

# Entwicklung und Erprobung von Systemen und Komponenten für autonom photovoltaisch versorgte Meßstationen an netzfernen Standorten

von Burchard Decker und Dirk Tegtmeyer

Dipl.-Phys. Burchard Decker ist Gruppenleiter und Dipl.-Ing. Dirk Tegtmeyer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Gruppe Photovoltaik-Systeme am Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln / Emmerthal (ISFH), Emmerthal.

## Überblick

Eine autonom photovoltaisch versorgte Umweltmeßstation mit energiesparendem Meß- und Steuerrechner auf Mikrocontrollerbasis wurde entwickelt (300 mW und 70 mW im aktiven bzw. nicht-aktiven Modus). Die Einschaltdauer, die zur Erfüllung der Meßaufgabe erforderlich ist, wurde durch individuelle Parametrisierung aller Meßkanäle und des Sensorbetriebs minimiert. Der Tagesenergiebedarf der Sensoren sank von 200 auf 13 Wh/d. Mit einem modular aufgebauten, mikrocontrollergestützten Laderegler mit integriertem Maximum-Power-Point-Tracking und optimalem Batteriemangement kann die Energieeffizienz weiter gesteigert werden.

Verschiedene Lösungsansätze zur energieeffizienten Datenspeicherung und Datenfernübertragung in Meßstationen wurden entwickelt und erprobt. Die Betriebserfahrungen mit einer Meßstation im Wattenmeer, die durch ein 50 W<sub>p</sub>-Photovoltaik-Modul und eine 100 Ah-Batterie versorgt wird, werden zur Erprobung weiterer autonom photovoltaisch versorgter Meßeinrichtungen eingesetzt (systemtechnische Erfahrung bezüglich Lastmanagement; Steuerung der Meßvorgänge; Datenfernübertragung; simulationsgestützte PV-Anlagendimensionierung).

A photovoltaic supplied monitoring station for remote areas was developed. Its novel feature is the data acquisition and control system using a microcontroller with low power needs (300 mW in operating, 70 mW in stand-by mode). Using this technique, matched parameterization of each input channel could be achieved which reduced of each sensor's switch-on period to the technically absolutely necessary. The daily energy demand of all hydrological and water quality sensors could be reduced from 200 to 13 Wh/d. The energy efficiency can be further improved by a modular microprocessor-based battery charge controller with MPP-tracking and optimum battery management.

Different solutions for energy efficient data storage and data transmission in monitoring stations were developed and tested. The good experience with a monitoring station in the North Sea, supplied by a 50 W<sub>p</sub> PV module and a 100 Ah battery, shall be used to realize further PV-supplied monitoring stations (system experience with load management, measurement procedure control, data transmission, simulation-based system design).

## 1. Einleitung

Im Rahmen eines BMBF-Vorhabens wurde das Konzept einer photovoltaisch versorgten Umweltmeßstation entwickelt und mit dem Niedersächsischen Landesamt für Ökologie / Forschungsstelle Küste in Norderney abgestimmt. Am geplanten Standort im Niedersächsischen Wattenmeer waren sowohl hydrologische Parameter (Wellenhöhe, Strömungsgeschwindigkeit) als auch Wassergüteparameter (pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur) zu erfassen.

Die wichtigste Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz einer photovoltaischen Elektrizitätsversorgung war die Minimierung des Energiebedarfs der Verbraucher (Datenlogger, Sensoren und Datenfernübertragung). Dazu waren einerseits geeignete Geräte auszuwählen oder zu entwickeln, andererseits eine intelligente Laststeuerung zu realisieren ([Abbildung 1](#)). Um weiterhin eine sichere Betriebsweise der Photovoltaik (PV) - auch unter den erschwerten Bedingungen der Nordsee (Wind, Salzwasser, Eisgang) - zu erreichen, mußte eine sorgfältige Auswahl und Auslegung des PV-Moduls, des Ladereglers und der Batterie erfolgen [1][2].

## 2. Energieeinsparung bei den Verbrauchern

Zur Verringerung des Energiebedarfs waren Hardwareentwicklungen (unter Einsatz energiesparender Bauteile) im Bereich des Datenloggers und der Datenfernübertragung notwendig, um die Grundlast zu senken. Darüber hinaus wurden Laststeuermaßnahmen konzipiert, um die Einschaltzeiten der Sensoren zu minimieren. Als Hauptverbraucher in der Umweltmeßstation stellten sich die Sensoren für Wellenhöhe und Strömungsgeschwindigkeit sowie die Multisonde zur Erfassung von pH-Wert, Leitfähigkeit und Wassertemperatur dar.

Verbraucherseitig bestand nun der Ansatz, bezüglich jeder einzelnen Meßgröße die Abtastrate nur so hoch und bezüglich jedes einzelnen Sensors die Einschaltdauer nur so lange zu wählen, wie es meßtechnisch unbedingt erforderlich ist ([Abbildung 2](#)). Dazu mußte das Betriebssystem des

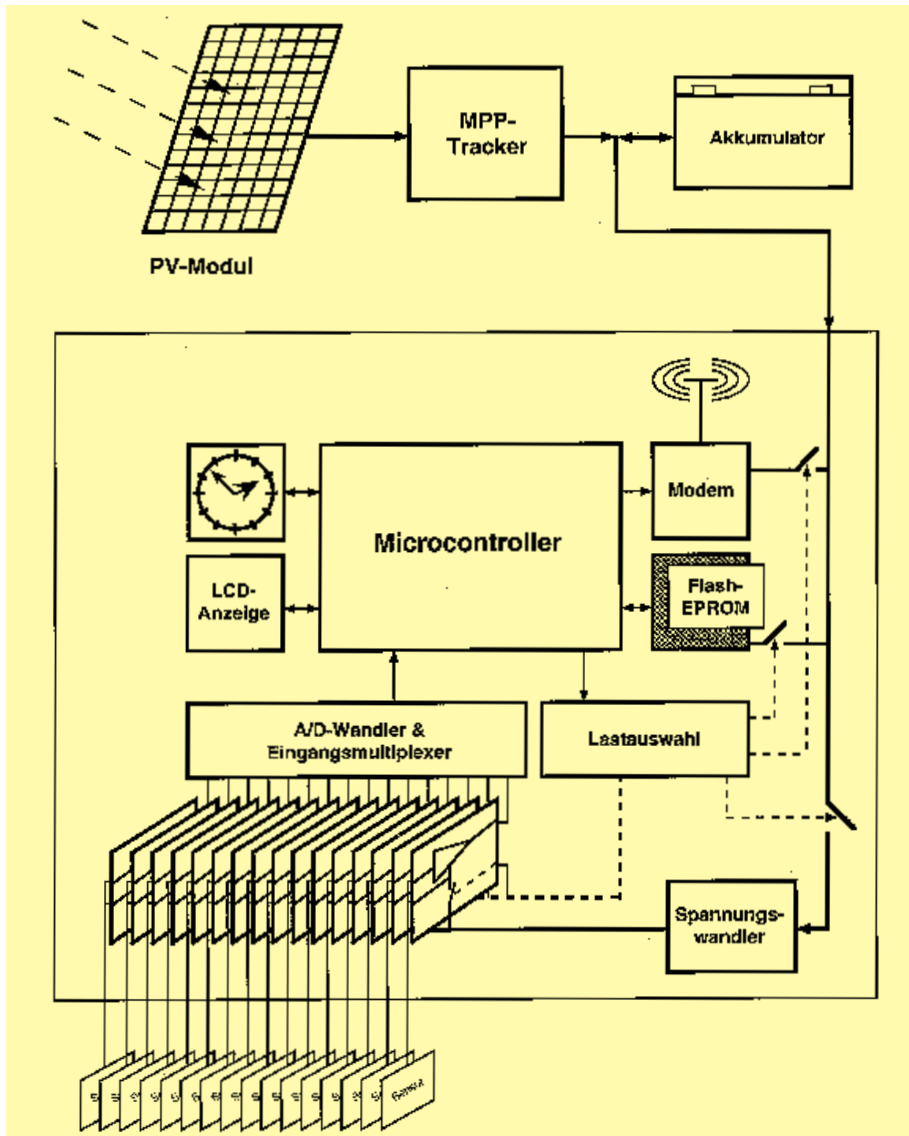
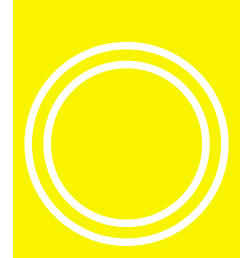
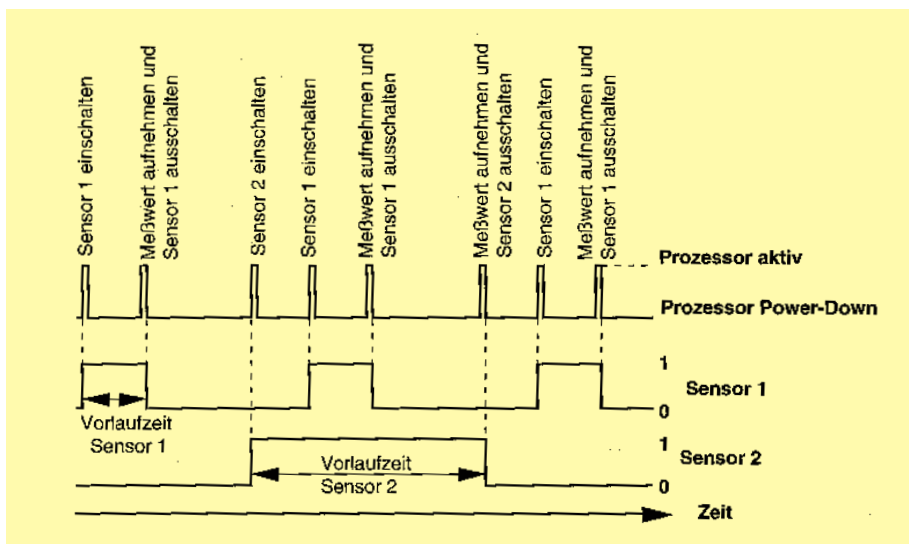


Abbildung 1: Gesamtkonzept der photovoltaisch versorgten Umweltmeßstation mit Blockschaltbild des mikrocontrollergestützten Meß- und Steuerrechners

Abbildung 2: Zusammenhang zwischen einer in Abtastrate und Vorlaufzeit flexiblen Meßdatenerfassung und der Prozessoraktivität im Meß- und Steuerrechner



Datenlogger in der Lage sein, die Sensoren individuell anzusteuern und asynchrone Meßreihen auf seinen Eingangskanälen zu verarbeiten.

Das Energieeinsparpotential bei Sensoren wird am Beispiel der Meßstation im Wattenmeer erläutert. Alle Meßaufgaben sind nur während der Flutphasen (d.h. zweimal sechs Stunden pro Tag) durchzuführen. Die Meßgrößen Wellenhöhe und Strömungsgeschwindigkeit sind im Intervall von einer Stunde für eine Meßphase von 20 min mit einer Abtastrate von 4 Hz zu erfassen, demgegenüber ist die Multisonde im Intervall von 10 min für eine Meßphase von 16 s mit einer Abtastrate von Hz zu betreiben.

Im Großen Wellenkanal der Universität Hannover wurden die Sensoren auf ihre Leistungsaufnahme und dynamischen Eigenschaften hin vermessen (Tabelle). Demzufolge ist nach Einschalten der Sensoren eine Vorlaufzeit bis zur Bereitstellung eines stabilen Ausgangssignals zu berücksichtigen, die bezüglich der Wellenhöhe 4 ms und bezüglich der Strömungsgeschwindigkeit 60 ms beträgt. Damit können diese Sensoren nicht nur zwischen den Meßphasen, sondern auch zwischen den einzelnen Messungen ausgeschaltet werden.

Gegenüber dem kontinuierlichen Betrieb läßt sich der tägliche Energiebedarf der Sensoren von 200 Wh/d auf 36 Wh/d reduzieren, wenn man die Sensoren zwischen den Meßphasen ausschaltet (Dauerbetrieb in Meßphasen). Bei Ausschalten der Sensoren auch zwischen den einzelnen Messungen (Impulsbetrieb) ist der Energiebedarf sogar bis auf 13 Wh/d minimierbar (94% Energieeinsparung).

### 3. Entwicklung des Meß- und Steuerrechners

Das Anforderungsprofil an den Datenlogger sah eine niedrige Eigenleistungsaufnahme, verfügbare Schaltungsausgänge zum Lastmanagement und eine flexible Meßdatenerfassung vor. Weil auf dem Markt weder geeignete Hardware- noch Softwarelösungen verfügbar waren, erfolgte die Eigenentwicklung eines Meß- und Steuerrechners.

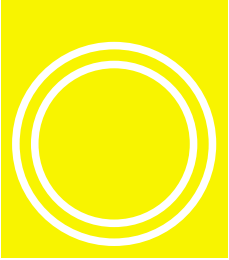


Tabelle: Einsatzanforderungen und dynamisches Verhalten der Sensoren und ihre mittlere Leistungsaufnahme für verschiedene Betriebsarten

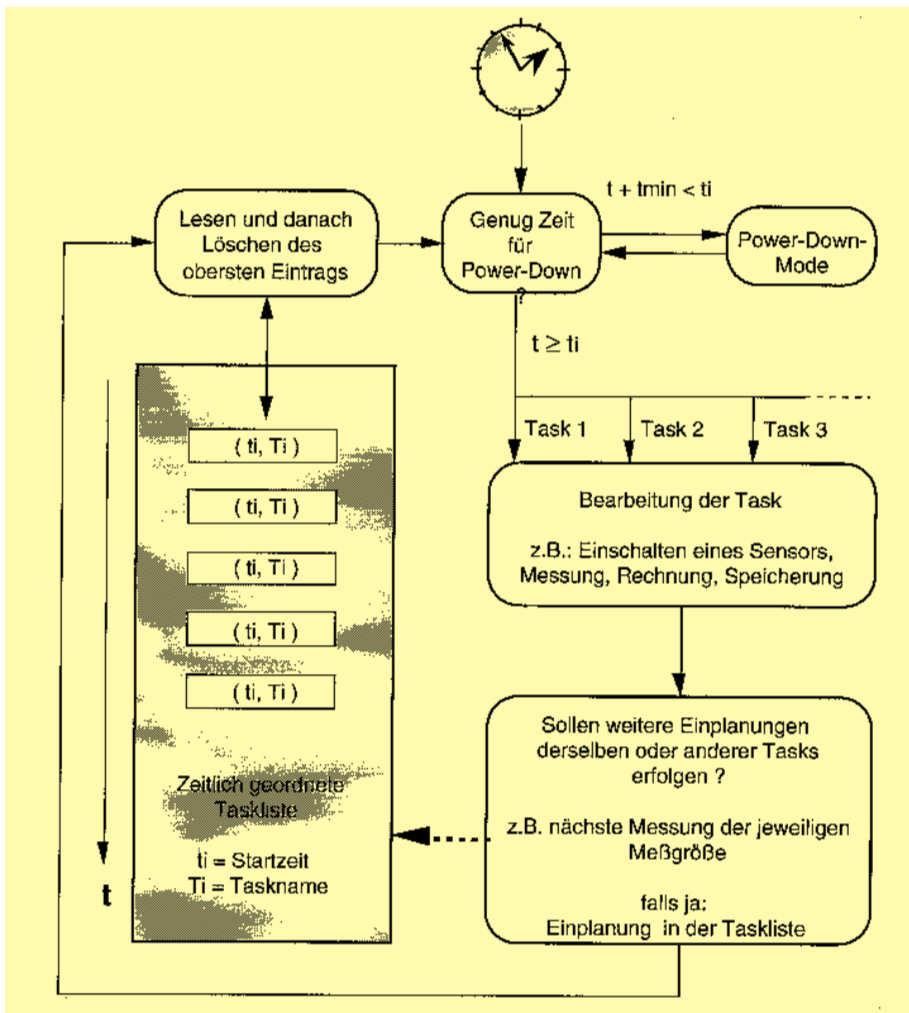
| Sensor     | Vorlaufzeit | mittlere Datenrate | kontinuierlicher Betrieb | Dauerbetrieb in Meßphasen | Impulsbetrieb |
|------------|-------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
|            | [ms]        | [samples/h]        | [W]                      | [W]                       | [W]           |
| Strömung   | 60          | 2400               | 4,4                      | 0,73                      | 0,29          |
| Druck      | 4           | 2400               | 0,8                      | 0,13                      | 0,014         |
| Multisonde | 600         | 48                 | 3,2                      | 0,64                      | 0,20          |

Der Meß- und Steuerrechner wurde auf der Basis des Mikrocontrollers 80C32 entwickelt und erprobt. Er verfügt über 16 Modulsteckplätze für analoge Eingangskanäle, so daß verschiedenste Meßaufgaben übernommen werden können. Zur Umwandlung der Sensorsignale wird ein Analog-Digital-Wandler mit 12-Bit-Auflösung verwendet. Über digitale Ausgänge können einzelne Verbraucher (Sensoren, Datenfernübertragung,

Speicher, ggf. LCD-Anzeige) im Rahmen eines Lastmanagements angesteuert werden.

Im Betrieb hat der Meß- und Steuerrechner eine Leistungsaufnahme von 300 mW. Während der Meßpausen kann er in einen Power-Down-Modus mit einer Leistungsaufnahme von 70 mW übergehen. Eine Echtzeituhr sorgt dafür, daß mittels einer Reset-Logik der Mikrocontroller vor der nächsten Messung wieder aktiviert

Abbildung 3: Prinzip des zeitgesteuerten Multitasking im Betriebssystem des Meß- und Steuerrechners



wird und daß die Meßdaten reproduzierbar abgelegt werden.

Zur Abarbeitung der zeitlich komplex verschachtelten Steuer-, Meß-, Rechen- und Übertragungsaufgaben dient ein multitasking-fähiges Betriebssystem. Dieses Betriebssystem erlaubt eine individuelle Einstellung der Meßparameter in allen Eingangskanälen. Die Ausführung der einzelnen Aufgaben, der sog. Tasks, erfolgt in der Reihenfolge einer zeitlich geordneten Taskliste (Abbildung 3). Mögliche Tasks sind das Einschalten eines Sensors, eine Messung, eine Mittelwertbildung und eine Datenspeicherung. Das Betriebssystem ist in den Sprachen Assembler und C programmiert.

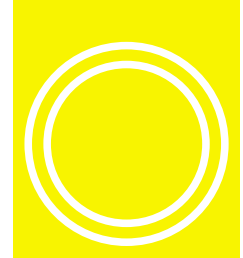
Vereinfachend kann angenommen werden, daß der Meß- und Steuerrechner zur Erfassung und Verarbeitung eines Meßwertes inkl. Einschalten und Ausschalten des Sensors ca. 20 ms benötigt. Betrachtet man die o. g. Meßaufgaben, so fallen pro Stunde jeweils 4.800 Meßwerte für die Wellenhöhe und die Strömungsgeschwindigkeit sowie 96 Meßwerte für die Multisonde an. Über das Verhältnis der Aktiv- zu den Power-Down-Phasen im Impulsbetrieb läßt sich daraus eine mittlere Leistungsaufnahme des Meß- und Steuerrechners von 82 mW bzw. ein täglicher Energiebedarf von 0,98 Wh/d ermitteln.

#### 4. Entwicklung des Ladereglers

Zur autonomen photovoltaischen Versorgung der Meßstation gehören die Komponenten PV-Generator, Batterie und Laderegelung. Durch Einsatz eines „intelligenten“ Ladereglers mit Maximum-Power-Point-Tracking (MPPT) wird die zur Verfügung stehende photovoltaische Energie am besten verwertet. Dadurch wird gerade in der strahlungsarmen Winterzeit, in der Ladestatus und die Spannung der Batterie niedrig sind, die Modulspannung im optimalen Arbeitspunkt aber aufgrund der niedrigen Modultemperatur hoch ist, ein Maximum an elektrischer Energie erzeugt.

Am ISFH wurden parallel zu den Aktivitäten im Bereich der Meßstationen langjährige Entwicklungen und Unter-





suchungen zum Laderegler durchgeführt [3][4]. Daraus entstand in Kooperation mit der alfasolar Vertriebs GmbH das innovative Konzept des mikrocontrollergesteuerten Ladereglers OPTIMAX. Unter Einsatz modernster Techniken (energieminimierte Schaltungstechnik) konnte ein leistungsstarkes und zugleich kostengünstiges Ladereglersystem mit vielen Zusatzfunktionen entwickelt werden. Dabei wurden sämtliche Eigenschaften des 50 W-ISFH-MPP-Trackers wie z. B. der hohe Wirkungsgrad im Teillastbereich und die im Batterieteststand des ISFH gesammelten Erfahrungen mit der Ladezustandserfassung von Batterien übernommen [5].

Die geringen Kosten des OPTIMAX werden von mehreren Faktoren beeinflusst:

- Weitgehende Festlegung der Funktionen durch Software,
- Modularer Aufbau durch Trennung von
  - Mikrocontrollersteuerung und
  - DC/DC-Stellglied (Leistungsstück 200 W/400 W je nach Batteriespannung),
- Verbrauchermanagement,
- Bussteuerung der Einzelkomponenten sowie
- Beschränkung der Basisversion auf wichtige externe Bedienfunktionen.

Das Zusammenwirken der Einzelmodule und die Funktionen der einzelnen Baugruppen werden im folgenden erläutert (Abbildung 4):

- Das Steuermodul besteht aus einem Mikrocontroller mit Peripherie, einem A/D-Umsetzer, Programmspeicher, Speicher für Meßdaten (maximal 128 kByte) und einem seriellen EEPROM für Konfigurationsparameter. Mit Hilfe eines programmierbaren Timer-Bausteins kann der Laderegler für definierte Zeiträume in einen Power-Down-Modus geschaltet werden, um den Eigenverbrauch zu minimieren.

Der Laderegler kann selbsterkennend an 12 V- und 24 V-Systemen eingesetzt werden. Die verschiedenen Baugruppen werden störsicher über einen digitalen Bus miteinander verbunden und vom Steuermodul kontrolliert.

Die Algorithmen zur Batterieladung

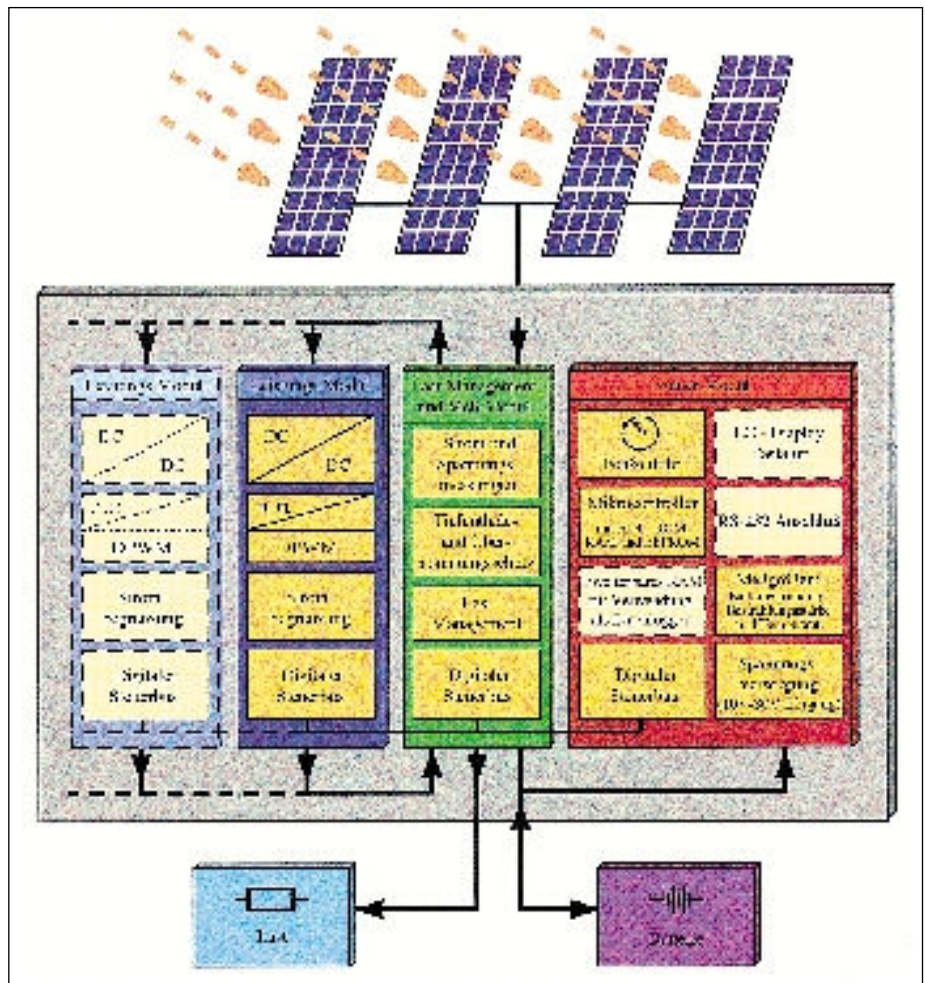


Abbildung 4: Blockschaltbild des mikrocontrollergestützten Ladereglers OPTIMAX

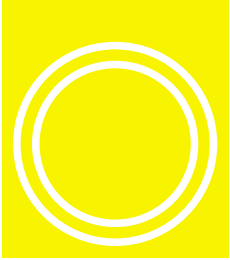
und zum MPP-Tracking sind in der Mikrocontrollersoftware implementiert. Das erlaubt eine einfache Anpassung an verschiedene Batterietypen und Ladeverfahren. Bis zu acht analoge Daten können erfaßt und über ein optionales Display und/oder eine optionale RS-232-Schnittstelle ausgelesen und dargestellt werden.

- Die Standardleistungsmodule beinhalten einen Abwärtswandler, der über einen digitalen Pulsweitenmodulator gesteuert wird. Die Erweiterung des Ladereglers hin zu einer höheren Nennleistung erfolgt durch die Parallelschaltung weiterer Module.

Die Module sind in ihrem Wirkungsgrad auf den Teillastbereich hin optimiert (Ladereglerwirkungsgrad > 95%). Durch intelligente Nutzung von Leistungsteilen kann somit auch bei höheren PV-Generatorleistungen ein hoher Ladereglerwirkungsgrad erreicht werden.

Da die Leistungsmodule auf einer gemeinsamen Gleichstromhauptleitung arbeiten, ist ein Schutz der einzelnen Module gegen Überstrom erforderlich, um bei kurzzeitigen Änderungen der Einstrahlung eine Überlastung zu verhindern. Diese Sicherheitseinrichtung begrenzt den Strom pro Leistungsmodul auf einen festen Wert und veranlaßt das Steuermodul, die Leistungsaufteilung und den Generatorarbeitspunkt neu zu bestimmen.

- Das Lastmanagement- und Meßmodul dient der Sammlung und Verteilung sowie der gleichzeitigen Messung der Leistungen von PV-Generator und Batterie. Drei verschiedene Verbrauchergruppen können über Leistungsschalter in Abhängigkeit vom Batterieladestatus oder auch zeitgesteuert ein- und ausgeschaltet werden. Weiterhin enthält dieses Modul Einrichtungen für den Verpolungs- und Überlastschutz.



## 5. Datenspeicherung und Datenfernübertragung

In der ersten Phase des BMBF-Projektes zur photovoltaischen Versorgung von Umweltmeßstationen erfolgte die Datenspeicherung in der Meßstation mit Hilfe von Halbleiterspeicherkarten (Flash-EPROM) mit bis zu 16 MByte Speicherkapazität. Diese Datenkarten bieten die Vorteile, daß sie in das Lastmanagement integrierbar sind und nur für kurze Schreib- und Leseprozesse angesteuert werden müssen und daß sie – auch nach evtl. Abklemmen der Versorgungsspannung – ihren Speicherinhalt nicht verlieren. Um die Meßdaten – z. B. im Rahmen einer routinemäßigen Wartung – aus der Meßstation zu entnehmen, wird die beschriebene Datenkarte durch eine neue ersetzt. Mit der neuen Datenkarte kann auch eine neue Parametrisierung der Meßkanäle an das Betriebssystem übergeben werden.

Die Fernübertragung der Meßdaten an die Auswertestelle vervollständigt die hinsichtlich der photovoltaischen Elektrizitätsversorgung schon bestehende Autonomie der Meßstation. Daher wurde in der zweiten Phase des Projektes eine Datenfernübertragung (DFÜ) im Mobilfunknetz C der Telekom realisiert [6]. Die benötigten Komponenten sind auf seiten der Meßstation ein Interface, ein Modem und ein C-Netz-Mobilfunktelefon (Abbildung 5). Das Mobilfunktelefon sendet die Daten per Funk zur nächstgelegenen Basisstation. Von dort erfolgt die weitere Datenübertragung leitungsgebunden bis zum angewählten Telefonanschluß. Ein Modem stellt auch hier die Verbindung zwischen dem Telefonnetz und dem Empfänger her.

Am ISFH wurde ein DFÜ-Interface mit eigenem Mikrocontroller entwickelt, welches den Meß- und Steuerrechner mit dem Modem koppelt. Das separate DFÜ-Interface ermöglicht der Meßstation – auch bei Ausnutzung der maximalen Meßrate – einen ungestörten Meßbetrieb, indem es eigenständig das Mobilfunktelefon und das Modem einschaltet, die Telefonverbindung herstellt und die Daten überträgt. Dabei ist ein Start der Datenübertragung auf verschiedene Weisen möglich: zu festen Zeitpunkten, auf

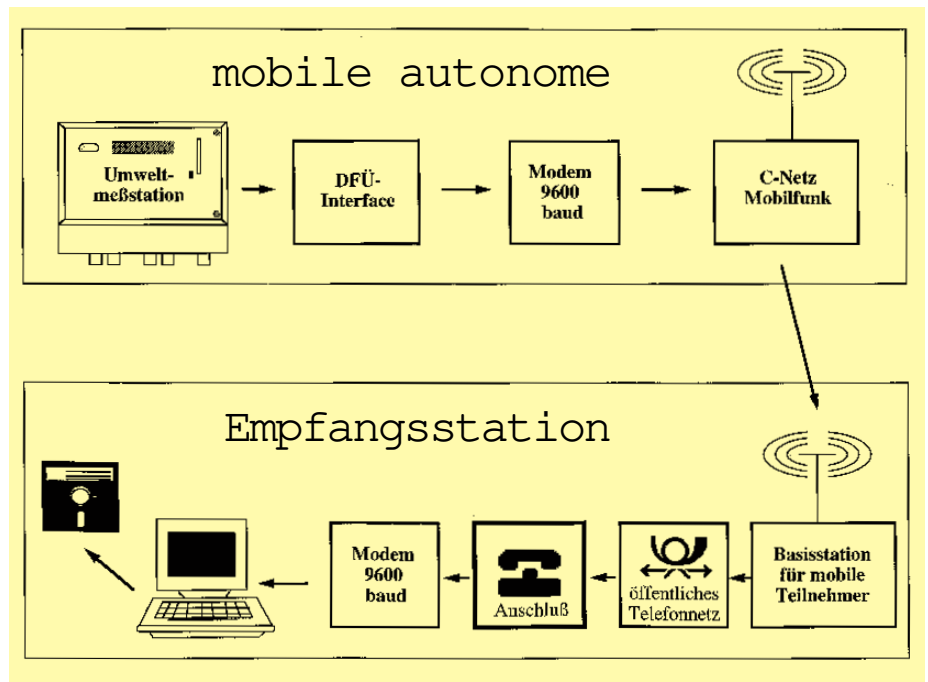


Abbildung 5: Funktionsschema der funkgestützten Fernübertragung der Meßdaten von der photovoltaisch versorgten Umweltmeßstation zum Empfängerrechner

Anforderung durch den Nutzer (Duplex-Betrieb), bei Erreichung einer bestimmten Datenmenge im RAM-Zwischenspeicher des Interfaces oder bei Überschreitung eines Meßschwellwertes (Alarmmeldung).

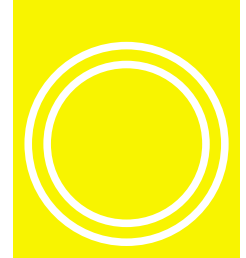
Das DFÜ-Interface hat eine Leistungsaufnahme von 300 mW im aktiven Betrieb bzw. 3 mW im Power-Down-Modus. Die weiteren DFÜ-Komponenten haben sehr hohe Anschlußleistungen. Das Modem hat eine Anschlußleistung von 7 W und das Mobilfunktelefon eine von 46 W (im aktiven Sendebetrieb) bzw. 5 W (im Stand-By-Betrieb). Die photovoltaische Elektrizitätsversorgung setzt daher die Minimierung der Betriebszeit gerade dieser Geräte zwingend voraus. Das bedeutet im Falle des evtl. Duplex-Betriebs, daß die Empfangsbereitschaft (Mobilfunktelefon im Stand-By-Betrieb, Modem eingeschaltet) auf bestimmte Zeitfenster beschränkt werden muß. Im o.g. Beispiel der Meßstation im Wattenmeer konnte bei zwei Datenfernübertragungen pro Tag mit einer Datenmenge von jeweils 30 kByte der tägliche Energiebedarf bis auf 20,5 Wh/d vermindert werden.

## 6. Auslegung der photovoltaischen Energieversorgung

Für den Standort Norderney im Nie-

dersächsischen Wattenmeer wurde die optimale Kombination von PV-Generator und Batterie in Abhängigkeit von der Strahlungs- und Lastcharakteristik sowie der anzustrebenden Versorgungssicherheit ermittelt. Hierfür wurde das Simulationsprogramm INSEL der Universität Oldenburg verwendet. Als Eingangsdaten standen Stundensummen der Globalstrahlung auf die vertikale, nach Süden ausgerichtete Fläche zur Verfügung, die aus den langjährigen Mitteln für die Global- und Diffusstrahlung der benachbarten Station des Deutschen Wetterdienstes berechnet wurden. Dabei wurde eine Albedo von 0,7 (Flut) bzw. 0,15 (Ebbe) angenommen. Der stündliche Energiebedarf ergab sich gemäß den Annahmen in Kapiteln 2, 3 und 5. Der Batterieladezustand sollte zu keinem Zeitpunkt – auch nicht im Dezember oder Januar – unter 70% sinken.

Gemäß der Simulation reicht für die o. g. Meßaufgabe – bei Einsatz des eigenentwickelten Meß- und Steuerrechners sowie des DFÜ-Interfaces und bei Durchführung aller erarbeiteten Lastmanagementmaßnahmen (Sensoren, Modem, Mobilfunktelefon) – ein PV-Modul mit 50 W<sub>p</sub> Nennleistung (hier: ASE PQ 40/50) in Verbindung mit einem MPP-Tracking-Laderegler und einer Batterie mit 100 Ah Nennkapazität (hier: VARTA Solar) zur au-



tonomen Elektrizitätsversorgung der Meßstation aus.

Die Auswahl und die Installation der PV-Systemkomponenten trugen den spezifischen Standortbedingungen (Tidenhub, Wind, Salzwasser, Eisgang) der Meßstation Rechnung. Der Laderegler und die Batterie wurden gemeinsam mit dem Meß- und Steuerrechner inkl. Datenfernübertragung in einem Aluminiumdruckgußgehäuse angeordnet. Das Gehäuse der Meßstation und das PV-Modul wurden an einem ca. 8 m hohen Aluminiummast befestigt, während die zugehörigen Sensoren in geringem Abstand davon an eingespülten Meßpfählen installiert wurden (Abbildung 6).

## 7. Betriebserfahrungen und Ausblick

Seit 1992 wurden verschiedene Prototypen der photovoltaisch versorgten Umweltmeßstation an verschiedenen Standorten im Niedersächsischen Wattenmeer langzeiterprobt. Der Betrieb sowohl der PV-Elektrizitätsversorgung als auch des Rechners verlief – von einigen vorübergehenden Softwarefehlern des Meß- und Steuerrechners und einigen widrigen Wettereinflüssen (Eisgang, Algenwachstum) einmal abgesehen – überaus erfolgreich. Die durchgeführten Entwicklungen und Prototypenproben haben den Einsatzbereich autonom photovoltaisch versorgter Meß- und Überwachungsanlagen substantiell erweitert.

Im Rahmen eines Projektantrages bei der Niedersächsischen Wattenmeerstiftung plant das ISFH z.Zt. in Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst, dem Niedersächsischen Landesamt für Ökologie, dem Forschungszentrum Terramare, dem Deutschen Windenergieinstitut, der Universität Oldenburg u. a., weitere Meßeinrichtungen im Gebiet der Nordseeküste mit einer photovoltaischen Elektrizitätsversorgung auszustatten. Es handelt sich dabei im einzelnen um:

- Elektronische Pegelmesser (Meßgrößen: Wasserstand, Wellenhöhe),
- Meteorologische Meßmasten (Meßgrößen: Windgeschwindigkeit und -richtung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Einstrahlung) und
- Stationen zur Messung der Phosphat- bzw. Nitratkonzentrationen.

Dabei soll das im Rahmen des BMBF-Vorhabens erworbene Know-how bezüglich des Lastmanagements, der Steuerung der Meßvorgänge, der Datenfernübertragung und der PV-Anlagendimensionierung eingesetzt werden. Es sind Lösungen bezüglich neuer Verbraucher wie z.B. Sensorheizungen, automatische Sondenreinigungen und Probenentnahmeeinheiten zu entwickeln. Weiterhin soll das Betriebsverhalten einer größeren Anzahl von photovoltaisch versorgten Meßeinrichtungen über längere Zeiträume analysiert und mit parallel durchzuführenden Simulationsrechnungen für PV-Systeme verglichen werden.

Photovoltaische Elektrizitätsversorgungen sollen hier demonstrieren, daß sie die Anzahl und den Umfang der Störungen der Biosphäre durch Einsparen einer Kabelverlegung bzw. durch erhebliche Verlängerung von Batteriewartungsintervallen deutlich reduzieren. Darüber hinaus können spezifische, für die Umweltüberwachung wichtige Meßaufgaben (z. B. Nitrateintragsmessung) stationär durchgeführt werden, die bisher – angesichts der hohen Leistungsaufnahme – nur kurzzeitig im Rahmen von Meßfahrten mit dem Schlauchboot durchgeführt werden konnten.

Im Rahmen eines Projektantrages bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt sollen in Sachsen-Anhalt photovoltaisch versorgte Meßbojen zum Einsatz in Binnengewässern entwickelt und erprobt werden. Mit ihrer Hilfe sollen der Sauerstoffgehalt, der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Wassertemperatur stationär gemessen und darüber hinaus regelmäßig Proben für eine spätere chemische Analyse entnommen werden.

## Dank

Folgenden ehemaligen Wissenschaftlichen Mitarbeitern des ISFH sei für ihre wertvollen Beiträge gedankt: Dipl.-Phys. Ralf Bermich, Dipl.-Ing. Christian Cornelius und Dipl.-Ing. Michael Gentz. Die Arbeiten wurden mit freundlicher Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) durchgeführt.

## Literatur

- [1] R. Bermich, C. Cornelius, M. Gentz „PV-Powered Environmental Monitoring Station for Marine Application – Optimization of Load Management Techniques“, Proc. ISES Solar World Congress (Vol. 3), Budapest (1993) 351
- [2] K. Schreitmüller, R. Bermich, C. Cornelius, B. Decker, M. Gentz „Photovoltaische Energieversorgungen für Umweltmeßstationen“, Abschlußbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben FKZ 0329038A, Emmerthal (1994)
- [3] M. Gentz, R. Bermich „Power Matching by MPP-Tracking in Photovoltaic Systems“, Proc. ISES Solar World Congress (Vol. 3), Budapest (1993) 293
- [4] M. Gentz, W. Nasse „Vergleich dreier Laderegler für 50-W-PV-Kleinsysteme“, 9. Intl. DGS Sonnenforum, Stuttgart (1994) 574–581
- [5] W. Nasse, D. Tegtmeier, M. Denz „OPTIMAX - Die neue Generation MPP-geführter Laderegler“, 11. Symp. Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz / Staffelstein (1996) 489–493
- [6] M. Gentz „PV-versorgte mobile Datenfernübertragung“, 9. Intl. DGS Sonnenforum, Stuttgart (1994) 650-657

*Abbildung 6: Photovoltaisch versorgte Umweltmeßstation im Niedersächsischen Wattenmeer bei Spiekeroog (Seite 90)*



