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

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 6

Artikel: Erste solare Tunnelbeleuchtung am Grimselpass

Autor: Real, M. G. / Cadegg, J. / Freiburghaus, W. E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903838

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 04.12.2025

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

Erste solare Tunnelbeleuchtung am Grimselpass

M.G. Real, J. Cadegg, W.E. Freiburghaus und J. Zuppiger

Für die Realisierbarkeit der ersten solaren Tunnelbeleuchtungsanlage für den Summereggtunnel am Grimselpass war das Zusammentreffen zweier Faktoren wichtig:

- ***Der hohe Aufwand für eine konventionelle Stromversorgung durch Anschluss ans Netz (obwohl unmittelbar über dem Tunnel eine Hochspannungsleitung verläuft).***
- ***Die zeitliche Korrelation von Strombedarf und -angebot (bei hellem Sonnenschein muss der Tunnel am stärksten beleuchtet sein).***

Deux facteurs étaient importants pour la réalisation de l'installation de premier éclairage solaire d'un tunnel dans le tunnel du Summeregg au col du Grimsel, à savoir:

- ***Les frais élevés pour un approvisionnement en électricité conventionnel par un raccordement du réseau (bien qu'une ligne à haute tension passe juste au-dessus du tunnel).***
- ***La corrélation temporelle entre la demande et l'offre d'électricité (le tunnel doit être plus éclairé par temps ensoleillé).***

Adresses der Autoren

M.G. Real, Alpha Real AG, Feldeggstrasse 89, 8008 Zürich
J. Cadegg, Ingenieurunternehmung AG Bern, Postfach, 3000 Bern 6
W.E. Freiburghaus, Ährenweg 27, 3027 Bern
J. Zuppiger, Oberingenieur des 1. Kreises, Schlossberg 20, 2601 Thun

1. Photovoltaik – Strom ohne rotierende Maschinen

Die Möglichkeit, Strom mittels Licht durch den sogenannten photoelektrischen Effekt zu erzielen, ist faszinierend – aber derzeit noch sehr teuer. Trotzdem gibt es genug Anwendungen, wo diese Technik heute schon billiger ist als konventionelle Energieerzeugung mit rotierenden Maschinen oder elektrochemischen Elementen. So werden z.B. heute bereits pro Jahr gegen 5 MW Solarzellenleistung in über 100 Mio Taschenrechner pro Jahr eingebaut. Die meisten Telekommunikationssysteme abgelegener Gebiete werden zurzeit auf Solaranlagen umgerüstet. Der grösste zukünftige Beleuchtungsbedarf der ländlichen Bevölkerung in den Dritte-Welt-Ländern wird voraussichtlich mit Solarstromsystemen realisiert werden.

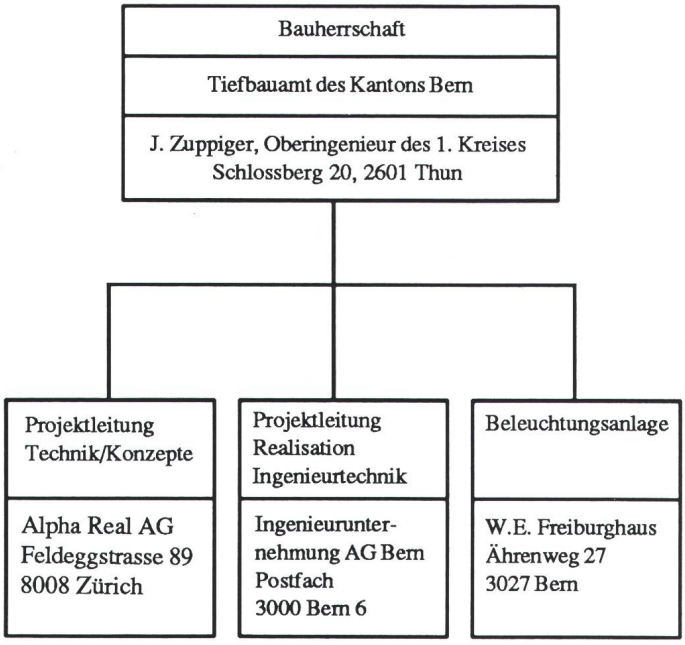
Die Leistungen der realisierten Pilotprojekte verzehnfachten sich etwa alle zwei Jahre. Das zurzeit grösste Solarzellenkraftwerk der Welt besitzt eine Leistung von 6,5 MW. Es steht bewegungslos in der strahlenden Sonne von Kalifornien – und generiert Strom, ohne dass sich rotierende Maschinen bewegen.

Auch in der Schweiz gibt es Anwendungen, obwohl das Solarenergieangebot vor allem im Winter sehr klein ist. Mehrere hundert abgelegene Alphütten sind mit solaren Beleuchtungsanlagen ausgerüstet. Im Tessin speist eine 15-kW-Solaranlage Elektrizität in das öffentliche Netz, und auf der Grimsel-Passstrasse wird eine Tunnelbeleuchtungsanlage solar betrieben werden, weil die Zuleitungskosten für Starkstrom vom lokalen Netz zu teuer wären.

2. Vorgeschichte der solaren Tunnelbeleuchtung

Im Zuge des Ausbaus der Staatsstrasse A6 Innertkirchen–Grimsel auf

Figur 1
Arbeitsteilung im Projekt Solare Tunnelbeleuchtungsanlage Summereggtunnel



7 m Strassenbreite wurde auch der Summereggtunnel unterhalb der Grimsel-Passhöhe ausgebaut. Am 3. Juli 1985 führte das Eidgenössische Amt für Messwesen lichttechnische Messungen an den beiden Tunnelportalen durch. Die Messwerte ergaben, dass für den Tunnel eine Beleuchtung erforderlich ist. In Anbetracht der zeitlich eingeschränkten Nutzung der Strasse (Wintersperre während 6 bis 7 Monaten) wurde – wie bei den anderen Tunnels - auf eine leitsatzgerechte Beleuchtung verzichtet.

Zwar ist die Grimsel jeweils nur rund fünf Monate für den Verkehr geöffnet, doch weisen allein schon die gemessenen Tagesfrequenzen von über 6000 Fahrzeugen auf deren touristischen Stellenwert hin. Dabei fällt insbesondere auch auf, dass immer mehr Velofahrer den immerhin knapp 2200 Meter hohen Pass bezwingen wollen.

Eine im Auftrag des zuständigen Tiefbauamtes des Kantons Bern und unter der Leitung der Alpha Real AG durchgeführte Studie untersuchte die Möglichkeit einer solaren Stromversorgung für die Tunnelbeleuchtungsanlage. Die notwendige Integration der drei Arbeitsgebiete: solare Stromerzeugung, optimale Lichttechnik und erforderliche Anpassung an die Erfordernisse des Strassenbaus wurde durch die Ingenieurgruppe «Alpha Real, W.E. Freiburghaus und Ingenieurunternehmung AG Bern» realisiert (Fig. 1).

Am 17. März 1986 wurde das optimierte Vorprojekt dem zuständigen Kreisoberingenieur des Tiefbauamtes des Kantons Bern unterbreitet.

Der Kostenvergleich ergab, dass für den abgelegenen Tunnel die Produktion solarer Energie wirtschaftlicher ist als der Bau einer Hochspannungszuleitung durch lawinengefährdetes Gebiet in felsigem Gelände.

In der Folge beschlossen die zuständigen Behörden deshalb, die Pionierleistung zu wagen und auf der Grimsel die erste mit Sonnenenergie gespeiste Tunnelbeleuchtung der Welt zu realisieren. Die Inbetriebnahme ist auf die Öffnung der Passstrasse für die Sommersaison 1987 vorgesehen.

Solarzellenfeld
- 3 Reihen, 13 Stränge, je 24 Module in Serie
- Fläche: 150 m²
- Täglicher Energieertrag gemittelt: 75 kWh
- Arbeitsspannung: 350–450 V
- Leerlaufspannung: max. 602,4 V
- Kurzschlussstrom: 40,7 A
- Nominale Leistung: 17,2 kW
- Tagesdurchschnitt zur Mittagszeit: 10 kW
- Verdrahtung floating; Erdungsfehlerdetektor

Maximum Power Tracker (MPT)
- Einstellen optimaler Arbeitspunkt
- Wirkungsgrad > 95%
- Primärer Überspannungsschutz
- Autogeregelt
- Ausgangsspannung = Batteriespannung; nach oben spannungsbegrenzt
- Kurzschlussgesichert

Batterie
- Arbeitsspannung: 255–310 V
- Ladestrom: max. 70 A
- Entladestrom: max. 50 A
- Max. Schwebeladespannung: 308,72 V
- Max. Entladeschlussspannung: 245 V

Wechselrichter
- Umwandlung Gleichstrom/Wechselstrom
- 220 V Ausgang, etwa 1 kW unkompensiert
- 220 V Ausgang, etwa 12 kW kompensiert mit $\cos\varphi = 0{,}45$
- Wechselrichter arbeitet immer
- Kurzschluss-sicher
- Wirkungsgrad > 90%

Regler
- Sensoren messen die Aussenhelligkeit. Ein Regler passt die Leuchtkraft der Randzonenleuchten entsprechend an.
- Sensoren messen die Verkehrsdichte. Fährt kein Auto im Tunnel oder auf der 200 m langen Anfahrstrecke, wird die Beleuchtung auf Minimum gestellt.
- Nachts ist die Beleuchtung abgeschaltet. Für Fussgänger gibt es einen Handschalter.

Verteiler
- Die Beleuchtungskörper werden zu Gruppen von je zwei Lampen zusammengefasst und einzeln angesteuert.

Leuchten

Nord

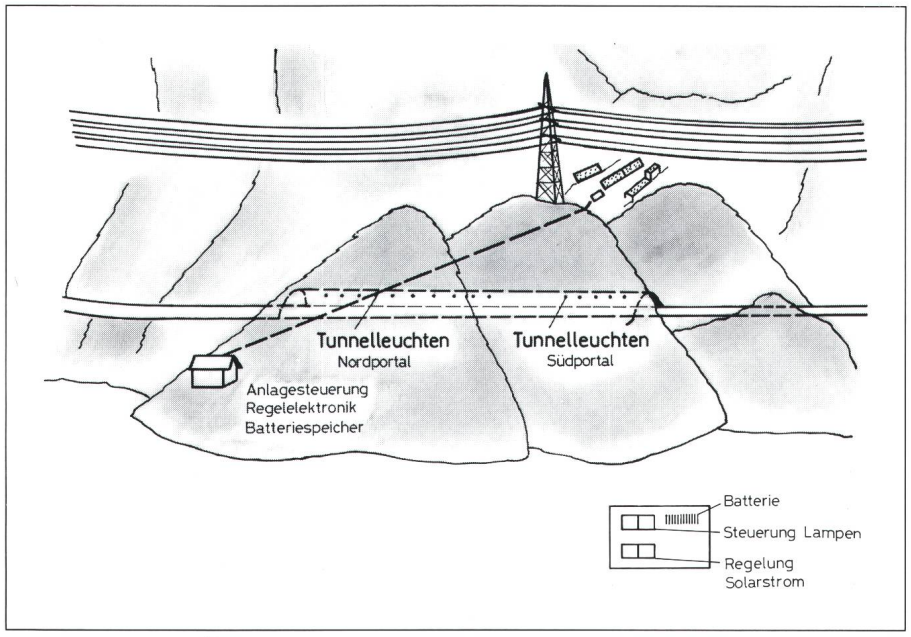
Süd

Figur 2 Darstellung der einzelnen Komponenten mit den wichtigsten technischen Daten

3. Beschreibung der Anlage

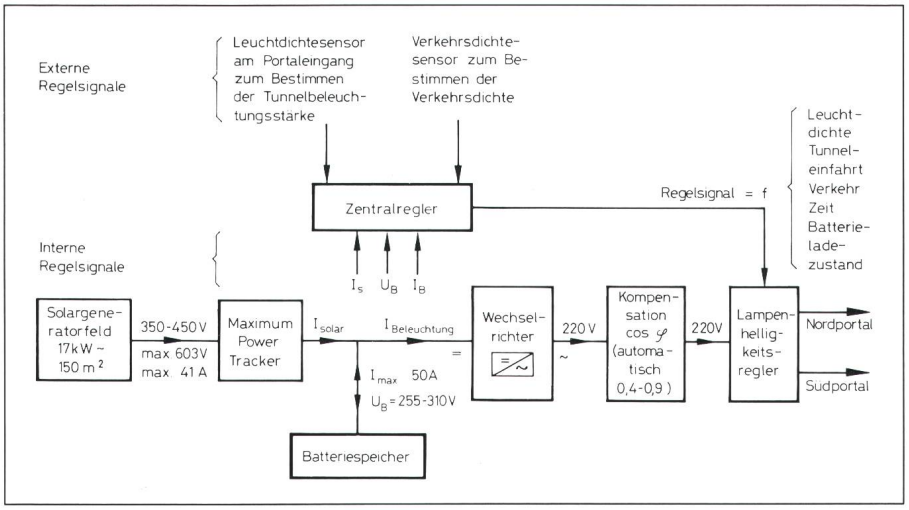
Der rund 100 Meter lange, in Nord-Süd-Richtung verlaufende Summereggtunnel befindet sich auf einer Höhe von 1800 Metern. Die geplante Beleuchtungsanlage ist mit zwei getrennten Reihen Randzonenleuchten mit stromsparenden Natriumdampf-Hochdrucklampen ausgerüstet, welche im Gegenstrahlerprinzip je für die Nord- bzw. die Südportalhälfte ausgesteuert werden. Die entsprechenden Regelsignale werden von einer Steueranlage geliefert, welche mittels Sensoren die Portalleuchtdichte und die Verkehrsfrequenz ausserhalb des Tunnels ausmessen.

Bei intensiver Sonneneinstrahlung melden diese Sensoren hohe Umgebungsleuchtdichte im Gesichtsumfeld der Portaleinfahrt. Die Tunneleingänge erscheinen entsprechend dunkler. Sie müssen deshalb so ausgeleuchtet werden, dass der Fahrzeuglenker bei nor-



Figur 3 Figürliche Übersicht über die solare Tunnelbeleuchtungsanlage

maler Geschwindigkeit einen Fussgänger oder Radfahrer auf Anhaltesichtweite erkennen kann. Mit dem hierfür notwendigen erhöhten Energiebedarf für die Tunnelbeleuchtung korreliert die maximale Stromproduktion in den Solarzellen. Umgekehrt wird nachts zwar kein Solarstrom erzeugt, aber die Tunnelbeleuchtung ist nur mit einer minimalen Ausleuchtung erforderlich. Bei diesigem Wetter sind Produktion und Bedarf entsprechend kleiner.



Figur 4 Blockschaltbild der Energieflusssteuerung von der Solarzellenanlage bis zum Lampenhelligkeitsregler

Ein Sensor erfasst ausserdem die Verkehrsfrequenz, so dass die Anlage auf Minimalwerte eingestellt wird, wenn sich kein Fahrzeug auf der 200 Meter langen Anfahrstrecke zum Tunnelportal befindet. Bedingt durch diese äusserst günstige Übereinstimmung zwischen Produktion und Bedarf, konnte der erforderliche Batteriespeicher minimal ausgelegt werden.

Die Batterie ist, zusammen mit der erforderlichen Regelelektronik und der Verteilanlage für die Beleuchtung, in einem bereits bestehenden, derzeit ungenutzten Gebäude untergebracht, das sich etwa 40 Meter vom Nordportal entfernt befindet.

Das eigentliche Solarzellenfeld besteht aus drei Reihen. Die 312 Solarmodule sind mit einem Neigungswinkel von 50° auf Aluminiumhaltern montiert und genau nach Süden ausgerichtet. Die Fläche der Sonnenzellen beträgt rund 150 m², ihre maximale Leistung 17 kW.

Das Feld liegt über der Tunnelmitte auf einer kleinen Anhöhe, wo sich übrigens auch ein Mast einer 220-kV-Hochspannungsleitung befindet. Eine Übersicht über das Projekt zeigen die Figuren 2 und 3.

Um die Verluste auf der 150 Meter langen Übertragungsleitung zum Kontrollgebäude und der folgenden Regelelektronik klein zu halten, wurde eine hohe Betriebsspannung von 390 bis 420 Volt gewählt. Ein spezielles Erdungskonzept soll die Gefahr eines Stromunfalls begrenzen. Zudem wird das Feld vor dem unberechtigten Zutritt neugieriger Besucher durch einen Zaun geschützt.

Das zufällige Zusammentreffen konventioneller, elektronischer und modernster solarer Elektrizitätserzeugung demonstriert die mögliche Koexistenz der verschiedenen Technologien.

Figur 2 zeigt die schematische Darstellung der einzelnen Komponenten Solarzellenfeld, Regelelektronik, Batteriespeicher, Wechselrichter, Steueranlage, Verteilanlage und Leuchten und ihre spezifischen Betriebsgrössen. In Figur 4 ist ausserdem das Blockschaltbild der Energieflusssteuerung dargestellt.