

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: 5

Artikel: Erdungsprobleme beim Eisenbahn-Tunnelfunk

Autor: Faust, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903827>

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: 17.04.2026

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

Erdungsprobleme beim Eisenbahn-Tunnelfunk

H. Faust

Mögliche Erdungsarten bei Funkanlagen mit strahlenden Antennen-Koaxkabeln in Eisenbahntunneln werden dargestellt. Für die Lösung mit ferngespeisten Verstärkern und beidseitig geerdeten Koaxkabelaussenleitern sind Messresultate und Betriebserfahrungen angegeben.

Partant des possibilités de mise à la terre d'installations radio-phoniques avec câbles coaxiaux formant antenne dans des tunnels ferroviaires, l'auteur présente des résultats de mesures et d'expériences faites en service, dans le cas d'amplificateurs à alimentation à distance et de conducteurs extérieurs mis à la terre aux extrémités du câble coaxial.

Adresse des Autors

Hans Faust, dipl. El.-Ing. ETHZ, Sektionschef Elektrische Anlagen, Berner Alpenbahn BLS, Postfach, 3001 Bern.

1. Einleitung

Als Betriebsführungsmittel ist heute der Funk bei den Eisenbahnen unbestritten. Besonders für Züge, die nur von einem Lokomotivführer allein, ohne Zugbegleiter, geführt werden, ist eine Verbindung zur Betriebsleitstelle oder auch ins Lokomotivdepot bei Störungen aller Art unerlässlich. Besondere Anforderungen stellen sich bei der Errichtung von Funknetzen in Tunneln, sowohl funktechnischer Art wie bezüglich der Erdungen. Versuche, Bahntunneln mit Funk zu erschliessen, wurden in den USA schon vor dem Zweiten Weltkrieg durchgeführt, allerdings auf Strecken mit thermischer Traktion. Konkrete Anwendungen sind später vor allem in U- und S-Bahn-Tunneln erfolgt, meist in Form mehrerer punktförmiger Anlagen mit normalen Antennenanlagen in den einzelnen unterirdischen Stationen, die, sofern überhaupt notwendig, örtlich einzeln an die Geleiseanlage geerdet wurden.

Grössere Tunnelfunkanlagen mit strahlenden Kabeln als Antennen wurden in der Schweiz in den längeren Autobahntunneln erstmals eingesetzt [1;2;3]. Besondere Erdungs- oder Speiseprobleme ergaben sich nicht, fehlen doch in diesen Anlagen im Normalfall Erdpotentialunterschiede. Für die Speisung der alle 500 bis 1000 m notwendigen Zwischenverstärker sind die nötigen 220-V-Anschlüsse sowieso vorhanden, brauchen doch solche Tunneln eine ausgebaute elektrische Infrastruktur für Beleuchtungen, Verkehrszeichen, Messgeräte usw.

2. Bahntunnelfunkanlagen mit dezentraler Einzelspeisung

In der Schweiz wurde die erste Eisenbahntunnel-Funkanlage mit Verstärkern im Furka-Basistunnel einge-

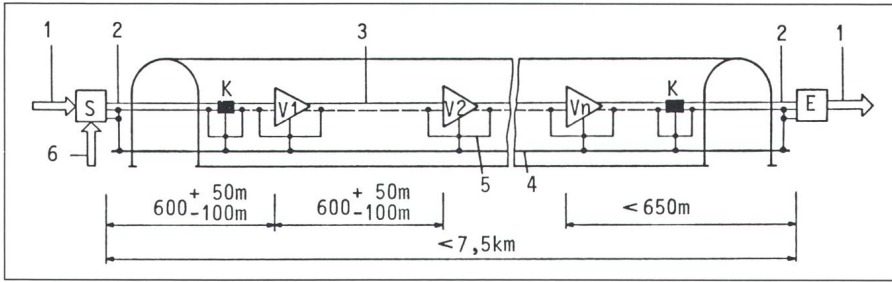
baut. Da es sich um einen neu gebauten Tunnel handelt, wurde auch eine genügende elektrische Versorgung eingeplant, unter anderem stehen an jedem Verstärkerstandort der Tunnelfunkanlage 220 V/50 Hz zur Verfügung. Diese Speisung erfolgt über Transformatoren ab einem durchlaufenden Hochspannungskabel. Jeder Verstärker ist an die Geleiseanlage schutzgeerdet.

Der Traktionsrückstrom bewirkt in der durch Geleise, Erdseile und Erde gebildeten Impedanz einen Spannungsabfall, erhöht durch induzierte Komponenten des Traktionshin- und -rückstromes. Zwischen den einzelnen Verstärkerstandorten bestehen deshalb Erdpotentialunterschiede. Um im Antennensystem keine Rückstromkomponenten von Verstärker zu Verstärker zu führen, sind sowohl Aussen- wie Innenleiter des strahlenden Koax-Antennenkabels mit kapazitiven Isoliermuffen versehen. Für die Hochfrequenzsignale sind diese Elemente keine zusätzliche Dämpfung, für den Traktionsstrom jedoch extrem hochohmig. Eingebaut sind diese Trennstellen so, dass sie bei Arbeiten an den Verstärkern nicht berührt werden können.

3. Tunnelfunkanlagen mit zentraler Stromversorgung

In bestehenden, alten Bahntunneln, so z.B. im Lötschbergtunnel, sind keine Netzanschlüsse vorhanden; längs der Strecke liegen nur Fernmeldekabel. Auch sind im doppelspurigen Vollbahntunnel die Traktionsleistungen und somit die Erdpotentialunterschiede viel grösser als im einspurigen Schmalspurtunnel der Furka.

Bei der Projektierung der Tunnelfunkanlage zeigte sich bald, dass aus finanziellen Gründen eine Fernspeisung der Verstärker über das Anten-



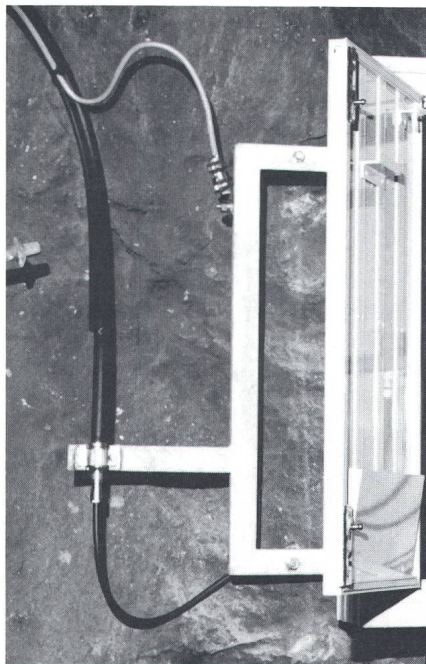
Figur 1 Prinzipaufbau einer Tunnelfunkanlage

- | | | | |
|---------|--|---|--------------------------------|
| S | Sendestation mit Fernspeise-Einrichtung 10 kHz | 1 | Niederfrequenzleitungen |
| E | Empfangsstation | 2 | Normales Koaxialkabel |
| V1...Vn | Zwischenverstärker | 3 | Antennen-Koaxialkabel |
| K | Übergangsstecker Koaxialkabel/Antennenkabel | 4 | Geleise/Erdseile |
| | | 5 | Erdverbindungen |
| | | 6 | Ausfallsichere Stromversorgung |

nen-Koaxkabel gesucht werden musste, sofern die Erdungsfragen gelöst werden konnten. Durch die Fernspeisung fiel die Möglichkeit der einfachen kapazitiven Trennung zur Vermeidung des Rückstromes jedoch weg. Ein Vorschlag lautete auf Fernspeisung mit 50 Hz, ein anderer auf eine solche mit 10 kHz. Beide Varianten ermöglichen für den Leistungsteil den Einsatz von Trenntransformatoren. Einfache Überschlagsrechnungen zeigten, dass pro Verstärkerabschnitt von 650 m im Falle des Fahrleitungs-kurzschlusses mit Längsspannungen von mehreren 100 V gerechnet werden muss. Dabei als Nutz- und Störsignal 50 und 16 $\frac{2}{3}$ Hz mit Filtern genügend zu trennen, schien recht problematisch, weshalb der Vorschlag für den Einsatz einer 10-kHz-Fernspeisung weiterverfolgt und auch realisiert wurde (Fig. 1).

4. Erdungskonzept der Funkanlage mit ferngespeisten Verstärkern

In Tunneln fehlt die ferne Erde; nur die Bauwerkserde, die Bahnerde ist vorhanden. Die Funkantennenkabel sind im Bereich der Fahrleitungsanlage am Tunnelgewölbe aufgehängt; die Verstärker in den Tunnelnischen sind gleichzeitig mit haltenden Schienenfahrzeugen, bahngeerdeten Kabelverteilern usw. berührbar. Die Pflicht zur Erdung an die Bahnerde steht zweifelsfrei fest. Zwischen zwei sich folgenden Verstärkern bildet nun der Aussenleiter des Antennenkoaxkabels einen weiteren Leiter, der den Elementen Geleise, Erdseile, Erde parallelgeschaltet ist, wenn er an beiden Verstärkern geerdet wird. Der Potentialunterschied zwischen Aussenleiter am Ka-



Figur 2 Montagerahmen zu Verstärkerkisten

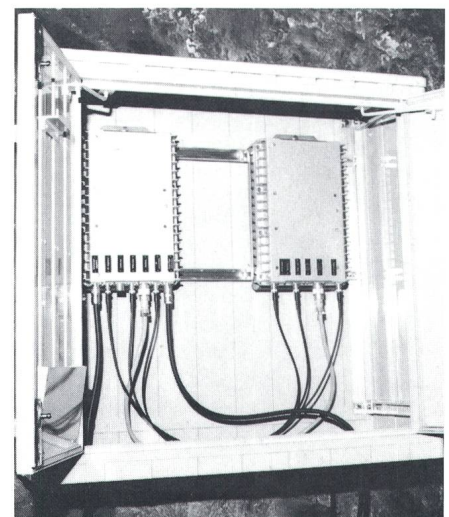
Erdungslitze für Erdseilanschluss (Bahnerde) und verschraubter, geerdeter Stecker für den Übergang Antennenkabel-Verbindungskabel zu Ankoppelbaugruppe

belanfang und Kabelende entspricht dem Unterschied der Erdpotentiale. Der Innenleiter des Antennenkabels ist über 10-kHz-Resonanzkreise (Kondensatoren, Trenntrafos) und über kapazitive HF-Ankoppelkreise angeschaltet, kann also keinen 16 $\frac{2}{3}$ -Hz-Rückstrom führen. Wegen der koaxialen Leiteranordnung wird auf dem Innenleiter durch den Strom im Aussenleiter keine Spannung induziert. Der Innenleiter weist auf der ganzen Länge dasselbe Potential auf; die Summe der Querspannungen der Kabelenden entspricht der Längsspannung am Aus-

senleiter. Im normalen Betrieb sind die Anschlüsse des Innenleiters nirgends berührbar. Die Antennenkabel enden in fest verschraubten Steckern auf bahngeerdeten Montagerahmen (Fig. 2). Die Ankoppelbaugruppen mit den 10-kHz-Resonanzkreisen sind über Verbindungskabel angesteckt. Die Baugruppen sind verschraubt und werden im Tunnel nicht geöffnet, da keine Mess- und Einstellarbeiten vor Ort notwendig sind (Fig. 3).

5. Strom- und Spannungsbelastung der Antennenanlage

Bei allfälligen Arbeiten an der Antennenkabelanlage selbst kann auch der Aussenleiter vorübergehend unterbrochen werden. Ein Ausschalten der Fahrleitung im Tunnel garantiert jedoch nicht, dass keine Rückströme mehr fließen; auch sind Ausschaltungen der Fahrleitung, nur weil an der Funkanlage Arbeiten ausgeführt werden, nicht möglich. Um das Gefährdungsrisiko abzuklären und die Werte der Kabeldimensionierung zu überprüfen, wurden die Erdungsverhältnisse im Lötschbergtunnel eingehend ausgemessen. Um die Betriebswerte reell zu simulieren, wurden mit Hilfe eines Loktransformators mit Stufen-schalter 2...4 km lange Schlaufen Fahrleitung-Erdungsstangen-Geleise/Erdseile/Erde mit Dauerströmen bis



Figur 3 Geöffneter Verstärkerkasten

links: Ankoppelbaugruppe mit 10-kHz-Resonanzkreisen und Speiseteil, mit 2 Verbindungskabeln zur Antennenanlage, 2 HF-, 1 Speise- und 1 Überwachungskabel zum Verstärkermodul
rechts: HF-Verstärkermodul mit automatischer Pegelregelung

2000 A belastet. Dabei wurden die Ströme und Spannungen aller Teilsysteme ausgemessen.

Für die Versuche wurden die Koax-Innenleiter der rund 650 m langen Antennenabschnitte einseitig geerdet und die Spannungen an den offenen Enden gemessen. Für 2000-A-Fahrleitungsstrom ergaben sich pro Verstärkerabschnitt 56,5 V Längsspannung. Dabei flossen in den beiden Erdseilen je 430 A und im Aussenleiter des Funkantennen-Koaxkabels 30 A (zulässig laut Kabeldaten sind 50 A). Aus den Messresultaten lässt sich die Aussenleiterimpedanz zu 2,9 Ohm/km berechnen. Der Gleichstromwiderstand des Aussenleiters beträgt 2,85 Ohm/km, das heisst die wirksame Längsimpedanz, die dem System Geleise/Erdseile/Erde parallelgeschaltet wird, weist einen zur Hauptsache ohmschen Anteil auf. Als weiteres Resultat wurde gefunden, dass die Stromaufteilung Koax-Aussenleiter/Erdseile genau dem Verhältnis der Gleichstromleitfähigkeiten dieser Leiter entspricht, also auch die wirksame Gesamtimpedanz der Erdseile nahezu ohmsch sein muss, sich demnach die induzierten Spannungen durch Hin- und Rückstrom beinahe aufheben.

Für den Fall des Fahrleitungskurzschlusses muss im Lötschbergtunnel mit etwa 20 kA Kurzschlussstrom ge-

rechnet werden, Ströme und Spannungen nehmen gegenüber den gemessenen Werten um den Faktor 10 zu. Dank einem raschen Netzschutz und entsprechend schnellen Druckluftschaltern lassen sich diese hohen Ströme innert weniger als 60 ms abschalten, so dass weder eine gefährliche Spannung auftreten kann noch die Kabelausenleiter thermisch geschädigt werden. Zudem sind die spannungsführenden Teile ja im normalen Betrieb nicht berührbar. Einzig bei Spleissarbeiten oder Stecker montagen können die spannungsführenden Stellen berührt werden.

6. Betriebserfahrungen

Das Erdungskonzept entspricht den normalen Installationen bei den Eisenbahnen, sind doch auch die Kabelmäntel der Fernmeldekabel längs der Bahnanlage regelmässig quer mit dem Geleise verbunden. Dass es hier und da bei Arbeiten an Kabelmänteln «funkt», ist den Monteuren bekannt. Ein Vorteil der getroffenen Anordnung ist, dass die auf hohe Spannungsfestigkeit ausgelegten Teile, nämlich die Koppelanschlüsse, in der Werkstatt auf Spannungsfestigkeit einfach geprüft werden können (2,5 kV, 1 min), während dies für an-

unzugänglichen Stellen im Bereich der Fahrleitung eingebaute kapazitive Trennmuffen weniger der Fall ist. Gewisse Probleme brachte bei dieser Lösung anfänglich doch die hohe Strombelastung der Aussenleiter bei den Übergangsstellen Kabel-Stecker: Bei der Materialpaarung Aluminiumausenleiter-Messingstecker entstand trotz Zwischenbeschichtungen sehr rasch starke Korrosion. Durch eine konstruktive Änderung konnte der Mangel behoben werden. Weder an der Kabelanlage noch an den Ankopplungsbaugruppen entstanden in den letzten drei Jahren Defekte. Die Tunnel funkanlage hat sich in jeder Hinsicht voll bewährt, weitere Tunnelabschnitte der Lötschberg-Nord- und -Südrampe werden mit gleich konzipierten Anlagen ausgerüstet.

Literatur

- [1] H.R. Meyer: Tunnel funkanlage: Aufbau und Betriebserfahrung. Bull. SEV/VSE 73(1982)13, S. 638...643.
- [2] H. Eggli: Tunnel funkanlage: Aspekte der Sicherung. Bull. SEV/VSE 73(1982)13, S. 644...648.
- [3] F. Schweingruber: Das Überwachungssystem der Tunnel funkanlage. Bull. SEV/VSE 73(1982)13, S. 649...652.