**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:** 76 (1985)

**Heft:** 4

**Artikel:** Massnahmen gegen gefährliche Beeinflussungsspannungen am Beispiel des Gotthard-Strassentunnels

**Autor:** Gallati, F.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-904564

**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**

# Massnahmen gegen gefährliche Beeinflussungsspannungen am Beispiel des Gotthard-Strassentunnels

F. Gallati

*Es werden die zur Einhaltung der SEV-Verordnungen «Zum Schutze gegen gefährliche Einwirkspannungen» notwendigen Massnahmen für die Erdungsanlagen, die Behandlung der Nullpunkterdung und die Ausführung der Kabelanlagen im Gotthard-Strassentunnel dargelegt. Anhand der Resultate aus den Berechnungen der Beeinflussungsspannungen wird die Auswirkung der verschiedenen möglichen Massnahmen aufgezeigt. Ferner wird auf die Probleme, die in diesem Zusammenhang tangiert werden, und auf bereits veröffentlichte Berichte hingewiesen.*

*Les mesures nécessaires pour respecter les prescriptions de l'ASE «Pour la protection contre les tensions perturbatrices dangereuses» concernant les systèmes de mise à la terre, le traitement des mises à la terre neutres et la réalisation de réseaux de câbles dans le tunnel routier du Gothard sont présentées dans cet article. A l'appui des résultats tirés des calculs de tensions d'influence, il présente l'effet des différentes mesures possibles. De plus, il signale les problèmes qui sont touchés dans ce cadre et les études qui ont déjà été publiées.*

**Adresse des Autors**
*Fritz Gallati*, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich

## 1. Einleitung

Wie bei allen nachträglichen Betrachtungen scheinen die für den Gotthard-Strassentunnel getroffenen Massnahmen heute selbstverständlich und einfach zu sein. Man muss sich aber in die Jahre 1968–70 zurückversetzen; in diesem Zeitraum wurden die Weichen für die Ausführungen gestellt.

Im Tunnelprofil wurden 12 Kabelrohre für die Hauptkabelverbindungen der Stromversorgung, Schwachstrom- und Kommunikationsanlagen vorgesehen.

Die Stromversorgung für den Strassentunnel erfolgt aus den 50-kV-Unterwerken Airolo und Göschenen mit einer Kurzschlussleistung von 1500 MVA. In dieser Leistung ist der Ausbau der zweiten Tunnelröhre bereits berücksichtigt.

Im Normalbetrieb versorgen die beiden Elektrizitätswerke EWA und AET, unabhängig voneinander, je etwa die Hälfte des Tunnels. Das einpolige Prinzipschema zeigt die Transformatorstationen mit dem Kuppelschalter in Guspisbach. Für das 20-kV-Netz ist mit einer Kurzschlussleistung von 500 MVA gerechnet worden (Fig. 1).

## 2. Verordnungen zum Schutz gegen gefährliche Einwirkspannungen

Im Revisionsentwurf zur Starkstromverordnung über «Schutzmassnahmen gegen gefährliche Einwirkspannungen» von 1971 [5] steht unter Art. 9:

«Die Anlageerdung ist so zu bemessen, dass bei höchstmöglichem Erdschlussstrom keine grösseren als die unter Art. 2 aufgeführten Einwirkspannungen auftreten.»

Gemäss dem erwähnten Art. 2 sind die zulässigen Spannungen zeitabhängig und anhand einer Kurve dargestellt (siehe Fig. 5 des Beitrages Ott auf S. 210).

Die Einwirkspannung darf bei unbegrenzter Einwirkzeit 50 V und bei 0,1 s oder kürzerer Abschaltzeit 700 V nicht überschreiten.

Diese Verordnung (Entwurf 1971) bezieht sich auf Hochspannungsanlagen, gilt aber – sinngemäss interpretiert – auch für die beeinflussten Schwachstromanlagen. Natürlich dürfen auch im ungünstigsten Fall Personengefährdungen nicht zugelassen werden.

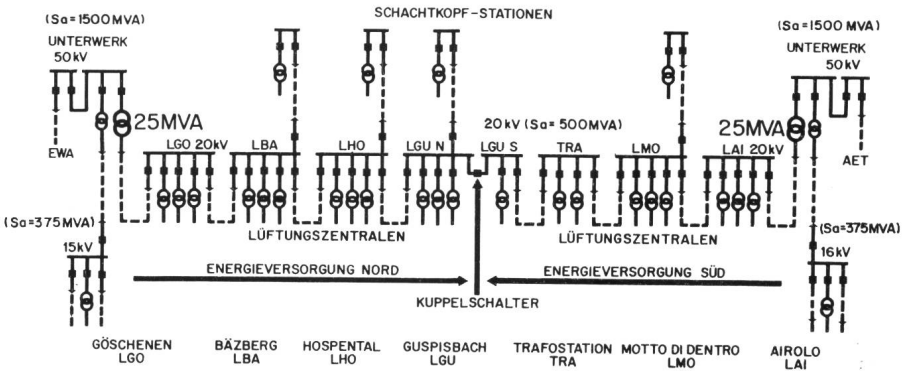



**Fig. 1 Prinzipschema der Energieversorgung des Gotthard-Strassentunnels**

Sie bildete die Basis für die Auslegung der Schutzmassnahmen des Gotthard-Strassentunnels. Die Inkraftsetzung des Entwurfs ist bisher noch nicht erfolgt.

## 3. Erdung

Mit den beiden nahegelegenen Kraftwerken Lucendro und Göschenen musste mit relativ hohen Erdschlussströmen ($I_E$) gerechnet werden.

Das Erdungskonzept und die Erdungsprobleme sind im Bulletin SEV/VSE 73(1982)13 beschrieben. Es wird daher in diesem Rahmen nicht weiter auf diese Problematik eingegangen.

Damit die Berührungsspannungen auf ungefährliche Werte beschränkt werden konnten und weil die Portalbauwerke, die Bahnanlagen und die KW-Bereiche ohnehin erdungsmässig miteinander verbunden werden mussten, wurde für die Erdung ein eng vermaschtes Netz erstellt, das alle leitfähigen Gebäudeteile, wie Wasserleitungen, Fundamentarmierungen, Blitzschutzanlagen und Leitplanken, einschliesst.

Die gemeinsam mit den Werken, den SBB, den PTT und dem Starkstrominspektorat ausgeführten Messungen [3] haben die Wirksamkeit des vermaschten Erdungssystems bestätigt.

## 4. Nullpunktbehandlung

Nachdem es sich hier um ein reines, von allen aussenliegenden Anlagen getrenntes Kabelnetz mit der Betriebsspannung 20 kV handelt, war man in der Behandlung der Nullpunkterdung frei.

Die Forderungen an die Nullpunktbehandlung waren:
- kleine Längsspannungen, d.h. möglichst kleiner einpoliger Kurzschlussstrom
- geringste Doppelerdschlussgefahr
- selektive Erfassung von Erdschlüssen
- kleine Fernwirkungen

Figur 2 zeigt eine grobe Übersicht über die möglichen Systeme der Nullpunktbehandlung:
- isolierte Netze
- gelöschte Netze
- über Impendanzen geerdete Netze
- starr geerdete Netze

Die Koordinationsregeln des SEV (3001.1964) behandeln diese Problematik.

Die Untersuchungen unter Berücksichtigung der vorerwähnten Forderungen für die Betriebsart eines Tunnelnetzes haben zur Nullpunkterdung über Widerstände «Widerstandserdung» geführt.

Der «vielohmige» Sternpunktwiderstand beträgt 100 Ω. Der ohmsche Erdschlussstrom wird auf etwa 100 A beschränkt. Damit können eine eindeutige, selektive Erfassung der Erdschlüsse erreicht und die Längsspannungen im Rahmen der zulässigen Grenzen gehalten werden, wie nachfolgend noch dargelegt werden wird.

Es sind richtungsabhängige Summenstromrelais eingesetzt. Jeder Erdschluss wird nach 0,4 s herausgeschaltet (siehe auch Beitrag Ott, S. 209...214).

## 5. Massnahmen in der Ausführung der Kabelanlagen

Zur Begrenzung der Längsspannungen werden meist Kabel mit erhöhter Mantelleitfähigkeit, d.h. mit kleinem Reduktionsfaktor, verwendet.

Aufgrund von eingehenden Untersuchungen mittels eines eigenen Rechenprogrammes konnte errechnet werden, dass bei richtiger Auslegung der Stromrückführung für die HS-Anlagen und die Anordnung der Erdleitungen weitgehend normale Kabel verwendet werden konnten.

Für die Beeinflussung bedeutet das gleichzeitige Auftreten je eines Erdschlusses an beiden Portalen den ungünstigsten Störungsfall. Der Einfluss des über das Erdreich fliessenden Stromes ist im Verhältnis zu den übrigen Rückströmen für die Berechnung überwiegend.

Alle Berechnungen für die verschiedenen Kabeltypen und Rückleitungskonzepte basieren auf diesem Störungsfall.

Unter Berücksichtigung aller voll laufenden Motoren ist

$I_{Des}$ = 4,5 kA (ohne Motoren 3,8 kA)

Aus Erdungsmessungen im Jahre 1970 für die CKW und ATEL beim Kraftwerk Göschenen bzw. Kraftwerk Lucendro ist für die Berechnung mit einem Erdungswiderstand

$R_E = 0{,}2\,\Omega$

gerechnet worden.

Tabelle I zeigt in einer Übersicht die berechneten Varianten. Darin bedeuten zur eindeutigen Differenzierung der Längsspannungen (induktiv):
- Die *Beeinflussungsspannung* $U_b$ wird über eine durchgeschaltete und einseitig an Erde gelegte Signalader gemäss Figur 3a gemessen. $U_b$ beansprucht die tunnelinternen Signalanlagen.
- Die *induzierte Längsspannung* $U_i$ kann über eine Ader der Transit-Signalkabel gemäss Figur 3b gemes-

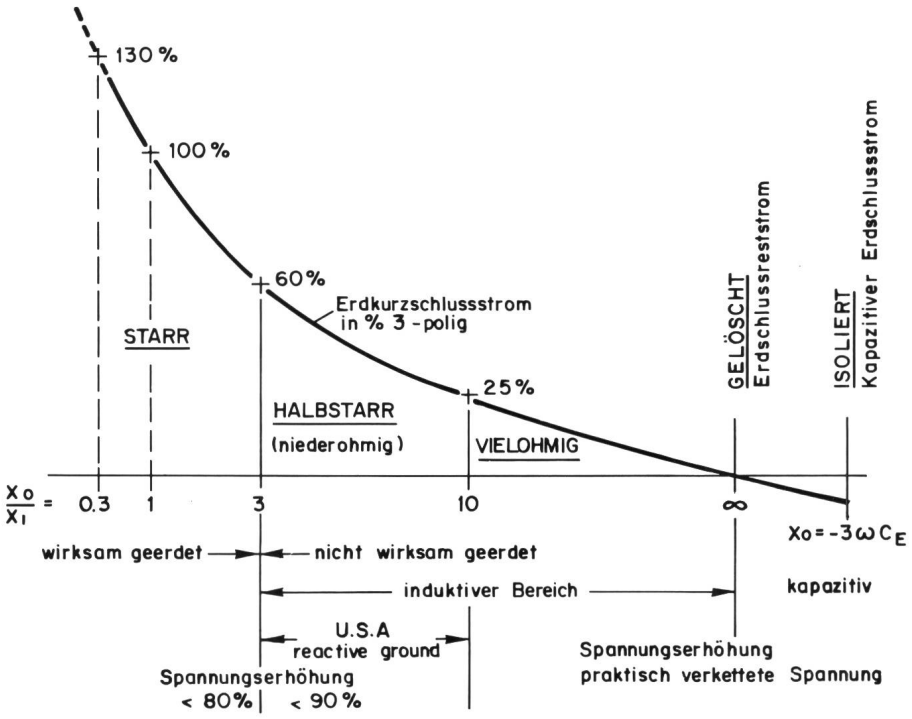
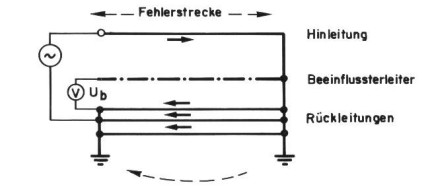



**Fig. 2 Schematischer Überblick über die Methoden der Nullpunkterdung**

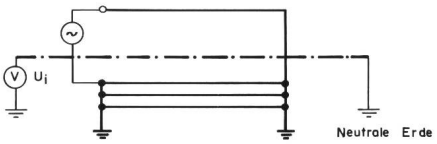
| VARIANTE | PROGRAMM-FALL | KABELART UND QUERSCHNITT | KABELFREMDE RÜCKLEITER IM TUNNEL | EFFEKTIVE LÄNGSSPANNUNG IN V FÜR GANZE TUNNELLÄNGE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $U_b$ Distanz v. Seil | | $U_i$ m über HS-Kabel | | | $U_g$ |
| | | | | 4 cm | 17 cm | 3,8 | 3,0 | 2,3 | |
| 1 | 1, 2 | Bleimantelkabel 150 □ | Gussrohrleitung Abschirmseil 150 □ | 1240 | 1830 | 4080 | | | 565 |
| 2 | 3+4 | PE-Kabel 150□, 70 □ mit Cu-Bandschirmen | 2 Erdseile 50 □ Abschirmseil 150 □ | 996 | 1420 | 3340 | | 3700 | 440 |
| 3 | 5+6 | PE-Kabel 150□ und 70 □ mit Cu-Drahtschirmen | 2 Erdseile 50 □ Abschirmseil 150 □ | 790 | 1110 | 2660 | | 2950 | 350 |
| 4 | 7 | PE-Kabel 70 □ mit Cu-Drahtschirm | Wie Variante 3 aber ohne Erdseile | 1090 | 1530 | 3660 | | 4050 | 486 |
| 5 | 8 | | Wie Variante 3 aber ohne Abschiermung | 3020 | 3020 | 3340 | | 3550 | 490 |
| 6 | 9 | | Wie Variante 4 aber 1 Signalarmierung | 1000 | 1400 | 3570 | | 3970 | 470 |
| 7 | 10 | | Wie Variante 5 aber 4 Signalarmierungen | 1390 | 1390 | 2360 | | 2560 | 340 |
| 8 | 11 | | Wie Variante 3 aber mit Erdleitungen im Gegentunnel | 655 | 920 | 2400 | | 2710 | 255 |
| 9 | 12 | | Wie Variante 3 aber mit Abschiermung 50 □ + 4 Signalarmierungen | 880 | 1000 | 2480 | 2630 | 2780 | 317 |
| 10 | 13 | | Wie Variante 9 Abschiermung 185 □ Transit-kabel | 630 | 705 | 1235 | 585 | 1550 | 220 |
| 11 | 14 c | | Wie Variante 3 aber Erdstromkreis unterbrochen | 1140 | 1600 | 390 | | 580 | 3100 |

**Tab. I: Übersicht über die berechneten Varianten**

3a. MESSUNG DER BEEINFLUSSUNGSSPANNUNG $U_b$




3b. MESSUNG DER INDUZIERTEN SPANNUNG $U_i$




3 c. MESSUNG DER GALVANISCHEN SPANNUNG $U_g$

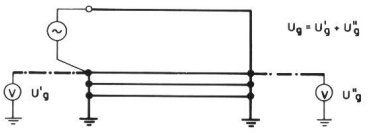



**Fig. 3 Messkonzept**

sen werden, vorausgesetzt, dass beide Enden über den Einflussbereich der Portalerden hinausreichen.

- Die *galvanische Längsspannung* $U_g$ entspricht der Potentialdifferenz zwischen den Tunnelportalen (oder allgemeiner zwischen den beiden Fehlerstellen).

  $U_g$ kann nicht direkt gemessen werden. Es ist aber möglich, die Potentialdifferenzen $U'_g$ und $U''_g$ der Portale und dem neutralen Erdreich nach Anordnung gemäss Figur 3c zu bestimmen. Dann ist $U_g = U'_g + U''_g$.

Durch die galvanische Längsspannung werden die von den Portalzentralen nach aussen in den neutralen Bereich führenden Signalkabel und die daran angeschlossenen Anlagen beansprucht.

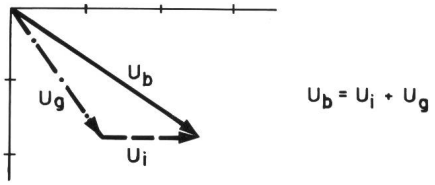



**Fig. 4 Zeigerdiagramm der Längsspannungen**

Die induzierte Längsspannung $U_i$ und die galvanische Längsspannung $U_g$ bilden gemäss Figur 4 die Komponenten der Beeinflussungsspannung $U_b$, d.h.

$$U_b = U_i + U_g$$

Die Berechnung zeigt, dass mit Berücksichtigung des Drahtschirmes über die HS-Kabel und der Erdseile (Bänder) sowie unter Einbezug der Signalkabelarmierungen weitgehend normale Kabel verwendet werden konnten.

Die theoretische Unterbrechung des Erdstromkreises zeigt einen markanten und gefährlichen Anstieg der Beeinflussungsspannung $U_b$ und der galvanischen Längsspannung $U_g$. Es ist dabei zu beachten, dass eine derartige Unterbrechung (rechnerisch) bei einem vermaschten Erdungsnetz praktisch nicht möglich ist. Gelegentliche Erdungsmessungen in derart korrosiver Atmosphäre, wie sie in Strassentunnels herrscht, dürften jedoch im Sinne einer Kontrolle von Nutzen sein.

Die für die Schwachstromanlagen getroffenen Massnahmen und Messungen sind im Bericht Lüthi [4] dargelegt. Für die tunnelinternen Signal-, Fernmelde- und PTT-Kabel sind verschiedene Reduktionsfaktoren festgelegt und ausgemessen worden.

## Literatur


[1] Revisionsentwurf des Abschnittes A «Erdung» des Kapitels III «Schutzmassnahmen» der Starkstromverordnung. Neue Überschrift gemäss Revisionsentwurf: «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] Erdungs- und Beeinflussungsmessungen vom 9. bis 17. Oktober 1979. Zürich, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 1979.

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

[5] Schutzmassnahmen gegen gefährliche Einwirkspannungen. Revisionsentwurf Bulletin SEV/VSE 62(1971)19, S. 960...964.