

# Solarspeisung für digitale Richtfunkverbindung

Autor(en): **Meier, Heinz / Nüesch, Robert / Rubli, Silvio**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **71 (1993)**

Heft 8

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875518>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Solarspeisung für digitale Richtfunkverbindung

Heinz MEIER, Robert NÜESCH, Silvio RUBLI, Jürg SCHADEL und Manfred WINKLER, Bern

## 1 Entstehungsgeschichte

Die Entwicklung der Region Samnaun machte einen Neubau der Ortszentrale nötig. Das bestehende, zum Teil oberirdisch geführte Zubringerkabel ist stark lawinengefährdet, was eine Zweitwegverbindung über Richtfunk zwischen Scuol und Samnaun erforderte.

Bereits seit 1972 steht auf dem *Piz Muttler* (3294 m ü.M.) ein Passivrelais. Es dient der Fernsehprogramm-Zubringerverbindung Piz Corvatsch – Samnaun.

Mit dem Bedürfnis nach einer Richtfunkverbindung Scuol – Samnaun wurde der Piz Muttler als Relaisstandort erneut interessant. Diese neue Verbindung mit einer Übertragungskapazität von 34 Mbit/s war vorgesehen, um Engpässe auf dem Kabel zu überbrücken und von 1993 an mit der Digitalisierung der Zentrale Samnaun auch den zweiten Weg sicherzustellen. Mit einem digitalen Ring, Scuol – Ramosch – Samnaun (Glasfaserkabel) und Samnaun – Muttler – Tarasp – Scuol (Richtfunk), wird zudem auch die Zentrale Ramosch über zwei getrennte Wege mit dem Netz verbunden.

Aus geographischen Gründen ist für diese Telefonverbindung nur ein aktives Relais auf dem Muttler möglich, das in ein völlig unerschlossenes Hochgebirge zu liegen kommt. Ein Anschluss an das Elektrizitätsnetz war aus bautechnischen und naturschützerischen Gründen sowie wegen der Störanfälligkeit der Zuleitung sehr kostspielig und deshalb nicht vertretbar. Folglich musste eine zuverlässige, wartungsarme, hochgebirgstaugliche Stromversorgung im Inselbetrieb gefunden werden.

## 11 Wahl des Speisesystems

Als wartungsarme Speisesysteme kommen photovoltaische (Solargenerator) und von der Umgebungstemperatur unabhängige thermoelektrische Generatoren (Thermogenerator) in Betracht. Wind- sowie Dieselgeneratoren eignen sich wegen des hohen Wartungs- bzw. Brennstoffaufwands im unerschlossenen Gebirge nicht.

Drei Speisesysteme wurden näher untersucht:

- zwei Solargeneratoren
- zwei Hybridsysteme (Solar- und Thermogenerator), wobei der Solargenerator auf den mittleren Jahreswert der Globaleinstrahlung dimensioniert wird und der Thermogenerator die jeweils fehlende Energie bei geringerer Sonneneinstrahlung lieferte

- zwei getrennte Systeme, wobei die eine Richtfunkanlage mit dem Solar- und die andere mit dem Thermogenerator gespeist wird.

Trotz seiner Zuverlässigkeit wurde aus betrieblichen Gründen (Brennstoffnachschub und Lagerung) sowie wegen feuerpolizeilichen Vorschriften der Thermogenerator fallengelassen.

Gewählt wurde eine Solarspeisung mit Regler und wartungsfreien Batterien.

## 12 Versuch auf dem Piz Corvatsch

Mit Blick auf das Projekt Piz Muttler baute man eine Solarversuchsanlage für 360 W auf dem erschlossenen Piz Corvatsch, 3451 m ü.M., um eine solche Anlage zu erproben bezüglich:

- Bau und Betrieb
- Störung und Wartung
- Messdaten zur Berechnungskontrolle.

Die Anlage bestand aus einem Solargenerator, einem am Mast montierten Regler, dem Lastwiderstand sowie den Batterien, die aus ästhetischen und Temperaturgründen in einem Stahlbehälter im Felsboden eingegraben wurden.

Die befürchtete langfristig andauernde Vereisung und Verschmutzung des Solargenerators trat nicht ein. Die abgegebene Energie entsprach der Berechnung. Für den Regler musste ein dem Klima entsprechendes Konzept gewählt werden. Die Temperatur im wasserdichten Batteriebehälter sank bis  $-5\text{ °C}$  ab. Der Behälter musste mit einem Überdruckventil ausgerüstet werden. Die Batteriekapazität sank innert drei Jahren auf etwa 80 % ab.

Dem Blitzschutzkonzept musste besondere Beachtung geschenkt werden.

## 13 Solarspeisung für $2 \times 5\text{ kW}/24\text{ V}$

Aufgrund der Erfahrungen vom Piz Corvatsch wurde 1988 der Bau einer Solarspeisung für das Aktivrelais auf dem Piz Muttler beschlossen. Die Anlage erlaubte gleichzeitig, den Einsatz unter extremen Verhältnissen zu studieren. Ziel war es, künftig Solarspeisungen optimal zu dimensionieren.

Um eine für Telekommunikationsanlagen geeignete Stromversorgung für beide unabhängigen Richtstrahle-



lais sicherzustellen, sind zwei Solarspeisungen zu 5 kW / 24 V erforderlich.

Neben der nötigen Dauerleistung für beide Richtstrahl-anlagen sind zusätzlich noch folgende Verbraucher zu speisen:

- Messdatenerfassung und Übertragung
- Speisung der Systemsteuerung, Anzeigen sowie Alarme
- Wiederaufladen der Batterien – 4000 Ah für 20 Tage Autonomie – innert 10 Tagen auf 85 %.

Die Kapazitätsverluste der Batterien bei tiefer Temperatur (bis  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) erfordern ein Einbetten des Betriebscontainers in das wärmere Gipfelgelände. Die Grösse des Solarspeisesystems führte jedoch zur Erkenntnis, dass der enorme Bauaufwand den Kostenrahmen gesprengt hätte, worauf beschlossen wurde, das Aktivrelais von Grund auf neu zu überdenken.

## 14 Redimensionierung

Um den Energiebedarf möglichst klein zu halten, werden für die Richtfunkverbindung neu *Geradeausverstärker* verwendet. Ihre Leistungsaufnahme beträgt 44 W gegenüber 552 W für ein konventionelles Sender/Empfänger-Richtfunkrelais. Diese Lösung ist nur möglich, wenn dadurch keine Interferenzprobleme für das übrige Netz entstehen, und wenn der Winkel zwischen den beiden Strahlrichtungen eine genügende Entkopplung gewährleistet.

Die Bedingungen für das neue Solarspeisekonzept lauteten damit wie folgt:

- Dauerleistung von 72W /12 V, einschliesslich:
  - Zusatzgeräte
  - Überwachung und Infrastruktur
  - Datenübertragung
- Batterieautonomie: > 13 Tage
  - 4000 Ah bei einer Raumtemperatur von  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - minimale Temperatur  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - Wiederaufladung innert 6 Tagen auf 85 %
- hochisolierter Geräte- und Batteriecontainer mit einer Wärmedurchgangszahl  $k = 0,2$
- von aussen zugänglicher Anschluss für ein Notstromaggregat mit 220 V
- Notgleichrichter 100 A/12 V zum Aufladen der Batterien im Notfall.

## 2 Entwicklung und Bau der Solarspeisung

### 21 Systemkonzept

Das System besteht aus 72 60-W-Solarpaneelen, die in zwei Reihen zu drei Gruppen angeordnet sind, sowie aus dem Container, in dem die Sendeanlage und die Stromversorgungsanlage mit den Batterien untergebracht sind (Titelbild und Fig. 1).

#### 211 Blitzschutz

Der gesamte Sendemast, der höher als die Paneele gelegen ist, Blitzfangstangen auf der Paneeltragkonstruktion, abgeschirmte Kabel sowie Überspannungsschutz-

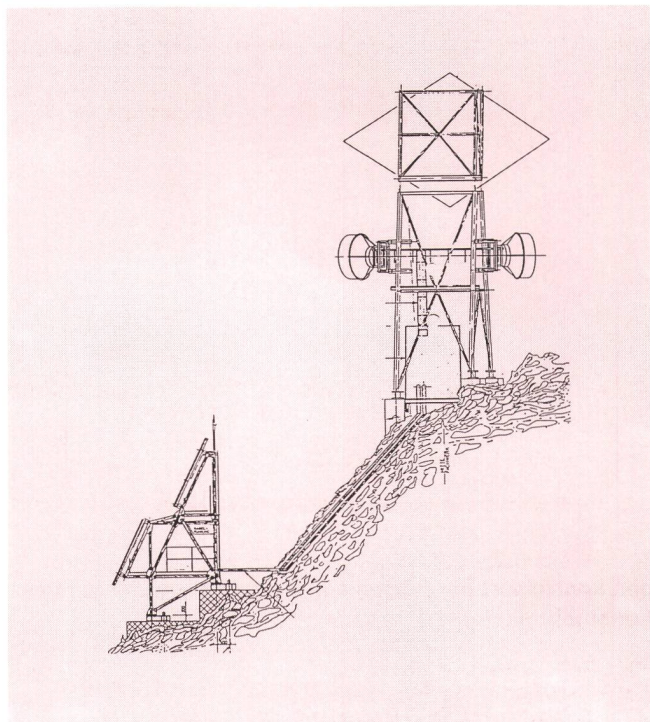


Fig. 1 Übersicht

elemente am Eingang des Containers schützen Paneele und Stromversorgungsanlage vor den Auswirkungen eines Blitzschlags.

#### 212 Leistung der Paneele

Der Leistungsbedarf dieser Fernmeldeanlage ist über das ganze Jahr konstant. Deshalb sind die Paneele mit einem festen Neigungswinkel von 65 Grad aufgestellt, um einen optimalen Ertrag im Dezember, dem sonnenärmsten Monat, zu erhalten. Das System wurde nach [1] mit den Lage- und Temperatur-Korrekturfaktoren berechnet und ist in der Lage, im Dezember nicht nur die Last zu speisen, sondern auch die Batterien voll aufzuladen, um sie vor Tiefentladung und damit vor Vereisung zu schützen.

#### 213 Laderegler

Die Batterien werden von 12 parallelgeschalteten Laderegler (Maximum Power Tracker) geladen. Diese optimieren, besonders an kalten Wintertagen, den Energiefluss aus den Paneelen. Zwei Ausgänge – einer für die Batterie, einer für die Heizung – stellen sicher, dass die Heizung nur von den Paneelen und nicht von der Batterie betrieben wird. Dank dem Einsatz von Laderegler nach dem Gleichstrom/Gleichstrom-Wandler-Prinzip kann auch eine Heizung (Widerstandslast) mit optimaler Leistung betrieben werden.

#### 214 Steuergerät

Dieses steuert die Batterieladespannung, die periodische Spitzenladespannung (Boost Charge), die Heizungsumschaltung, misst und überträgt 37 Messwerte



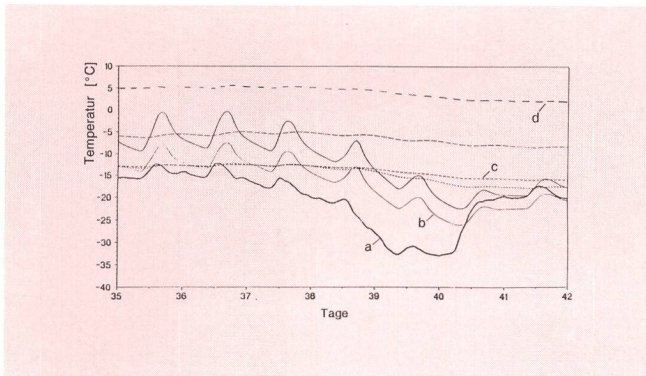


Fig. 2 Thermisches Verhalten des Containers

- a) Umgebungstemperatur
- b) ohne Wärmespeicher
- c) mit Wärmespeicher
- d) mit Wärmespeicher und 235 W Heizleistung

und kontrolliert periodisch alle Anlageteile auf ihre Funktionstüchtigkeit.

### 215 Datenerfassung und -auswertung

An den wichtigen Punkten im System sind insgesamt 37 Messsonden installiert, Spannungs- und Temperatursonden aus Sicherheitsgründen doppelt. In einem Messgestell werden die Messungen aufbereitet und dem Steuergerät übergeben. Alle 25 Sekunden wird ein neuer Satz von Messwerten über einen besonderen Datenkanal der Richtstrahlverbindung geschickt und in der Empfangsstation in einem Zwischenspeicher abgelegt. Von dort werden die Daten jede Nacht über eine normale Wählleitung von den Auswerterechnern (PC) abgeholt. Es können Tabellen und Graphiken über verschiedene Zeiträume (1 Tag bis 1 Jahr) erstellt werden, und für die aktuelle Überwachung steht eine Direktzugriff-Funktion (on-line) zur Verfügung.

### 216 Batterien

Es sind wartungsfreie Bleiakkumulatoren mit einem für diese Höhe modifizierten Ventil in vier Gruppen zu sechs Zellen installiert. Jede Zelle wiegt 75 kg und besitzt eine Kapazität von 1000 Ah bei 15° C. Sowohl die Stromversorgungsanlage als auch das Batteriegestell sind für einen Ausbau auf sechs Batteriegruppen vorbereitet.

### 217 Container

Der Container weist eine Tiefe von 1,7 m, eine Höhe von 2,3 m und eine Breite von 2,8 m auf. Er enthält die Batterien, die Sendeanlage und die Stromversorgungsanlage bestehend aus Laderegler, Steuergerät und Verteilungsgestell. Im Container kann sich eine Person aufhalten und auch bei geschlossener Tür arbeiten. Diagonal versetzte Öffnungen sorgen für eine natürliche Belüftung des mit 25 cm dicken Polyurethan-Schaumstoffplatten hochisolierten Containers. Als Wärmespeicher, in dem auch die Bodenheizung untergebracht ist, dient der 20 cm dicke Betonfussboden.

## 22 Thermische Berechnungen

Das thermische Verhalten des Containers wurde mit einer Computersimulation untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass ein ausgeglichener Temperaturverlauf um die +5 °C nur mit einer Kombination von Isolation, Heizung und Wärmekapazität erreicht werden kann (Fig. 2). Es wurden die effektiven Wetterdaten vom benachbarten Piz Corvatsch verwendet. Diese weisen z.B. für den Februar 1986 einen Temperatursturz auf -33 °C auf!

## 23 Zuverlässigkeitsanalyse

In einer weiteren Analyse wurde das Zuverlässigkeitsverhalten der Anlage studiert. Wegen der erschwerten Erreichbarkeit wurde eine hohe mittlere Reparaturzeit (Mean Time to Repair, MTTR) von 0,25 Jahren eingesetzt. Für die Batterien wurden sogar 0,5 Jahre angenommen, da es schwierig ist, die Batteriekapazität zu bestimmen und damit eine «defekte» Batterie zu erkennen. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl Laderegler und Paneel als auch Batterien parallelgeschaltet werden müssen, um die geforderte hohe Zuverlässigkeit zu erreichen. Unter Berücksichtigung von vier verschiedenen Wetterbedingungen wurde die mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen (Mean Time between Failures, MTBF) für den Regler/Paneel-Teil von 2603 Jahren, für den Batterieteil von 638 Jahren und für das gesamte System von 500 Jahren ermittelt.

## 24 Wirkungsweise der Laderegler

Die Laderegler sind getaktete Gleichstrom/Gleichstrom-Konverter ohne galvanische Trennung und weisen eine Leistung von 360 W auf. Sie besitzen einen hohen Wirkungsgrad auch bei sehr kleiner Einstrahlung von 50 W/m<sup>2</sup> (Fig. 3) sowie zwei schaltbare Ausgänge, einen für die Batterien, einen für die Heizung. Der Arbeitspunkt grösster Leistung wird vom Regler selbst periodisch eingestellt, indem er seine Eingangsspannung auf einen bestimmten Prozentsatz der Paneel-Leerlaufspannung regelt. Der «mitlaufende» Wirkungsgrad (Tracking Efficiency, definiert als Eingangsleistung des Reglers im Verhältnis zur momentan maximal möglichen Paneel-

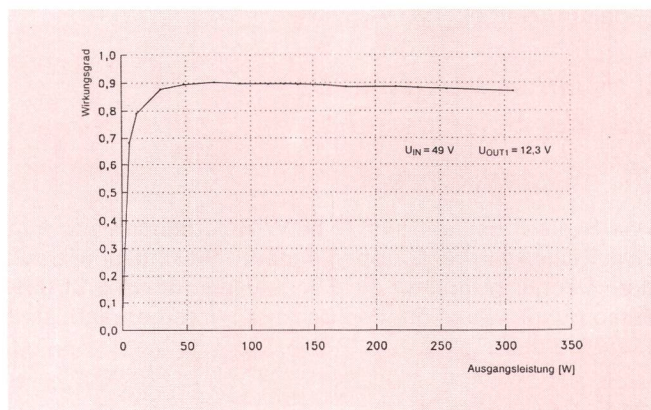


Fig. 3 Gleichstrom-zu-Gleichstrom-Wirkungsgrad der Laderegler

- $U_{IN}$  Eingangsspannung
- $U_{OUT}$  Ausgangsspannung



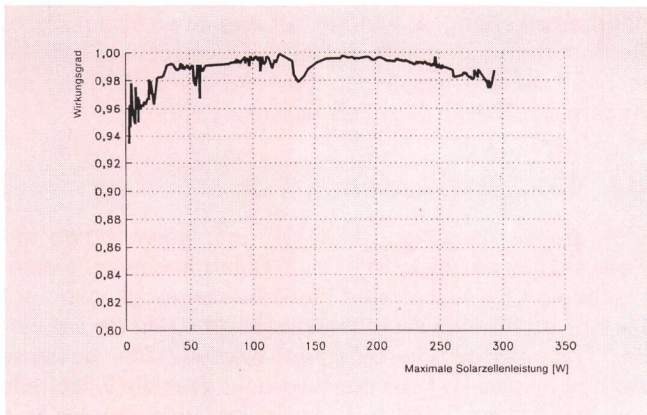


Fig. 4 «Mitlaufender» Wirkungsgrad der Laderegler (Tracking Efficiency)

ausgangsleistung) wurde mit einem eigens dafür entwickelten Messgerät gemessen [2] und ist in *Figur 4* dargestellt. Je zwei Regler arbeiten unter Teilung der Last an einer Paneelgruppe. Alle sechs Gruppen sind am Ausgang parallelgeschaltet. Jeder Regler ist mit einer Schnittstellenkarte ausgerüstet, die ihn über einen seriellen Bus mit dem Steuergerät verbindet. Dieses regelt die temperaturabhängige Ladespannung (in Schritten von 30 mV), steuert das Ausgangsrelais und überwacht die Funktionsfähigkeit des Reglers.

## 25 Controller

Über einen seriellen Bus kommuniziert das Steuergerät mit den Laderegler und dem Messgestell (*Fig. 5*). An einem Terminal werden die Messwerte, Alarme und Diagnosemeldungen ausgegeben sowie das System mit allen seinen Parametern definiert. Das Ladegerät regelt die Batterieladespannung entsprechend der Temperatur, gewährleistet die vorgegebenen Spitzenladezeiten sowie -intervalle und schaltet die Ladereglergruppen eine nach der anderen auf die Heizung, wenn der Batterieladestatus und die Temperatur dies erlauben. Zudem überwacht es Alarme und Störungen, verarbeitet die Messwerte und schickt sie zusammen mit den Statusmeldungen an eine besondere Schnittstelle.

## 3 Datenübertragung

Wegen der exponierten Lage verfügt die Station Muttler nicht über eine zusätzliche Telefonverbindung, die eine Übertragung der gesammelten Solardaten ermöglicht hätte.

Die eingesetzten 7-GHz-Geradeausverstärker der Firma *Peninsula* sind aber so ausgelegt, dass sie mit einer dem Hauptsignal überlagerten Amplitudenmodulation (AM) Alarmwerte zum nächsten Terminal übermitteln. Diese langsame Modulation verändert den Summenpegel des Hauptsignals um  $\pm 1$  dB und wurde besonders für die Überwachung abgelegener und schlecht erschlossener Stationen entwickelt. In Zusammenarbeit mit der Lieferfirma wurde die Alarmsammelplatte modifiziert, so dass eine Übertragung mit 16 Bit/s möglich wurde. Diese für Computeranwendungen sehr langsame Übertragung musste ausreichen, um alle wichtigen Informationen von

der Station Muttler nach Tarasp zu übermitteln. Dass bei der zu überwachenden Solaranlage keine sehr schnellen Zustandsänderungen auftreten bzw. solche Änderungen auf die sehr lange Registrierdauer keinen Einfluss haben, vereinfachte die Aufgabe.

Ein Prozessor fasst die Solardaten in ein Übertragungstelegramm mit einer Länge von 49 Bytes zusammen. Mit den zusätzlich eingefügten Paritätsbytes wird die fehlerfreie Datenübertragung überwacht. Ein Telegramm umfasst alle Versuchswerte der Solaranlage. Wegen der sehr langsamen Übertragungsart können nur alle 24,5 Sekunden neue Werte zur Verfügung gestellt werden. Da die Datenübertragung nur einseitig gerichtet ist, kann bei einem Fehler keine Aufforderung, das Telegramm zu wiederholen, gesendet werden. Telegramme mit unkorrekt übermittelten Daten werden gekennzeichnet und bei der Datenauswertung nicht berücksichtigt.

Ein von der Firma *Mandozzi* entwickeltes Datenaufzeichnungsgerät sammelt in Tarasp die Rohdaten und stellt diese über ein Telefonmodem den verschiedenen Interessenten zur Verfügung.

## 4 Bauplatzinstallation, Bauarbeiten, Stahlkonstruktion

### 41 Allgemeines

Die zu lösenden Probleme bei derart hochgelegenen alpinen Baustellen ohne jegliche Infrastruktur wie jene auf

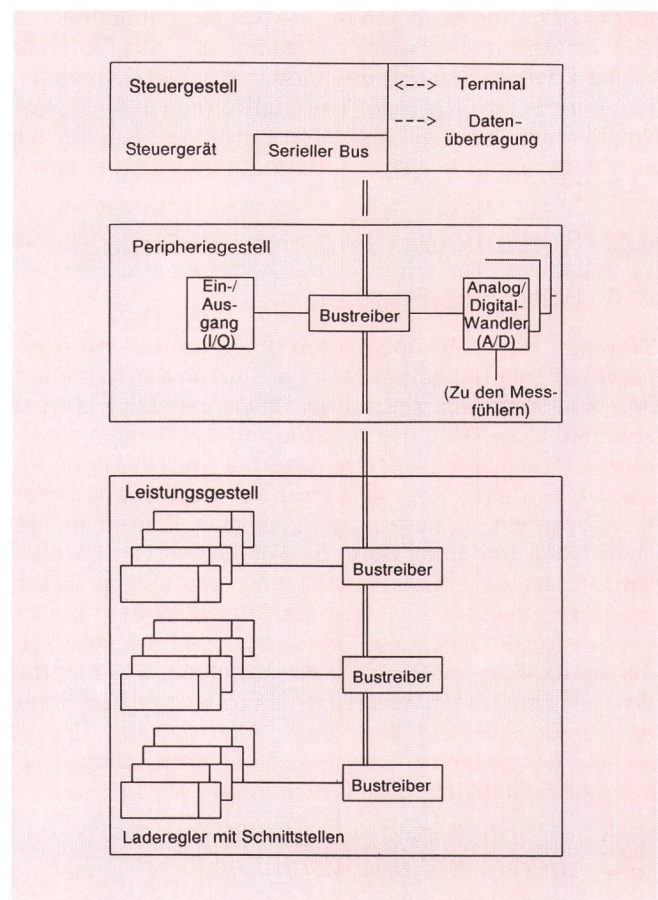


Fig. 5 Blockschalbild des Steuergerätes



dem 3292 m hohen Muttler sind im wesentlichen immer die gleichen:

- Zugänglichkeit (nur mit Helikopter oder zu Fuss)
- relativ kurze Arbeitsphase (Juli bis spätestens Oktober)
- kurzfristige Wetterumschwünge
- schwierige Topographie und Felsbeschaffenheit.

Aus all diesen Gegebenheiten musste eine möglichst gute Kombination der Faktoren Zeit, wirtschaftlicher, den Umständen angepasster Bauweise sowie Sicherheit angestrebt und erarbeitet werden. Dass dies weitgehend gelang, war nicht zuletzt auch einer aussergewöhnlich guten Sommerperiode zuzuschreiben.

## 42 Bauplatzinstallation

Um ein möglichst reibungsloses Ineinandergreifen der einzelnen Bauphasen – verbunden mit dem erforderlichen Personaleinsatz – zu gewährleisten, mussten die Installationen auf dem Gipfel so plziert werden, dass zum einen der Anmarschweg des Personals bis zur Arbeitsstelle möglichst kurz war, zum andern das zu verbauende Material bis in unmittelbarer Nähe der Verwendungsstelle transportiert und dort gelagert werden konnte. Dies wurde damit erreicht, dass im verhältnismässig schwierigen und steilen Gelände drei Wohn- und Schlafcontainer, ausgestattet mit allen Erfordernissen einer hochalpinen Unterkunft, im Abstand von etwa 300 bis 400 m von der Baustelle aufgestellt wurden. Dies war für die Sicherheit des Arbeitspersonals von ausserordentlicher Bedeutung, da ein Transport ins Tal jeweils nur an den Wochenenden mit Helikopter und nur bei gutem Wetter möglich war. Für die Lagerung des Materials wurden bei der Solarkonstruktion und neben dem bestehenden Passivrelais zwei Holzplattformen erstellt, von wo aus das mit Helikopter transportierte Material auf kürzestmöglichem Weg zur Montage gelangen konnte.

## 43 Fundamente

### 431 Felsbeschaffenheit

Während die Stahlkonstruktion des Batterie- und Gerätecontainers problemlos zwischen und an den bestehenden Fundamenten des Passiv-Relais befestigt werden konnten, zeigte sich die Verankerung der Solarkonstruktion weitaus komplexer. Der gesamte Muttler-Gipfel besteht bis in eine Tiefe von etwa 1,5 bis 2 m aus losem und lockerem Schiefergestein, dessen Platten an der Oberfläche bei jeder Berührung in Bewegung geraten. Um auf einigermaßen festen und tragfähigen Untergrund zu gelangen, mussten die Gesteinsplatten bis auf eine Tiefe von etwa 1,5 m abgetragen werden, was wiederum zur Folge hatte, dass die natürliche Steilheit des Geländes noch vergrössert wurde und es zum Teil zu gefährlichen Felsabstürzen kam. Aus diesem Grunde musste der gesamte Hang hinter der Solarkonstruktion mit einem Stahlnetz gesichert werden.

### 432 Fundament und Verankerung

Um die auf dieser Höhe hohen Betonkosten möglichst gering zu halten und um ein hohes Mass an Standsi-

cherheit zu erlangen, wurden nur zwei etwa 50 cm starke Betonstufenfundamente erstellt, die anschliessend mit je zwei auf 60 t vorgespannten und etwa 15 m langen Ankern der Klasse 5 im Fels verankert wurden.

## 44 Solarstahlkonstruktion

Eine grosse Bedeutung kam der Stahlkonstruktion der Solaranlage zu, mussten doch Solarpaneele mit einer Fläche von  $2 \times 40,3 \text{ m}^2$  und einer Ausbaumöglichkeit auf  $2 \times 53,7 \text{ m}^2$  für eine Windbelastung von 200 km/h auf dieser Tragkonstruktion befestigt werden. Der gesamte Aufbau musste so konzipiert werden, dass die Einzelteile möglichst leicht ausfielen damit die Beförderung und Montage an Ort und Stelle ohne grössere Hilfsmittel und Zeitverlust durchgeführt werden konnten. Andererseits musste die Möglichkeit gewahrt bleiben, grössere Elemente im Tal zusammenzubauen und anschliessend mit dem Helikopter zu montieren. Aus all diesen Gründen wurde eine Fachwerkkonstruktion aus Stahlrohr ausgeführt, deren Gesamtgewicht etwa 13 t betrug. Infolge des guten Wetters konnten die Stahlkonstruktion und die Solarelemente mit einem kleinen Helikopter des Typs Lama montiert werden, was zu einer wesentlichen Bauzeitverkürzung auf dem Muttler beitrug. Dank des Einsatzes von routiniertem Personal konnten sämtliche Bauarbeiten unfallfrei abgeschlossen werden.

## 5 Bauerschwernisse

Die Tücken dieser Gipfel-Hochgebirgsbaustelle, erschwert durch die nicht ganz einfach anzufliegende Gipfelplattform, konnten durch die erfahrenen Unternehmer ohne Zwischenfall gut bewältigt werden.

Wegen Landschaftsschutzmassnahmen, die das schweizerische Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft vorgab, konnten die Solarpaneele nicht am optimalsten Standort aufgestellt werden, sondern mussten tiefer in den Südhang verlegt werden, um die Gipfelsilhouette neben dem bestehenden Passivrelais nicht zu beeinträchtigen.

So entstand auch eine Ungewissheit, ob der neue Standort der Paneele die Windverhältnisse im Südhang ändern und damit unberechenbare Schneeverfrachtungen verursachen würde, mit entsprechender Beeinträchtigung der Sonneneinstrahlung.

Von privater Seite wurde gegen das Projekt Einsprache wegen der befürchteten Schädlichkeit der elektromagnetischen Wellen erhoben. Nach Erhalt der Baubewilligungen und Behandlung der Einsprache konnte mit einem Jahr Verspätung ein einjähriger Betriebsversuch aufgenommen werden.

## 6 Betriebserfahrung

Während des Winterbetriebsversuchs vom November 1991 bis Mai 1992 funktionierte die Anlage ohne Unterbrüche und Ausfälle. Die Batterien waren immer voll geladen und deren Temperatur konnte in einem optimalen Bereich gehalten werden.

Heftige Schneefälle vor allem im Frühjahr liessen die Anlage allerdings mehrmals im Schnee versinken. Die



Panelgruppen 4 und 5 waren oft, die Gruppen 1 und 6 teilweise, die Gruppen 2 und 3 selten schneebedeckt, dies aufgrund ihrer mehr oder weniger freistehenden Lage. Der Aufstellung kommt also eine noch grössere Bedeutung zu. Obwohl die Paneele im sehr steilen Gelände montiert sind, konnte es durch Verwehung zu einer sehr grossen Schneeanammlung kommen.

Die aufgetretenen Alarme betrafen immer die zugeschnittenen Panelgruppen. Es ist also in jedem Fall eine sorgfältige Fehleranalyse nötig, bevor man unnötigerweise ausrückt. Dies ist jedoch mit der Datenauswertung gewährleistet.

Wie der erste Winter zeigte, ist eine Batterieautonomie von 13 Tagen zu kurz, nötig sind mindestens 15 Tage. Es wurden mehrere länger dauernde Schlechtwetterperioden verzeichnet. Diese werden um so viele Tage verlängert, wie die Anlage noch zugeschnitten bleibt. Da sehr viel Batteriekapazität installiert ist und noch nicht alle Verbraucher angeschlossen sind, gab es zu dieser Zeit keine kritischen Zustände.

Die mittlere Batterietemperatur im Beobachtungszeitraum lag bei +14 °C, also bedeutend höher als die ange-

strebten +5 °C. Die tiefste Batterietemperatur wurde Anfangs April mit +2 °C festgestellt. Die mittlere Aussentemperatur lag bei -5 °C und der k-Wert des Containers konnte im Mittel mit 0,25 W/m<sup>2</sup> berechnet werden, was den Erwartungen gut entsprach.

Im Februar trat eine siebentägige Kälteperiode ein, wobei die Temperatur bis auf -22 °C sank. Dazu kam schlechtes Wetter - d. h. keine Energie für die Heizung - und die Batterietemperatur sank von +18 °C auf +5 °C bei einer mittleren Aussentemperatur von -17 °C.

Die Bodenheizung ebenso wie die Normal- und Spitzenladung der Batterien funktionierten problemlos.

Aufgrund der Ergebnisse des Betriebsversuchs kann die Relaisstation dem Echtbetrieb übergeben werden.

## Bibliographie

- [1] MeteoNorm, Daten für den Solarplaner, 1985, BEW.
- [2] Kislovski A.S. Maximum Power Point Monitor, IEEE int. Telecom Energy Conference 1990 Record, p. 283-288.

## Zusammenfassung *Résumé*

### *Solarspeisung für digitale Richtfunkverbindung*

Es wird ein photovoltaisches Speisesystem beschrieben, das für schwer zugängliche alpine Stationen eingesetzt wird. Wegen dem sehr kalten Klima sind sowohl die Batterien als auch die gesamte Sende- und Stromversorgungsanlage in einem begehbaren Container untergebracht. Dieser ist sehr gut isoliert und mit einem Wärmespeicher und einer Heizung versehen, um eine günstige Batterietemperatur und damit eine maximale Lebensdauer zu gewährleisten. Mit Ladegeräten, die immer die höchstmögliche Leistung der Solarzellen ausnützen (Maximum Power Tracking), wird die optimale Leistung an die Batterien und sobald diese voll geladen sind auch an die Heizung abgegeben. Ein Steuergerät steuert und überwacht sämtliche Funktionen der Stromversorgungsanlage und überträgt die Messwerte und Betriebszustände für die Datenauswertung.

### *Alimentation des liaisons numériques herziennes par cellules solaires*

Le présent article décrit un système d'alimentation photovoltaïque destiné aux stations alpines difficiles d'accès. En raison du climat extrêmement froid qui y règne, les batteries, de même que toute l'installation d'émission et d'alimentation, sont logées dans un conteneur accessible, très bien isolé, doté d'un accumulateur thermique et d'un chauffage, ce qui assure aux batteries une température idéale et par conséquent une longévité optimale. Les appareils de charge qui profitent de la puissance maximale des cellules solaires (Maximum Power Tracking) permettent de tirer une énergie optimale des batteries et, dès qu'elles sont entièrement chargées, d'alimenter le chauffage. Un dispositif commande et surveille en outre toutes les fonctions de l'installation d'alimentation et transmet les valeurs de mesure et les états de fonctionnement pour l'interprétation des données.

## Riassunto

### *Alimentazione solare per collegamenti in ponte radio digitali*

In questo articolo gli autori descrivono un sistema di alimentazione fotovoltaico impiegato per stazioni alpine difficilmente raggiungibili. A causa del clima molto freddo, sia le batterie che gli impianti di trasmissione e di fornitura di energia elettrica sono sistemati in un contenitore accessibile. Quest'ultimo è ben isolato e è dotato di un accumulatore termico e di un riscaldamento che garantiscono una temperatura ideale per le batterie e quindi una durata di vita utile massima. I carica-batteria, che sfruttano costantemente la potenza massima delle celle solari (Maximum Power Tracking), consentono di fornire la potenza ottimale alle batterie e, non appena quest'ultime sono cariche, anche al riscaldamento. Un apparecchio comanda e controlla tutte le funzioni dell'impianto di fornitura di energia elettrica e trasmette i valori di misura e le condizioni di funzionamento per la valutazione dei dati.

## Summary

### *Solar Power Supply for Digital Microwave Radio Links*

A photo voltaic power supply system is described which is used for remote alpine stations. Because of the very cold climate the batteries as well as the whole transmitter and power supply installations are placed in a walk-in container, which is very well insulated and equipped with a heat accumulator and a heater in order to guarantee a satisfactory battery temperature and thus a maximum life. With battery chargers which always track the highest possible output of the solar cells (Maximum Power Tracking), the optimal output is released on the batteries and as soon as these are fully charged also on the heating. A processor controls and monitors all functions of the power supply installation and transmits the measured values and operating condition for the data evaluation.