4
CALL Maid("AD812", 3, bestrahlung, kanal)     'Bestrahlungsstärke messen
'Formel zur Berechnung der Bestrahlungstärke
'1000 W/m² = 100 mV
bestrahlung = bestrahlung * faktor
bestrahlung = bestrahlung * 10000
CALL Maid("IO", 1, ausgang!, 0)                'Ausgewähltes Modul umschalten
CALL warte(Zeit)                                    '50 ms warten
spg = 0                                        'Spannung am Transistor=0
v1 = 1                                         'Analogausgang vom maid wählen
endwert(code%) = 0                             'endwert ist die Anzahl der Werte
a = 0                                          'a ist Laufindex
DO
   a = a + 1
   CALL Maid("DA312-B", 2, spg, v1)       'Analogausgang setzen
   CALL warte(Zeit)
   CALL Maid("AD812", 3, strom(code%, a), 5)  'Strom messen auf Kanal 5
   CALL Maid("AD812", 3, spannung(code%, a), 6) 'Spannungmmessen auf Kanal 6
   'Umrechnung von Strom und Spannung
   strom(code%, a) = strom(code%, a) * faktorstrom
   spannung(code%, a) = spannung(code%, a) * faktorspannung
   spg = spg + .05                         'Spannung schrittweise erhöhen
   endwert(code%) = endwert(code%) + 1     'endwert erhöhen
LOOP WHILE spannung(code%, a) >= 1.5   'Abbruchbedingung

CALL Maid("IO", 1, 1023, 0)            'Relais in Grundstellung
CALL Maid("DA312-B", 2, 0, v1)         'Analogausgang auf 0V
pmax(code%) = 0
hilfe = 0
FOR i = 1 TO endwert(code%)                          'pmax(code%) bestimmen
    hilfe = pmax(code%) - (strom(code%, i) * spannung(code%, i))
    IF hilfe < 0 THEN
       pmax(code%) = (strom(code%, i) * spannung(code%, i))
    END IF
NEXT i
'  **** Ende Procedure mess ****
END SUB

SUB pst (zeile$)
'   **** Procedure pst ****
'Diese Procedure zeichnet eine IU Kennlinie für das PST Modul.
'Die Spannungs- und Strom Int-Werte werden entsprechend umgerechnet

DIM st(120) AS SINGLE
DIM sp(120) AS SINGLE
DIM hsp AS SINGLE
DIM hst AS SINGLE
DIM taste AS STRING * 1
DIM i AS INTEGER

CLS
FOR i = 1 TO endwert(6)                        'Erst Int Werte umrechnen,
    strom(6, i) = stromint(6, i) / 100         'dann Umrechnung für
    st(i) = strom(6, i) * 500                  'Zeichnung.
    spannung(6, i) = spannungint(6, i) / 10
    sp(i) = spannung(6, i) * 6
NEXT i
```

```
SCREEN 12                          '640 * 480 Punkte
WINDOW (-30, -130)-(450, 510)      'Koordinatensystem zeichen
PSET (0, 0)                        ' ->  450 Pkte
LINE -STEP(0, 500)                 '^    500 Pkte
LINE (0, 0)-(570, 0)

i = 50                             'y Achse skalieren
DO                                 '50 Pkte = 0.1 A       500 Pkt = 1 A
   PSET (-1, i)
   i = i + 50
LOOP WHILE i <= 500

i = 30                             'x Achse skalieren
DO                                 '6 Pkte = 1 V
   PSET (i, -2)                    'Es werden nur 5V Schritte gezeichnet
   i = i + 30
LOOP WHILE i <= 450

LOCATE 22, 2: PRINT "0.1"
LOCATE 15, 2: PRINT "0.4"
LOCATE 8, 2: PRINT "0.7"
'LOCATE 3, 2: PRINT "0.8"
LOCATE 2, 2: PRINT "I/A"

LOCATE 25, 70: PRINT "65"
LOCATE 25, 60: PRINT "55"
LOCATE 25, 50: PRINT "45"
LOCATE 25, 35: PRINT "30"
LOCATE 25, 20: PRINT "15"
LOCATE 25, 77: PRINT "U/V"
LOCATE 27, 2: PRINT "Modul: PST"                  'Ausgabe von Modul, Datum,
LOCATE 27, 58: PRINT RTRIM$(RIGHT$(zeile$, 68))   'Zeit und Bestrahlung
LOCATE 27, 22: PRINT "Bestrahlungsstärke: "; bestrahlungint; " W/m²"
PSET (sp(1), st(1))                               'Ersten Pkt zeichnen
FOR i = 1 TO (endwert(6) - 1)
    hsp = sp(i + 1) - sp(i)                       'Differenz zwischen benachbarten
    hst = st(i + 1) - st(i)                       'Pkt berechen und zeichnen. Für
    LINE -STEP(hsp, hst)                          'Spannung und Strom.
NEXT i
DO                                                'Auf Eingabe warten
   taste = INKEY$
LOOP WHILE taste <> "d" AND taste <> CHR$(27)
IF taste = "d" THEN                                'Wenn Druckerausgabe gewählt,
  CALL scrndump("100", 1, 0)                       'dann UP scrndump und UP werte
  CLS : CALL werte(6)                              'aufrufen
  CALL scrndump("100", 1, 0)
END IF
SCREEN 0
'   **** Ende Procedure pst ****
END SUB

SUB rahmen
'   **** Procedure rahmen ****
' Es wird ein Rahmen gezeichnet
' (Doppelrahmen)

DIM i AS INTEGER

LOCATE 1, 1: PRINT "╔"        'Zeichnung der Eckpunkte
LOCATE 1, 80: PRINT "╗"
LOCATE 23, 1: PRINT "╚"
LOCATE 23, 80: PRINT "╝"

LOCATE 5, 1: PRINT "╠"        'Zeichnung der Mittelverstrebung
LOCATE 5, 80: PRINT "╣"
FOR i = 2 TO 79
    LOCATE 5, i: PRINT "="
NEXT
```

```
FOR i = 2 TO 4                  'Zeichnung des oberen Seitenteils
    LOCATE i, 1: PRINT "|"
    LOCATE i, 80: PRINT "|"
NEXT

FOR i = 6 TO 22                 'Zeichnung des unteren Seitenteils
    LOCATE i, 1: PRINT "|"
    LOCATE i, 80: PRINT "|"
NEXT

FOR i = 2 TO 79                 'Zeichnung des oberen und unteren Querbalken
    LOCATE 1, i: PRINT "="
    LOCATE 23, i: PRINT "="
NEXT
'   **** Ende Procedure rahmen ****
END SUB

SUB taggraph (W$)
'   **** Procedure taggraph ****
'Diese Procedure zeichnet Pmax über einen Zeitraum von 6.00 bis 21.00 Uhr.
'Die Dateien von Diskette/Festplatte werden selbstständig geladen, wenn der
'Benutzer ein Datum (JJMMTT) eingibt.

DIM code AS INTEGER
DIM modul AS STRING * 15
DIM co AS INTEGER
DIM a AS INTEGER
DIM i AS INTEGER
DIM b AS INTEGER
DIM x AS INTEGER
DIM taste AS STRING * 1
DIM test AS STRING * 1
DIM zeile(3) AS STRING * 78
DIM zst(15) AS STRING * 2
DIM zmin(2) AS STRING * 2
DIM hp AS SINGLE
DIM jahr AS STRING * 2
DIM monat AS STRING * 2
DIM tag AS STRING * 2
DIM hi AS STRING * 5
DIM datum AS STRING * 6

'zstd und zmin festlegen
zst(1) = "06": zst(2) = "07": zst(3) = "08": zst(4) = "09": zst(5) = "10"
zst(6) = "11": zst(7) = "12": zst(8) = "13": zst(9) = "14": zst(10) = "15"
zst(11) = "16": zst(12) = "17": zst(13) = "18": zst(14) = "19"
zst(15) = "20"
zmin(1) = "29": zmin(2) = "59"
CLS
CALL rahmen
LOCATE 2, 20
PRINT "P h o t o v o l t a i k   M e ß s y s t e m"
LOCATE 4, 21
PRINT "Menü: Diagramm / Untermenü: Tagesübersicht"
SELECT CASE W$                          'code und Name des Moduls
   CASE "s": code = 1: modul = "Siemens"      'festlegen
   CASE "a": code = 2: modul = "APS"
   CASE "c": code = 3: modul = "Chronar France"
   CASE "r": code = 4: modul = "Rade Kronar"
   CASE "o": code = 5: modul = "Sovonics"
   CASE "p": code = 6: modul = "PST"
END SELECT
LOCATE 8, 12
PRINT "Die Datensätze werden von Diskette/Festplatte geladen."
LOCATE 10, 12
INPUT "Bitte geben Sie das Laufwerk und den Pfad ein ", dateiname
OPEN "o", #1, RTRIM$(dateiname) + "\xx.xx"   'zur Probe öffnen, um eventuell
CLOSE #1                                    'Fehler zu erkennen
KILL RTRIM$(dateiname) + "\xx.xx"           'Probedatei wieder löschen
```

```
laufwerk = dateiname                    'Eingabe in Variable laufwerk sichern
DO
  test = "w"                        'Boolesche-Variable auf wahr setzen
  LOCATE 12, 12
  INPUT "Bitte geben Sie das Datum (JJMMTT) ein ", dateiname
neu:                                          'Sprungmarke bei Fehler
  'Datum des Systems einlesen (JJMMTT)
  jahr = RIGHT$(DATE$, 2)      'Jahr einlesen
  monat = LEFT$(DATE$, 2)      'Monat einlesen
  hi = LEFT$(DATE$, 5)
  tag = RIGHT$(hi, 2)          'Tag einlesen
  datum = jahr + monat + tag
  IF RTRIM$(dateiname) > datum THEN     'Wenn Dateiname größer als das
     test = "f"                         'aktuelle Datum ist, dann setze
  END IF                                'test auf falsch.
  IF RTRIM$(dateiname) < "920801" THEN  'Wenn Dateiname kleiner als 1. Aug 92,
     test = "f"                         'dann setze test auf falsch.
  END IF
  IF test = "f" THEN          'Wenn test ="f", dann Fehlermedung
  ERROR 1
  test = "w"
  GOTO neu:
  END IF
LOOP WHILE test = "f"
LOCATE 22, 20: PRINT "Daten werden gelesen, bitte warten"
b = 0: y = 0: bestmittel = 0                 'Variablen auf Null setzen
ON ERROR GOTO diagrammfehler                 'Bei Fehler gehe zu Lable
FOR a = 1 TO 15                              'Ein Fehler darf nicht zu einer
  FOR i = 1 TO 2                             'Neueingabe des Benutzers führen.
    y = y + 1                                'Laufvariable y erhöhen
    OPEN "I", #1, RTRIM$(laufwerk) + "\" + RTRIM$(dateiname) + zst(a) + "." + zmin(i)
lable: IF erkennung = 1 THEN GOTO weiter
    FOR x = 1 TO 3                  'die drei Infozeilen einlesen
      LINE INPUT #1, zeile(x)
    NEXT x
    INPUT #1, co                    'code in Variable co einlesen
    FOR x = 1 TO modulanzahl
      INPUT #1, endwert(x)          'alle 6 Endwerte einlesen
    NEXT x
    FOR x = 1 TO modulanzahl
      INPUT #1, pmaxint(x)          'pmaxint einlesen
    NEXT x
    FOR x = 1 TO 3
      INPUT #1, temperaturint(x)    'Temperaturen einlesen
    NEXT x
    INPUT #1, bestrahlungint        'Bestrahlungsstärke einlesen
    CLOSE #1                        'Datei schließen
    p(y) = pmaxint(code)            'pmaxint in Feld p einlesen
    b = b + 1                       'Laufvariable b erhöhen
    'Mittelwertbildung der Bestrahlungsstärke
    bestmittel = (((b - 1) * bestmittel) + bestrahlungint) / b
weiter:  erkennung = 0
  NEXT i
NEXT a
FOR i = 1 TO 30                 'Erst Int-Wert umrechnen, dann diesen
   p(i) = p(i) / 10             'Wert für Zeichnung umrechen
   p(i) = p(i) * 15
NEXT i
SCREEN 12                       '640 * 480 Punkte
WINDOW (-30, -130)-(450, 510)   'Koordinatensystem zeichen
PSET (0, 0)                     ' ->  450 Pkte
LINE -STEP(0, 500)              '^    500 Pkte
LINE (0, 0)-(570, 0)

i = 30                          'y Achse skalieren
DO                              '15 Pkte = 1 Wp     30 Pkt = 2 Wp
   PSET (-1, i)
   i = i + 30
LOOP WHILE i <= 500
```

```
i = 24                          'x Achse skalieren
DO                              '24 Pkte = 1 Stunde
   PSET (i, -2)                 '6 Pkte = 15 Minuten
   i = i + 24
LOOP WHILE i <= 450

LOCATE 19, 4: PRINT "8"
LOCATE 13, 3: PRINT "16"
LOCATE 9, 3: PRINT "22"
LOCATE 5, 3: PRINT "28"
LOCATE 3, 2: PRINT "P/Wp"

LOCATE 25, 73: PRINT "23"
LOCATE 25, 61: PRINT "20"
LOCATE 25, 49: PRINT "17"
LOCATE 25, 37: PRINT "14"
LOCATE 25, 25: PRINT "11"
LOCATE 25, 14: PRINT "8"
LOCATE 25, 77: PRINT "t/h"
LOCATE 27, 2: PRINT "Modul: "; modul            'Ausgabe von Modul, Datum
zeile(1) = RTRIM$(LEFT$(zeile(1), 19))
zeile(1) = RTRIM$(RIGHT$(zeile(1), 68))
LOCATE 27, 58: PRINT RTRIM$(zeile(1))                   'und Bestrahlung
LOCATE 27, 25: PRINT "Bestrahlungsstärke: "; bestrahlungint; " W/m²"
PSET (6, p(1))                  'Ersten Pkt zeichnen
FOR i = 1 TO (30 - 1)
   hp = p(i + 1) - p(i)          'Differenz zwischen benachbarten Pkt
   LINE -STEP(12, hp)            'berchnen und zeichnen
NEXT i
LINE -STEP(12, (p(i + 1) - p(i)))    'Endpkt
DO                                          'Auf Eingabe warten
   taste = INKEY$
LOOP WHILE taste <> "d" AND taste <> CHR$(27)
IF taste = "d" THEN                         'Wenn Druckerausgabe gewählt,
  CALL scrndump("100", 1, 0)                'dann UP scrndump aufrufen
END IF
SCREEN 0
ON ERROR GOTO fehler                  'Alte Fehlererkennung wieder ein
'   **** Ende Procedure taggraph ****
END SUB

SUB temp
'   **** Procedure Temp ****
'In dieser Procedure können die Temperaturen und die Bestrahlungsstärke aus-
'gegeben werden. Der Benutzer kann gespeicherte Daten von Diskette/Fest-
'platte laden oder die Werte aus dem temporären Speicher ausgeben.
'Die Temperaturen und die Bestrahlungsstärke werden ohne Kommastelle aus-
'gegeben. Daher ist eine Rückwandlung der Int-Werte nicht nötig.

DIM W AS STRING * 1
DIM zeile(3) AS STRING * 78
DIM code AS INTEGER
DIM i AS INTEGER
DIM tag AS STRING * 2
DIM monat AS STRING * 2
DIM jahr AS STRING * 2
DIM hi AS STRING * 5
DIM datum AS STRING * 8

CLS
CALL rahmen
LOCATE 2, 20
PRINT "P h o t o v o l t a i k   M e ß s y s t e m"
LOCATE 4, 23
PRINT "Menü: Temperatur/Bestrahlungsstärke"
LOCATE 7, 6
PRINT "Werte von <D>iskette/Festplatte oder aus <t>emporären Speicher laden "
DO
```

```
   W = INKEY$
LOOP WHILE W <> "d" AND W <> "t"
IF W = "d" THEN                          'Wenn laden, dann Dateiname erfragen
   LOCATE 9, 15
   INPUT "Laufwerk, Pfad und Dateiname eingeben ", dateiname
   OPEN "i", #1, dateiname          'öffnen zum Daten einlesen
   FOR i = 1 TO 3                   'die drei Infozeilen einlesen
      LINE INPUT #1, zeile(i)
   NEXT i
   INPUT #1, code                   'code einlesen
   IF code = 99 THEN                'wenn code = 99, dann alle endwerte(i)
      FOR i = 1 TO modulanzahl      'und alle pmax(i) einlesen.
          INPUT #1, endwert(i)
      NEXT i
      FOR i = 1 TO modulanzahl
          INPUT #1, pmaxint(i)
      NEXT i
   ELSE INPUT #1, endwert(1)        'wenn code <> 99, dann nur den einen
        INPUT #1, pmaxint(1)        'endwert und den einen pmax einlesen
   END IF
   FOR i = 1 TO 3
       INPUT #1, temperaturint(i)  'alle drei Temperaturen einlesen
   NEXT i
   INPUT #1, bestrahlungint         'Bestrahlungsstärke einlesen
   CLOSE #1                         'Datei schließen
ELSE                              'wenn Werte aus temporäen Speicher, dann
   FOR i = 1 TO 3                   'wandle diese in Int-Werte um
        temperaturint(i) = INT(temperatur(i) * 1 + .5)
   NEXT i
   bestrahlungint = INT(bestrahlung * 1 + .5)
END IF
'Werte auf dem Bildschirm ausgeben.
LOCATE 12, 20
PRINT USING "Umgebungstemperatur  :#### °C"; temperaturint(1)
LOCATE 13, 20
PRINT USING "Modultemperatur      :#### °C"; temperaturint(2)
LOCATE 14, 20
PRINT USING "Solarzellentemperatur:#### °C"; temperaturint(3)
LOCATE 15, 20
PRINT USING "Bestrahlungsstärke   :#### W/m²"; bestrahlungint
LOCATE 17, 14
IF W = "d" THEN             'Ausgabe von Datum und Zeit der Messung
    PRINT "Datum und Zeit der Messung  "
    LOCATE 17, 42: PRINT RTRIM$(RIGHT$(zeile(1), 68))
    'Bei Werten aus dem temporären Speicher aktuelles Datum und Zeit aus-
    'geben
    ELSE
    'Datum bestimmen ( TT.MM.JJ)
    jahr = RIGHT$(DATE$, 2)
    monat = LEFT$(DATE$, 2)
    hi = LEFT$(DATE$, 5)
    tag = RIGHT$(hi, 2)
    datum = tag + "." + monat + "." + jahr
    PRINT "Datum und Zeit der Messung  "; datum; " "; TIME$
END IF
LOCATE 20, 30
PRINT "Zum Hauptmenü <ESC>"
DO
  W = INKEY$                   'Auf Tastatureingabe warten
LOOP WHILE W <> CHR$(27)       'Schleife bis Taste= ESC

'   **** Ende Procedure temp ****
END SUB

SUB warte (zeitkonstante!)
'    **** Procedure warte ****
'Die Procedure wartet eine vorgegebene Zeit. Es handelt sich um
'eine Warteschleife.
```

```
DIM T1 AS DOUBLE
DIM T2 AS DOUBLE

T1 = TIMER
DO                    'Die Schleife läuft bis "zeitkonstante" vergangen ist.
   T2 = TIMER
LOOP WHILE T2 <= (T1 + zeitkonstante!)
'   **** Ende Procedure warte ****
END SUB

SUB werte (code%)
'   **** Procedure werte ****
'Diese Procedure ermittelt bzw. errechnet Uoc, Isc, Pmax, FF, eta und
'die Temperaturwerte.

DIM a(8) AS SINGLE
DIM Uoc AS SINGLE
DIM Isc AS SINGLE
DIM FF AS SINGLE
DIM eta AS SINGLE
DIM i AS INTEGER

'Fläche der einzelnen Module in m² (nachgemessene Werte)
a(1) = .3943: a(2) = .5647: a(3) = .2628: a(4) = .2628: a(5) = .3864
a(6) = .535

bestrahlung = bestrahlungint / 1          'Bestrahlungsstärke umrechnen
pmax(code%) = pmaxint(code%) / 10         'Pmax umrechnen
Uoc = spannung(code%, 1)
Isc = strom(code%, endwert(code%))
FF = pmax(code%) / (Uoc * Isc)
eta = pmax(code%) / (bestrahlung * a(code%))
eta = eta * 100
'Daten ausgeben
LOCATE 2, 5
PRINT USING "Umgebungstemperatur  :#### °C"; temperaturint(1)
LOCATE 3, 5
PRINT USING "Modultemperatur      :#### °C"; temperaturint(2)
LOCATE 4, 5
PRINT USING "Solarzellentemperatur:#### °C"; temperaturint(3)
LOCATE 6, 5
PRINT USING "Uoc=###.# V"; Uoc
LOCATE 7, 5
PRINT USING "Isc=##.## A"; Isc
LOCATE 6, 25
PRINT USING "FF =##.##"; FF
LOCATE 7, 25
PRINT USING "eta=##.## %"; eta
LOCATE 6, 45
PRINT USING "Pmax=###.# W"; pmax(code%)
'   **** Ende procedure werte ****
END SUB

SUB wochegraph (W$)
'   **** Procedure wochengraph ****
'Diese Procedure zeichnet Pmax über eine Zeitraum von 7 Tagen. Der Benutzer
'muß ein Datum (JJMMTT) eingeben. Dieser Tag und die nachfolgenden 6 Tage
'werden berücksichtigt.

DIM code AS INTEGER
DIM modul AS STRING * 15
DIM date(7) AS STRING * 6
DIM co AS INTEGER
DIM a AS INTEGER
DIM i AS INTEGER
DIM b AS INTEGER
DIM xx AS INTEGER
DIM x AS INTEGER
DIM e AS INTEGER
```

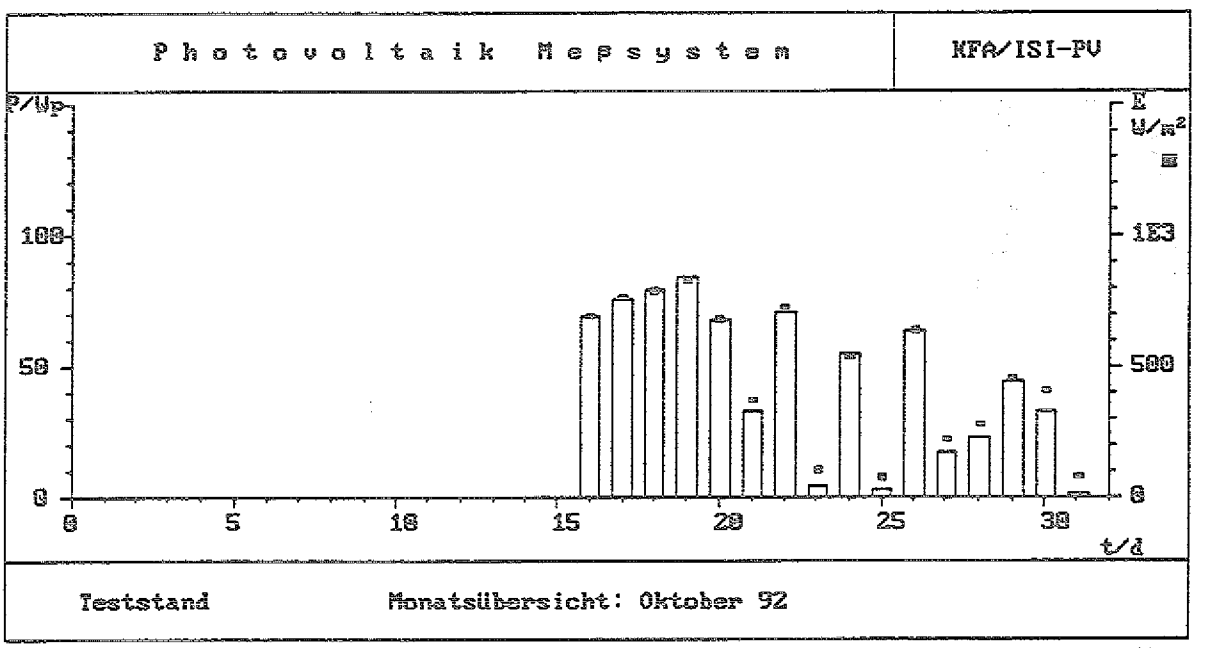
```
DIM pp(115) AS SINGLE
DIM pmittel AS SINGLE
DIM taste AS STRING * 1
DIM test AS STRING * 1
DIM zeile(3) AS STRING * 78
DIM zst(15) AS STRING * 2
DIM zmin(2) AS STRING * 2
DIM hp AS SINGLE
DIM jahr AS STRING * 2
DIM monat AS STRING * 2
DIM monatst(2) AS STRING * 10
DIM tag AS STRING * 2
DIM hi AS STRING * 5
DIM hi2 AS STRING * 4
DIM hi3 AS STRING * 2
DIM datum AS STRING * 6

'zstd und zmin festlegen
zst(1) = "06": zst(2) = "07": zst(3) = "08": zst(4) = "09": zst(5) = "10"
zst(6) = "11": zst(7) = "12": zst(8) = "13": zst(9) = "14": zst(10) = "15"
zst(11) = "16": zst(12) = "17": zst(13) = "18": zst(14) = "19"
zst(15) = "20"
zmin(1) = "29": zmin(2) = "59"
CLS
CALL rahmen
LOCATE 2, 20
PRINT "P h o t o v o l t a i k  M e ß s y s t e m"
LOCATE 4, 20
PRINT "Menü: Diagramm / Untermenü: Wochenübersicht"
SELECT CASE W$                                  'code und Name des Moduls
   CASE "s": code = 1: modul = "Siemens"        'festlegen
   CASE "a": code = 2: modul = "APS"
   CASE "c": code = 3: modul = "Chronar France"
   CASE "r": code = 4: modul = "Rade Kronar"
   CASE "o": code = 5: modul = "Sovonics"
   CASE "p": code = 6: modul = "PST"
END SELECT
LOCATE 7, 10
PRINT "Die Datensätze werden von Diskette/Festplatte geladen. Pmax wird"
LOCATE 8, 10
PRINT "über einen Zeitraum von 7 Tagen gezeichnet."
LOCATE 10, 12
INPUT "Bitte geben Sie das Laufwerk und den Pfad ein ", dateiname
OPEN "o", #1, RTRIM$(dateiname) + "\xx.xx"  'zur Probe öffnen, um eventuell
CLOSE #1                                    'Fehler zu erkennen.
KILL RTRIM$(dateiname) + "\xx.xx"           'Probedatei wieder löschen
laufwerk = dateiname                  'Eingabe in Variable laufwerk sichern
DO
  test = "w"                      'Boolesche-Variable auf wahr setzen
  LOCATE 12, 12
  INPUT "Bitte geben Sie das Datum (JJMMTT) ein ", dateiname
neu2:                                       'Sprungmarke bei Fehler
  'Datum des Systems einlesen (JJMMTT)
  jahr = RIGHT$(DATE$, 2)      'Jahr einlesen
  monat = LEFT$(DATE$, 2)      'Monat einlesen
  hi = LEFT$(DATE$, 5)
  tag = RIGHT$(hi, 2)          'Tag einlesen
  datum = jahr + monat + tag
  IF RTRIM$(dateiname) > datum THEN     'Wenn Dateiname größer als das
     test = "f"                         'aktuelle Datum ist, dann setze
  END IF                                'test auf falsch.
  IF RTRIM$(dateiname) < "920801" THEN 'Wenn Dateiname kleiner als 1. Aug 92,
     test = "f"                         'dann setze test auf falsch.
  END IF
  IF test = "f" THEN          'Wenn test ="f", dann Fehlermedung
  ERROR 1
  test = "w"
  GOTO neu2:
  END IF
```

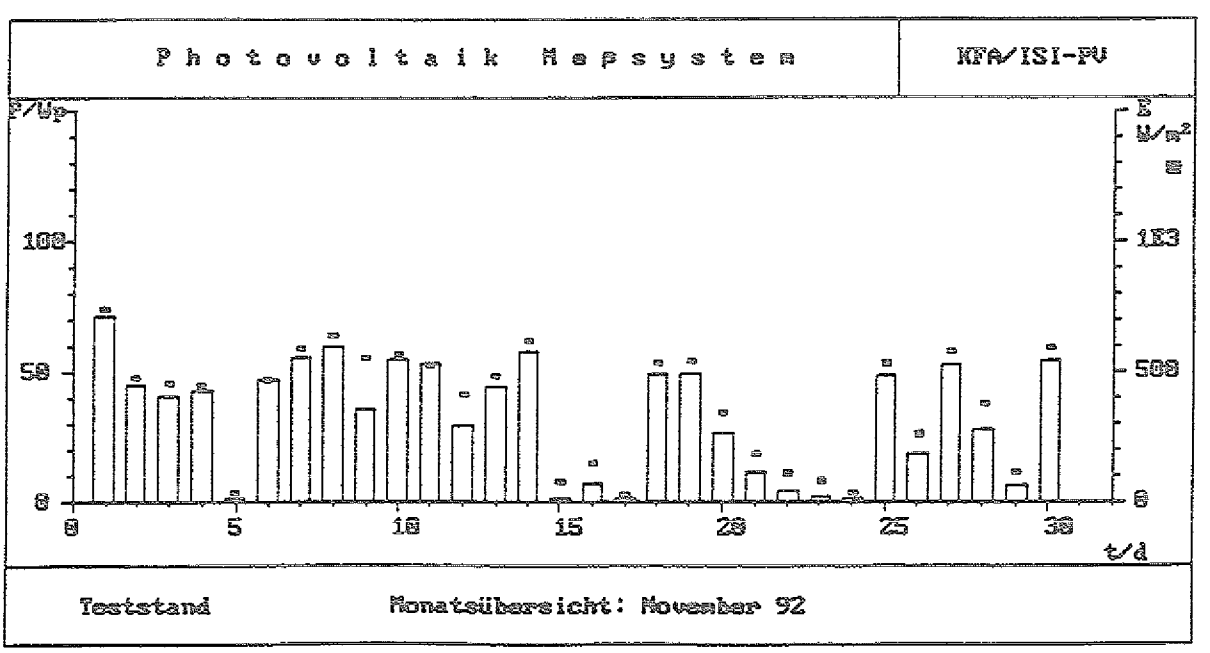
```
LOOP WHILE test = "f"
LOCATE 22, 20: PRINT "Daten werden gelesen, bitte warten"
b = 0: e = 0: bestmittel = 0: pmittel = 0
ON ERROR GOTO diagrammfehler                'Bei Fehler gehe zu Lable
FOR xx = 1 TO 7
  FOR a = 1 TO 15
    FOR i = 1 TO 2
      OPEN "I", #1, RTRIM$(laufwerk) + "\" + RTRIM$(dateiname) + zst(a) + "." + zmin(i)
lable2: IF erkennung = 1 THEN GOTO weiter2
       FOR x = 1 TO 3                      'die drei Infozeilen einlesen
        LINE INPUT #1, zeile(x)
       NEXT x
       INPUT #1, co                        'code in Variable co einlesen
       FOR x = 1 TO modulanzahl
         INPUT #1, endwert(x)              'alle 6 Endwerte einlesen
       NEXT x
       FOR x = 1 TO modulanzahl
         INPUT #1, pmaxint(x)              'pmaxint einlesen
       NEXT x
       FOR x = 1 TO 3
         INPUT #1, temperaturint(x)        'Temperaturen einlesen
       NEXT x
       INPUT #1, bestrahlungint            'Bestrahlungsstärke einlesen
       CLOSE #1                            'Datei schließen
       b = b + 1                           'Laufvariable erhöhen
       'Mittelwertbildung der Bestrahlungsstärke  und Pmax
       bestmittel = (((b - 1) * bestmittel) + bestrahlungint) / b
       pmittel = (((b - 1) * pmittel) + pmaxint(code)) / b
weiter2:  erkennung = 0
    NEXT i
    e = e + 1: b = 0
    pp(e) = pmittel                   'Stundenmittelwerte werden gesichert.
    pmittel = 0
  NEXT a
  date(xx) = dateiname        'Datum sichern.
  CALL erhoehung              'Nach einem Tag Datum in Up "erhoehung" erhöhen
NEXT xx
'monatst festlegen
hi2 = RIGHT$(date(1), 4)
monat = LEFT$(hi2, 2)
SELECT CASE monat
  CASE "01": monatst(1) = "Januar": monatst(2) = "/Februar"
  CASE "02": monatst(1) = "Februar": monatst(2) = "/Marz"
  CASE "03": monatst(1) = "März": monatst(2) = "/April"
  CASE "04": monatst(1) = "April": monatst(2) = "/Mai"
  CASE "05": monatst(1) = "Mai": monatst(2) = "/Juni"
  CASE "06": monatst(1) = "Juni": monatst(2) = "/Juli"
  CASE "07": monatst(1) = "Juli": monatst(2) = "/August"
  CASE "08": monatst(1) = "August": monatst(2) = "/September"
  CASE "09": monatst(1) = "September": monatst(2) = "/Oktober"
  CASE "10": monatst(1) = "Oktober": monatst(2) = "/November"
  CASE "11": monatst(1) = "November": monatst(2) = "/Dezember"
  CASE "12": monatst(1) = "Dezember": monatst(2) = "/Januar"
  END SELECT


FOR i = 1 TO 105                    'Erst Int-Wert umrechnen, dann diesen
   pp(i) = pp(i) / 10               'Wert für Zeichnung umrechen
   pp(i) = pp(i) * 15
NEXT i
SCREEN 12                         '640 * 480 Punkte
WINDOW (-30, -130)-(450, 510)     'Koordinatensystem zeichen
PSET (0, 0)                       ' ->  450 Pkte
LINE -STEP(0, 500)                '^    500 Pkte
LINE (0, 0)-(570, 0)

i = 30                            'y Achse skalieren
DO                                '15 Pkte = 1 Wp     30 Pkt = 2 Wp
   PSET (-1, i)
```

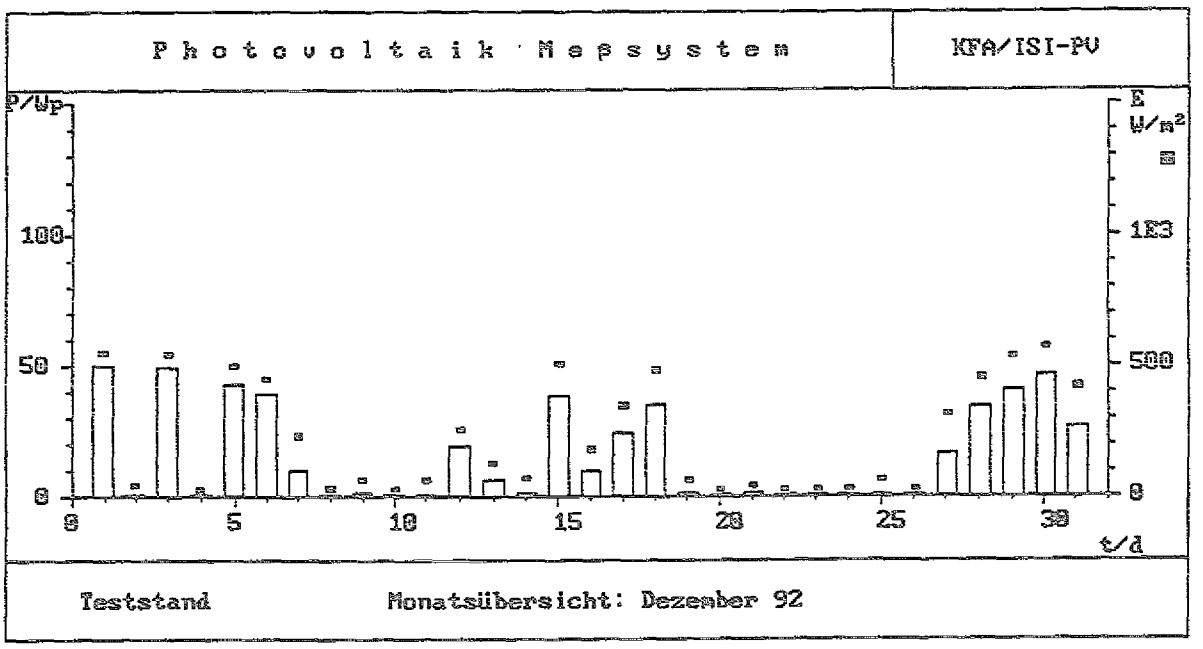
```
   i = i + 30
LOOP WHILE i <= 500

i = 60                          'x Achse skalieren
DO                              '4 Pkt = 1 Std    60 Pkt = 15 Std (1 Tag)
   PSET (i, -2)
   i = i + 60
LOOP WHILE i <= 450

LOCATE 19, 4: PRINT "8"
LOCATE 13, 3: PRINT "16"
LOCATE 9, 3: PRINT "22"
LOCATE 5, 3: PRINT "28"
LOCATE 3, 2: PRINT "P/Wp"

LOCATE 25, 65: PRINT RIGHT$(date(7), 2)
LOCATE 25, 45: PRINT RIGHT$(date(5), 2)
LOCATE 25, 25: PRINT RIGHT$(date(3), 2)
LOCATE 25, 6: PRINT RIGHT$(date(1), 2)
LOCATE 25, 75: PRINT "t/d"
LOCATE 27, 2: PRINT "Modul: "; modul            'Ausgabe von Modul, Monat
' monat2 bestimmen                               'und Bestahlungsstärke
hi2 = RIGHT$(date(7), 4)
hi3 = LEFT$(hi2, 2)
IF monat <> hi3 THEN
  LOCATE 27, 54: PRINT "Monat: "; monatst(1); monatst(2)
ELSE
   LOCATE 27, 54: PRINT "Monat: "; monatst(1)
END IF
LOCATE 27, 25: PRINT "Bestrahlungsstärke: "; bestrahlungint; " W/m²"
PSET (0, pp(1))             'Ersten Pkt zeichnen
FOR i = 1 TO (105 - 1)
   hp = pp(i + 1) - pp(i)           'Differenz zwischen benachbarten Pkt
   LINE -STEP(4, hp)                'berchnen und zeichnen
NEXT i
LINE -STEP(4, (pp(i + 1) - pp(i)))    'Endpkt
DO                                              'Auf Eingabe warten
   taste = INKEY$
LOOP WHILE taste <> "d" AND taste <> CHR$(27)
IF taste = "d" THEN                             'Wenn Druckerausgabe gewählt,
  CALL scrndump("100", 1, 0)                    'dann UP scrndump aufrufen.
END IF
SCREEN 0
ON ERROR GOTO fehler                    'Alte Fehlererkennung wieder ein
'   **** Ende Procedure wochegraph ****
END SUB
```

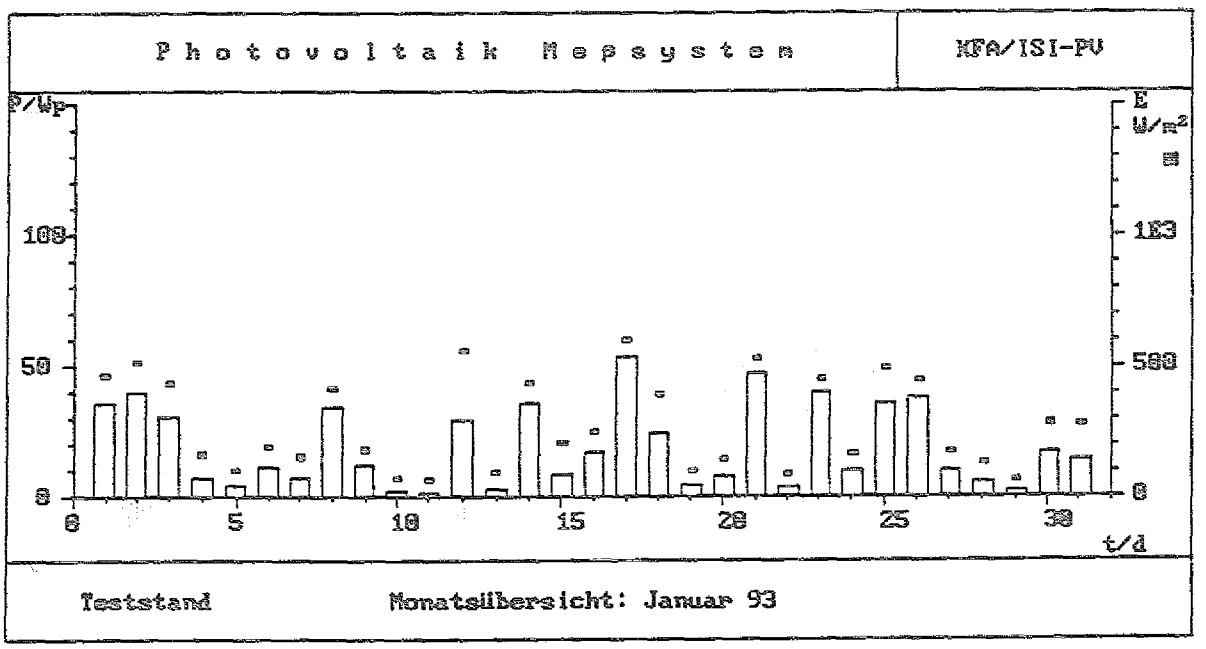
Auf den nachfolgenden Seiten ist eine Auswahl erster Meßergebnisse dargestellt.

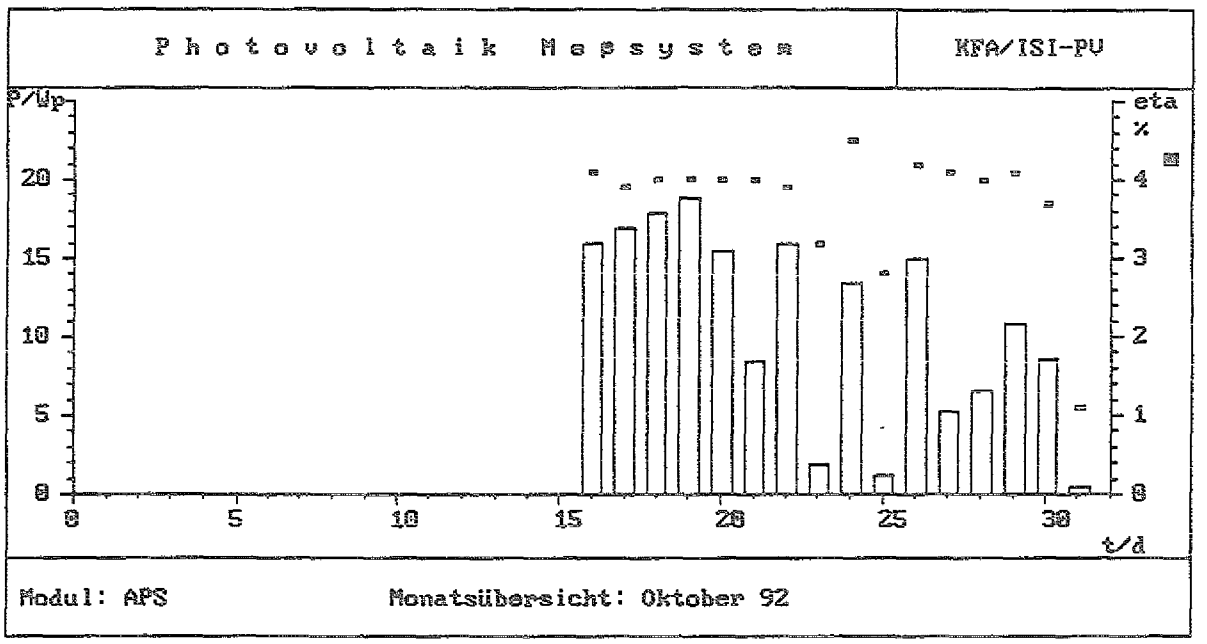
Bei den Monatsübersichten bezieht sich die Maximalleistung auf den höchsten Wert des entsprechenden Tages.

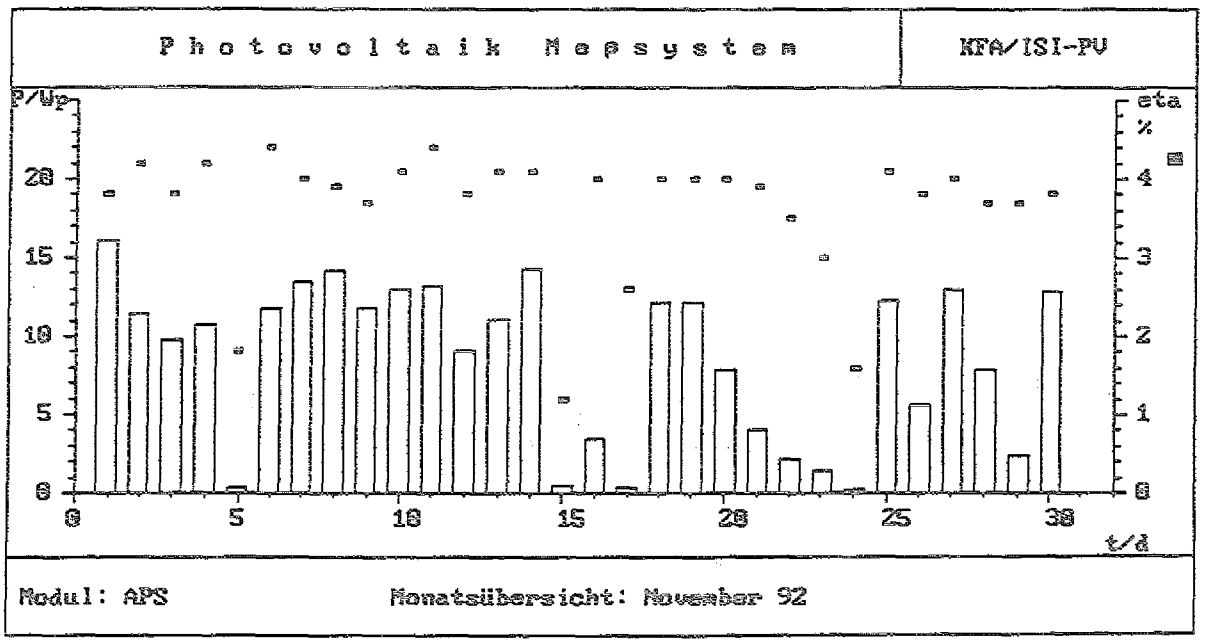


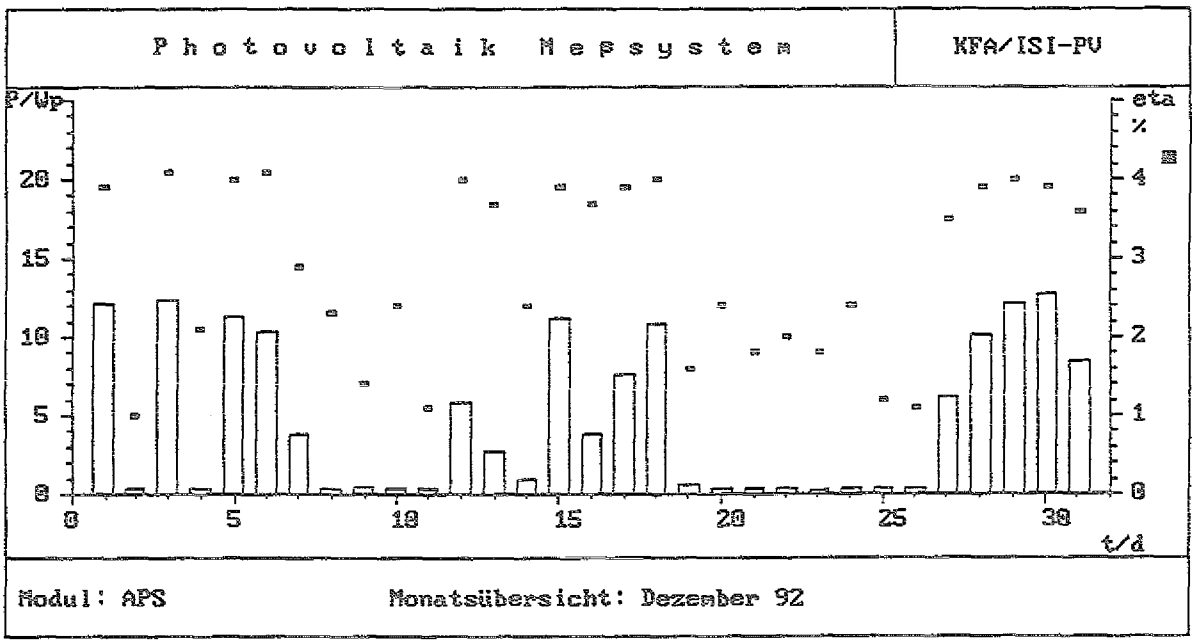


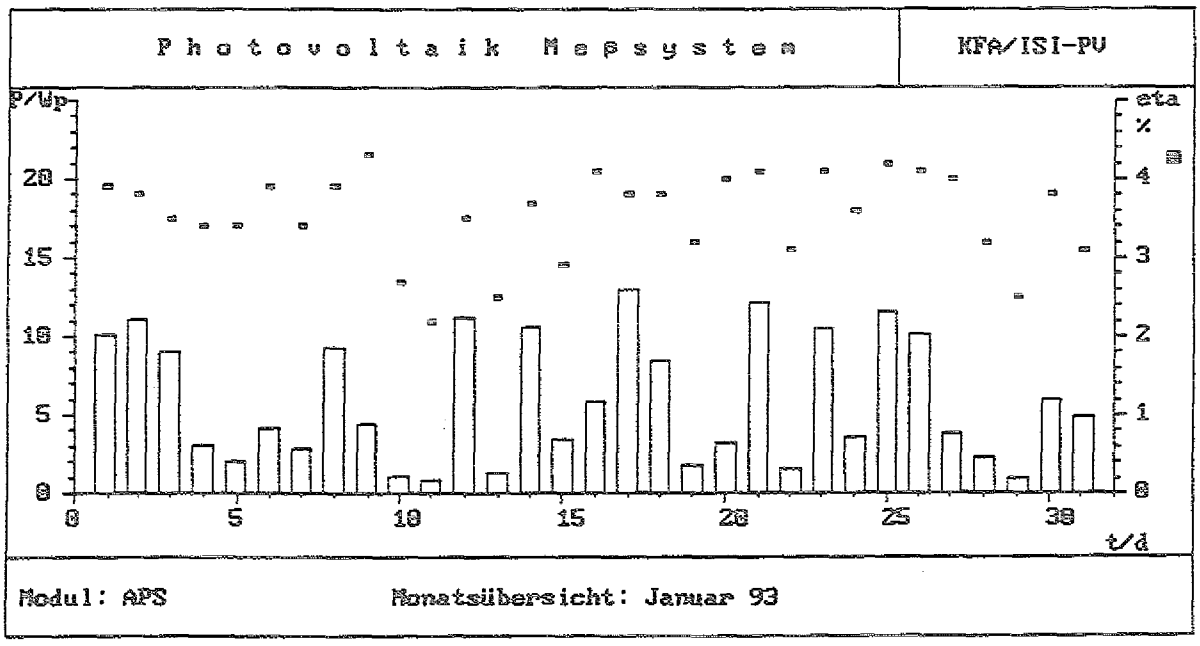

Photovoltaik Mepsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
100
50
0
E
W/m²
1E3
500
0
0
5
10
15
20
25
30
t/d
Teststand
Monatsübersicht: Dezember 92

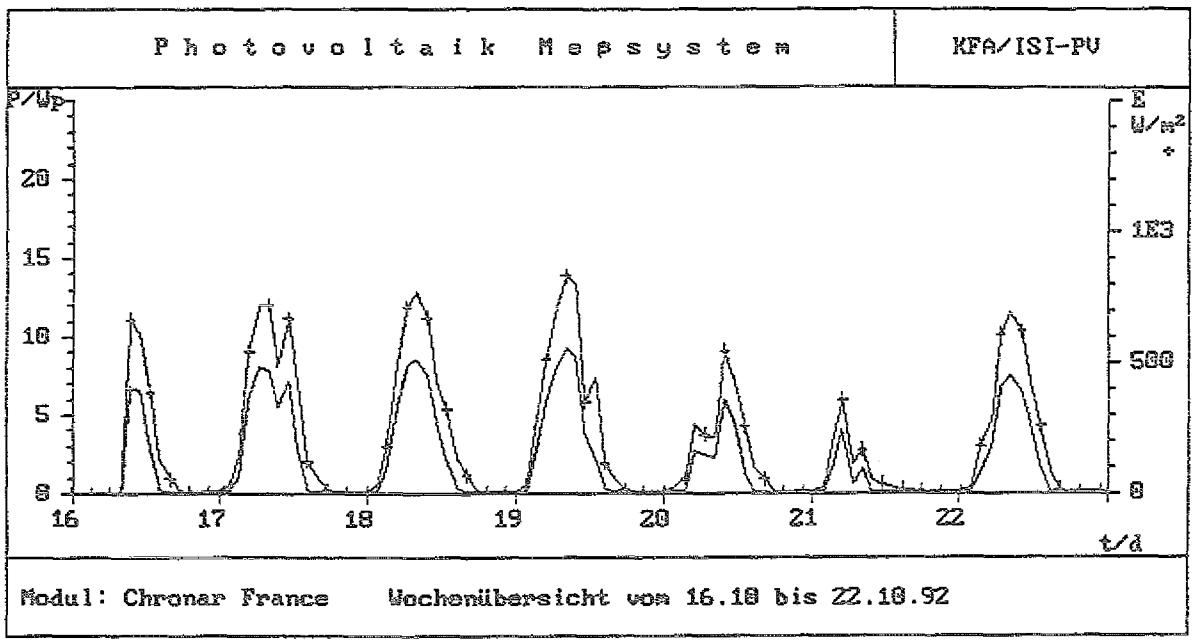

Photovoltaik Mepsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
100
50
0
E
W/m²
1E3
500
0
0
5
10
15
20
25
30
t/d
Teststand
Monatsübersicht: Januar 93

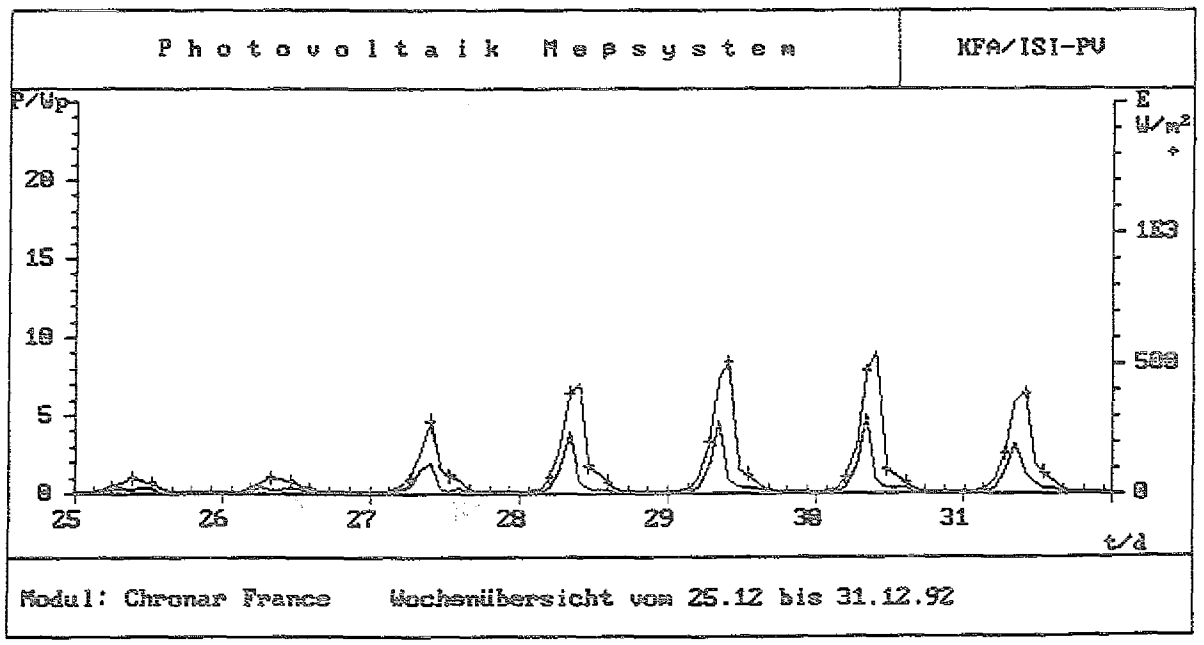

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
eta
%
20
15
10
5
0
4
3
2
1
0
0
5
10
15
20
25
30
t/d
Modul: APS
Monatsübersicht: Oktober 92

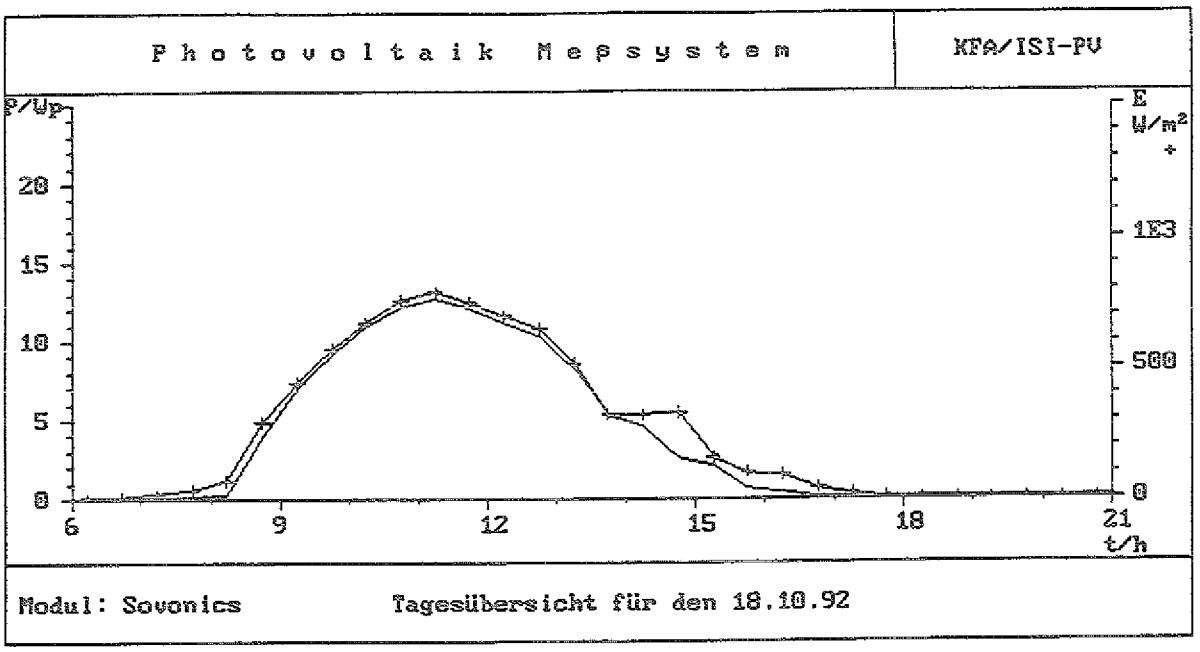

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
eta
%
20
15
10
5
0
4
3
2
1
0
0
5
10
15
20
25
30
t/d
Modul: APS
Monatsübersicht: November 92

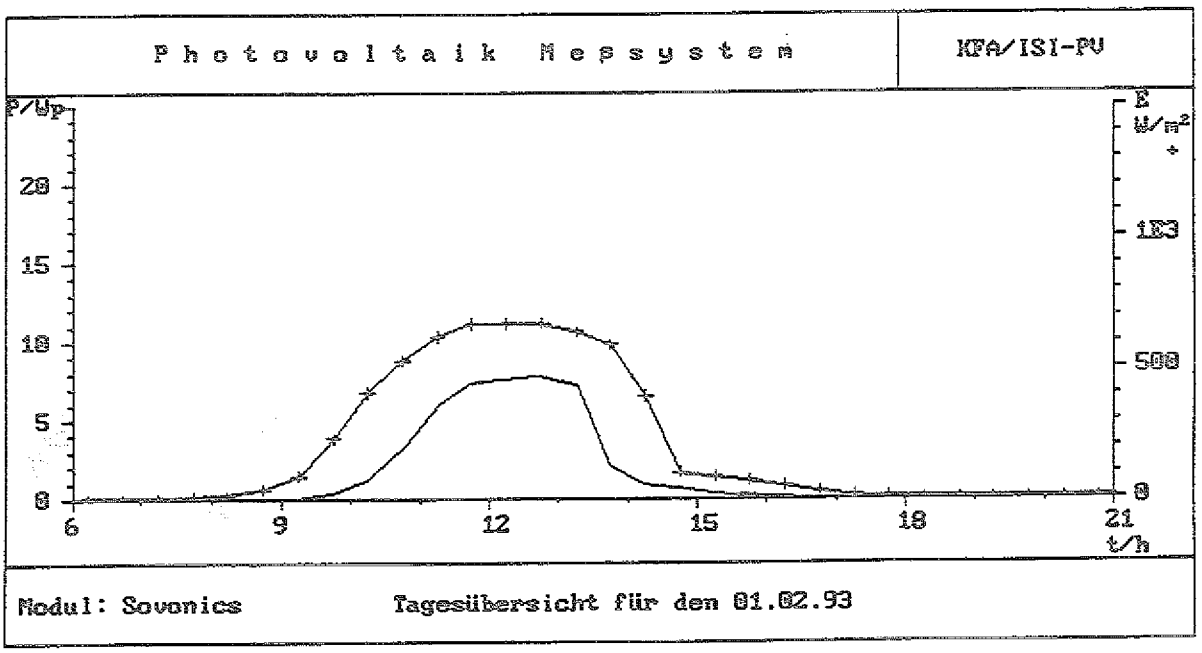

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
eta
%
20
15
10
5
0
4
3
2
1
0
0
5
10
15
20
25
30
t/d
Modul: APS
Monatsübersicht: Dezember 92

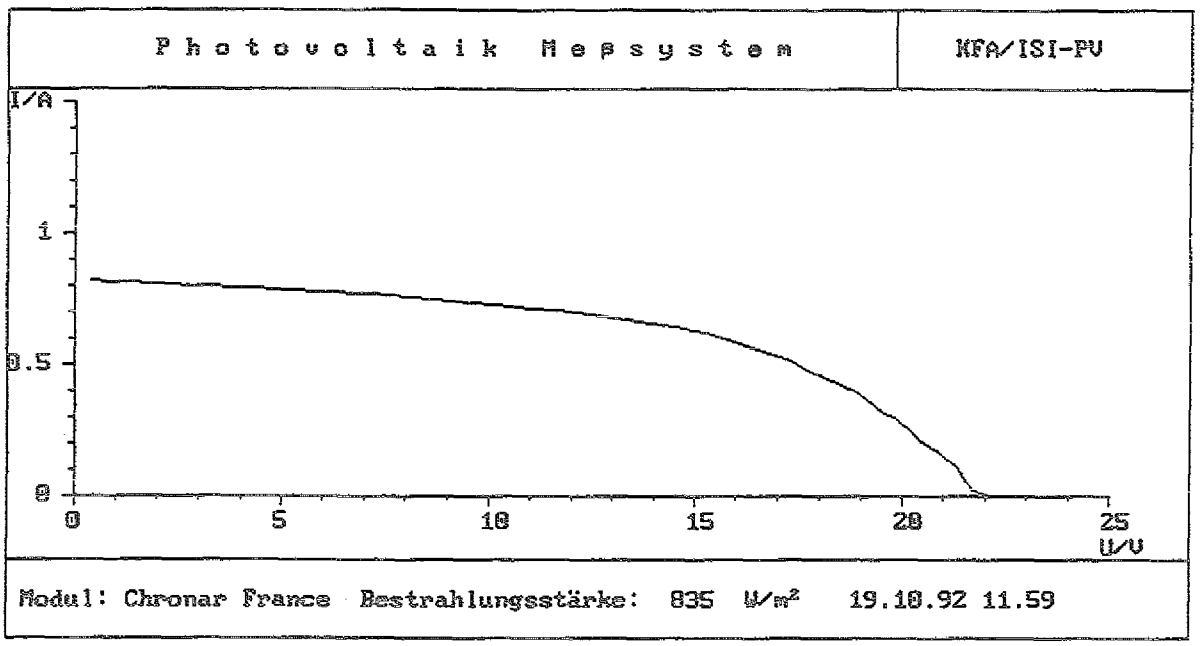

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
eta
%
20
15
10
5
0
4
3
2
1
0
0
5
10
15
20
25
30
t/d
Modul: APS
Monatsübersicht: Januar 93

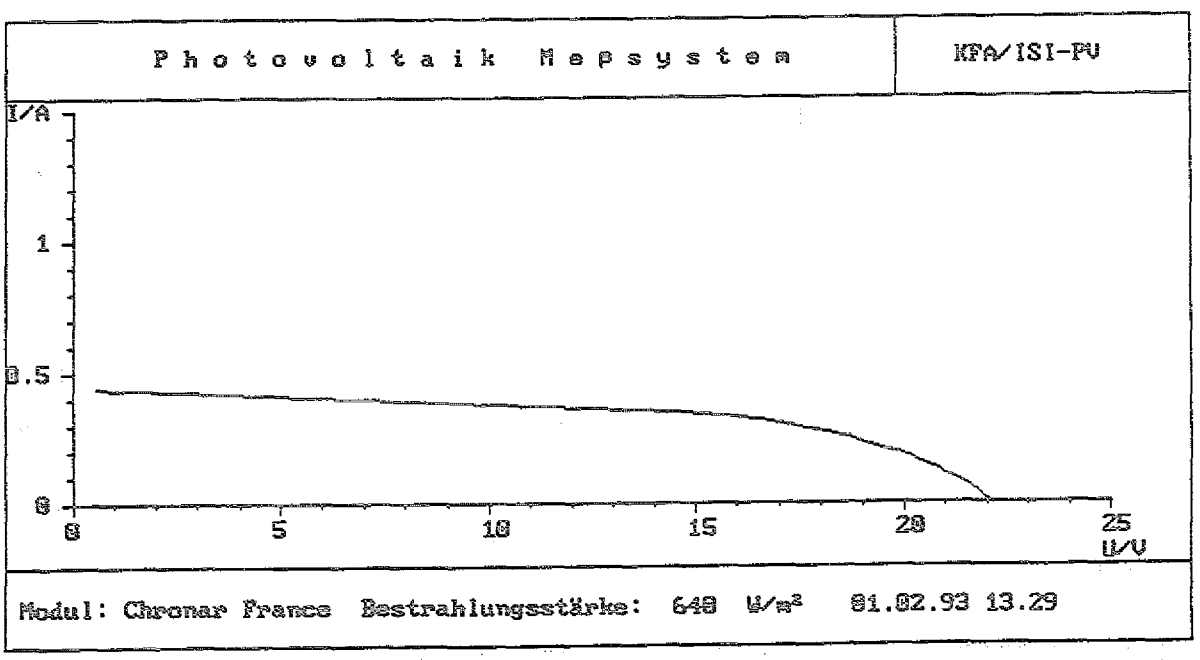

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
20
15
10
5
0
E
W/m²
1E3
500
0
16
17
18
19
20
21
22
t/d
Modul: Chronar France
Wochenübersicht vom 16.10 bis 22.10.92

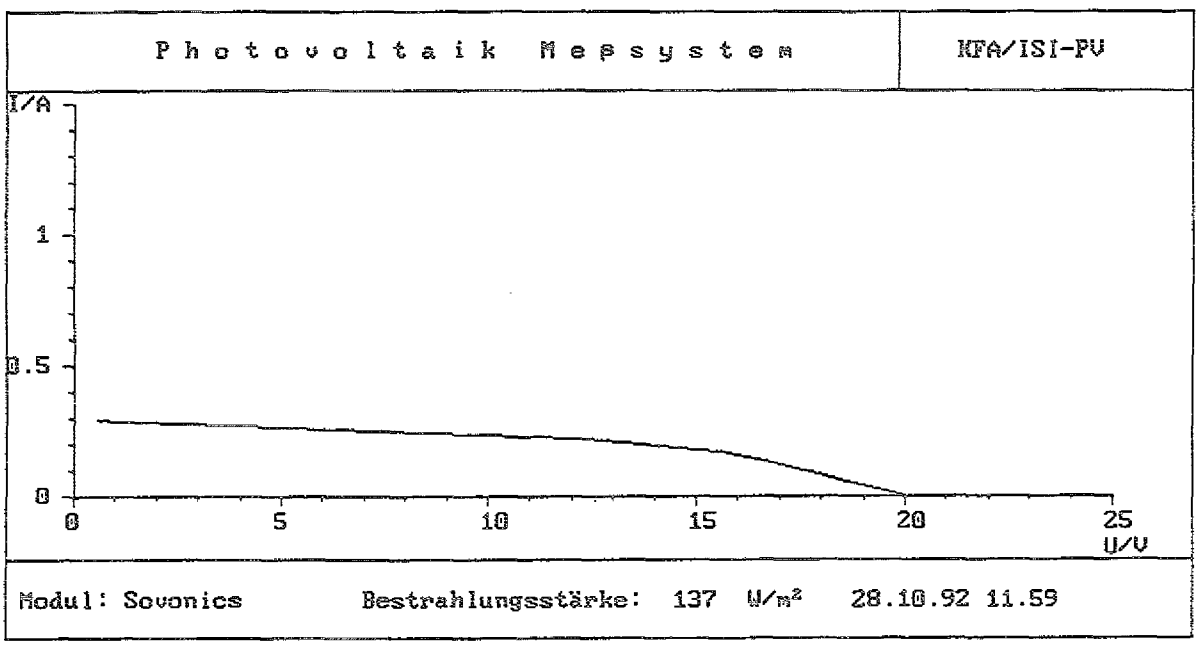

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
20
15
10
5
0
E
W/m²
1E3
500
0
25
26
27
28
29
30
31
t/d
Modul: Chronar France
Wochenübersicht vom 25.12 bis 31.12.92

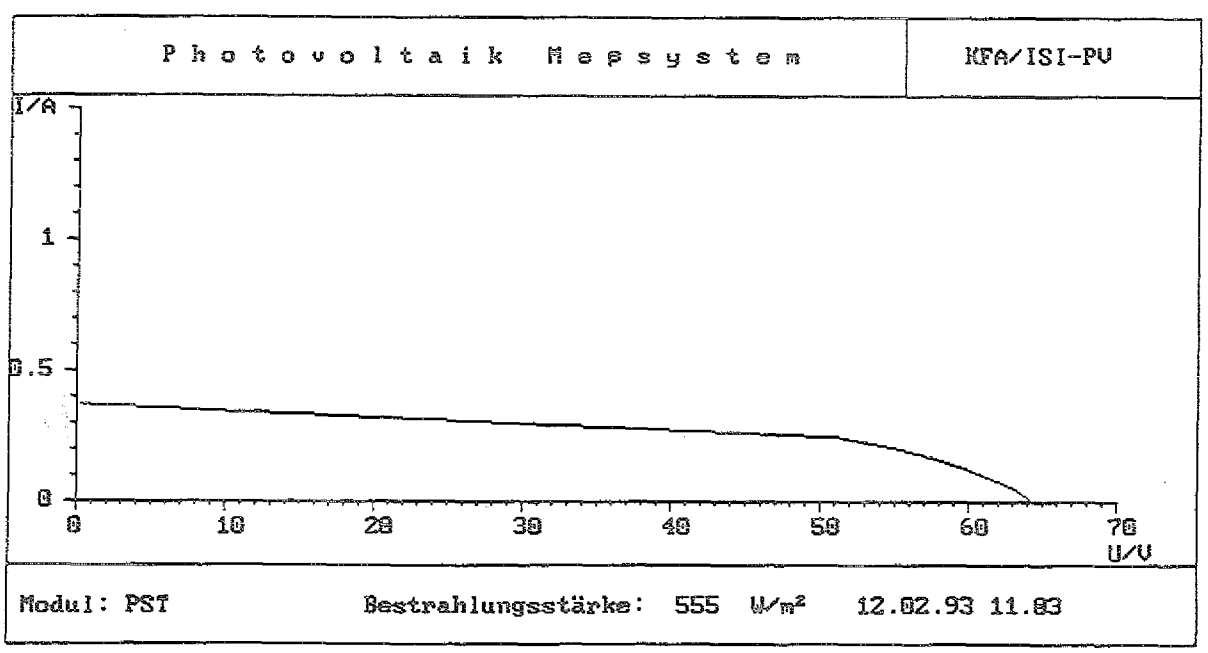

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
20
15
10
5
0
E
W/m²
1E3
500
0
6
9
12
15
18
21
t/h
Modul: Sovonics
Tagesübersicht für den 18.10.92

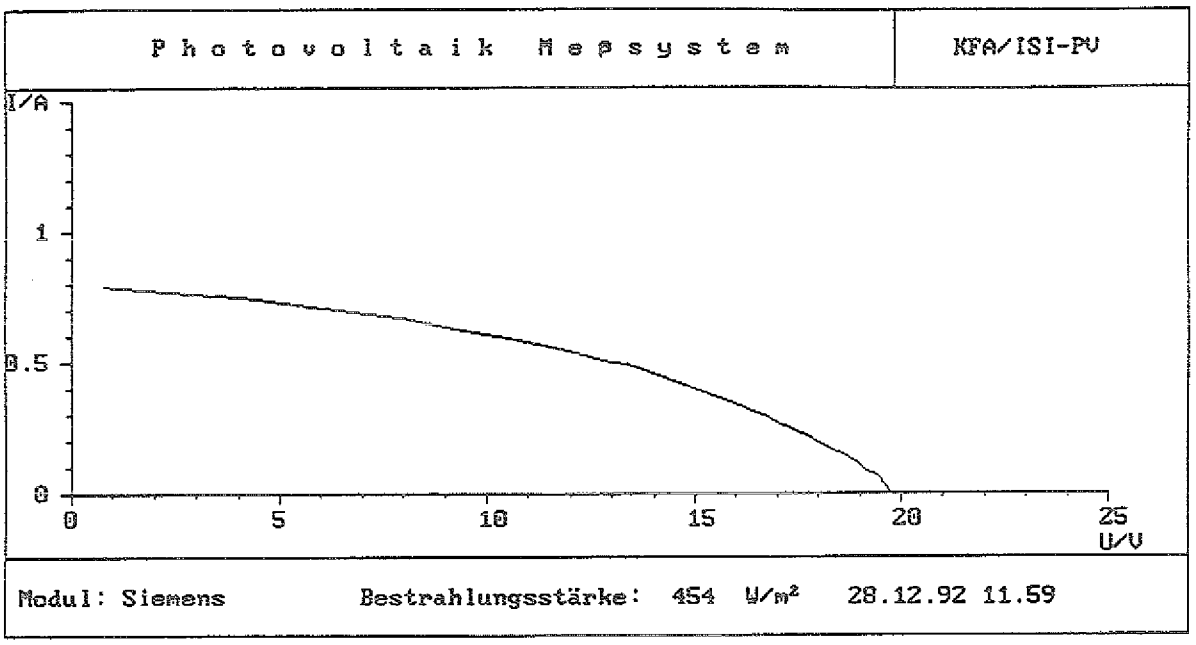

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
P/Wp
20
15
10
5
0
E
W/m²
1E3
500
0
6
9
12
15
18
21
t/h
Modul: Sovonics
Tagesübersicht für den 01.02.93

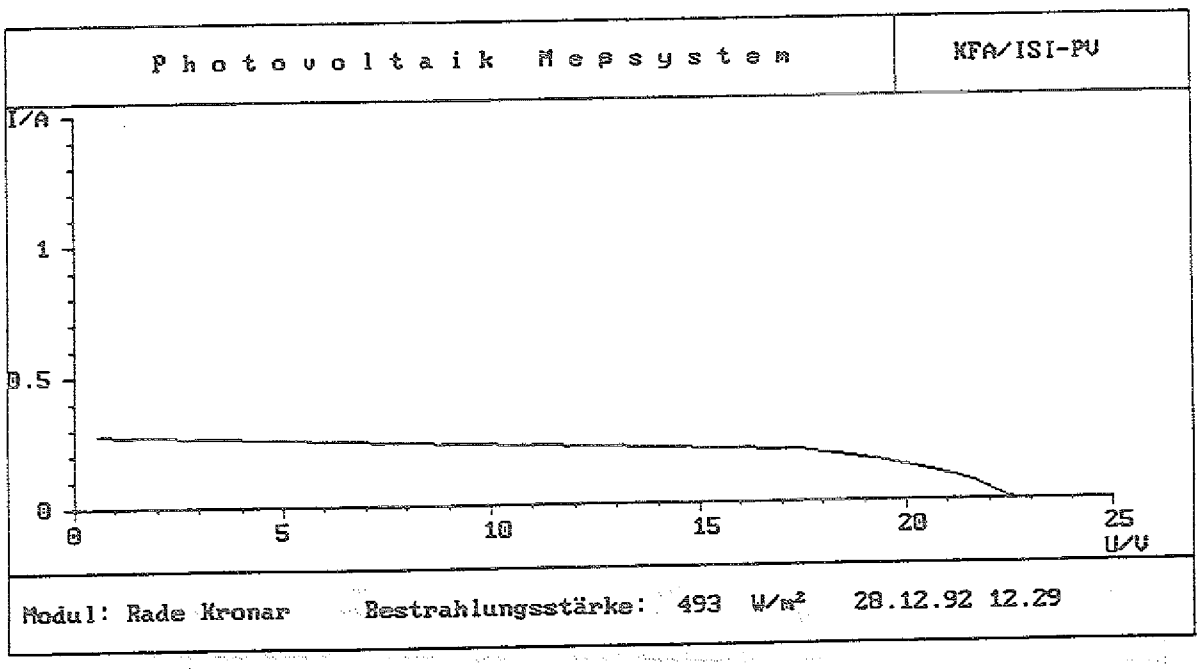

Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
I/A
1
0.5
0
0
5
10
15
20
25
U/V
Modul: Chronar France Bestrahlungsstärke: 835 W/m²
19.10.92 11.59


Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
I/A
1
0.5
0
0
5
10
15
20
25
U/V
Modul: Chronar France Bestrahlungsstärke: 640 W/m²
01.02.93 13.29


Photovoltaik Messystem
KFA/ISI-PV
I/A
1
0.5
0
0
5
10
15
20
25
U/V
Modul: Sovonics
Bestrahlungsstärke: 137 W/m²
28.10.92 11.59


Photovoltaik Messystem
KFA/ISI-PV
I/A
1
0.5
0
0
10
20
30
40
50
60
70
U/V
Modul: PST
Bestrahlungsstärke: 555 W/m²
12.02.93 11.83


Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
I/A
1
0.5
0
0
5
10
15
20
25
U/V
Modul: Siemens
Bestrahlungsstärke: 454 W/m²
28.12.92 11.59


Photovoltaik Meßsystem
KFA/ISI-PV
I/A
1
0.5
0
0
5
10
15
20
25
U/V
Modul: Rade Kronar
Bestrahlungsstärke: 493 W/m²
28.12.92 12.29

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Buck für die Betreuung sowie für die Durchsicht der Arbeit.

Herrn Dipl.-Ing. W. Hilgers bin ich zu besonderem Dank für die wertvolle Bereuung, die mir jederzeit gewährte Unterstützung und klärenden Diskussionen während der gesamten Arbeit verpflichtet.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. W. Reetz für die freundliche Unterstützung und Hilfsbereitschaft bedanken.

Auch möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Institutes ISI-PV für die sehr gute Zusammenarbeit und das gute Arbeitsklima bedanken.

Schließlich möchte ich mich noch herzlich bei meinen Eltern und allen anderen bedanken, die mich während meines Studiums unterstützt haben.

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

KFA

Jül-2736
Februar 1993
ISSN 0366-0885