

**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:** Netzschutz im Fahrleitungsnetz der BLS

**Autor:** Kiener, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903825>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

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

# Netzschutz im Fahrleitungsnetz der BLS

W. Kiener

**Am Beispiel der Berner Alpenbahn (BLS) werden die Anforderungen an die Schutzeinrichtungen bezüglich Selektivität und erhöhter Kurzschlussleistungen in einem vermascht betriebenen Fahrleitungsnetz aufgezeigt. Betriebs- und Messergebnisse bestätigen die dem Projekt zugrunde gelegten Annahmen.**

**A l'exemple du Chemin de fer des Alpes Bernoises (BLS) on montre les exigences au système de protection en ce qui concerne la sélectivité et l'augmentation de puissance de court-circuit dans un réseau caténaire maillé. Des résultats d'exploitation et de mesures confirment les hypothèses sur lesquelles le projet a été basé.**

## 1. Einleitung

Im Zuge des Ausbaus der BLS-Linie auf Doppelspur wird deren Energieversorgung durch Verstärkung und Vermaschung der Einspeisungen in die Fahrleitung der zukünftig erhöhten Traktionsleistung angepasst (Fig. 1). Die Kurzschlussleistung, im sowohl auf der Oberspannungsseite wie auf der Fahrleitungsebene mit dem Netz der SBB verbundenen BLS-Netz, steigt dadurch stark an. Der Netzschutz soll gestörte Fahrleitungsabschnitte selektiv und raschmöglichst abschalten. Die selektive Störungserfassung hat betriebsmässig möglichen Variationen im Schaltzustand der Fahrleitung Rechnung zu tragen.

Heute verfügt die BLS über eine 66-kV-Übertragungsleitung bis Kandersteg, wo auch die Fahrleitung gespeist wird. Das der zukünftig doppelspurigen Eisenbahnlinie Thun-Brig zugeordnete Leistungsprogramm rechnet bei Vollausbau mit maximalen  $\frac{1}{4}$ -h-Leistungen von 176 MVA und Leistungsspitzen von 220 MVA. Dazu soll die Übertragungsspannung auf 132 KV erhöht werden. Der hohe Leistungsbedarf erfordert zudem eine Ergänzung der bestehenden Umformer in Wimmis durch Anschluss an das 132-kV-Netz der SBB.

Aufgrund des heutigen Verkehrsaufkommens wurde eine durchgehende 132-kV-Verbundleitung Süd-Nord von der Genehmigungsinstanz vorderhand als nicht nötig erachtet, muss aber, weil für die Zukunft nicht ausgeschlossen, bei der Bemessung der Schutzeinrichtungen auch im Fahrleitungsnetz in Rechnung gestellt werden.

Für die Wahl der Standorte und die Dimensionierung einzelner Unterwerke 132/16 kV, die auf Bergstrecken nicht mehr als 20 km auseinanderliegen sollen, spielen nebst der Berücksichtigung vorhandener Anlagen auch geographische Momente mit.

## 2. Kurzschlussströme und -beanspruchung im Fahrleitungsnetz

Die durch die Vermaschung gegebene Massierung der Einspeisungen führt zu Kurzschlussleistungen von gegen 500 MVA. In Figur 2 sind die Impedanzen und Kurzschlussströme der einzelnen Abschnitte angegeben. Die Fahrdrähtleitungen sind auf allen Stationen parallel geschaltet. Dies ergibt relativ geringe Impedanzwerte.

Im 16-kV-Fahrleitungsnetz ist mit subtransienten Kurzschlussströmen von etwa 30 kA zu rechnen. Demgegenüber steht die im In- und Ausland gemachte Erfahrung, dass das Stromzeitprodukt den Wert von 1,2 kAs nicht wesentlich überschreiten soll, wenn man Kurzschlusschäden an der Fahrleitung vermeiden will. Daraus ergibt sich, dass die stromstarken Fehler innerhalb der ersten Halbwelle (30 ms bei  $16\frac{2}{3}$  Hz) ausgeschaltet werden müssen.

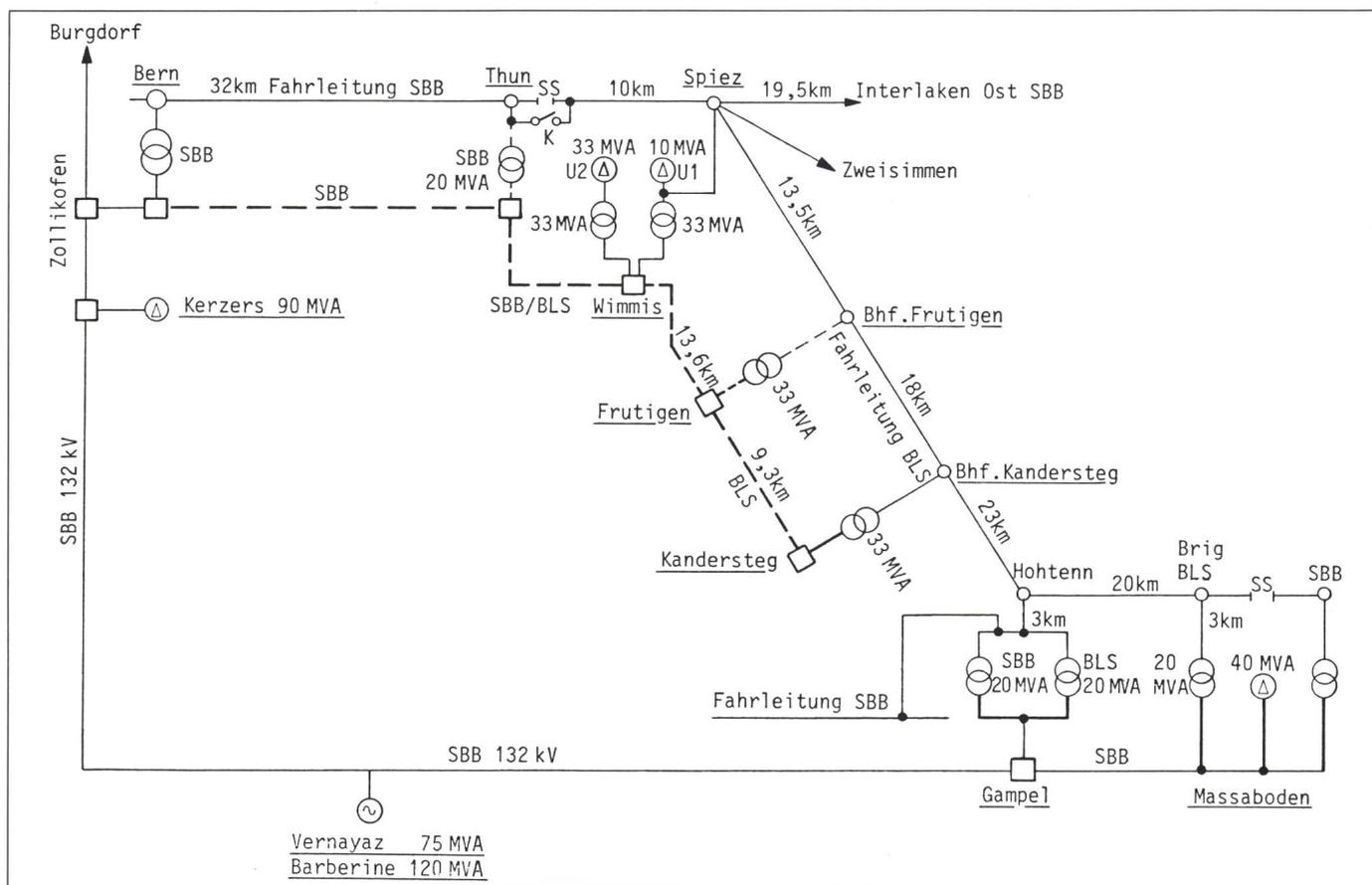
Der für die BLS gewählte und bei der Deutschen Bundesbahn bewährte Druckluftschalter von AEG erfüllt mit 650 MVA Abschaltleistung und einer Eigenschaltzeit von 10 ms die beschriebenen Forderungen. Jede Einspeisung ist fahrdrahtseitig mit derartigen Leistungsschaltern ausgerüstet (Fig. 3).

## 3. Relaischutzsystem

Der Netzschutz ist direkt bei den Leistungsschaltern angeordnet. Beim Aufbau des Schutzes ist einerseits zu beachten, dass nur der vom Kurzschluss betroffene Leitungsabschnitt abgeschaltet wird, damit nicht die ganze Strecke lahmgelegt wird. Andererseits müssen auch Kurzschlüsse bei einglissem Betrieb erfasst werden. Dies

### Adresse des Autors

Walter Kiener, El.-Ing. HTL, Berner Alpenbahn BLS, Zugförderung und Werkstätten/EA, Postfach, 3011 Bern.



Figur 1 Prinzip der Traktionsenergieversorgung beim BLS-Ausbau auf Doppelspur

- ⊕ Umformer  $\Delta/\sim$
- Schaltanlage 132 kV
- Transformator
- Übertragungsleitung 132 kV, Projekt, heute 66 kV
- Fahrleitung 16 kV
- ss Schutzstrecke
- Feederleitung 16 kV
- - - Feederleitung 16 kV, Projekt

fürte zu folgendem Relaischutzsystem und Staffelplan (Fig. 4):

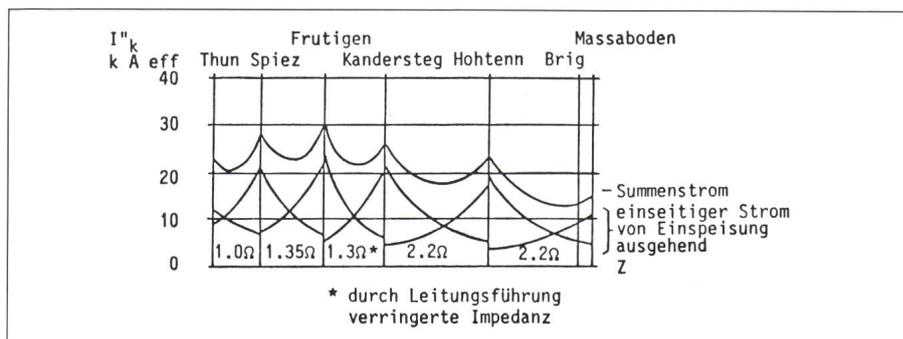
Die Schnellabschaltung stromstarker Fehler kann nur mittels ungerichtetem Maximumstromrelais in der geforderten Zeit erfolgen. Damit ist aber keine selektive Abgrenzung zu benachbarten Speiseabschnitten möglich. Die Einstellung des unverzögerten Maximumstromrelais wird deshalb so gewählt, dass beim höchst auftretenden Kurzschlussstrom lediglich Fehler innerhalb 80% der zu schützenden Leitungslänge bis zur nächsten Einspeisung erfasst werden. Beispielsweise wird das Relais in Spiez für die Strecke Spiez-Frutigen auf etwa 8 kA eingestellt.

Die volle Leitungslänge wird mit einer ersten gerichteten Impedanzstufe erfasst, die um das 1,2fache die Leitungslänge übergreift. Zur Abgrenzung gegenüber der schnellen Maximalstromstufe der benachbarten Einspeisung wird diese erste Impedanzstufe um 0,1 s verzögert.

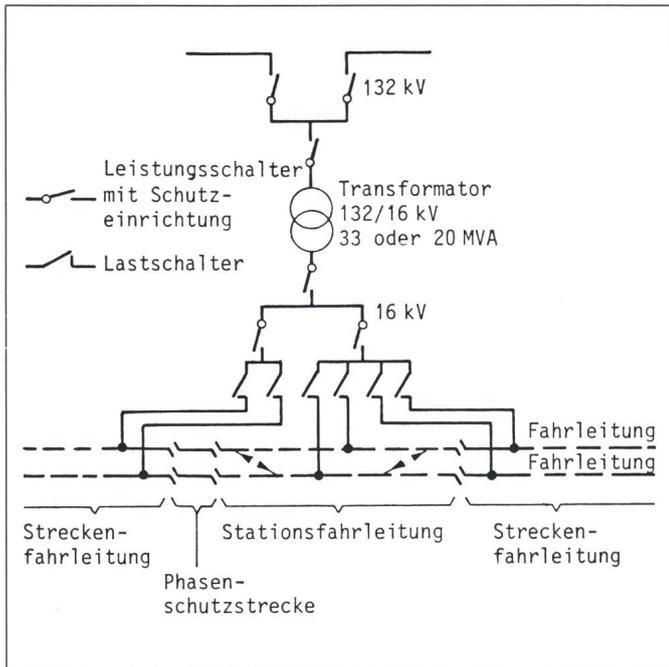
Zwischen zwei Einspeisungen kann die Fahrleitung eines Gleises der Doppelspurlinie ausgeschaltet sein, was die Leitungsimpedanz nahezu verdoppeln kann. Der Erfassung von Störungen in diesem, betriebsmässig bei Unterhaltarbeiten vorkommenden Schaltzustand dient eine zweite Impedanzstufe, die um 0,2 s verzögert wird.

Die Impedanz-Richtungsmessung erfolgt nach dem Prinzip des Phasen-

vergleichs der Restspannung am Einspeiseort mit dem durch den Kurzschlussstrom über einem Leitungsnachbild verursachten Spannungsabfall (Fig. 5). Die Ortskurve für den Auslöseentscheid ist in komplexer Darstellung der sogenannte Mho-Kreis, der durch den Ursprung geht. Damit die Messung möglichst nahe an die elektrischen Leitungsdaten herankommt, muss der Kreisdurchmesser



Figur 2 Subtransiente Kurzschlussströme und Impedanzen im Fahrleitungnetz



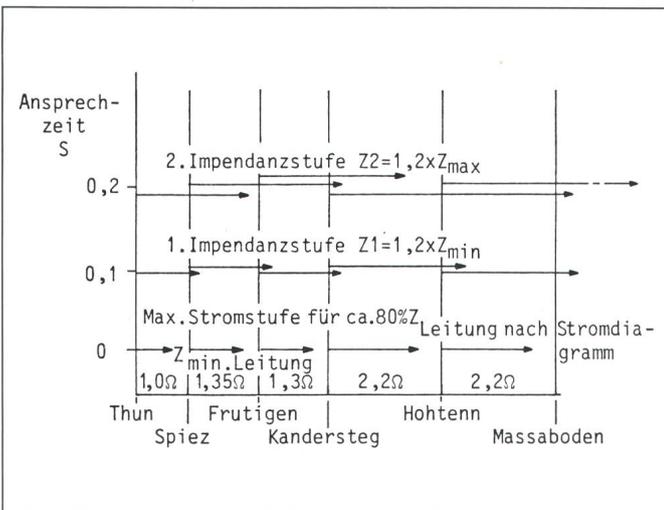
**Figur 3**  
Prinzipisches Schaltenschema eines Unterwerkes BLS  
132-kV- und 16-kV-Schaltanlage und angeschlossene Stations- und Streckenfahrleitungen

gleichzeitig als Reservemaximalstromschutz dienen, wenn die Impedanzmessung ausfällt oder ausgeschaltet ist. Für den Fall, dass im Hauptschutz die Stromversorgung fehlt, wird ein am Messkern des Stromwandlers angeschlossener Reserveüberstromschutz zur Wirkung gebracht, der knapp über dem maximal zu erwartenden Betriebsstrom eingestellt sein muss. Da er unselektiv wirkt, ist er auch mit einer angemessenen Zeitverzögerung versehen.

Ebenfalls am Wandlermesskern ist der Thermoschutz der Fahrleitung angeschlossen, der, abgestimmt auf Freileitung oder angeschlossene Kabel, die unzulässige Erwärmung der Leitungen verhindert. Eine Vorwarnung bei Erreichen von etwa 80% der zulässigen Erwärmung gestattet u.U. das Betriebsgeschehen, d.h. die Belastung im Netz zu beeinflussen, bevor eine automatische Abschaltung den Betriebsablauf stört. Um die Wirksamkeit des Thermoschutzes bei jedem Schaltzustand der Leitungen zu garantieren, ist es nötig, bei der Ausschaltung einzelner Leitungsabschnitte den Schutz von der Einstellung «Doppelspur» auf «Einspur» umzustellen.

Verzichtet wurde auf Temperaturfühler zur Kompensation der Aussen-temperatur, da besonders auf einer Gebirgsstrecke die Witterung beim Einspeisepunkt nicht mit derjenigen im zu schützenden Leitungsbereich übereinstimmen muss. Die Dimensionierung des Leitungssystems hat diesem Umstand unter Berücksichtigung einer angemessenen Reserve Rechnung zu tragen.

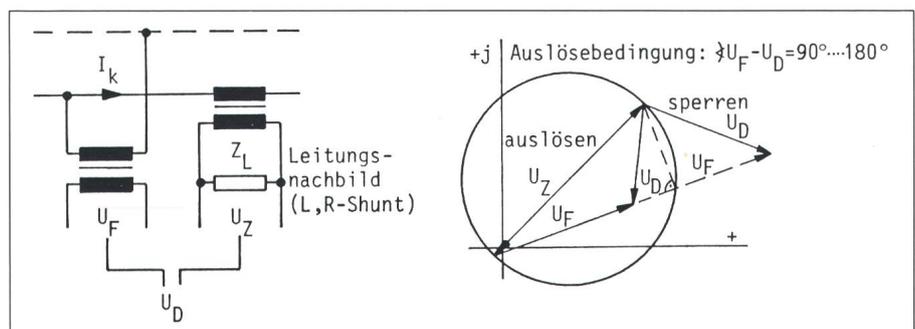
Einer besonders grossen Kurzschlussbeanspruchung unterliegen die von Spiez abgehenden Fahrleitungen



**Figur 4**  
Zeitstaffelplan für Schutzrichtung Thun-Brig

um den Winkel der Leitungsimpedanz (etwa 45-60°) geneigt liegen; damit können betragsmässige Korrekturen weitgehend vermieden werden. Da das Messprinzip den Richtungsentscheid beinhaltet, ist weiter empfohlen, den Mho-Kreis knapp um den Ursprung herumzuführen, um auch Fehler unmittelbar bei der Einspeisestelle noch sicher zu erfassen.

Zur Vermeidung von Fehlauslösungen bei fehlender Spannung ab Wandler (Sicherungsdefekt) wird zudem zur Freigabe der Impedanzauslösung ein Mindeststrom von z. B. 0,5  $I_n$  verlangt. Diese Freigabeüberwachung kann



**Figur 5** Fahrleitungsnetzschutz

Messprinzip der Impedanzmessung  
Normalbetrieb  $U_F \gg U_Z$   
Gemessen werden die Beträge  $U_F$  und  $U_Z$  sowie der Phasenwinkel zwischen  $U_F$  und  $U_Z$   
Auslösebedingung:  $\angle U_F - U_D = 90 \dots 180^\circ$

nach Interlaken, Zweisimmen und in die Bahnhof- und Depotalanlagen in Spiez, da im Störfall die Einwirkung aller Einspeisungen auf diese Nebenabgänge vereinigt wird. Aus betrieblicher Sicht (Belastung durch die Traktion) sind andererseits auf diesen Linien querschnittstarke Fahrleitungen nicht gerechtfertigt, so dass Überlastungen des Leitungssystems im Kurzschlussfall durch besondere Massnahmen zu verhindern sind. Mit Hilfe von Luftdrosseln von etwa 4,7 mH Induktivität, d.h. etwa  $0,5 \Omega$  Reaktanz wird der Kurzschlussstrom auf diesen Nebenabgängen auf unter  $20 \text{ kA}_{\text{eff}}$  begrenzt. Der Spannungsabfall über den Drosseln, deren Reaktanz ungefähr derjenigen von 4 km Fahrleitung entspricht, fällt beim normalen Betrieb auf diesen Strecken nicht ins Gewicht.

#### 4. Betriebserfahrungen

Die erstmals 1983 in Spiez und 1984 in Hohtenn eingebauten neuen Schutzeinrichtungen wurden bei der Inbetriebsetzung zur Kontrolle von Impedanzabstufungen und Auslösezeiten einer Reihe von Kurzschlussversuchen unterzogen. Die minimale und präzise Ausschaltzeit der Druckluftschneiderschalter gestattet eine ebenso präzise Abgrenzung der Einstellung für die einzelnen Schutzstufen  $I_{\text{max}}$ ,  $Z_1$  und  $Z_2$ . Abweichungen von den errechneten Grundeinstellungen ergeben sich vorerst noch aus der Tatsache, dass der Ausbau auf Doppelspur zwischen Spiez und Brig noch im Gang ist und deshalb die effektiv gemessenen Impedanzen die zukünftigen Werte noch nicht erreichen.

#### 5. Weitere Schutzmassnahmen

Nebst dem beschriebenen eigentlichen Fahrleitungsschutz und dem Distanzschutz der Primärleitung werden sowohl 16-kV- wie 132-kV-Schaltanlagen über einen Sammelschienenschutz mit Schalterversagerschutz verfügen. Zum Schutzkonzept gehören auch Schutzeinrichtungen der Transformatoren 132/16 kV (Differential- und Buchholzschutz usw.), womit eine lückenlose Fehlererkennung und -abschaltung entsteht, die möglichst nur die gestörten Netz- und Anlagepartien erfasst.

Eine alle Schaltanlagen umfassende Ereignisprotokollierung mit folgerichtiger Zeituordnung wird zukünftig gestatten, die Funktionstüchtigkeit der Schutzeinrichtungen laufend zu überwachen.