Betriebserfahrungen mit der Photovoltaikanlage an der N13

Autor(en): **Nordmann, T. / Clavadetscher, L. / Hächler, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **82 (1991)**

Heft 10

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902961

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Betriebserfahrungen mit der Photovoltaikanlage an der N13

Th. Nordmann, L. Clavadetscher und R. Hächler

Auf den Schallschutzwänden der Autobahn N13 bei Domat/Ems steht seit Ende 1989 die zur Zeit grösste Photovoltaik-Netzverbundanlage der Schweiz in Betrieb. Dieses Projekt wurde als erstes von vier geplanten 100-kW-Anlagen im Rahmen der Pilot- und Demonstrationsprojekte des Bundes realisiert. Der Beitrag orientiert über Betriebserfahrungen und die Zuverlässigkeit der 100-kW-Anlage, über Resultate der Begleitmesskampagne, Oberwellenmessungen und den energetischen Erntefaktor der Gesamtinstallation.

La plus grande installation photovoltaïque de Suisse reliée au réseau, installée sur le mur anti-bruit longeant l'autoroute N13 près de Domat/Ems, est en service depuis la fin de 1989. Sur les quatre installations de 100 kW prévues dans le cadre des projets pilotes et de démonstration de la Confédération, elle est la première avoir été réalisée. L'article informe sur les expériences faites en matière d'exploitation et sur la fiabilité de l'installation de 100 kW, ainsi que sur les résultats de la campagne de mesures complémentaires, les mesures d'harmoniques et le rendement énergétique de l'installation.

Adresse der Autoren
Thomas Nordmann, Luzi Clavadetscher und *Raimund Hächler*, TNC Consulting AG, Alexanderstrasse 18, 7000 Chur

Übersicht

Um in der Schweiz substantielle Beiträge an die Elektrizitätsversorgung mit Hilfe der Photovoltaik erbringen zu können, müssen unter anderem zwei wichtige Grundvoraussetzungen geschaffen werden: Es müssen erstens wirtschaftlich tragbare Stromgestehungskosten erreicht werden und zweitens muss vermieden werden, dass grosse Photovoltaikanlagen grosse Landflächen beanspruchen.

Die nochmalige Nutzung der beiden grössten landkonsumierenden Bauwerkarten der öffentlichen Hand, nämlich von Schiene und Strasse, ist die Schlüsselidee, die im Rahmen dieses Pilot- und Demonstrationsprojektes des Bundes entwickelt wird. Das Projekt ist aufgeteilt in verschiedene Phasen:

- Machbarkeitsstudie (abgeschlossen 1988) [1]
- Entwicklung und Austestung einer elektronischen Datenerfassungs- und Überwachungseinrichtung an einer 3-kW-Pilot-Netzverbundanlage auf dem Schettdach der SBB-Hauptwerkstatt in Chur (1988) [2]
- Realisierung der ersten 100-kW-Netzverbundanlage entlang der N13, Inbetriebnahme November 1989 (dieses Projekt) [3]
- Betrieb und Messkampagne der Anlage [4]
- Planung und Realisierung von drei weiteren ähnlichen Netzverbundanlagen entlang den Nationalstrassen und SBB-Linien im zeitlichen Abstand von 2 bis 3 Jahren [5]
- NEFF-Projekt «Gegenseitige Verträglichkeit von Bahn und Photovoltaik»: Immissionsmessungen an einer Kleinanlage im Bündner Rheintal, in Zusammenarbeit mit ABB und SBB (1991).

Machbarkeitsstudie

Aufgrund der 1987 vorgelegten Projektidee konnte die TNC Consulting AG im Rahmen einer Projektstudie im Auftrage des Bundesamtes für Energiewirtschaft 1987/88 das Potential von grossen Netzverbund-Photovoltaikanlagen im schweizerischen Verkehrsnetz untersuchen. Die Auswertung vorhan-

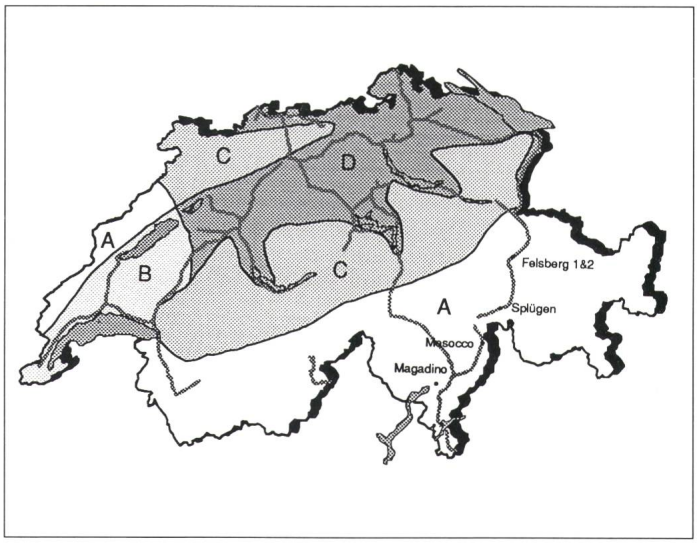


Bild 1
Schweizerischer Flächenkataster für Photovoltaik-Nutzung

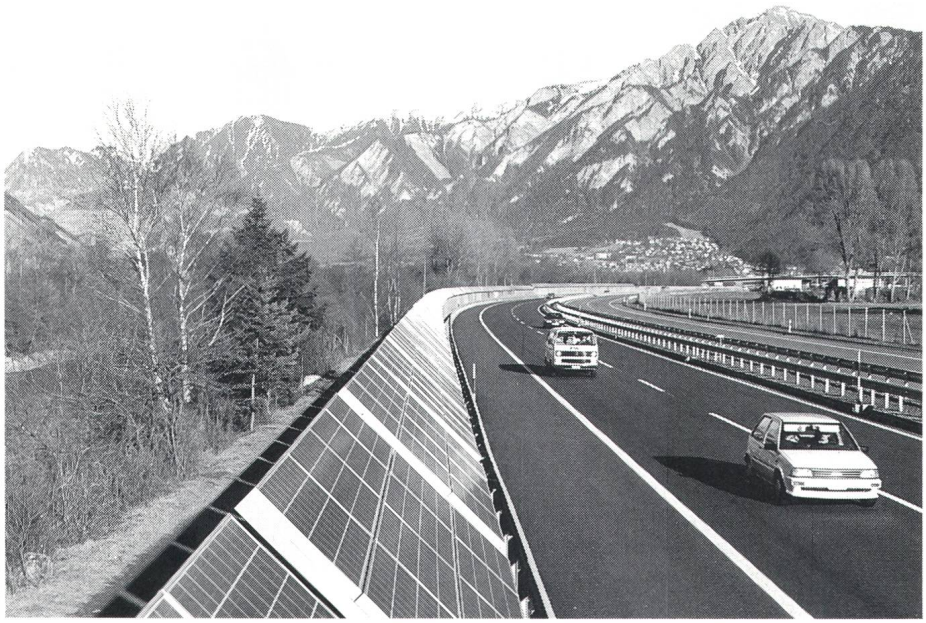


Bild 2 Das Photovoltaik-Panelfeld auf der bestehenden Schallschutzwand der Autobahn N13 auf der Höhe Domat/Ems – Felsberg

dener meteorologischer Strahlungsdaten der Schweiz erlaubte die Ausscheidung von vier Strahlungsregionen (Bild 1). Der Quadrant A, mit einer Jahreseinstrahlung von über 1200 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr und einem Winteranteil von mehr als 36%, eignet sich am besten für die Nutzung der Photovoltaik in Kombination mit dem schweizerischen Verkehrsnetz. In diesem Flächenquadrant befinden sich rund ein Viertel des Autobahnnetzes (330 Lauf-km) und ein Viertel des schweizerischen Schienennetzes (737 Lauf-km, ohne die kleineren Privat- und Bergbahnen).

Stromerzeugungs-Potential

Das technisch mögliche Potential von 375 MW Spitzenleistung im Quadranten A entspricht einer Jahresproduktion von 550 000 Megawattstunden. Dieser Potentialabschätzung wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt.

- Für die Panelbelegung wird eine Pakkungsdichte von 2 x 2,6 m^2/Laufmeter Autobahn/Bahnlinie eingesetzt.
- Der Panelwirkungsgrad von 13,5% ist ein Mittelwert für die Zeitperiode von 1988 bis 2000.

In einer Messkampagne wurde an vier Standorten im Quadrant A, in einem repräsentativen Alpenquerschnitt, die Resultate einer Computersimulation überprüft (Felsberg, Splügen, Mesocco und Magadino-Ebene, Bild 1). Zusätzlich wurde der Einfluss der Verschmutzung durch Fahrzeuge entlang der Autobahn messtechnisch erfasst. Es zeigte sich aber, dass die gut sichtbare mechanische Verschmutzung der Solarpanels keinen nennenswerten Einfluss auf den elektrischen Wirkungsgrad der Anlage hat. Aufgrund dieser Messkampagne konnten die Annahmen der Computersimulationen validiert und nachvollzogen werden.

Erste Erfahrungen für die mechanische Verankerung der Photopanels an bestehenden Schallschutzeinrichtungen wurden gesammelt. Im Hinblick auf die winterliche Schwarzräumung mit Streusalz kommt der geeigneten Materialwahl von Panelrahmenkonstruktion und Aufständerung besondere Bedeutung zu.

Realisierung der ersten 100-kW-Solarstrom-Netzverbundanlage

Die weltweit erste Anlage dieser Art liegt an der N13 zwischen Felsberg und Domat/Ems südlich von Chur, 581 m über Meer. Das Solarzellenfeld, ein Band von 1,3 m Breite auf der Nordseite der Ost-West-verlaufenden Autobahn, weist eine Länge von 830 m auf. Der erwartete elektrische Jahresertrag für die Einspeisung in das schweizerische Elektrizitätsnetz beträgt 120 000 Kilowattstunden. Diese elektrische Energie entspricht dem Jahres-Stromkonsum von ca. 30 Haushalten.

In nur 8 Wochen effektiver Bauzeit wurden 184 vorgefertigte Panelgruppen auf der bestehenden Schallschutzeinrichtung entlang der Autobahn montiert (Bild 2). Der Zusammenbau, die elektrische Verdrahtung und Prüfung der 2208 Photopanels in 12er-Gruppen erfolgte in der Werkhalle des Bezirkstiefbauamtes I in Chur.

Die Baukosten (ohne Engineering und Messkampagne) beliefen sich auf ca. 2,1 Mio Fr. Sie wurden durch das Bundesamt für Energiewirtschaft aus dem Kredit «Pilot- und Demonstrationsanlagen des Bundes» finanziert.

Die Anlagekosten verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Schlüsselkomponenten:

- Solarzellen 41%
- Inverter komplett 14%
- Tragstruktur Aufständerung 15%
- elektrische Verkabelung und Verdrahtung 30%

Die bestehenden Schallschutzwände zwischen Chur und Domat/Ems haben eine Gesamtlänge von ca. 2 km, wovon die Photovoltaikanlage die westlichen 830 m nutzt. Die Standortwahl im offenen Ost/West-verlaufenden Tal wurde zusätzlich aus Gründen der Infrastruktur (nahegelegener Netztransformator) und der guten Erschliessung der Baustelle infolge der Autobahnerweiterung N13 getroffen.

Die bestehende Schallschutzwand ergibt eine wirtschaftliche Montagemöglichkeit. Die notwendige Stahlkonstruktion ist mit Verbundankern auf die vorhandenen Fertigbetonelemente

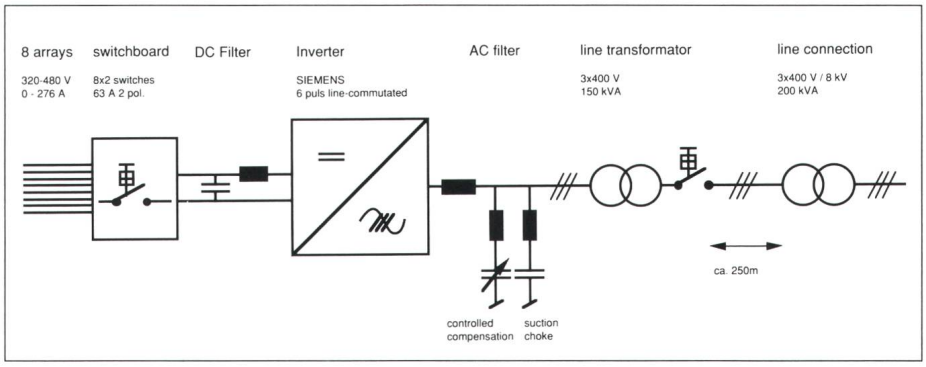


Bild 3 Blockschema: Inverter und Netzeinspeisung

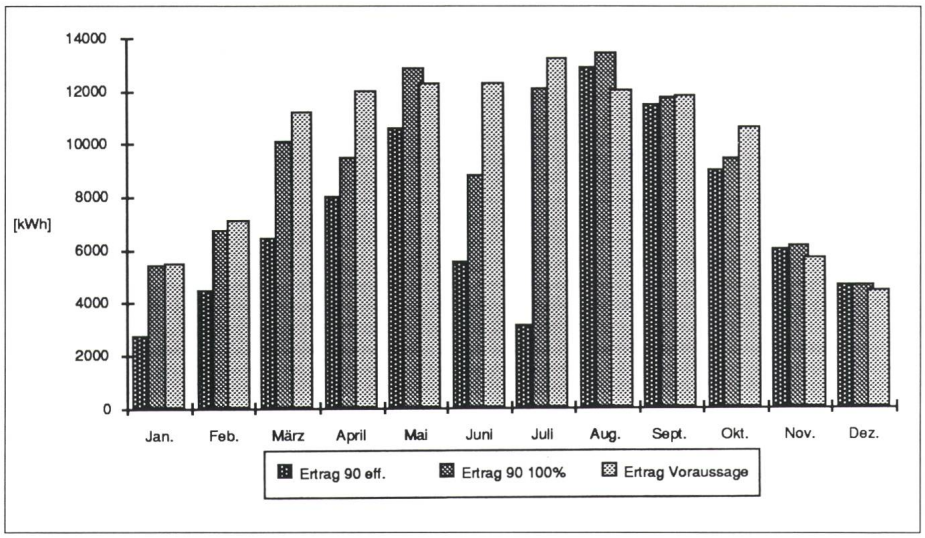


Bild 4 Vergleich Ertrag AC effektiv und Voraussage

montiert. Die Neigung der nach Süden orientierten Panels beträgt 45°; sie kann von ausserhalb der Autobahn zwischen 30° und 55° verstellt werden. Dies ermöglicht weitere messtechnische Erkenntnisse im Betrieb.

Als Ergebnis einer internationalen Ausschreibung wurden polykristalline PV-Module der Marke Kyocera (Japan) mit einer Modulleistung von je 50 W verwendet. Der Hersteller gewährt auf dieses Produkt eine zehnjährige Ertragsgarantie. Beim Einsatz von Grossmodulen sind die mechanischen und elektrischen Installationen einfacher und billiger. Diese Module stehen jedoch heute noch nicht zur Verfügung.

Alle elektrischen Kabel für Leistung und Messsignale sind in einem Kabelkanal auf dem Scheitel der Schallschutzwand geführt.

Die Kabel jedes Strings werden in 8 Arrayboxen zusammengeführt. Der Kabelquerschnitt der Sammelleitungen wurde so gewählt, dass die elektrischen Leitungsverluste zwischen Panel und Inverter maximal 3% erreichen.

Bei einer Feldinstallation muss dem Blitzschutz grosse Beachtung geschenkt werden. Varistoren am Anfang und Ende jeder Leitung sorgen dafür, dass durch Blitz verursachte Überspannungen abgeleitet werden. Jedes Gehäuse, worin sich Mess- und Überwachungsgeräte befinden, ist mit dem Erdungssystem verbunden; eine Erdleitung verläuft in 0,5 m Tiefe längs der ganzen Anlage.

Das Bauwerk muss bei Tageslicht, das heisst unter Spannung, erstellt werden. Um die Sicherheit der beteiligten Fachleute für Bau und Unterhalt zu gewährleisten, ist jede Gruppe mit einem plombierbaren Kurzschlussschalter ausgerüstet. Damit kann die Installation beidseitig stromlos geschaltet werden.

Als Inverter (elektronischer Wechselrichter zur Umwandlung des Gleichstromes in Netzwechselstrom) wurde aufgrund der Ausschreibung ein sechspulsiges, netzgeführtes Fabrikat von Siemens (BRD) ausgewählt. Der Wirkungsgrad von Inverter, Netzfilter und Transformator beträgt bei Nennleistung 95,5%. Die Leerlaufverluste sind kleiner als 100 Watt, der Eigenverbrauch des Inverters beträgt 600...800 Watt. Die Anlage und die elektronische Messdatenerfassung ist in einem Container am westlichen Ende der Schallschutzmauer untergebracht. Der Blindstrom wird dreistufig umschaltbar auf cos $\varphi \geq$ 0,9 kompensiert. Die 5./7. und 11./13. Oberschwingungen werden über Saugkreise gefiltert. Der Inverter wird durch eine elektronische Steuerung automatisch im Maximum-Power-Point geführt sowie ein- und ausgeschaltet. Auf Basis des Phasenzündwinkels besteht eine Steuermöglichkeit im Bereich von 90° bis 165° elektrisch. Die Synchronisation erfolgt netzgeführt für Frequenz, Phasenlage und Spannung. Überwacht werden Erdschluss, Über- und Unterspannung, Drehfeld und Frequenz. Bei einer Abweichung erfolgt eine Abschaltung mit Fehlermeldung.

Der Netzanschluss erfolgt über eine dreiphasige 400-V-Leitung zum Netz des lokalen Elektrizitätswerkes Tamins (Bild 3). Die Einspeisung erfolgt in den vorhandenen Mittelspannungstransformator mit 200-kVA-Typenleistung. Die Unterstation im Ortsnetz Domat/Ems befindet sich in nur 250 m Entfernung vom Inverter. Dieser Transformator speist vor allem örtliches Gewerbe und mehrere Wohnhäuser.

Versuchsbetrieb und Messkampagne

Die TNC Consulting AG betreibt die Anlage im Rahmen einer zweijährigen Versuchsphase in eigener Regie.

Die an das Ortsnetz Domat/Ems abgegebene elektrische Energie wird durch das Elektrizitätswerk Tamins vergütet. Nach Abschluss der zweijährigen Versuchsperiode wird die Anlage an einen permanenten Betreiber übergeben.

Es wurde ein Betriebskonzept entwickelt und eine umfassende Feldmesskampagne durchgeführt. Die Energiebilanz zwischen Sonneneinstrahlung, Panelertrag (DC) und dem Inverter-Ausgang (AC) gibt Auskunft über die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Komponenten. Zusätzlich werden wegen des langgestreckten Bauwerks alle

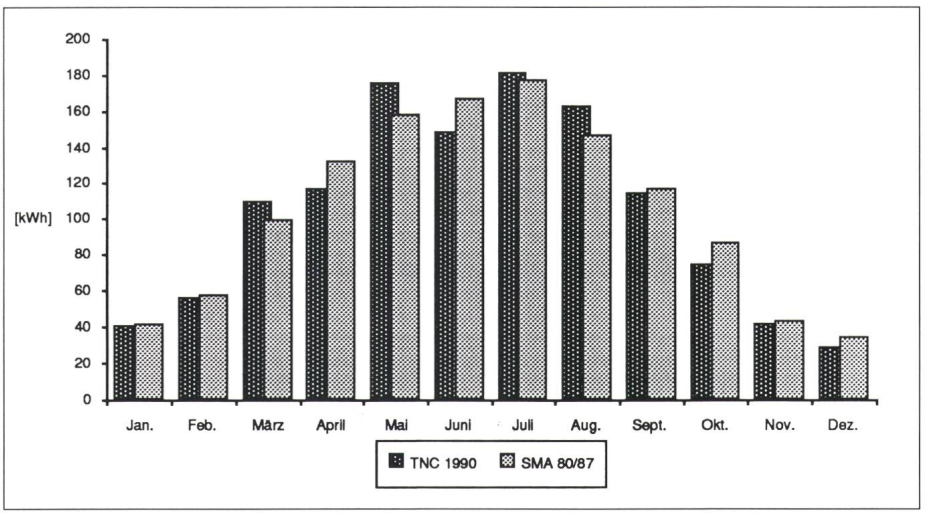
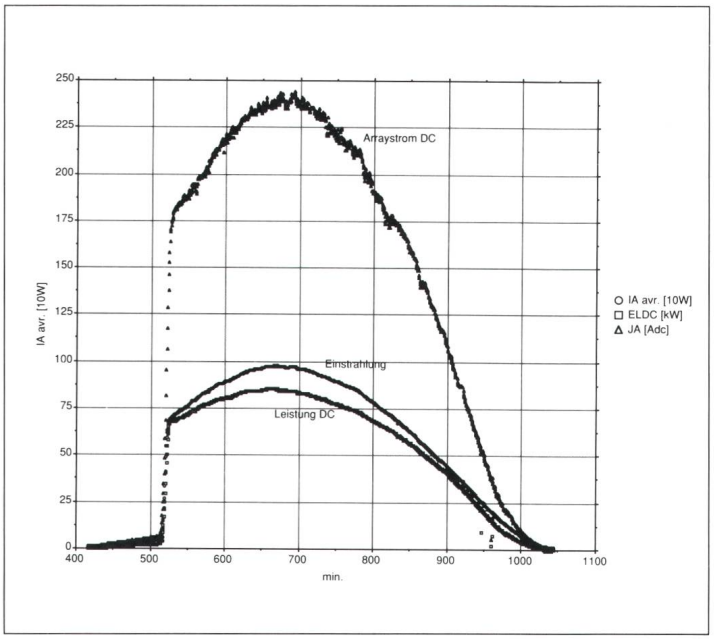


Bild 5 Vergleich der Globalstrahlung

Teilströme der einzelnen elektrischen Strings gemessen. Die praktischen Erfahrungen und Erkenntnisse beim Betrieb der ersten schweizerischen 100-kW-Netzverbundanlage sollen möglichst schnell zur Verfügung stehen. Sie dienen als Vorgabe für den Bau der nächsten für 1991/92 geplanten Anlage entlang einer Eisenbahnlinie im Quadrant A.

An der Türe zum Invertergebäude befindet sich ein Anzeigetableau, an dem Passanten jederzeit die momentanen Werte von Sonneneinstrahlung, Temperatur und verschiedener elektrische Grössen ablesen können.

Bild 7
Tagesverlauf von Einstrahlung Strom DC und Leistung DC



Betriebserfahrungen nach einem Jahr

Im November 1989 wurde die Anlage schrittweise bis zur vollen Leistung in Betrieb genommen. Einige Anpassungen zwischen dem Solarzellenfeld und dem Inverter sowie besonders zwischen dem Inverter und der Netzeinspeisung waren notwendig. Erste genaue Messungen am Netz zeigten, welche Vorkehrungen zu treffen sind, um alle Vorschriften für die Netzeinspeisung zu erfüllen. Filter zur Verminderung der Oberwellen sind, genau an die örtlichen Verhältnisse angepasst, einzubauen und die Kompensationseinrichtung zur Verbesserung der Stromeinspeisung zu verfeinern.

Einige Betriebsausfälle waren in der ersten Jahreshälfte 1990 zu verzeichnen, zurückzuführen auf Fehlanpassungen in der Mikroprozessorsteuerung sowie einige zerstörte Steuerungselemente, die ersetzt werden mussten. Die Mängel wurden schrittweise behoben und seit August 1990 läuft die Anlage problemlos und liefert praktisch die prognostizierten Mengen elektrischer Energie ins Netz (Bild 4).

Die Lärmschutzwand wurde vor dem Bau der Solaranlage stellenweise mit Kletterpflanzen begrünt. Geschützt durch die Solarmodule entwickelten diese Pflanzen ein starkes Wachstum und waren in der Lage, über die Solarmodule zu klettern. Im Sommer 1990 wurde der Einfluss der Beschattung durch diese Pflanzen untersucht und festgehalten. Seither werden die Pflanzen durch den Autobahn-Unterhaltsdienst regelmässig geschnitten, so dass die Ertragseinbusse nur noch minim ist.

Im Sommer 1990 wurden in einzelnen Panels Erdschlüsse festgestellt. In bezug auf dieses Problem wird im Moment mit dem Panellieferanten nach einer Lösung gesucht.

Die seit der Inbetriebnahme der Anlage ins Netz des EW Tamins eingespeiste Energie beläuft sich (Ende 1990) auf etwa 87 000 kWh. Für das Jahr 1990 sind das 84 000 kWh, und dies bei einer effektiven Verfügbarkeit von 75% für den Inverter und 95% für das Solarfeld. Hochgerechnet auf 100% Betrieb ergibt sich eine Energiemenge von 110 000 kWh für das Jahr 1990.

Messresultate

Aus den gemessenen Stundenwerten wurden in Tabelle I und Bild 4 die wichtigsten Betriebsparameter der Anlage in Monatswerten zusammengefasst. Die unterschiedlichen Werte für den Feldwirkungsgrad (η Feld) zeigen den Einfluss der Beschattung durch die Kletterpflanzen sowie den Minderertrag durch erhöhte Paneltemperatur im Sommer. Der Panelwirkungsgrad beträgt nach Datenblatt 10,6% bei 25° Paneltemperatur. Der gemessene Feldwirkungsgrad bezieht sich auf das ganze Feld und beinhaltet auch die Leitungsverluste sowie die Verluste durch Panel-Missmatch.

Strahlungsangebot

Das Strahlungsangebot der Globalstrahlung bei Domat/Ems für das Jahr 1990 liegt um ein Prozent unter dem langjährigen Durchschnitt (Bild 5). Der Ertrag der Anlage, hochgerechnet auf 100% Betrieb, liegt 6% tiefer als die Voraussage.

Energiefluss

Bild 6 zeigt eine Aufteilung der verschiedenen Energiemengen vom Solar-

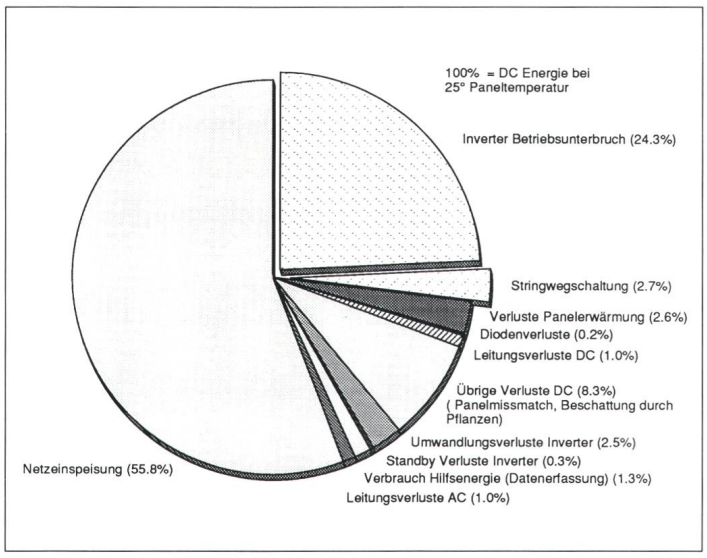


Bild 6
Energiefluss der Anlage für 1990

feld bis zur Einspeisung ins Netz. Die vermeidbaren Verluste sind speziell hervorgehoben. Die Verfügbarkeit des Inverters lag bei 75% für das ganze Jahr. Die unterschiedlichen Fehler wurden behoben und die Anlage läuft seit dem August ohne Unterbruch (Tabelle I). Für Versuchszwecke wurden im Februar und März einige Strings weggeschaltet; dies bewirkte einen Mindererertrag von 2,7%. Der Einfluss durch die Beschattung der Kletterpflanzen konnte nicht genau bestimmt werden; bei rechtzeitigem Zurückschneiden der Pflanzen sollten sich die Energieverluste unter «Übrige Verluste» etwa halbieren lassen. Die Bereitschaftsverluste des Inverters sind sehr gering. Der Verbrauch für die Hilfsenergie ist etwas hoch. Durch Ausschaltung eines Teils der Datenerfassung (Stringmessung) bei Nichtbetrieb könnten hier etwa 50% eingespart werden.

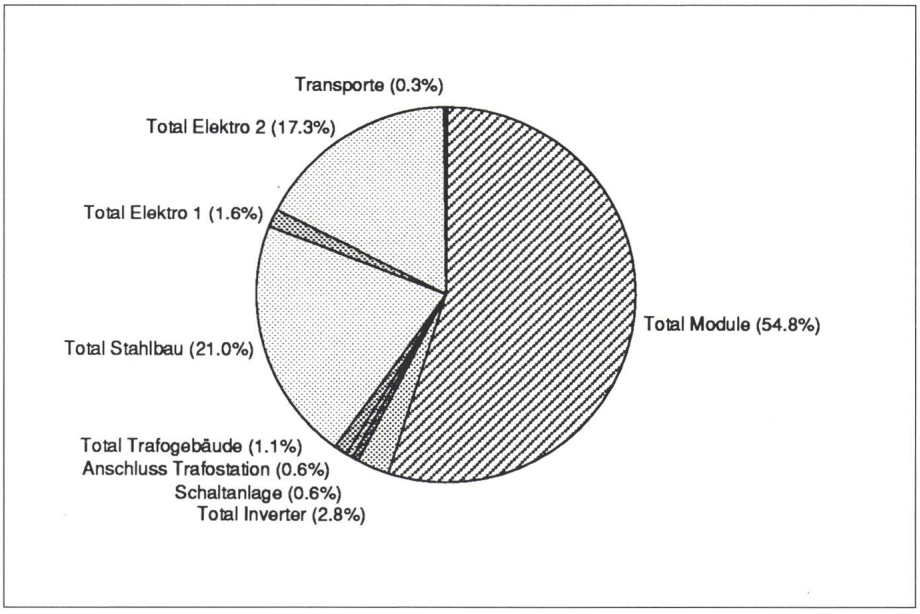


Bild 9 Energieaufwand für die Herstellung der Anlage (100% = 1241 MWh)

Kurzzeitmessungen

Spezielle Messungen mit einer Abtastrate von 30 s wurden durchgeführt. Diese Messungen geben Aufschluss über das Ein- und Ausschaltverhalten des Inverters. Bild 7 zeigt einen typischen Tagesverlauf an einem wolkenlosen Tag im Herbst.

Die ganze Anlage besteht aus 92 Strings zu je 24 Panels in Serie. Um allfällige Ausfälle einzelner Panels oder Erdschlüsse festzustellen und das allgemeine Verhalten der Anlage zu erfassen, werden diese 92 Teilströme mittels Hallsonden und acht Datenloggern erfasst (Bild 8). Die Logger sind im Solarzellenfeld verteilt und seriell verbunden. Sie können über ein Telefonmodem fernabgefragt werden.

Das verwendete Referenzmodul wurde im ESTI-Labor im JRC in Ispra kalibriert. Es wurde auch eine Vereinbarung getroffen, dass ein Teil der von TNC gesammelten Messdaten der 100-kW-Anlage auf die europäische PV-Datenbank im JRC übermittelt werden [6]. Einmal pro Monat wird ein Datensatz über das Telepacnetz ans JRC in Ispra übertragen. TNC erhält dann vom JRC eine Auswertung der Monatsdaten.

Oberwellenmessungen

Im Zusammenhang mit der Inverterabnahme wurden unter anderem durch das Elektrizitätswerk der Landschaft Davos Oberwellenmessungen durchgeführt [6]. Die Ergebnisse sind in Tabelle II zusammengefasst.

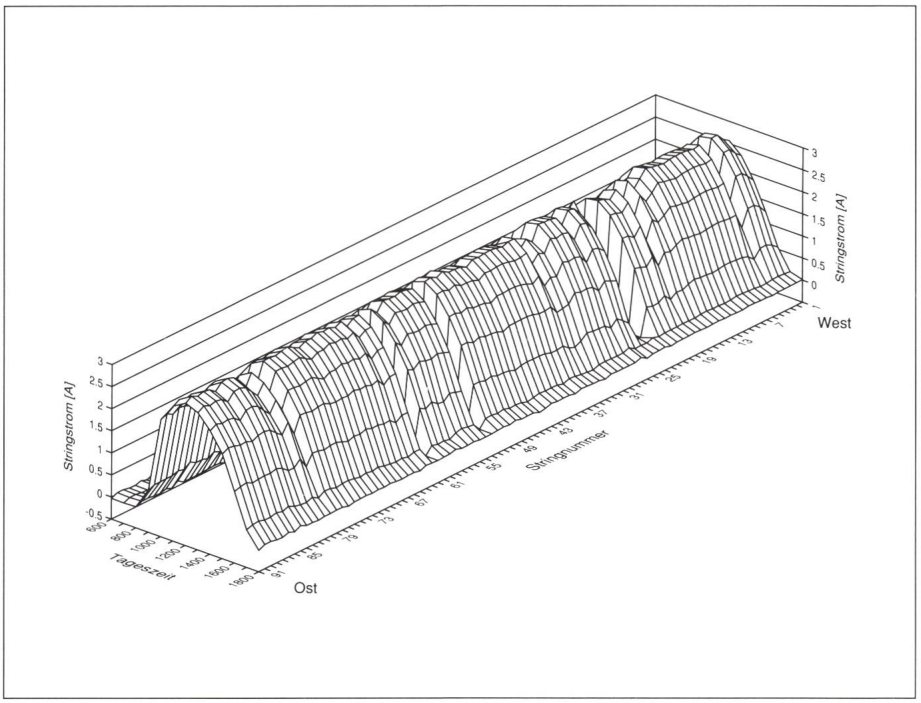


Bild 8 Tagesverlauf der Stringströme am 11. 10. 1990 (89 von 92 Strings in Betrieb)

Erntefaktor

Der Energieaufwand für das Material und den Bau der Anlage betrug 1241 MWh (Bild 9). Diese Energie wird nach zehn Jahren Betrieb von der Anlage produziert (Bild 10). Die zurückgewonnene Energie durch Recycling beträgt 723 MWh. Die Anlage produziert die restlichen 518 MWh nach 5 Betriebsjahren.

Wirtschaftlichkeit und Rationalisierungspotential

Photovoltaik-Installationen im Verkehrsnetz haben ein grösseres Rationalisierungspotential zur Senkung der Bau- und Betriebskosten. Dies aus folgenden Gründen:

- Es handelt sich um gleichartige Bauwerke, die den Einsatz von normierten Montage-, Befestigungs- und Integrationselementen begünstigen.

Monat	Sonne	Betrieb	Betrieb	Panels	Einstrahlung		Energie DC			Energie AC			Verbrauch		EIO	
					IA eff.	IA B Betrieb	ELDC eff.	η Feld	ELDC 100%	EIO eff.	η Inverter	EIO 100%	Hilfsenergie		Voraussage 47 W / P	
	h	h			kWh / m^2		kWh		kWh	kWh		kWh	kWh		kWh	
Jan. 90	238	96	40%	100%	84	40	2851	6.5%	7068	2721	95.4%	5442	219	4.0%	5479	99%
Feb. 90	249	156	63%	81%	97	75	4574	7.0%	9064	4485	98.0%	6727	188	2.8%	7103	95%
Mär. 90	336	224	67%	96%	145	97	6757	6.7%	10600	6415	94.9%	10064	181	1.8%	11177	90%
Apr. 90	364	307	84%	100%	116	91	8437	8.6%	10003	7972	94.5%	9452	184	1.9%	11991	79%
Mai. 90	414	342	83%	100%	169	135	11030	7.5%	13352	10598	96.1%	12829	203	1.6%	12275	105%
Jun. 90	412	259	63%	100%	134	79	5771	6.7%	9181	5530	95.8%	8797	193	2.2%	12276	72%
Jul. 90	414	107	26%	100%	169	46	3190	6.4%	12344	3107	97.4%	12023	183	1.5%	13156	91%
Aug. 90	388	372	96%	100%	170	165	13206	7.4%	13816	12813	97.0%	13405	229	1.7%	11964	112%
Sep. 90	332	329	99%	98%	132	132	11807	8.4%	12118	11419	96.7%	11720	206	1.8%	11733	100%
Okt. 90	292	287	98%	97%	106	105	9399	8.4%	9838	8959	95.3%	9377	215	2.3%	10580	89%
Nov. 90	232	232	100%	98%	66	66	6266	9.0%	6419	5959	95.1%	6105	181	3.0%	5657	108%
Dez. 90	218	218	100%	100%	49	48	4906	9.3%	4906	4634	94.4%	4634	166	3.6%	4398	105%
Total	3889	2929	75%	95%	1436	1078	88195	7.9%	123274	84612	95.9%	**110575**	2348	2.1%	**117788**	94%

Tabelle I **Numerische Messwerte und Auswertung für das Jahr 1990**

	MAXIMAL ZULAESSIGE NETZ - OW	MAXIMAL ZULAESSIGER VERBRAUCHERANTEIL	OW - PEGEL IM NS - NETZ	OW - PEGEL BEI ca. 75 KW	OW - PEGEL BEI ca. 50 KW	SOLAR KW EINFLUSS bei ca. 75 kW	SOLAR KW EINFLUSS bei ca. 50 kW
3. OW	4.50	0.85	0.59	0.73	0.42	0.14	-0.17
5. OW	5.00	0.65	0.81	0.51	0.54	-0.30	-0.27
7. OW	4.50	0.60	0.79	0.32	0.27	-0.47	-0.52
9. OW	0.75	0.40	0.07	0.09	0.00	0.02	0.00
11. OW	3.00	0.40	0.23	0.74	0.55	0.51	0.32
13. OW	2.50	0.30	0.09	0.96	0.64	0.87	0.55
17. OW	1.25	0.25	0.05	0.92	0.69	0.87	0.64
19. OW	1.15	0.25	0.00	1.12	0.59	1.12	0.59
23. OW	0.90	0.25	0.00	0.42	0.68	0.42	0.68
25. OW	0.80	0.25	0.00	0.68	0.63	0.68	0.63
29. OW	0.60	0.25	0.00	0.22	0.66	0.22	0.66
31. OW	0.60	0.25	0.00	0.46	0.63	0.46	0.63
35. OW	0.60	0.25	0.00	0.30	0.62	0.30	0.62
37. OW	0.60	0.25	0.00	0.40	0.63	0.40	0.63
41. OW	0.60	0.25	0.00	0.32	0.64	0.32	0.64
43. OW	0.60	0.25	0.00	0.32	0.58	0.32	0.58
47. OW	0.60	0.25	0.00	0.30	0.62	0.30	0.62
49. OW	0.60	0.25	0.00	0.56	0.57	0.56	0.57

Tabelle II **Numerische Daten der Oberwellenmessung**

- Die Bauwerke sind verkehrstechnisch erschlossen. Die Installation und der Unterhalt der PV-Panels, auf Schallschutzwänden, kann direkt von entsprechenden Fahrzeugen aus erfolgen.
- Für die Planung und den Bau solcher Anlagen bestehen eingespielte Teams von Ingenieurgruppen und Behörden, die heute für den Bau und Unterhalt des Strassennetzes zuständig sind.
- Das benötigte Land befindet sich im Besitz des Bundes und der Kantone und kann somit «ohne Kostenfolge» ein zweites Mal genutzt werden.
- Für den Betrieb und den technischen Unterhalt dieser Anlagen steht rund um die Uhr ein gut ausgerüsteter Unterhaltsdienst zur Verfügung.
- Die engmaschige Erschliessung des Stromnetzes entlang der Verkehrsträger erlaubt kurze Über- und Zuleitungsinstallationen an das bestehende Netz.

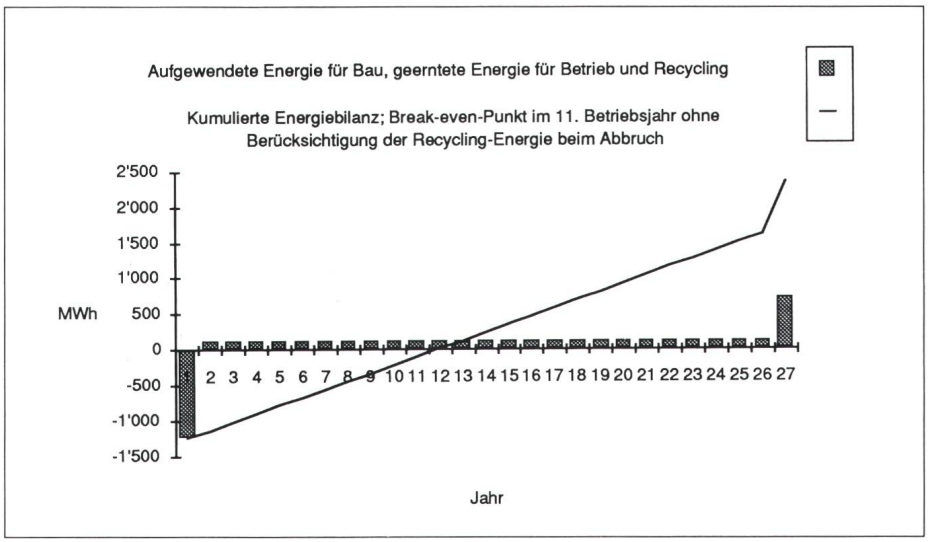


Bild 10 **Energiebilanz und Erntefaktor**

Literatur

[1] *Th. Nordmann*: PV-Netzverbundanlagen im Verkehrsnetz. TNC, Chur, 1988.

[2] *L. Clavadetscher, F. Meier* und *Th. Nordmann*: 3-kW-Pilot- und Demonstrationsanlage. Schlussbericht, TNC, Chur, August 1990.

[3] *R. Hächler* und *Th. Nordmann*: Die 100-kW-Netzverbundanlage N13. Fachtagung Photovoltaik-Nutzung, Zürich, Januar 1990.

[4] *L. Clavadetscher* und *Th. Nordmann*: Messkampagne und erste Resultate der 100-kW-Netzverbundanlage N13. Fachtagung Photovoltaik-Nutzung, Zürich, Januar 1990.

[5] *R. Hächler* und *Th. Nordmann*: 100 kW Grid Connected PV-Installation along Rail Infrastructure in Southern Switzerland; A Feasibility Study. 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon, April 1991.

[6] *G. Blässer* und *K. Krebs*: Guidelines for Photovoltaic System Monitoring. Commission of the European Communities, JRC, Ispra.

[7] *H. Pargätzi* und *B. Boller*: Oberwellenmessung Solarkraftwerk N13. Elektrizitätswerk der Landschaft Davos, Februar 1991.

[8] SEV 3600 (Oberwellen).