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: 73 (1982)

Heft: 13

Artikel: Energieversorgung und Erdungsprobleme

Autor: Gallati, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904979

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: 09.12.2025

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

Energieversorgung und Erdungsprobleme

F. Gallati

621.316.99:621.31;

Im ersten Teil wird die Stromversorgung kurz beschrieben. Anschliessend geht der Autor auf die Erdungsprobleme ein und berichtet über die umfangreichen Erdungsmessungen.

L'alimentation en énergie électrique est présentée brièvement, puis l'auteur traite des problèmes de mise à la terre et décrit les nombreuses mesures effectuées à ce sujet.

1. Stromversorgung

Im Gotthard-Strassentunnel kommt der Stromversorgung eine besondere Bedeutung zu, ist sie doch eine wichtige Voraussetzung für die Sicherheit der Tunnelbenützer. Ein totaler Stromausfall könnte, je nach Verkehrsintensität, in kurzer Zeit lebensgefährliche Situationen verursachen. Die für die Belüftung notwendigen grossen Leistungen erfordern ausserdem eine umfassende Berücksichtigung der Energieverteilung und Anspeisung aus den Netzen des Elektrizitätswerkes Altdorf (EWA) und der Azienda Elettrica Ticinese (AET).

Massgebend für die Auslegung der Stromversorgung waren die zu installierenden Ventilatorenleistungen. Bei einer durchschnittlichen äquivalenten Dauerleistung von rund 2000 kW beträgt die Leistungsspitze 24000 kW. Die Sicherheitsanforderungen bedingten deshalb eine Dimensionierung der Stromversorgung auf diese ausgesprochene Spitzenbelastung.

Für die Anspeisung der Tunnelversorgung wurde gefordert, dass diese beidseitig aus den Netzen der Nord- und Südseite möglichst unabhängig erfolgt. Der rückwärtige Ausbau im energieliefernden Werk schliesst die Schaltungsmöglichkeit ein, den Tunnel direkt aus einem einzigen Kraftwerk zu versorgen. So konnte auf eine Dieselnotstromversorgung grosser Leistung für die Ventilatoren verzichtet werden.

Figur 1 der Stromversorgung zeigt die Anspeisung mit 50 kV in die Unterstationen der beiden Portalbauwerke Göschenen und Airolo mit der 20-kV-Verteilung für die Tunnelanlagen. Die Anschlussbauwerke, wie Werkhöfe und Betriebsgebäude, werden durch die Ortsnetze mit 16 kV bzw. 15 kV versorgt.

Ein Zusammenschalten der beiden 20-kV-Netze EWA und AET ist im Normalbetrieb nicht vorgesehen. Bei einseitigem Netzausfall wird mit Kuppelschalter durchgeschaltet. Die Dimensionierung der Anlagen erfolgte so, dass bei einseitigem Netzausfall noch 50 % der maximalen Leistung zur Verfügung stehen; damit kann noch bis zu 80 % des Verkehrs zugelassen werden. Die Anforderung an die Netze beinhaltet selbstverständlich den Hochlauf der Ventilatoren. Im Extremfall muss ein Hochfahren der Ventilation von 0 auf 10000 kW je Netz in ca. 5 min gewährleistet sein, wobei für die Ventilatoren Motorleistungen bis zu 2900 kW im Direktanlauf eingesetzt sind.

Die Tunnelbeleuchtung, Steuerungs- und Überwachungsanlagen sowie die Verkehrssignalisierung dürfen bei Netzausfall nicht ausser Betrieb gesetzt werden. In den Lüftungszentralen als Schwerpunkte der Installationen sind deshalb statische Notstromversorgungen für die unterbruchslose Speisung installiert.

Bei den Verteilnetzen im Tunnel handelt es sich ausschliesslich um Kabelanlagen. Der Schutz ist so ausgelegt, dass jede Störung oder unzulässige Belastung zu einer Abschaltung führt. Die Ausschaltung erfolgt dabei selektiv; es wird nur derjenige Teil herausgeschaltet, der effektiv gestört ist.

2. Erdung

Ein besonderes Problem im 17 km langen Strassentunnel stellen die Erdungen [1; 2] und die Beeinflussungen der parallel geführten Steuer- und Signalkabel dar. Genaue Untersuchungen haben gezeigt, dass unter Einbezug aller bekannten und beeinflussbaren Komponenten, wie Nullpunktbehandlung, Kabelaufbau, Erdung und Anordnung der Kabeltrasse, eine wirtschaftliche und zweckmässige Auslegung der Schutzmassnahmen für den Menschen und die Anlagen ohne teure bautechnische Massnahmen möglich ist.

Für die Erdung ist ein eng vermaschtes Netz erstellt worden, an welches alle Eisenkonstruktionen, die metallische Wasserleitung, die Kabelmäntel und die Erder angeschlossen sind. Im Portalbereich sind die Erdleiter des Tunnels mit den grobmaschig verschweissten Gebäudearmierungen verbunden. Der

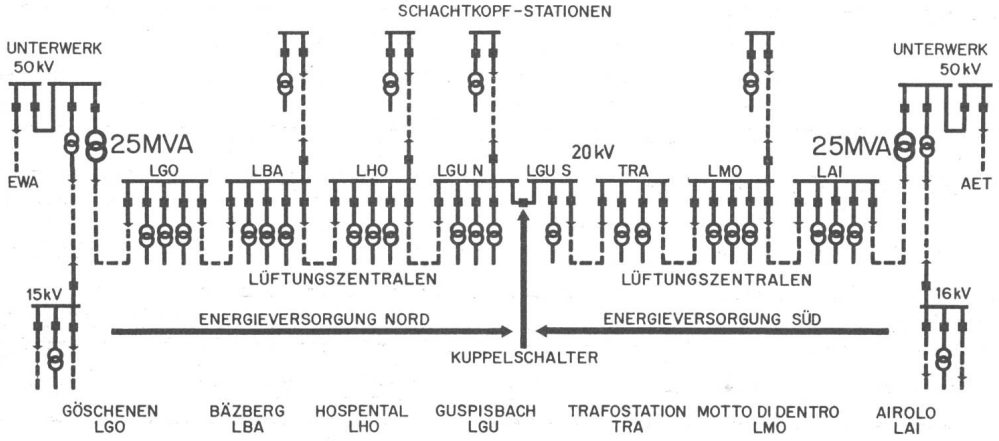

Fig. 1
Energieversorgung
Einpoliges Prinzipschema

Systemnullpunkt des 20-kV-Tunnelverteilsystems ist über einen Widerstand an die Erde gelegt; dadurch ist im Störungsfall durch die Schutzeinrichtungen eine selektive Abschaltung möglich. Der Nullpunktwiderstand begrenzt zudem den auftretenden Erdschlußstrom. Das Erdungskonzept ist im Bericht von *P. Lüthi* näher [3] beschrieben.

Durch die unvermeidliche Parallelführung von Hochspannungs- und Schwachstromkabeln sind die elektronischen Ausrüstungen gefährdet. Auch in einem extremen Störungsfall in der Hochspannungsausrüstung dürfen durch die auftretenden Spannungseinwirkungen keine wichtigen Einrichtungen zerstört werden oder ausfallen. Die Schutzmassnahmen gegen gefährliche Einwirkspannungen haben ferner den gesetzlichen Vorschriften zu genügen.

Nach dem revidierten Kapitel III der Starkstromverordnung (Schutz gegen gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen) ist gemäss Art. 32 jede Erdung nach ihrer Erstellung auf ihre Wirksamkeit zu prüfen. Für die Anlageerdung ist die Berührungs- und Schrittspannung beim höchstmöglichen einpoligen Erdschluss zu bestimmen. Im folgenden wird über die entsprechenden Messungen berichtet.

3. Erdungsmessungen

Vom 9. bis 17. Oktober 1979 wurden Erdungsmessungen im und um den Gotthard-Strassentunnel durchgeführt [4]. In Absprache mit den folgenden Institutionen war ein gemeinsames Messprogramm festgelegt worden: Eidgenössisches Starkstrominspektorat, Generaldirektion SBB, Generaldirektion PTT, Bundesamt für Genie und Festungen, Elektrizitätswerke CKW, AET, ATEL, EWA, EW Göschenen und Airolo, Furka–Oberalp-Bahn, Betrieb Gotthard-Strassentunnel. Die Messungen bezweckten:

1. das Erfassen der auftretenden Beeinflussungsspannungen
2. das Überprüfen der getroffenen Schutzmassnahmen
3. das Anordnen allfälliger Verbesserungsmassnahmen
4. die Untersuchung der Rückwirkungen von 50-Hz-Erdschlüssen im Energieversorgungsnetz des Strassentunnels auf die Anlagen der SBB und der PTT.

Messanordnung [5]:

Als beeinflussende Quelle diente eine Notstromgruppe, die zur Erkennung von Fremdeinflüssen nicht mit 50 Hz, sondern mit 49,5 Hz betrieben wurde. Ausserdem wurde die Gruppe über einen Intervallschalter (ca. 30 s ein, ca. 30 s aus) zugeschaltet, um die beeinflussende Quelle klar identifizieren zu können. Die Grundspannung konnte damit bei ausgeschaltetem Generator gemessen und in den Messresultaten berücksichtigt werden.

Im Bereich Göschenen erfolgte die Speisung mit 100 A über die für die Messung freigeschaltete Freileitung nach Wassen mit dem einphasigen Erdschluss bei einem Mast in Wassen. Für Göschenen wurde I_{E1ph} mit 5 kA berechnet. Die Messresultate mussten entsprechend umgerechnet werden. Die Messungen konnten bei Föhnwetter und trockenem Boden durchgeführt werden.

Im Bereich Airolo erfolgte die Speisung mit 100 A über Kabelanlagen mit dem Erdschluss in Varenzo (Fig. 2). Für Airolo wurde I_{E1ph} mit 13 kA berechnet. Die Messungen mussten bei Regen und stark durchnässtem Boden durchgeführt werden.

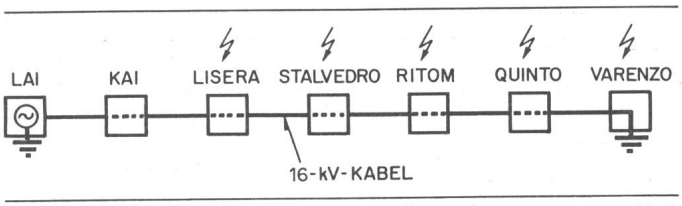

Fig. 2 Bereich Airolo: Erdschluss in Varenzo
Prinzipschema
Transformatorstationen
LAI Lüftungszentrale Airolo
KAI Kommandogebäude Airolo

Messresultate:

Es wurden im ganzen 27 Profile zur Überprüfung der Schrittspannung aufgenommen, und an 67 Messpunkten wurde die Berührungsspannung gemessen. Die Tabellen I und II zeigen einen Auszug der Messresultate aus den Bereichen Göschenen und Airolo. Die umgerechneten Messresultate zeigen, dass im unbelasteten Zustand beträchtliche Berührungsspannungen auftreten können. Im belasteten Zustand sind keine gefährlichen Spannungen vorhanden. Trotzdem wurden später noch feste Erdverbindungen mit der Kupfereinfassung am Gebäude und mit den Türrahmen (Tab. I, Pos. 3, 4) erstellt.

Die Figuren 3 und 4 zeigen den Verlauf der Erdungsspannung im Profil als zwei typische Messresultate. Die Messungen erfolgten ohne Belastungswiderstand parallel zum Voltmeter. Figur 3 zeigt keine gefährlichen Spannungssprünge, also keine

Messung der Berührungsspannungen an speziellen Messorten im Bereich Göschenen — Tabelle I

Nr.	Ort der Anlage	bei 5 kA	
		unbelastet [1])	belastet [2])
3	Türe des Hochspannungsraumes gegen Erde	83 V	–
4	Kupfereinfassung am Gebäude gegen Erde	192 V	1 V
7	Leitplanke gegen Erde	3 V	0 V
15	Hydrant gegen Erde	40 V	9 V
30	Wasserleitung Dorfversorgung gegen Erde	5 V	0 V

[1]) Messung mit hochohmigem Voltmeter.
[2]) Messung mit Belastungswiderstand 2 kΩ, um den Widerstand des menschlichen Körpers zu simulieren.

Messung der Berührungsspannungen an speziellen Messorten im Bereich Airolo — Tabelle II

Nr.	Ort der Anlage	bei 13 kA	
		unbelastet [1])	belastet [2])
11	Trafostation gegen Erde	39,0 V	32,5 V
13	Strassenzaun gegen Erde	16,2 V	3,5 V
17	Leitplanke gegen Erde	18,2 V	10,4 V
32	Hydrant gegen Erde	10,1 V	5,2 V
20	Wasserleitung gegen Erde	12,4 V	9,8 V

[1]) Messung mit hochohmigem Voltmeter.
[2]) Messung mit Belastungswiderstand 2 kΩ, um den Widerstand des menschlichen Körpers zu simulieren.

Schrittspannungsgefahr, und ist somit in Ordnung. Figur 4 deutet dagegen auf eine kritische Zone in 150 m Distanz hin. Es handelt sich um die Kreuzung der Kabelstrasse mit der Nationalstrasse. Die dort fehlende Erdverbindung ist nachträglich erstellt worden.

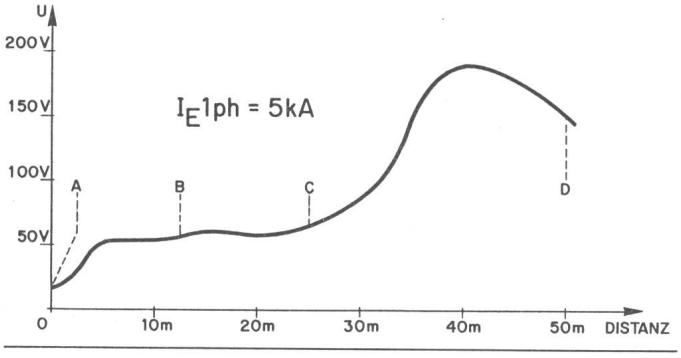

Fig. 3 Bereich Göschenen: Profil der Spannung gegen Erde in der Lüftungszentrale/Sicherheitsstollen

A In der Hochspannungsanlage der Lüftungszentrale
B Im Vortunnel
C Beim Eingang in den Sicherheitsstollen
D Auf der Strasse

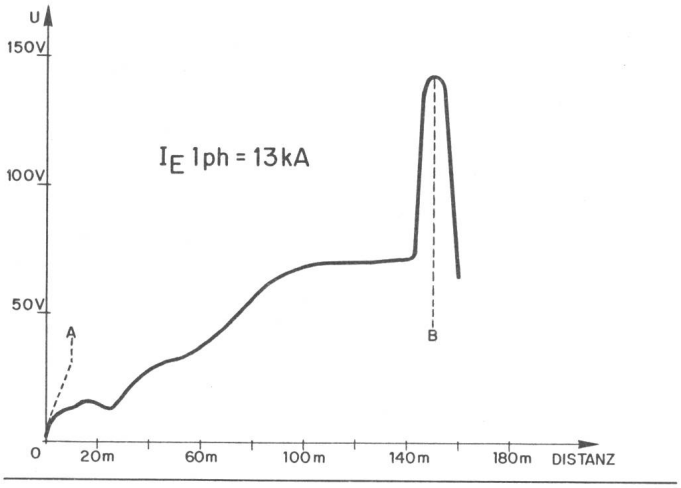

Fig. 4 Bereich Airolo: Profil der Spannung gegen Erde im Tunnelportal/Talspur N2 nach Süden

Die Messungen haben gezeigt, dass die Überlegungen und Berechnungen, insbesondere bezüglich der systematischen und starken Vermaschung aller metallenen Einrichtungen, grundsätzlich richtig waren, dass aber anderseits nur aufgrund der Messungen geeignete und effiziente Verbesserungsmassnahmen möglich sind. Die Messungen mussten am noch nicht ganz fertigen Bauwerk ausgeführt werden. Einige Verbesserungen, wie z. B. aus Messung 4 (Tab. I) ersichtlich, konnten in den Anschlussbereichen verwirklicht werden. Aus dem Vergleich der gemessenen Erdungsspannungen kann entnommen werden, dass ca. 90 % des Erdschlußstroms leitergebunden zur Quelle zurückflossen.

4. Schlussbemerkung

Mit diesen Messungen konnte praktisch nachgewiesen werden, dass die getroffenen Schutzmassnahmen, mit der weitgehenden Vermaschung der Erdung der Stromrückführung auf der Starkstromseite und die Kabelmantelreduktionsfaktoren, der Starkstromverordnung entsprechen und mit keinen unzulässigen Beeinflussungen zu rechnen ist. Die grosszügige Bereitschaft und enge Zusammenarbeit der beteiligten Instanzen haben wesentlich zu diesem guten Resultat beigetragen.

Literatur

[1] Revisionsentwurf des Abschnittes A «Erdung» des Kapitels III «Schutzmassnahmen» der Starkstromverordnung. Neue Überschrift gemäss Revisions-Entwurf: «Schutz gegen gefährliche Berührungs- und Schrittspannung.» Dok. Erd.-K. Nr. 75/30-d. 2. Entwurf Juni 1976. Zürich, Erdungskommission des SEV, 1976.

[2] Beispiele und Erläuterungen zum revidierten Kapitel III, Abschnitt A der Starkstromverordnung mit neuer Überschrift: «Schutz gegen gefährliche Berührungs- und Schrittspannung.» Dok. Erd.-K. Nr. 75/31-d. Zürich, Erdungskommission des SEV, 1979.

[3] *P. Lüthi:* Beeinflussung der Schwachstromanlagen. Bull. SEV/VSE 73(1982)13, S. 633...637.

[4] Erdungs- und Beeinflussungsmessungen vom 9. bis 17. Oktober 1979. Zürich, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 1979.

[5] *F. Schwab:* Erdungsmessungen in ausgedehnten Anlagen. Bull. SEV/VSE 71(1980)4, S. 174...177.

Adresse des Autors

F. Gallati, Ing. HTL, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.