



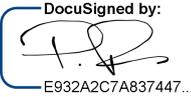
Erdungskonzept

BLT Baselland Transport AG Arlesheim BL

BLT – Projektierungsrichtlinie, Rückleitung und Erdung,
Projektierungs- und Instandhaltungshandbuch

Oberwil, 29.04.2025

Zeichnungsberechtigte Projektverantwortliche BLT

| | | |
|----------|---|--|
| Name | Fabiano Rosa | David Niederhauser |
| Funktion | Leiter Fahrbahn & Projekte | Projektleiter elektrische Anlagen |
| Visum |  DocuSigned by: E932A2C7A837447... |  Signiert von: 248E96101949407... |

Projektverfasser

| | |
|----------|--|
| Name | Christian Waldmeier |
| Funktion | Projektleiter |
| Visum |  Signiert von: 5AD387DBC1524F2... |



BLT Baselland Transport AG
Grenzweg 1
CH-4104 Oberwil

14.06.02

BLT – Projektierungsrichtlinie

Rückleitung und Erdung

Projektierungs- und Instandhaltungshandbuch

31. August 2021





Änderungsverzeichnis

| REV. | ÄNDERUNG | URHEBER | DATUM | BEMERKUNG |
|------|--|-------------------------------|------------|-----------------------------|
| 0.1 | Erstellung Entwurf Handbuch | Dr. H. Tschiedel, G. Maier | 22.11.2018 | |
| 0.2 | Überarbeitung und Ergänzungen | Stephan Arnold | 02.05.2019 | |
| 1.0 | Finalisierung für Freigabe | Stephan Arnold | 15.10.2019 | BAV-Prüfung M. Schweller |
| B | Einarbeitung Beilage 8 / Dokumenten- bezeichnung gemäss DBR | Stephan Arnold | 07.03.2021 | |
| C | Beilagen Verzeichnis | Stephan Arnold | 31.08.2021 | Prüfung Electrosuisse |



Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Genehmigungsvermerk | 4 |
| Literaturverzeichnis | 5 |
| 1 Ausgangslage | 6 |
| 1.1 Ausgangslage | 6 |
| 1.2 Ziel | 6 |
| 1.3 Zweck / Abgrenzung | 6 |
| 1.4 Gesetzliche Grundlagen | 6 |
| 2 Grundlagen Rückleitungs- und Erdungskonzept | 7 |
| 2.1 Das Schutzkonzept der Elektrotechnik | 7 |
| 2.1.1 Basisschutz | 7 |
| 2.1.2 Fehlerschutz | 7 |
| 2.1.3 Zusätzlicher Schutz | 7 |
| 2.2 Erde als elektrischer Leiter | 8 |
| 2.2.1 Erde und klassische elektrische Leiter aus Cu, Al, Fe im Vergleich | 8 |
| 2.2.2 Erdung als Schutzmassnahme | 8 |
| 2.2.3 Erderarten und Erderformen | 11 |
| 2.2.4 Verbindung mit der Rückleitung (RLS) | 12 |
| 2.2.5 Rückleitungs- und Erdungskonzept, EMV-Konzept | 13 |
| 3 Allgemeine Grundlagen der Gleichstromtraktion | 14 |
| 3.1 Streckenaufbau | 14 |
| 3.2 Spannungen, Ströme und Streckenbelastungen | 15 |
| 3.3 Verteilung von Spannung und Strom über die Strecke | 15 |
| 3.3.1 Das Schienenpotenzial | 15 |
| 3.3.2 Das Isolier- und Streustromproblem | 15 |
| 3.4 Schutz vor Gefahren aus dem Fahrstrom | 16 |
| 3.4.1 Fahrleitungs- und Stromabnehmerbereich, Zone 1 | 16 |
| 3.4.2 Schutz durch Abstand | 18 |
| 3.5 Streustromschutzmassnahmen am Rückleitungssystem von DC-Bahnen | 19 |
| 3.5.1 Geräte zur mittelbaren (offenen) „Bahnerdung“ | 19 |
| 3.6 Galvanische, kapazitive und induktive Beeinflussungen | 20 |
| 3.6.1 Galvanische Beeinflussung | 20 |
| 3.6.2 Kapazitive Beeinflussungen | 21 |
| 3.6.3 Induktive Beeinflussung | 21 |
| 3.7 Blitzschutz | 21 |
| 3.7.1 Gewitter | 21 |
| 3.7.2 Blitzschutzelemente | 21 |
| 3.7.3 Vorgaben zum Blitzschutz | 22 |
| 3.7.4 Blitzschutz in Bahnanlagen | 22 |



| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.8 | Gemeinschafts-Parallelbetrieb | 23 |
| 4 | Kenngrossen und normative Grenzwerte zur Gleichstromtraktion | 24 |
| 4.1 | Fahrleitungsanlagen | 24 |
| 4.2 | Fahrschienen | 24 |
| 4.3 | Ableitbeläge | 24 |
| 4.4 | Elektromagnetische Felder | 25 |
| 4.5 | Berührungs- und Körperspannungen, zulässige Werte | 25 |
| 4.5.1 | VLD-O und VLD-F | 25 |
| 4.5.2 | Berührungsspannung und Körperspannung | 26 |
| 5 | Netze und Erdungen | 29 |
| 5.1 | Hochspannungsnetze | 29 |
| 5.2 | Mittelspannungsnetze | 29 |
| 5.3 | Niederspannungsnetze | 30 |
| 5.3.1 | TN-S-Netze (Terre Neutre Separe) | 30 |
| 5.3.2 | TN-C-Netze (Terre Neutre Combine) | 32 |
| 5.3.3 | TN-C-S Netze (Bild G 24) | 33 |
| 5.3.4 | TT-Netze (Terre Terre) | 33 |
| 5.3.5 | IT-Netze (Isolee Terre) | 34 |
| 5.4 | Informationstechnische Netze | 35 |
| 6 | Abkürzungsverzeichnis | 36 |

Beilagen

| | |
|-----------|--------------------------------------|
| Beilage 1 | Apperatekabinen und Apperateschränke |
| Beilage 2 | Bahnübergänge BUe |
| Beilage 3 | Haltestellen |
| Beilage 4 | Stellwerk STW |
| Beilage 5 | Gleichrichter GR |
| Beilage 6 | Depots und Werkstätten |
| Beilage 7 | Fahrleitungsanlagen |
| Beilage 8 | Weichen |
| Beilage 9 | Kunstbauten |

Dazugehörige Dokumente

Kontrollplan

BLT – Projektierungsrichtlinie Tief- und Gleisbau

BLT – Projektierungsrichtlinie Taktil-visuelle Markierungen

BLT – Projektierungsrichtlinie Sicherungsanlage

BLT – Richtlinie Dokumentation ausgeführtes Werk (DaW)

BLT – Projektierungsrichtlinie Fahrstromversorgung

Systemzeichnungen Fahrleitung

Schaltpläne der BLT-Linien 10, 10/17, 11, 14 und 19

Drahtwerkspläne der BLT-Linien 10, 10/17, 11, 14 und 19

BLT – Richtlinie Ausführungsbestimmungen «Arbeiten im Gleisbereich»

InfraSys Anforderungen

Genehmigungsvermerk

BLT Baselland Transport AG

Oberwil,



Reto Rotzler
Leiter Infrastruktur



Patrick Zeller
Leiter Anlagenmanagement



Literaturverzeichnis

- ABB Schweiz. (19. 03 2019). *Niederspannungsbegrenzer HVL 120.3*. Von Niederspannungsbegrenzer HVL 120.3 : <https://library.e.abb.com/public/1b3895889468cf8ac1257b130057bbe3/HVL%20120-03%20HC0075863%20D01%20AB.pdf> abgerufen
- Bender. (20. 03 2019). *Differenzstrom-Überwachung*. Von Differenzstrom-Überwachung: <https://www.bender.de/produkte/differenzstrom-ueberwachung-uebersicht> abgerufen
- Dehn. (2017). *Blitzplaner*. 92306 Neumarkt: Dehn.
- Feydt, M. (Begriffe der Elektrotechnik. 03 2019). *Begriffe der Elektrotechnik*. Von Begriffe der Elektrotechnik: http://www.erdungsmessung.com/html/body_begriffe.html abgerufen
- Mathys. (01. 12 2012). *Am TN-S-Netzanschluss*. Von Am TN-S-Netzanschluss : http://toolbox.electrosuisse.ch/_files/downloads/07_1212_Mathys.pdf abgerufen
- NISV 814.710 . (2016). *Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)*. Bern: Bundesrat.
- Pigler, F. (1998). *Blitzschutz elektronischer Anlagen*. Franzis Verlag.
- RTE 27900. (2015). *D-RTE 27900: Erdungs- und Rückleitungshandbuch, S. 58, VÖV UTP 2015*. Bern : Verband Öffentlicher Verkehr.
- Schmidt, P. (1988). *Energieversorgung elektrischer Bahnen*. Berlin: Transpress Verlag.
- SGK C3. (2011). *Richtlinie zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen*. Zürich: Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz.
- SN EN 50122-1. (2016). *Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung, Teil 1*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SN EN 50122-2. (2011). *Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 2*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SN EN 50122-3. (2010). *Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 3*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SN EN 50162. (2004). *Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SN EN 50310. (2016). *Telekommunikationstechnische Potentialausgleichsanlagen für Gebäude und andere Strukturen*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SN EN 50522. (2010). *Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SN EN 50522. (2011). *Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SN EN 62305-1. (2011). *Blitzschutz. Teil 1: Allgemeine Grundsätze*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- SNR 464113. (2016). *SNR 464113 Fundamentender*. Fehraltdorf: Electrosuisse.
- Witt Ind. El. (19. 03 2019). *Erdungskurzschliesser*. Von Erdungskurzschliesser: <https://witt-es.com/de/ppm/erdungskurzschliesser-eks-100> abgerufen



1 Ausgangslage

1.1 Ausgangslage

Dieses Handbuch besteht aus 2 Teilen:

- Grundlagen (Kapitel 2 bis 5)
- Details (Beilagen 1 bis 8)

Die Grundlagen wiederholen und fassen das Allgemeinwissen über die Gleichstromtraktion zusammen und bilden sozusagen die Basis für die praktische Ausführung der Details. In den Details sind die BLT Standards praxisorientiert, dargestellt.

1.2 Ziel

Dieses Dokument soll eine einheitliche Projektierung und Ausführung der Schutzmassnahmen Potenzialausgleich, Erdung und «mit der Rückleitung verbunden» (früher Bahnerdung) ermöglichen. Es soll einerseits als Vorgabe für die Ausführung von Anlagen dienen, andererseits sicherstellen, dass das korrekte Material verwendet wird. Ziel ist es, dass dieses Dokument sowohl intern bei der BLT, als auch von Dritten genutzt werden kann.

1.3 Zweck / Abgrenzung

Das erstellte Dokument beinhaltet sowohl eine Projektierungsgrundlage als auch die Ausführung. Es soll als Ratgeber dienen, um bekannte Schwierigkeiten bei der Planung / Projektierung und Installation der Anlagen aufzuzeigen und die bestehende Dokumentation zu ergänzen. Es richtet sich an Fachpersonal, welche die Installationen schon kennen.

1.4 Gesetzliche Grundlagen

Dieses Dokument basiert auf der eidgenössischen Eisenbahnverordnung (EBV) sowie der dazugehörigen Verordnung über die Ausführungsbestimmungen (AB-EBV) sowie die Ausführungen der RTE 27900 (Erdung).

Beim Bezug auf die angegebenen Regelwerke, Normen, Vorschriften, Richtlinien ist zu beachten, dass diese ständigen Überarbeitungen im Sinne von Verbesserungen und der Einführung von Neuerungen unterliegen. Es empfiehlt sich daher, in der praktischen Arbeit die hier zitierten Literaturangaben alle 2 Jahre auf neue, aktuelle Fassungen abzufragen. Speziell bei den Europäischen Normen (EN) sind auch die landespezifischen Fassungen (SN EN) und Anhänge zu berücksichtigen.



2 Grundlagen Rückleitungs- und Erdungskonzept

2.1 Das Schutzkonzept der Elektrotechnik

Technische Anlagen bringen Nutzen und bergen aber auch Gefahren, gegen die Schutzmassnahmen erforderlich sind. Das Schutzkonzept der Elektrotechnik beruht auf 3 Säulen:

- a) Basisschutz
- b) Fehlerschutz
- c) Zusätzlicher Schutz

2.1.1 Basisschutz

Der Basisschutz ist der Schutz gegen **direktes Berühren** betriebsspannungsführender Teile einer Anlage durch Abstand. Den Abstand bewirken.

- Isolationen
- Schutzbarrieren
- Entfernungen, die sich nur durch unverantwortliches Handeln oder mit unzulässigen Hilfsmitteln überwinden lassen

2.1.2 Fehlerschutz

Der Fehlerschutz realisiert eine Doppelfunktion. Zum einen schützt er vor inneren Fehlern in einer Anlage (Gerät), ohne dass dabei die Betriebsspannung auf berührbare Teile übertritt (Anlagenschutz). Zum anderen schützt er vor Fehlern, bei denen die Betriebsspannung oder Anteile davon auf berührbare Teile übertreten, also Schutz beim **indirekten Berühren** (Personen- und Tierschutz). Als Schutzelemente kommen in beiden Fällen Sicherungen und Leitungsschutzschalter (Überstromschutzelemente) in Kombination mit Erdung und Potenzialausgleich (durch PEN-, PE- und Potenzialausgleichs-Leiter) zum Einsatz.

Bei elektrischen Bahnen bezeichnet man den in der Fahrleitung hinfließenden Strom als Fahrstrom IF und den in den Fahrschienen zurückfließenden Strom als Rückstrom IR. Bei Rückstromführung über die Schienen nimmt das berührbare Rückleitungssystem (z. B. Fahrschienen und darauf stehende Wagen) im Normalbetrieb zwangsläufig Spannungen gegen Erde an, da der Rückstrom am Widerstand der Fahrschienen unvermeidlich einen Spannungsfall erzeugt. Das ist jedoch zunächst kein Fehlerfall, sondern eine normale, im Betrieb (**Operation**) auftretende Erscheinung. Erst wenn diese Spannungen, die sich als Berührungsspannungen abgreifen lassen, Grenzwerte übersteigen, werden Schutzmassnahmen in Form einer zeitlich begrenzten Verbindung vom Rückleitungssystem zur Erde (Potenzialausgleich) notwendig. Gelangt jedoch Fahrleitungsspannung, z. B. durch einen Fahrleitungsriss, auf bahntechnische Ausrüstungen und Ausstattungen, so tritt ein gefährlicher Fehlerfall (**Fault**) auf, der durch sofortige, automatische Abschaltung der Fahrstromanlage zu beseitigen ist.

2.1.3 Zusätzlicher Schutz

Der zusätzliche Schutz lässt sich durch doppelte Isolierung (Schutzklasse II), zusätzlichen Potenzialausgleich (Schutzpotenzialausgleich) und Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCD, Residual Current Device) erreichen. Fehlerstromschutzeinrichtungen kommen vor allem dann zur Anwendung, wenn Fehlerstrom / Fehlerspannung zwar gefährliche Werte annehmen, aber nicht ausreichen, um Überstromschutzeinrichtungen auszulösen. Fehlerstromschutzeinrichtungen führen zur Abschaltung der Anlage.



Weitere Vorkehrungen zum Schutz von Mensch und Tier beruhen auf der Anwendung von Trenntransformatoren, Schutzkleinspannungen und speziellen Netzformen (IT-Netz).

Basis- **und** Fehlerschutz sind in einer elektrotechnischen Anlage zwingend erforderlich. Isolation, Erdung und Potenzialausgleich sind Bestandteile des Basis-, Fehler- und zusätzlichen Schutzes für Personen und Sachen und Schwerpunkte dieses Handbuchs.

2.2 Erde als elektrischer Leiter

2.2.1 Erde und klassische elektrische Leiter aus Cu, Al, Fe im Vergleich

| Material | Spezifischer Widerstand $\rho = [\Omega \cdot m]$ |
|------------------------------|---|
| Kupfer | $0.18 \cdot 10^{-7}$ |
| Aluminium | $0.3 \cdot 10^{-7}$ |
| Eisen | $1.5 \cdot 10^{-7}$ |
| Lösboden | 50 |
| Sandboden | 1'000 |
| Gesteinsboden | > 1'000 |
| Flusswasser | 10 – 100 |
| Beton (nach alten Rezepten) | 500 |
| WU-Beton (heutige Fertigung) | > 5'000 |

Tabelle 1: spezifische Widerstände

Der spezifische Widerstand der klassischen elektrischen Leiter (Cu, Al, Fe) ist gemäss [Tabelle 1] um Grössenordnungen geringer als der von Erdmaterialien und Betonen. Dabei ist aber zu beachten, dass der Querschnitt klassischer Leiter im mm^2 – Bereich liegt, während für die Stromleitung in Erde ein riesiger Querschnitt zur Verfügung steht.

Für Gleichstrom (DC) bildet die Erde einen fast unendlich grossen Leiterquerschnitt. Für Wechselstrom (AC) ist der Erdleiterquerschnitt, bedingt durch den Stromverdrängungseffekt (Skin-Effekt) und magnetischen Kopplungen zwischen Hin- und Rückstrom (über Erde), deutlich geringer, aber immer noch sehr gross (mehrere hundert m^2).

Dem grösseren spezifischen Widerstand der Bodenmaterialien wirkt somit ihr gegenüber den klassischen Leitern viel grösseren Leitungsquerschnitt entgegen, so, dass man für Gleichstrom und niederfrequenten Wechselstrom (technische Frequenzen) der Erde ein den klassischen Leitern durchaus gleichwertiges Leitvermögen zusprechen kann (Beispiel: Monopolare Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)).

2.2.2 Erdung als Schutzmassnahme

Neben Abstand und Isolation zählt die **Erdung** (in Verbindung mit dem Potenzialausgleich) zu den wichtigsten Schutzmassnahmen in der Elektrotechnik. Verbindet man nämlich bestimmte **Teile** einer elektrischen Anlage oder eines metallenen Objekts (welches durch fehlerbedingten Spannungsübertritt der Betriebsspannung aber auch durch elektrische Fremdeinwirkung wie Blitz, Elektrostatische Entladung (Electrostatic Discharge, ESD), Induktion oder Influenz beaufschlagt werden könnte) mittels einer **Erdungsleitung** mit einem in Erde verlegten **Erder**, so erteilt man diesem Teil der elektrischen Anlage oder dem metallenen Objekt zunächst das Ruhepotenzial der Erde $\varphi_0 = 0 \text{ V}$.

Erdung (oder auch **Schutzerdung**) ist physikalisch gesehen ein **Potenzialausgleich** zwischen zwei durch das Erdreich verbundenen Punkten.

Neben der Erdung gibt es in der Erdungstechnik etwa 15 weitere Begriffe (Betriebserdung, Funktionserdung, Bahnerdung, Wassererde, Tunnelerde usw. (Feydt, 2019) Diese Begriffe beschreiben anlagentypische Erdungen, welche letztlich Schutzfunktionen in Form von Schutz

- im Kurzschlussfall bzw. bei Isolationsfehlern
- vor elektrischem Schlag
- vor gefährlichen elektrischen Durchströmungen
- gegen eindringende Störungen (z. B. Funktionserdung von Filtern)

wahrnehmen zu haben.

Die Funktionsweise und die Wirksamkeit einer Erdung hängt davon ab, ob sie stromlos oder stromdurchflossen ist, ebenfalls wie hoch ihr spezifischer Widerstand ist.

Stromlose Erdung

In der [Abb. 1] ist die Erdungsleitung nicht stromdurchflossen. Das Ruhepotenzial der Erde mit $\varphi = 0 \text{ V}$ wird auf die angeschlossenen Objekte übertragen, es herrscht Potenzialausgleich.

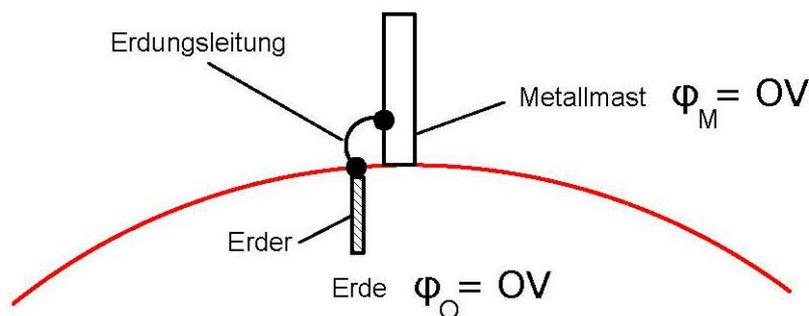


Abb. 1: Stromlose Erdung

Stromführende Erdung

Durch eine Störung, z. B. Isolationsfehler, Erdschluss, Erdkurzschluss, Blitzeinschlag, ESD, Induktion und Influenz, kommt es zu einem Stromfluss durch die Erdungsleitung und den Erder in die Erde. Zwischen dem von der Störung betroffenen Objekt und dem Erder stellt sich annähernd Potenzialausgleich ein, wenn die Erdungsleitung genügend niederohmig / niederimpedant ist.

Um den Erder herum baut sich der sogenannten Potenzialtrichter (auch Spannungstrichter) gemäss [Abb. 2] auf. Er entsteht durch das Abfließen des Störungsstromes in die den Erder halbkugelförmig umgebende Erde. Da mit zunehmendem Abstand vom Erder Querschnitt und Volumen der durchströmten Erde immer grösser werden, d.h. der Ausbreitungswiderstand der Erde sinkt, sinkt auch das Potenzial des Trichters mit zunehmendem Abstand.

Fixiert man nun auf der Erdoberfläche 2 Punkte radial auf einer Achse senkrecht zum Erder, so tritt hier eine Potenzialdifferenz auf, die sich als Schrittspannung äussert. Ebenso entsteht eine Berührungsspannung zwischen der Standfläche einer Person, die gleichzeitig das geerdete Objekt berührt. Schrittspannung und Berührungsspannung dürfen personen- und tierbezogene Werte, welche auch noch abhängig sind von der Dauer der Durchströmung, nicht überschreiten.

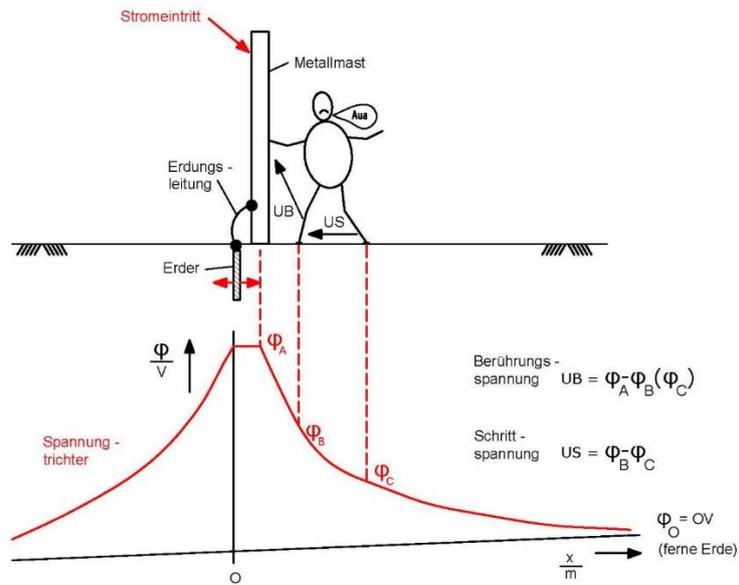


Abb. 2: Stromführende Erdung mit Berührungs- und Schrittspannung

Durch zusätzliche Erder, sogenannte Steuererder gemäss [Abb. 3], lassen sich Schritt- und Berührungsspannung vermindern. (Dehn, 2017) enthält praxisbezogene Ausführungen zur Erdung (hier im Zusammenhang mit dem Blitzschutz) verschiedenster elektrotechnischer Anlagen sowie eine umfangreiche Liste relevanter Normen (EN), Vorschriften (VDE) und Richtlinien (VDN, VdS).

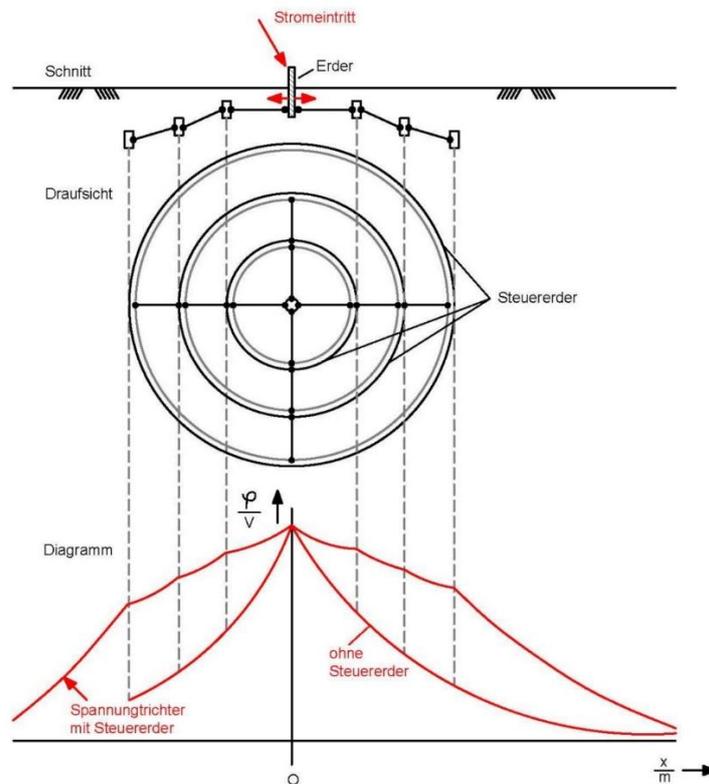


Abb. 3: Minderung der Berührungs- (UB) und Schrittspannung (US) mittels Steuererder



2.2.3 Erderarten und Erderformen

Hauptsächlich kommen

- **Galvanische** (ohmsche) Erder in Form von Stäben, Bändern, Netzen in den Materialien FeZn, Edelstahl und Cu

zur Anwendung.

- **Induktive** Erdungen bestehen aus einem galvanischen Erder mit einer vorgeschalteten Erdschlussspule (Petersenspule, selten Bauchtransformator) in Netzen mit Resonanzsternpunktterdung (RESPE) – Mittelspannungsnetze. Beachtlich ist, dass bei Blitzeinschlägen und Erdkurzschlüssen (aufgrund ihrer hochfrequenten Anteile) die Ableitungen, Erdungsleitungen und die Erder selbst neben ihrem ohmschen Widerstand auch einen zu berücksichtigenden induktiven Widerstand aufweisen (Stosserdungswiderstand).
- **Kapazitiv** geerdet sind alle gegen Erde isolierte Betriebsmittel durch ihre natürliche Kapazität gegen Erde. Meist spielt diese parasitäre kapazitive Erdung keine Rolle. In RESPE-Netzen wird sie mit zur Begrenzung des Erdschlussstromes und Aufrechterhaltung des Betriebes genutzt. Kapazitive Erdung tritt auch bei Filtern (Funktionserdung) und elektronischen Vorschaltgeräten auf. Das kann dazu führen, dass Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD) mit niedrigem Ansprechstrom durch die hohen Ladeströme der Filterkondensatoren ansprechen.

Erdungswiderstand RE

Erdungswiderstand RE (auch Erdausbreitungswiderstand) ist der Widerstand zwischen dem Stromeintrittspunkt in den Erder und einer Bezugserde. Als Bezugserde wird die ferne Erde (mit dem Potenzial $\varphi_0 = 0$ V) angenommen. RE lässt sich messen.

Zur Berechnung von RE sei auf (Pigler, 1998) hingewiesen.

Ab einer bestimmten Länge des Erders (Grenzlänge eines gestreckten Erders) nimmt der Stromaustritt deutlich ab, d. h. eine Überlänge des Erders verringert den Erdungswiderstand RE nicht mehr effektiv und ist deshalb unwirtschaftlich.

Der Erdungswiderstand RE einer Anlage lässt sich durch Parallelschaltung von Einzelerdern vermindern; dabei soll der Abstand der Einzelerder voneinander mindestens der Länge oder Tiefe des Einzelerders entsprechen.

Globale Erdung

Globale Erdung (SN EN 50522, 2010) liegt in innerstädtischen Gebieten und grossen Industrieanlagen vor. Hier befinden sich neben Erdungsanlagen weitere elektrisch leitfähige Objekte (Rohre, Bewehrungen) im Erdboden, die zudem galvanisch mit Erdungsanlagen verbunden werden. Exakte Messungen des Erdungswiderstands RE einer einzelnen Erdungsanlage sind hier nicht möglich.

Im Gebiet einer globalen Erdung wird an allen Stellen das gleiche Erdpotenzial angenommen, dieses Gebiet gilt als Äquipotenzialfläche. Das Potenzial φ dieser Äquipotenzialfläche kann vom Ruhepotenzial φ_0 der (fernen) Erde abweichen.



Neuerrichtung von Erdungsanlagen

Für neue Betonbauwerke kommen heutzutage fast ausschliesslich „wasserundurchlässige“ Betone (WU-Beton) zur Anwendung. Zusätzlich hüllt man oft den erdfühligen Teil eines Bauwerks mit wärme- und wasserdämmenden isolierenden Materialien ein (Perimeterdämmung).

Damit ist die Wirkung eines wie früher in den Beton der Fundamentplatte mit 50 mm Betondeckung eingelegten Fundamenterders stark eingeschränkt.

Deshalb liegt jetzt im Erdreich rund um das Bauwerk ein Ringerder aus Edelstahl (im Erdreich verlegte FeZn-Erder erfüllen nach langer Liegedauer infolge Korrosion nicht mehr die geforderten Erdereigenschaften).

Dieser Edelstahl-Ringerder wird (meist oberhalb des Grundwasserspiegels) mehrfach in das Betonbauwerk eingeführt und mit den in der Bodenplatte und Wänden eingelegten Potenzialausgleichseisen verbunden. Zweckmässig ist, an den Einführungsstellen auch die Blitzschutzableitungen anzuschliessen.

Details dazu in (SNR 464113, 2016)

Verbindung von Erdern mit anderen metallarmierten, erdfühligen Objekten

Ein derartiger Zusammenschluss von Erdern mit erdfühligen Betonarmierungen kann zur Korrosion des „Unedleren Werkstoffs, z. B. Eisen, Zink“ führen („Betonelement“). (Dehn, 2017) empfiehlt deshalb, Erder aus Edelstahl (nichtrostender Stahl, Werkstoffnummer 1.4571, V4A), Kupfer oder kupferummanteltem Stahl auszuführen.

Ein eventuelles Korrosionsgeschehen hängt auch von den Flächen- bzw. Volumenrelationen der Metalle zwischen Erder und angeschlossenem, armiertem Objekt ab.

2.2.4 Verbindung mit der Rückleitung (RLS)

Die Begriffe Bahnerde und Bahnerdung finden häufig umgangssprachlich Verwendung. Als Bahnerde versteht man dabei das Rückleitungssystem (RLS) einer elektrischen Bahn (Fahrschienen, Rückleitungsseile, Rückleitungskabel und mit ihnen galvanisch, d. h. mittels Leitungen verbundene Objekte). Bahnerdung ist die Massnahme, mit der man die Verbindung von Objekten mit dem Rückleitungssystem, also mittels Leitungen, herstellt.

Beide Begriffe sind nicht korrekt. Das Rückleitungssystem einer AC-Bahn wird mit vielen Erdern geerdet, es ist also keine (Bahn)erde. Das Rückleitungssystem einer DC-Bahn darf nicht geerdet werden (Ausnahme Depots und Werkstätten).

Richtigerweise verwendet man für die Verbindung eines Objekts mit dem Rückleitungssystem einer elektrischen Bahn anstelle der Bahnerdung den Begriff:

- Verbindung mit der Rückleitung -

Diese Verbindung (meist kurzschlussfest und dementsprechend niederohmig) ist, physikalisch gesehen, eine Potenzialausgleichsleitung zur Herstellung eines Potenzialausgleichs.

„Bahnerdung“ ist immer unmittelbar, d. h. mit einer „Erdungsleitung“.



Bei der „mittelbaren (offenen) Bahnerdung“ ist zwischen Rückleitung und „bahnzuertendem“ Objekt ein spannungsbegrenzendes Element in Form eines gesteuerten Schützes, eines Varistors, einer Funkenstrecke, eines Thyristors oder einer Spannungsdurchschlagsicherung (SDS) geschaltet. Ab einer bestimmten Spannung wird dieses Element leitend, die „mittelbare Bahnerdung“ geht in eine unmittelbare „Bahnerdung“ über.

Auch EKS (Erdungskurzschliesser) und VLD (Voltage Limiting Device) sind Bauteile der „mittelbaren“ Bahnerdung.

In den weiteren Darlegungen wird der Begriff „Bahnerdung“ beibehalten, aber immer in Anführungszeichen gesetzt. „Bahnerdung“ lässt sich leichter handhaben als der vorschriftengerechte Begriff „Verbindung mit der Rückleitung“ und ist dem Praktiker vertraut.

2.2.5 Rückleitungs- und Erdungskonzept, EMV-Konzept

Rückleitungs- und Erdungskonzept

Die meisten elektrotechnischen Gewerke (Starkstrom, Schwachstrom, Hochspannung, Niederspannung, Informationstechnik, Blitzschutz) nutzen anlagentypische Erdungen und Potenzialausgleiche. In einer Bahnanlage treffen diese Gewerke zusammen und haben einen Bezug zur Rückleitungsanlage. (RTE 27900, 2015) fordert deshalb ein Gewerke koordiniertes Rückleitungs- und Erdungskonzept in Form eines Gesamterdungskonzeptes, um die Gewerke spezifischen Ausführungen sowie deren Schnittstellen zu beschreiben und nachteilige Beeinflussungen zu verhindern. Zu berücksichtigen sind dabei auch zur Bahnanlage benachbarte aber bahnfremde Anlagen, insbesondere solche, die in die Bahnanlage einspeisen (Elektrizitätswerke EW).

Das Rückleitungs- und Erdungskonzept ist Bestandteil einer Entwurfsplanung. Auf der Basis des abgestimmten und geprüften Rückleitungs- und Erdungskonzepts erstellen die Gewerke ihre Erdungs-, Potenzialausgleichs- und Rückleitungspläne als Ausführungspläne.

Während der Bauausführung erfolgende, zulässige Änderungen sind als Revisionen in die Ausführungspläne einzutragen und dann als Bestandspläne vorzuhalten.

Die Fachbauleitung hat die ordnungsgemässe Ausführung von Erdungs-, Potenzialausgleichs- und Rückleitungsmassnahmen zu überwachen und zu protokollieren.

Es empfiehlt sich, die Bestandspläne in einem Gesamterdungsplan (Bestand) zusammenzufassen, weil dieser Gesamterdungsplan den Systemcharakter und die Konfliktfreiheit von Erdung, Potenzialausgleich und Rückstromführung in einer komplexen Anlage erkennen lässt.

EMV-Konzept

Bei Neuerrichtung oder umfangreicher Änderung von bestehenden Anlagen ist ein EMV-Konzept zu erstellen. Das EMV-Konzept untersucht mögliche elektromagnetische Beeinflussungen innerhalb einer Anlage aber auch auf benachbarte, bahnfremde Anlagen sowie auf Menschen und Tiere und bestimmt Massnahmen zur Einhaltung von Grenzwerten nach (NISV 814.710, 2016). Bei Gleichstrombahnen entsteht hier insbesondere die Frage, welche magnetischen Felder (H) von Transformatoren und Verteiler- und Schaltanlagen und von Erdkurzschlüssen ausgehen.

3 Allgemeine Grundlagen der Gleichstromtraktion

3.1 Streckenaufbau

[Abb. 4] zeigt den typischen Streckenaufbau einer Gleichstrombahn

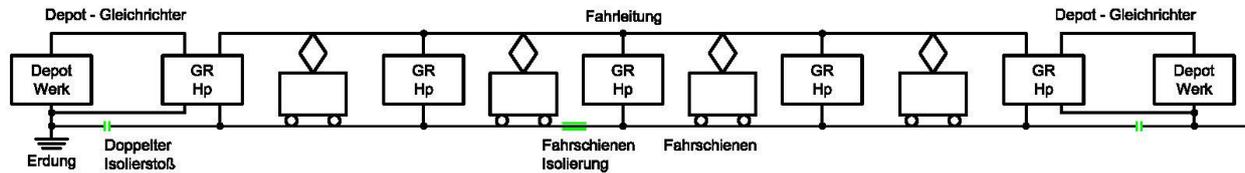


Abb. 4: Streckenaufbau einer DC-Bahn

Entlang der Strecke befinden sich Depots, Werkstätten, Gleichrichterstationen (nachfolgend Gleichrichter, GR genannt) und Haltestellen. Die Strecke kann eingleisig oder mehrgleisig sein, auch in Abschnitten.

Oft liegen Gleichrichter, Haltestellen, Depots und Werkstätten an einem, dem gleichen Standort und bilden bauliche Einheiten.

Der Abstand der einzelnen Gleichrichter hängt von der Streckenbelastung ab. Bei hochbelasteten Strecken (U-Bahn, S-Bahn (MRT)) kann er nur 1 km betragen, bei geringer belasteten Strecken (Strassenbahnen (LRT)) aber auch mehrere Kilometer.

Der Fahrstrom (IF, Hinstrom) wird über die durchgeschaltete Fahrleitung zugeführt, d. h. die die Strecke speisenden Gleichrichter sind parallelgeschaltet. Dadurch ist auch bei Ausfall eines Gleichrichters der weitere Fahrbetrieb möglich.

Der Rückstrom (IR) fließt in den meist durchgeschweissten und gegen Erde sorgfältig isolierten Fahrschienen.

Verschiedene Schalter ermöglichen die abschnittsweise Zu- oder Abschaltung (Freischaltung) einzelner Streckenabschnitte. Die Streckenselektivität wird durch Streckentrenner und offenen Parallelführungen herbeigeführt, wobei bei Letzteren die Fahrleitungen an den Abschnittsenden mit einer gewissen Überschneidung aufhören. Im Bereich der Streckentrenner und Parallelführungen liegen Schalter, welche die einzelnen Fahrleitungsabschnitte durchschalten können. Die Steuerung der Fahrleitung erfolgt aus einer Zentrale, bzw. Ortssteuereinrichtung OSE. Im Gefahren- oder Havariefall ist auch eine örtliche Abschaltung eines Fahrleitungsabschnitts möglich (z. B. in Bahnhöfen).

Eine Besonderheit bilden Depots und Werkstätten. Wegen der dort einzuhaltenden besonderen Sicherheitsbestimmungen erfolgt deren Fahrstromversorgung durch einen separaten Gleichrichter und die hier rückstromführenden und **geerdeten** Fahrschienen sind durch doppelte Isolierstöße gegen die Fahrschienen der Strecke entkoppelt (Inselbetrieb).

Depots und Werkstätten im Mischbetrieb (welche vorgenannte Bedingungen nicht erfüllen) sollten auf Inselbetrieb umgerüstet werden.

Die Gleichrichter sind in der Regel in 12-Puls-Technik ausgeführt. Der von ihnen gelieferte Fahrstrom besitzt eine Restwelligkeit von 1 % (bezogen auf den reinen Gleichstrom). 6-Puls-Gleichrichter weisen eine Restwelligkeit von 10 % auf. Je nach Last kann die Restwelligkeit etwas ansteigen.

Die Antriebe der modernen Fahrzeuge sind mit Drehstrommotoren ausgerüstet, deren Drehzahlsteuerung mittels Frequenzumrichtern erfolgt. Mit der **dynamischen** Bremsung speisen die Fahrzeuge in das Fahrleitungsnetz zurück. Zum Schutz vor einer Wechselstrom-Durchströmung besitzen die Fahrzeuge eine Wechselstromüberwachung, die bei Überschreiten eines bestimmten Wertes (z. B. 1.5 A AC) zur Abschaltung des Fahrzeugs führt.

3.2 Spannungen, Ströme und Streckenbelastungen

DC-Bahnen arbeiten mit verschiedenen Spannungen;

| | |
|-------------------------|--|
| 600 V | vornehmlich Strassenbahnen (Light Rail Transit, LRT) |
| 750 V, 1'200 V, 1'500 V | S- und U-Bahnen (Mass Rapid Transit, MRT) |
| 3 kV, 12 kV | Fernverkehrs- und Güterbahnen |

Die Fahrströme (Strom pro Zug) von DC-Bahnen liegen je nach Fahrzeugtyp und Streckenart zwischen 200 A (LRT) und 4 kA (MRT). Die Streckenströme einer zweigleisigen, hochbelasteten DC-Bahn (MRT) erreichen 8 kA.

3.3 Verteilung von Spannung und Strom über die Strecke

3.3.1 Das Schienenpotenzial

Der hauptsächlich über die Fahrschienen fließende Rückstrom I_R erzeugt längs des Widerstands der Fahrschienen einen Spannungsfall. Örtlich (quer zum Gleis) lässt sich dieser Spannungsfall als Schienenpotenzial φ_R abgreifen und gegen ferne Erde als Schienenspannung U_R darstellen. φ_R (U_R) sind (neben der Berührungsspannung) die Ursachen des Streustromproblems und der Streustromkorrosion, verursacht durch DC-Bahnen.

3.3.2 Das Isolier- und Streustromproblem

Das Rückleitungssystem einer DC-Bahn und an das Rückleitungssystem mittels „Bahnerdung“ angeschlossene Objekte sind sorgfältig gegen Erde zu isolieren, um Streustromkorrosion zu vermeiden. Das Isolierproblem ist leicht erklärt. Man verwendet zur Isolierung nichtleitende Materialien. Das Isoliervermögen der Isoliermaterialien ist jedoch begrenzt und kann sich durch Beschädigung, Alterung, Witterungseinflüsse und Verschmutzung verschlechtern. Hiervon sind insbesondere die erdfühligsten Schienenbefestigungen betroffen. An ihnen tritt eine Leckage auf; der grösste Teil des Rückstroms I_R fliesst in den Fahrschienen zum GR zurück, ein kleiner Teil des Rückstroms fliesst jedoch in die Erde und vagabundiert im Erdreich als Streustrom. Diese Leckage entsteht auch an Objekten, die mittels „Bahnerdung“ mit dem Rückleitungssystem verbunden sind. Liegen im Erdreich blanke metallene leitfähige Objekte (Rohrleitungen, Bewehrungen), so tritt der Streustrom I_S in diese (besser als Erde leitenden Objekte) ein, fliesst in ihnen und tritt wieder aus diesen Objekten aus, denn er muss ja als Teilrückstrom zum GR zurück. An den Stromaustrittsstellen kommt es zu einem Abtrag des Materials dieser Objekte, der **Streustromkorrosion**. Auch die Fahrschienen selbst sind an den Leckage Stellen von der Streustromkorrosion betroffen. In [Abb. 5] liegt der **negative** Pol der Speisung an der Fahrleitung, der **positive** an den Fahrschienen.

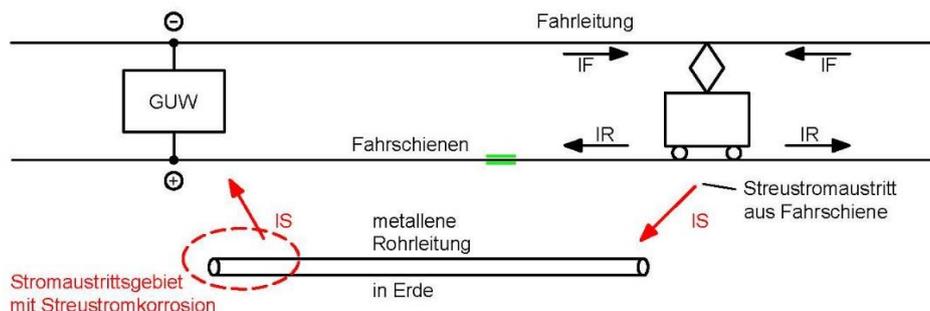


Abb. 5: Streustromkorrosion

Gleichstrombahnen werden sowohl mit positiver als auch negativer Polarität der Fahrleitung betrieben. Hochleistungsbahnen (MRT) haben gewöhnlich negative Polarität der Fahrleitung (Schmidt, 1988), S. 163, Strassenbahnen meist positive Polarität der Fahrleitung.

Die Polarität der Fahrleitung hat technisch-historische Gründe. Die früheren Quecksilberdampfgleichrichter konnten nur mit negativer Polarität an der Fahrleitung betrieben werden. Die Polarität der Fahrleitung in Bezug auf die Streustromgefährdung ist heute ohne Bedeutung, weil durch die rückspeisenden Triebfahrzeuge die Richtung des Stromflusses ständig wechselt.

Die Grösse des in den Erdboden gelangenden Streustrom wird hauptsächlich durch den Ableitbelag (G' in S/km) der Fahrschienen bestimmt. Der Kehrwert des Ableitbelags ist der Ableitwiderstand (R' in $\Omega \cdot \text{km}$), also der Widerstand der Fahrschienen zur Erde. Auch in der Fachliteratur wird der Ableitwiderstand manchmal fälschlicherweise als „Bettungswiderstand“ bezeichnet. Der Bettungswiderstand ist eine signaltechnische Grösse, nämlich der Widerstand zwischen 2 Fahrschienen. Er darf eine bestimmte Grösse nicht unterschreiten, weil sonst das Signal eines Gleichstromkreises kurzgeschlossen und eine freie Strecke als besetzt gemeldet wird. Zwischen Bettungswiderstand und Ableitwiderstand besteht ein Zusammenhang durch den Nebenschluss über Erde. Beide Widerstände unterliegen unterschiedlichen Messverfahren.

Normative Vorgaben und Festlegungen zum Schutz vor Streustromkorrosion und unzulässigen Schienenspannungen enthalten (SN EN 50122-2, 2011), (SN EN 50162, 2004) und (SGK C3, 2011).

3.4 Schutz vor Gefahren aus dem Fahrstrom

Um mögliche Gefährdungen aus der Schienenspannung und der Fahrleitungsspannung und deren Verschleppung örtlich einzugrenzen, wurden

- der Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich (Zone 1) sowie
- der Handbereich (Zone 2) definiert.

3.4.1 Fahrleitungs- und Stromabnehmerbereich, Zone 1

(SN EN 50122-1, 2016) legt in Bild 2 den Fahrleitungs- und Stromabnehmerbereich allgemein fest. Die nationalen Anhänge definieren die Masse dieser Bereiche unterschiedlich. [Abb. 6] zeigt die diesbezüglichen Festlegungen der Schweiz nach (RTE 27900, 2015) S. 44,

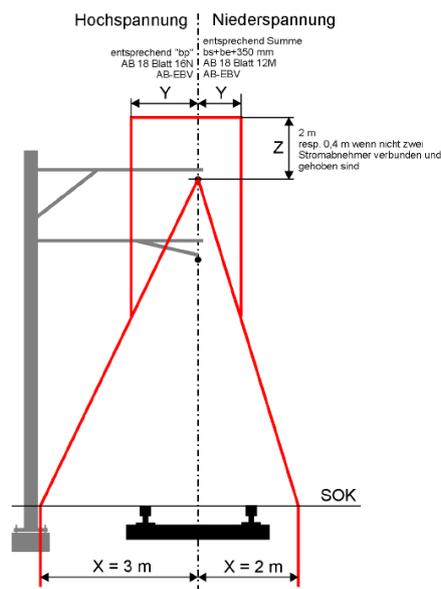


Abb. 6: Zone 1 Fahrleitungs- und Stromabnehmerbereich



Die Kontur der Zone 1 begrenzt jenen Bereich, in den eine gerissene Fahrleitung (Oberleitungsbereich) oder ein gebrochener bzw. entgleister Stromabnehmer (Stromabnehmerbereich) aller Wahrscheinlichkeit nach gelangen kann. Tangieren Objekte diese Kontur oder befinden sich innerhalb der Kontur, so kann die Fahrleitungsspannung auf diese Objekte gelangen.

- X
- Halbe Basisbreite auf SOK
 - X = 3.00 m Hauptbahn, Hochspannung, AC > 1'000 V, DC > 1'500 V
 - X = 2.00 m Nebenbahn, Niederspannung, AC ≤ 1'000 V, DC ≤ 1'500 V
- In engen Kurven ist X in Abhängigkeit vom Kurvenradius zu vergrössern.

Metallene bzw. elektrisch leitfähige Objekte bestimmter Grösse und Funktion, die die Zone 1 tangieren oder in diese hineinragen, erfordern eine unmittelbare oder mittelbare „Bahnerdung“, d.h. Verbindung mit der Rückleitung und eine automatische, sofortige Abschaltung der Fahrleitungsspannung im Fehlerfall. Für solche Objekte gibt es eine Vielzahl von Regelungen, darunter auch solche, die **keine** „Bahnerdung“ erfordern. Im Wesentlichen hängt es davon ab, welche Abmessungen diese Objekte besitzen, ob sie elektrotechnische Ausrüstungen beinhalten, welche Schutzklasse sie in Bezug auf die Fahrleitungsspannung besitzen und ob sie die Fahrleitungsspannung an weiter entfernte Orte verschleppen können.

Von einer „Bahnerdung“ kann für folgende Objekte abgesehen werden siehe (RTE 27900, 2015) wenn sie nachstehende Forderungen erfüllen:

- Kleine leitfähige Bauteile ohne elektrische Ausrüstung, L_{\max} 15 m, parallel zum Gleis, horizontal, senkrecht zum Gleis L_{\max} 2.00 m
- Kleine leitfähige Bauteile vorgenannter Maximalabmessungen mit elektrischer Ausrüstung, wobei die elektrische Ausrüstung eine der Fahrleitungsspannung entsprechende Schutzklasse II besitzen muss
- Leitfähige Materialien, die vorübergehend im Bereich der Gleise gelagert werden (z. B. Fahrschienen)

Derartige, nicht bahnzuerdende Objekte sind u.a. auch Signaltafeln, Schilder, Abfallkörbe, Kanalschachtdeckel (sofern deren Rahmen nicht in weiterführende Bewehrungen eingebunden ist), Schrankenaufschlagpfosten. Je nach Situation empfiehlt sich aber immer eine Detailbeurteilung.

3.4.2 Schutz durch Abstand

Schutz bei indirektem Berühren zweier, unterschiedlicher Potenziale – Handabstand - Zone 2

Im Bereich von Gleichstrombahnen ist es möglich, gleichzeitig 2 metallene Objekte mit unterschiedlichem Potenzial, z. B. das Rückleitungspotenzial am Wagenkasten und das Erdpotenzial einer Bahnausstattung) zu berühren. Durch den Potenzialunterschied kann eine beeinträchtigende bzw. gefährliche Durchströmung des Menschen entstehen. Bild G 9 zeigt einen solchen Fall.

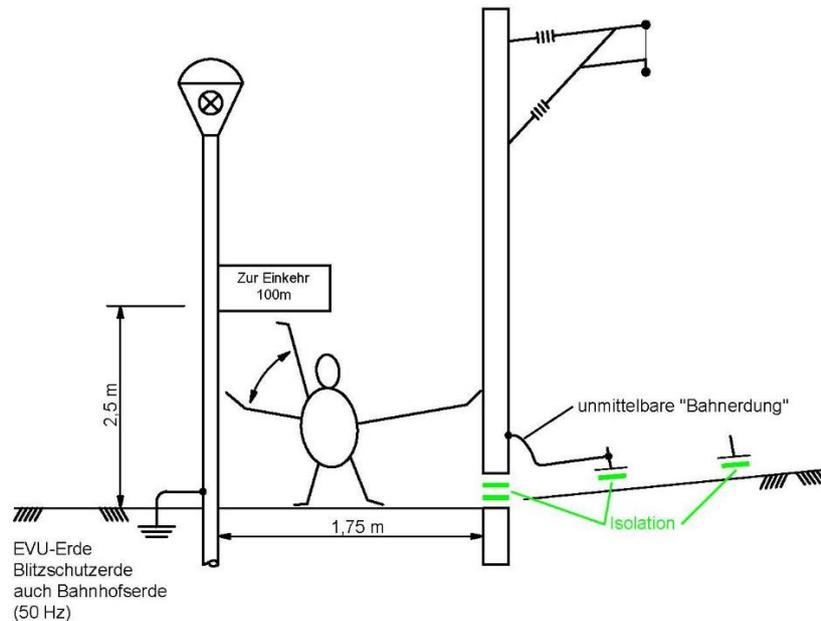


Abb. 7: Zone 2, Handbereich

Das Objekt 1 trage das Potenzial der Rückleitung der DC-Bahn, während das Objekt 2 Erdpotenzial des (fremden) Energieversorgers aufweise.

Um Gefahren zu vermeiden, muss ein Mindestabstand zwischen beiden Objekten eingehalten werden, den die Zone 2 beschreibt. In horizontaler Richtung 1.75 m, in vertikaler Richtung 2.50 m.

Schutz vor direktem Berühren

Alle Fahrleitungsspannung führende Bauteile einer elektrischen Bahn müssen gegen direktes Berühren geschützt sein. Zu diesen Bauteilen gehören

- Fahrleitung, Speiseleitungen, Umgehungsleitungen, Schalterleitungen, Stromabnehmer, dachseitige Durchverbindungen auf Zügen, Ausleger, Isolatoren

Hauptsächliche Schutzmassnahme ist der Schutz durch Abstand. In bestimmten Fällen muss der Schutz durch Barrieren erzwungen werden, z. B. durch Berührungsschutzgeländer und -wände und Berührungsschutzdächer auf und an Brücken (Strassenüberführungen), Tunnelportalen oder querenden Rohrleitungsbrücken.

(SN EN 50122-1, 2016) gibt beispielhaft notwendige Abstände und Auslegungen für die Schutzbarrieren an. Deren Dimensionierung geben landes- und betreiberspezifische Festlegungen vor.

3.5 Streustromschutzmassnahmen am Rückleitungssystem von DC-Bahnen

Ziel dieser Schutzmassnahmen ist die Verhinderung der Streustromkorrosion. Eine dieser Massnahmen sind Isolierungen. Die Isolierpflicht gilt für alle Objekte und Leitungen, die eine unmittelbare „Bahnerdung“ besitzen.

Dabei kommt der Montage der Fahrschienen besondere Bedeutung zu. [Abb. 8] zeigt übliche Verfahren zur Isolierung der Fahrschienen gegen Erde.

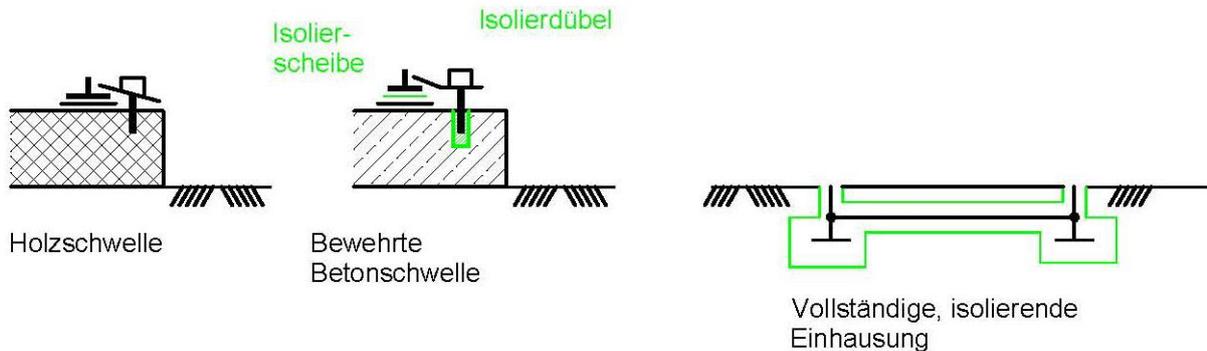


Abb. 8: Isolierung der Fahrschienen gegen Erde

Defekte Kunststoffdübel in Betonschwellen lassen sich durch Messungen ermitteln, manchmal sogar nur durch Anfassen der Schienenschrauben (spürbare Erwärmung).

3.5.1 Geräte zur mittelbaren (offenen) „Bahnerdung“

Bei der mittelbaren „Bahnerdung“ [Abb. 9] kommen Erdungskurzschliesser (EKS) / (Witt Ind. El., 2019) / und Niederspannungsbegrenzer (ABB Schweiz, 2019) zur Anwendung. Sie können auch für Einzelobjekte eingesetzt werden. In Bahnhöfen und Haltepunkten arbeiten sie zwischen Fahrschiene und Bahnhofs-, Haltepunkte-Erde (die zugleich 50 Hz-Erde und Blitzschutz-erde ist). Zur Herstellung eines Potenzialausgleichs (im Fehlerfall) ist ihr Einsatz auch zwischen Mittelspannungserde 50 Hz (Fremderde) und Bahnhofs-erde in Abstimmung mit dem Mittelspannungsversorger möglich. Aufgabe vorgenannter Geräte ist vornehmlich der Schutz vor zu hohen Berührungsspannungen.

Geräte des Typs VLD-O (Voltage Limiting Device - Operation) schützen vor zu hohen Berührungsspannungen im Betriebsfall, dabei kommt es nicht zur Abschaltung der Fahrleitungsspannung. Der EKS ist ein Gerät des Typs VLD-O.

Geräte des Typs VLD-F (Voltage Limiting Device - Fault) schützen bei Fahrleitungs(erd)schluss, sie führen zum sofortigen Öffnen der Leistungsschalter innerhalb weniger ms und können Kurzschluss- und auch Blitzströme führen. Niederspannungsbegrenzer erfüllen in der Regel die Funktion eines VLD-F.

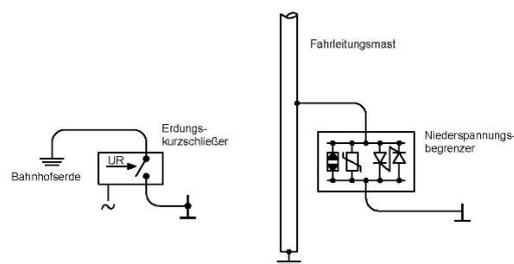


Abb. 9: Erdungskurzschliesser und Niederspannungsbegrenzer

Erdungskurzschliesser (EKS)

EKS stellen eine Verbindung zwischen dem angeschlossenen Objekt und der **DC-Rückleitung** mittels Kontakten eines Leistungsschützes her (diese Verbindung geht dann von mittelbarer in unmittelbare „Bahnerdung“). Die Einschaltung des Leistungsschützes erfolgt in Abhängigkeit von der Schienenspannung und wird zeitlich begrenzt, um Streustromfolgen zu minimieren. EKS benötigen eine Fremdspeisung (230 V AC). Neben der Steuerelektronik enthalten sie eine Meldeelektronik zur Fernübertragung.

Erdungskurzschliesser können auch von Hand einlegbare Verbindungsflaschen sein (in Anlagen für Reparatursituationen).

Spannungsbegrenzer, Niederspannungsbegrenzer

Spannungsbegrenzer, Niederspannungsbegrenzer verwenden Funkenstrecken, Varistoren und Thyristoren, auch in Kombination, zur Herstellung einer niederohmigen Verbindung zwischen einem spannungsbeaufschlagten Objekt (Schienenspannung oder Fahrleitungsspannung) und der Rückleitung. Spannungsbegrenzer, Niederspannungsbegrenzer benötigen keine Fremdspeisung und sind selbstlöschend.

3.6 Galvanische, kapazitive und induktive Beeinflussungen

Die galvanische, kapazitive und induktive Beeinflussungen auf bahneigene und bahnfremde Anlagen, insbesondere Informationsanlagen ist in [Abb. 10] dargestellt:

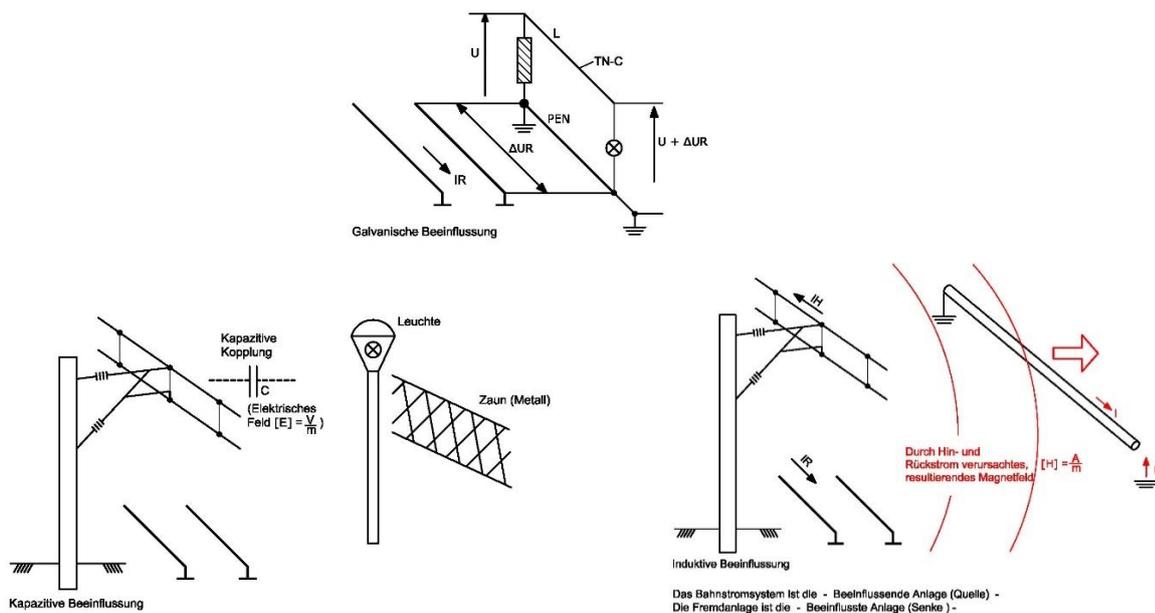


Abb. 10: Galvanische, kapazitive und induktive Beeinflussung

3.6.1 Galvanische Beeinflussung

Galvanische Beeinflussung liegt dann vor, wenn Teile des Bahnstroms (insbesondere des Rückstroms IR) in andere Stromkreise infolge metallener, leitender Verbindungen eindringen können. Die eingedrungenen Bahnstromanteile überlagern sich dem Betriebsstrom dieser Stromkreise und können zu Störungen und Beschädigungen der Kabel und angeschlossenen Geräte führen. Beachtung ist PE-Leitern zu widmen, sie sind zwar nicht Teile des Betriebsstromkreises, aber ihre Beschädigung durch eingedrungene Bahnstromanteile kann deren Schutzfunktion aufheben. Bei PEN-Leitern wird der durch den Bahnstromanteil erzeugte Spannungsfall zur Betriebsspannung addiert / subtrahiert!

3.6.2 Kapazitive Beeinflussungen

Kapazitive Beeinflussungen (Ursache Influenz, Fahrleitungsspannung) auf benachbarte Anlagen sind unkritisch, wenn die betroffenen Objekte dieser Anlagen erdfühlig oder sogar geerdet sind. Durch die hohe innere Impedanz der kapazitiven Quelle ist eine „Abschirmung“ leicht möglich.

3.6.3 Induktive Beeinflussung

Induktive Beeinflussung geht bei 16.7/50 Hz-Anlagen sowohl vom Betriebsstrom als auch vom Kurzschlussstrom aus. Bei Gleichstromanlagen führt der Kurzschluss als schnelle, zeitabhängige Stromänderung auch zu induktiven Beeinflussungen. Von der induktiven Beeinflussung betroffen sind insbesondere lange, parallel zur Bahnachse liegende, leitfähige Objekte (Kabel, Leitungen, Rohrleitungen, aber auch metallene Zäune, Geländer und Leitplanken). Die Zone der induktiven Beeinflussung [Abb. 11] erstreckt sich auf mehrere hundert Meter senkrecht zur Bahnachse. Kritische, d. h. gefährliche Beeinflussungen können etwa bis zu 30 m senkrecht zur Bahnachse auftreten und zu unzulässigen Berührungsspannungen, Störungen und Zerstörungen in informationstechnischen Anlagen führen.

Als Schutzmassnahmen dienen Erdungen und bei informationstechnischen Kabeln und Leitungen – geerdete Abschirmungen (sogenannten Reduktionsfaktorkabel).

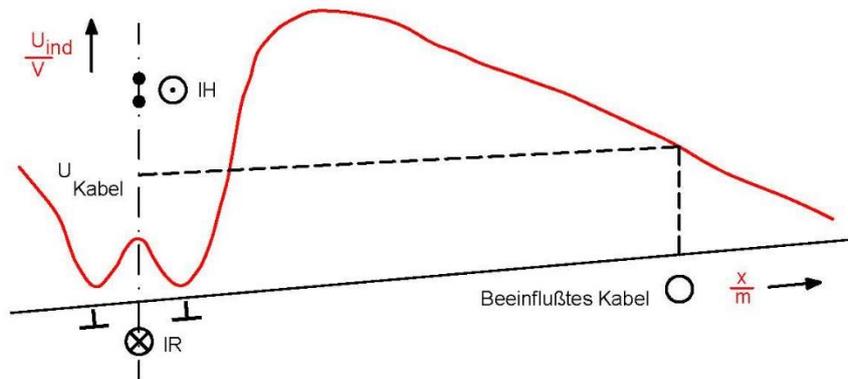


Abb. 11: Zone der induktiven Beeinflussung

3.7 Blitzschutz

3.7.1 Gewitter

Gewitter entstehen durch Ladungstrennungen zwischen Wolken und Erde (oder auch zwischen Wolken). Dabei bildet sich ein Kondensator, der sich ab einer gewissen Feldstärke E entlädt. In Gewitterzonen erreicht diese Feldstärke Werte $E > 25 \text{ kV/m}$. Im Entladungsfall können 3 Vorgänge auftreten:

- Direkter Blitzeinschlag in ein Objekt mit Blitzströmen $> 100 \text{ kA}$
- Indirekter Blitzeinschlag in benachbarte Objekte
- Überspannungen durch Induktion auf linienförmigen Leitern. Ursache ist das Magnetfeld des Blitzstroms

3.7.2 Blitzschutzelemente

Der Blitzschutz ist eine Kombination folgender Elemente [Abb. 12]:

- Blitzfangeinrichtung
- Blitzableitung
- Blitzschutzpotenzialausgleich



- Blitzschutzerdung
- Überspannungsschutz

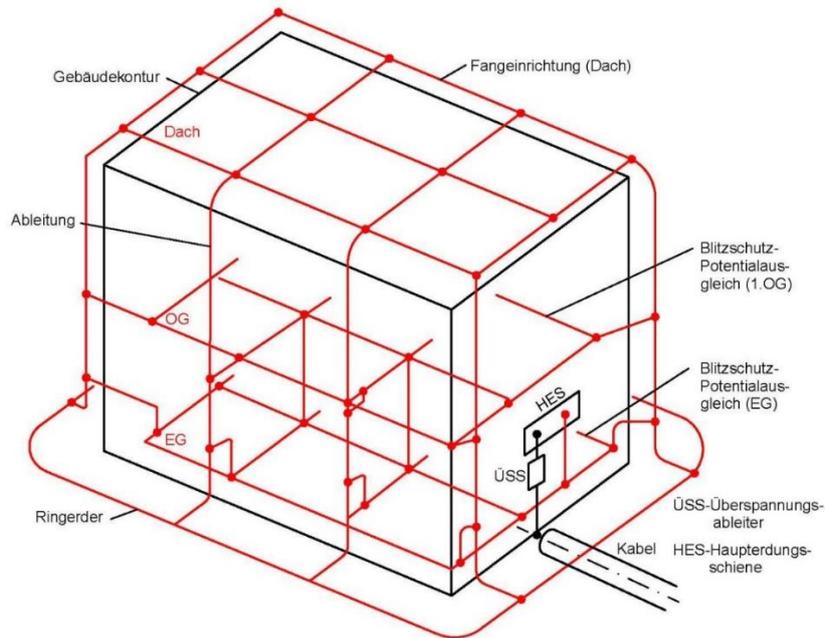


Abb. 12: Blitzschutz

3.7.3 Vorgaben zum Blitzschutz

Normative Vorgaben zum Blitzschutz enthält (SN EN 62305-1, 2011), praktische Lösungen in (Dehn, 2017). Mit einer Blitzschutz-Risikoanalyse wird die Schutzbedürftigkeit eines Objekts und die erforderliche Blitzschutzklasse (BSK I – IV) bestimmt. Aus der Blitzschutzklasse leiten sich die auszuführenden Massnahmen nach [Kap. 3.7.2] ab.

| BSK | I | II | III | IV | Bemerkung |
|--------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-----------|
| Blitzkugel-Radius (m) | 20 | 30 | 45 | 60 | |
| Maschenweite Fangeinrichtungen (m) | 5x5 | 10x10 | 15x15 | 20x20 | |
| Ableitungsabstand (m) | 10 | 10 | 15 | 20 | Typisch |
| Raster Fundamenterder (m) | 10 | 10 | 15 | 20 | |
| Einfangwahrscheinlichkeit (%) | 99 | 97 | 91 | 84 | |
| Scheitelwert Erstblitz 10/350µs (kA) | 200 | 150 | 100 | 100 | |
| Mittlere Steilheit di/dt (kA/µs) | 200 | 150 | 100 | 100 | |
| Impulsladung Langzeitstrom (C) | 200 | 150 | 100 | 100 | |

Tabelle 2: Blitzschutzklassen

3.7.4 Blitzschutz in Bahnanlagen

Das Fahrleitungsnetz und die Rückleitung (Fahrschienen) wird durch Ventilableiter (eine Kombination von Funkenstrecken und Varistoren) in den Schaltanlagen und Einspeisestellen geschützt.

Ortsfeste Anlagen (Bahnhöfe, Haltepunkte, Unterwerke, Depots und Werkstätten) erhalten eigene Blitzschutzanlagen. Die Blitzschutzklasse ergibt sich aus einer Blitzschutz-Risikoanalyse.

Empfohlen wird für wichtige Objekte, z. B. Stellwerke, die BSK I.



Bahnhöfe und Haltepunkte sollten mindestens die Forderungen der BSK III erfüllen.

Der direkte Anschluss von Elementen des Gebäudeblitzschutzes an die Fahrschienen (sie sind bei AC-Bahnen geerdet, bei DC-Bahnen über die Ableitwiderstände erdfühlig) ist **nicht** gestattet.

3.8 Gemeinschafts-Parallelbetrieb

Gemeinschafts-Parallelbetrieb liegt vor, wenn:

- **AC- und DC-Bahnen in einer gemeinsamen Trasse** betrieben werden

Kann dabei die eine Bahn in den Oberleitungsbereich der anderen Bahn gelangen, so sind zwischen die beiden Rückleitungssysteme (Fahrschienen) Spannungsdurchschlagsicherungen (SDS) einzubauen.

Das Leitsystem der DC-Bahn (LST) ist auf mögliche induktive Beeinflussung durch die AC-Bahn zu untersuchen.

Bei langen Parallelführungen beider Bahnen besteht die Möglichkeit, dass durch induktive Kopplung (aus der AC-Bahn) Wechselstrom in das Fahrstromsystem der DC-Bahn eindringt und die Wechselstromüberwachung der Züge zum Ansprechen bringt. In diesem Fall ist durch Rückleitungsseile auf der AC-Bahn die Kopplung zu verringern.

- **AC-Bahn und DC-Bahn in einer ortsfesten Anlage** (z. B. Bahnhof)

zusammengeführt werden. Das Rückleitungssystem der AC-Bahn ist mit der Erdungsanlage des ortsfesten Objekts zu verbinden. Für die DC-Bahn gilt die Isolierung des Rückleitungssystems. Zu beachten sind Handbereiche und Fahrleitungsbereiche zwischen beiden Bahnen.



4 Kenngrößen und normative Grenzwerte zur Gleichstromtraktion

4.1 Fahrleitungsanlagen

| Fahrdraht | Material | Querschnitt mm ² | Widerstand R in Ω/km |
|----------------------|----------|---------------------------------|----------------------|
| Ri 107 | Cu | 107 | 0.177 |
| CUAG 100 | CuAG | 100 | 0.183 |
| CUMG 100 | CuMG | 100 | 0.183 |
| Verbund-Stromschiene | Fe / Al | 5'100 | 0.0069 |
| Deckenstromschiene | Al / Cu | 2'100 (Profil) 100 (Fahrdr.) | |
| Tragseil | Cu | 95 und 120 | |
| Seil | Al / St | 185 / 22 | 0.158 |
| Seil | Al / St | 240 / 40 | 0.121 |

Tabelle 3: Kenndaten zu Fahrleitungsanlagen

Für die Fahrdrähte werden verschiedene Kupfer-Legierungen angeboten:

- Cu-ETP reines Kupfer
- CuAG 0.1 % Kupfer-Legierung mit 0.1 % Silberanteil
- CuSn 0.2 % Kupfer-Legierung mit 0.2 % Zinnanteil
- CuMg 0.02 % Kupfer-Legierung mit 0.02 % Magnesiumanteil (Elcorim light)

Die elektrische Leitfähigkeit nimmt mit zunehmendem Legierungsanteil ab, während die mechanische Festigkeit (Zugfestigkeit) zunimmt.

4.2 Fahrschienen

| Typ | Widerstand R in Ω/km |
|-------|----------------------|
| 46 E1 | 0.019 |
| 49 E1 | 0.018 |
| 54 E2 | 0.017 |
| 60 R2 | 0.015 |

Tabelle 4: Kenngrößen zu Fahrschienen

4.3 Ableitbeläge

Zur Ableitung (des Streustroms) wird gewöhnlich der Ableitbelag G`A (auch Y`A) angegeben. Der Kehrwert davon ist der Widerstandsbelag R`A.

| Material | G`A S/km | R`A in Ω/km |
|--|-------------|-------------|
| Holz-/ Betonschwelle | 0.02 - 0.04 | 50 - 25 |
| Schotterbettung | 0.5 - 1.0 | 2 - 1 |
| Feste Fahrbahn | 0.01 | 100 |
| Geschlossener Oberbau (vollständig isolierende Einhausung (Rasengleis)) | 0.0003 | 3'300 |

Tabelle 5: Kenngrößen Ableitbeläge



(SN EN 50122-2, 2011) gibt zulässige Ableitbeläge ($0.5 \leq G \cdot A \leq 2.5$) S/km für eingleisige Strecken oder $I_{\max} = 2.5$ mA/m, den pro Meter aus den Fahrschienen austretender Strom (als Mittelwert über 24 h) pro Gleis an. Diese Angaben gelten für den Streustromschutz und den Korrosionsschutz der Fahrschienen.

Das heisst jedoch nicht, dass parallele, erdverlegte Metallrohre oder Bewehrungen nicht streustromgefährdet sind. Über die reale Situation geben nur Messungen (SN EN 50122-2, 2011) und (SGK C3, 2011) Aufschluss. Anzustreben ist bei zweigleisigen Gleichstrombahnen ein Ableitbelag $G \cdot A \leq 0.1$ S/km.

4.4 Elektromagnetische Felder

Die Immissionsgrenzwerte der elektrischen Feldstärke, der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte betragen gemäss (NISV 814.710, 2016):

| Frequenz [Hz] | E-Feld [V/m] | H-Feld [A/m] | B-Feld [μ T] |
|--------------------|--------------|--------------|-------------------|
| > 1 | - | 3'200 | 4'020 |
| 50 | 5 | 80 | 100 |
| 50 Mittelwert 24 h | | | 1 |

Tabelle 6: Immissionsgrenzwerte

4.5 Berührungs- und Körperspannungen, zulässige Werte

4.5.1 VLD-O und VLD-F

Die Berührungsspannung U_B ist im **ungestörten (Operation)** Betrieb identisch mit der Schienenspannung U_R , also der Spannung zwischen dem Rückleitungssystem und damit verbundenen Objekten (z. B. Wagenkasten) und der örtlichen Erde. Es handelt sich hierbei im Prinzip um indirektes Berühren.

Gelangt jedoch Fahrleitungsspannung U_F auf ein berührbares Objekt, so liegt ein **Fehlerfall (Fault)** mit direktem Berühren und ungleich höheren Berührungsspannungen U_B vor.

Im Fall **Operation** ist als Schutzmassnahme eine Spannungsbegrenzungseinrichtung des Typs **VLD-O** (Voltage Limiting Device Operation) erforderlich, im Fall **Fault** ein solches des Typs **VLD-F**.

VLD-O und VLD-F unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der Ansprechspannung als auch der Strombelastbarkeit. VLD-O entspricht dem schon erwähnten Erdungskurzschliesser, während Niederspannungs-Begrenzungseinrichtungen eher vom Typ VLD-F sind. Auch die Einschaltzeiten unterscheiden sich. Beide fungieren als Schalter mit minimalem Durchgangswiderstand im eingeschalteten Zustand.

Charakteristika von VLD-O:

- Ansprechspannung $U \leq 120$ V (möglichst einstellbar)
- Einschaltzeit t - Millisekunden bis Minuten (für die Zeitdauer zu hoher Berührungsspannung im operativen Fall)
- Strombelastbarkeit $I \leq 1$ kA, aber auch mehrere kA

Charakteristika von VLD-F:

- Ansprechspannung $U \leq 120$ V
- Einschaltzeit t – Millisekunden, bis zur Abschaltung des Fehlers
- Strombelastbarkeit I bis 40 kA (Kurzschluss)

Die Zuordnungen von Niederspannungsbegrenzer, EKS und VLD-O, VLD-F sind nicht eindeutig. Beispielsweise kann der HVL-120/03 / (ABB Schweiz, 2019)/ sowohl als VLD-O als auch als VLD-F betrieben werden (Kurzschluss mittels antiparalleler Thyristoren). Der EKS (Witt Ind. El., 2019) kann aber nur als VLD-O eingesetzt werden, da das kurzschliessende Schütz maximal 800 A als Dauerstrom trägt.

4.5.2 Berührungsspannung und Körperspannung

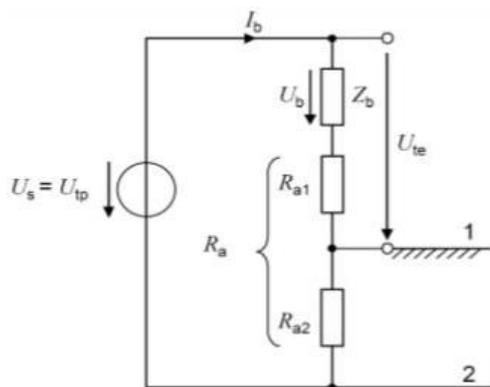
(SN EN 50122-1, 2016) unterscheiden im Berührungsfall zwei Spannungen.

In [Abb. 13] entspricht die Berührungsspannung der Spannung zwischen dem berührten Objekt (Ute) und der Standfläche.

Über dem Körper (Mensch oder Tier) fällt jedoch eine geringere Spannung, in [Abb. 13] – U_b , ab, weil die Durchströmung des Körpers mit dem Körperstrom I_b einen Spannungsteiler mit folgenden Widerständen durchläuft:

- Hautwiderstand, wird vernachlässigt, da er bereits bei geringen Spannungen durchbricht
- Körperwiderstand Z_b , wird allgemein mit 1 k Ω angenommen, in verschiedenen Quellen aber auch nur 300 Ω (Tiere, Kinder)
- Schuhwiderstand R_{a1} , in der Literatur widersprüchlich, nasse Schuhe (?), Lederschuhe sollen keinen Widerstand aufweisen, barfuss?
- Widerstand der Standfläche aus nichtleitendem Material R_{a2} , z. B. Bahnsteigdecke mit Naturstein, Asphalt; auch hier ist ein definierter Widerstand weder bauseitig noch während der Nutzungsdauer (Wasser, Streusalz) gewährleistet.

Die Unterscheidung zwischen unbeeinflusster Berührungsspannung U_{tp} und Berührungsspannung U_{te} ist wegen des undefinierten Standortwiderstand R_{a2} mehr theoretisch, der Standortwiderstand lässt sich zwar temporär messen aber nicht langfristig garantieren. In [Abb. 13] fehlt das Erdsymbol.



Legende

- 1 Standfläche
- 2 Erde
- U_s Quellenspannung
- U_{tp} unbeeinflusste Berührungsspannung
- U_{te} Berührungsspannung
- U_b Körperspannung
- I_b Körperstrom
- Z_b Gesamt-Körperimpedanz
- R_{a1} zusätzlicher Widerstand für Schuhe
- R_{a2} zusätzlicher Widerstand der Standfläche
- $R_{a2} = \rho_s \times 1,5 \text{ m}^{-1}$
- ρ_s spezifischer Widerstand der Standfläche [in Ωm]
- $U_{tp, \max}(t) = U_{te, \max}(t) + I_b(t) \times R_{a2}$

Abb. 13: Berührungsspannung und Körperspannung



Höchstzulässige Körperspannungen

In [Tabelle 7] sind höchstzulässige Körperspannungen bei Gleichstrombahnen und in [Tabelle 8] bei Wechselstrombahnen nach (SN EN 50122-1, 2016) angegeben.

| Zeitdauer [s] | Zulässige Körperspannung $U_{b \max}$ [VDC] |
|---------------|---|
| > 300 | 120 |
| 300 | 150 |
| 1 | 160 |
| 0.9 | 165 |
| 0.8 | 170 |
| 0.7 | 175 |
| 0.6 | 180 |
| 0.5 | 190 |
| 0.4 | 205 |
| 0.3 | 220 |
| 0.2 | 245 |
| 0.1 | 285 |
| 0.05 | 325 |
| 0.02 | 370 |

Tabelle 7: Zulässige Körperspannung bei Gleichstrombahnen

| Zeitdauer [s] | Zulässige Körperspannung $U_{b \max}$ [VAC] |
|---------------|---|
| > 300 | 60 |
| 300 | 65 |
| 1 | 75 |
| 0.9 | 80 |
| 0.8 | 85 |
| 0.7 | 90 |
| 0.6 | 100 |
| 0.5 | 120 |
| 0.4 | 150 |
| 0.3 | 230 |
| 0.2 | 295 |
| 0.1 | 345 |
| 0.05 | 360 |
| 0.02 | 370 |

Tabelle 8: Zulässige Körperspannung bei Wechselstrombahnen

(SN EN 50122-1, 2016) enthält Angaben zu höchstzulässigen Berührungsspannungen in Abhängigkeit von der Fehlerdauer (**Fault**), die zur Anwendung des Schutzgerätes **VLD-F** zwingen. Im Bahnbetrieb (DC und AC) übliche Abschaltzeiten liegen unter 100 ms.

Zweckmäßige Festlegungen für die Grenzwerte der Körperspannungen

(RTE 27900, 2015) S. 38 gibt unter Bezug auf NIN und NIV als höchstzulässige, dauernd anstehende Berührungsspannungen an:

- AC 50 V
- DC 120 V



Langjährige praktische Erfahrungen zeigen jedoch, dass höchste, dauernd anstehende Berührungsspannungen sowohl bei AC als auch bei DC 50 V nicht überschreiten sollten, um beeinträchtigende Körperdurchströmungen zu vermeiden. Diese Empfehlung berücksichtigt auch die Unwägbarkeiten der durchströmten Widerstände gemäss [Kap.: (4.5.2)]. Siehe auch die in (RTE 27900, 2015) durchgeführte Berechnung und Wertung der Körperströme.

Zulässige, dauernd anstehende Körperspannungen in Depots und Werkstätten

Gemäss (SN EN 50122-1, 2016) sind die herabgesetzten Werte für Körperspannungen in Werkstätten unter Berücksichtigung der Verletzungsgefahr für Personen aufgrund unkontrollierter Reaktionen verursacht durch Berührungsspannungen während der Arbeit ausgewählt:

- AC 25 V
- DC 60 V

Diese reduzierten Werte unterstützen die vorgenannte Empfehlung, denn es ist nicht zu begründen, warum dem Betriebspersonal und den Fahrgästen auf der Strecke höhere Werte zugemutet werden sollen.

Überlagerte Berührungsspannungen

(SN EN 50122-3, 2010) informiert über zulässige überlagerte Berührungsspannungen. Solche Überlagerungen der DC-Anlage können sowohl galvanischer als auch induktiver Art sein und aus 16.7 Hz- und aus 50 Hz-Anlagen stammen. Das Erdungskonzept und Beeinflussungsberechnungen lassen solche Überlagerungen erkennen und entsprechende Gegenmassnahmen treffen.

5 Netze und Erdungen

5.1 Hochspannungsnetze

Hochspannungsnetze (> 110 kV) arbeiten mit starrer Sternpunktterdung. Die relativ geringen Ströme sind im Kurzschlussfall und im Fall des Erdkurzschlusses schutztechnisch gut beherrschbar. Im Fehlerfall erfolgt die sofortige Abschaltung innerhalb weniger Millisekunden.

5.2 Mittelspannungsnetze

Mittelspannungsnetze (3 kV bis 63 kV) arbeiten mit verschiedenen Arten der Sternpunktterdung auf der Speiseseite:

- RESPE, Resonanzsternpunktterdung mittels Petersen-Spulen, hierbei wird die Resonanz der Kapazität des Leitungsnetzes mit der Induktivität der Petersen-Spule genutzt, um den Erdschlussstrom zu begrenzen. Dadurch können RESPE-Netze auch im Erdschlussfall weiter betrieben werden, allerdings kommt es dabei zu Sternpunktverschiebungen, welche die Phasenspannung der gesunden Phasen über die Nennspannung erhöht. Diese Sternpunktverschiebung ist bei der Isolation zu beachten. Erdschlussfehler sollten deshalb innerhalb einer Stunde beseitigt werden.
- NOSPE, Niederohmige Sternpunktterdung mittels Widerständen, Drosseln oder auch in Kombination beider. Im Erdschlussfall kommt es zur Abschaltung. Die Widerstände und Drosseln dienen zur Strombegrenzung und zu Fehlerortung.
- Neuerdings wird auch bei Mittelspannungsnetzen die starre Sternpunktterdung angewendet.
- Netz mit isoliertem Sternpunkt

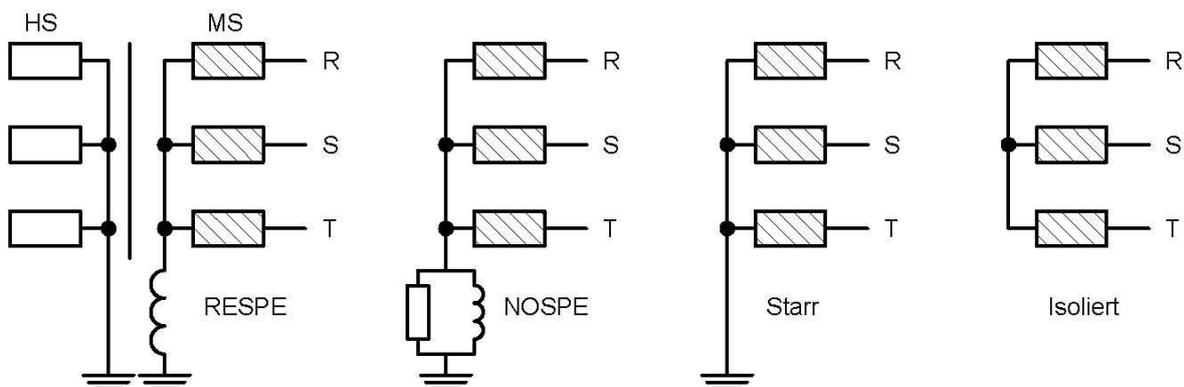


Abb. 14: Erdungsverhältnisse von Mittelspannungsnetzen

Mittelspannungskabel (meist Einleiterkabel) führen einen Mittelspannungs-PE in Form eines Kupferflechts mit. Dieser M-PE wird an der Speisequelle geerdet. Für die Erdung dieses M-PE auf der Abnehmerseite gibt es 3 Möglichkeiten, wobei der ankommende M-PE grundsätzlich zuerst auf eine isolierte Schiene zu legen ist:

- Erdung beim Abnehmer, die 2-seitige Erdung des M-PE kann zur Strombelastung des M-PE führen (durch Wirbelströme und Fremdströme), deshalb sollte die 2-seitige Erdung nur bei Kabeln ausgeführt werden, die nicht an der Belastungsgrenze arbeiten.
- Isolation des M-PE beim Abnehmer, Auflegung auf eine gegen Erde isolierte Schiene (für Messzwecke und für Erdung im Reparaturfall).

- Verbindung des M-PE über einen Erdungskurzschliesser (EKS) mit der Erdungsanlage des Abnehmers. Der EKS schliesst bei zu hoher Spannungsdifferenz zwischen M-PE und Erdungsanlage, welche sowohl durch Fehler auf der Mittelspannungsseite als auch in der (Niederspannungs-) Anlage des Abnehmers auftreten und zu unzulässigen Berührungsspannungen führen könnten. Als EKS kann auch eine einlegbare Lasche zwischen der isolierten M-PE-Schiene und der nichtisolierten Erdungsschiene des Gebäudes dienen.

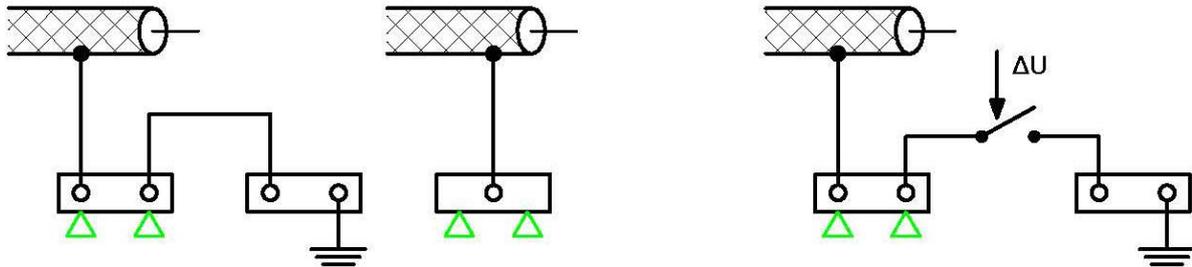


Abb. 15: Behandlung des Mittelspannung - PE in der Abnehmeranlage

Auf jeden Fall sind die Erdungsmassnahmen von Mittelspannungskabeln im Einvernehmen mit dem Energieversorger festzulegen.

Mittelspannungskabel werden heute meist als Einleiterkabel ausgelegt. Zur Vermeidung grosser, induktiv koppelnder Schleifen (EMV) sind diese Einleiterkabel möglichst im 3-er Bündel zu verlegen [Abb. 16].

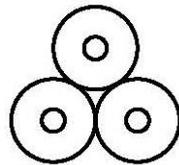


Abb. 16: EMV-gerechte Bündelung von Einleiterkabeln

Zur Erdung in Netzen mit Spannungen > 1'000 V AC siehe auch (SN EN 50522, 2011).

5.3 Niederspannungsnetze

Niederspannungsnetze (230 V / 400 V, 50 Hz) können nachfolgend beschriebene Netzformen aufweisen:

5.3.1 TN-S-Netze (Terre Neutre Separe)

Der Schutzleiter PE hat nur eine (punktförmige) Verbindung (ZEV, ZEP) mit dem Betriebsstromkreis (L, N). Der N-Leiter ist wie ein Phasenleiter zu behandeln (isoliert, da stromführend, mit entsprechender Farbe).

Diese Netzform hat folgende Vorteile:

- Der Schutzleiter PE führt im Betriebsfall keinen Strom.
- Es können keine fremden Ströme in den Betriebsstromkreis eindringen, induktive Einkopplungen erfolgen im Gleichtakt (jeder Leiter L, N wird auf das gleiche Potenzial angehoben), dadurch entstehen keine Gegentakt-Differenzspannungen.

- Da Hin- und Rückstrom in dicht beieinanderliegenden Leitern innerhalb des Kabels verlaufen, entstehen nur geringe Koppelschleifen, die dazu noch durch den „Schlag“, d. h. Lageveränderung der Leiter im Kabel („Verdrillung“), verringert werden.
- Die Zentrale Erdungsverbindung (ZEV oder Zentraler Erdungspunkt ZEP) lässt sich mit Differenzstromrelais (Bender, 2019) auf Fehler (2. Erdverbindung von L oder N) überwachen. Das Differenzstromrelais dient nur zur Information, es darf **nicht** zur Abschaltung einer Anlage (wie RCD) verwendet werden.
- Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter, RCD) lassen sich im TN-S-Netz immer anwenden. RCD gibt es mit Ansprechfehlerströmen zwischen 0.01 A und 1.0 A. Für den Personenschutz (z. B. Steckdosen) sind 0.03 A (30 mA) RCD's zu verwenden, für den Anlagenschutz (Brandschutz) solche mit 0.3 A.
- Im Betriebsfall leitet das TN-S-Netz keine Streuströme (vagabundierende Ströme) in das Potenzialausgleichsnetz und das Erdreich.

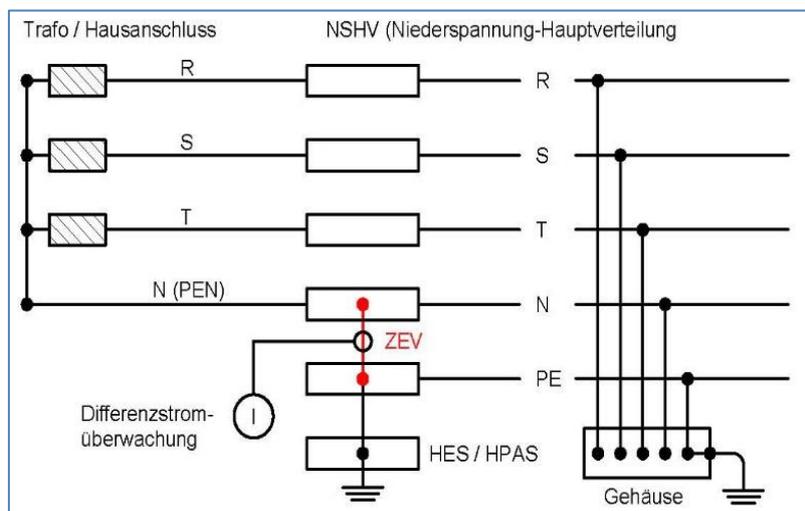


Abb. 17: TN-S-Netz mit Differenzstromüberwachung

Zu den Vorteilen des TN-S-Netzes siehe auch (Mathys, 2012). Für Anlagen, die bedeutende informationstechnische Betriebsmittel enthalten schreibt (SN EN 50310, 2016) das TN-S-Netz zwingend vor und empfiehlt, in Bestandsanlagen TN-C-Netze nicht beizubehalten, d. h. Umrüstung auf TN-S. TN-S ist ab Einspeisung in die Anlage, besser noch ab speisenden Transformator auszuführen. In der Fachliteratur wird das TN-S-Netz oft mit geerdetem Sternpunkt des Transformators [Abb. 18] dargestellt. Diese Ausführung ist nicht zweckmässig, besser ist, die ZEV in die Niederspannungshauptverteilung zu legen.

Niederspannungsnetze in Bahnanlagen sollten immer in der Form TN-S ausgeführt werden.

Das Schutzprinzip des TN-S-Netzes wird auch als „stromlose Nullung“ bezeichnet.

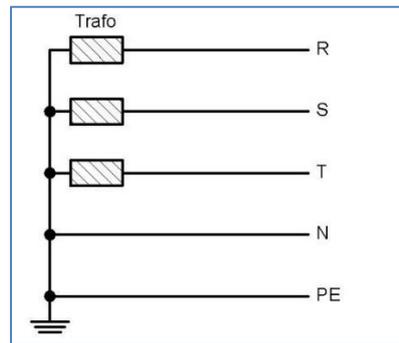


Abb. 18: Unzweckmässige Ausführung eines TN-S-Netzes

5.3.2 TN-C-Netze (Terre Neutre Combine)

TN-C-Netze („stromführende Nullung“) sind häufig noch in Bestandsanlagen und in Ortsnetzen anzutreffen. Die Funktion des Rückleiters (N) wird hier mit der Funktion eines Schutzleiters (PE) in einem einzigen Leiter (PEN) zusammengeführt. Der PEN-Leiter ist sowohl in der Speisequelle als auch in der Abnehmeranlage (mindestens beidseitig, besser mehrfach) zu erden.

Dadurch fliesst Betriebsstrom nicht nur im PEN-Leiter sondern, auch im Potenzialausgleichsnetz und Erde zurück mit folgenden Nachteilen:

- In den Betriebsstromkreis können Fremdströme ein- und Betriebsmittel zusätzlich durchfliessen. Auch Blitzteilströme können in den Betriebsstromkreis galvanisch eingekoppelt werden.
- Durch die mehrfache Erdung gelangen Streuströme (Teile des Betriebsstroms) als vagabundierende Ströme in das Erdreich.
- Da anteilige Rückströme auch in Erde fließen, ist die enge Kopplung an die Hinströme nicht mehr gegeben. Es entstehen grosse Induktionsschleifen. Induktiv eingekoppelte Spannungen führen zu Differenzspannungen zwischen den Leitern.
- Die Anwendung von RCDs in TN-C-Netzen ist **nicht** gestattet (obwohl man in der Fachliteratur derartige Vorschläge findet).
- Insgesamt sind TN-C-Netze **nicht** als elektromagnetisch verträglich zu bewerten.

Wenn möglich, sollten TN-C-Netze auf TN-S umgerüstet werden.

TN-C-Netze haben zwei (historische) Gründe. Zum einen gelingt es, durch die vielfache Erdung (örtliche Erde) Berührungsspannungen zu reduzieren, zum anderen vermindert der zusätzliche Rückstromweg über Erde die Netzimpedanz und erleichtert das Ansprechen von Überstromschutzgeräten (insbesondere in ausgedehnten Netzen).

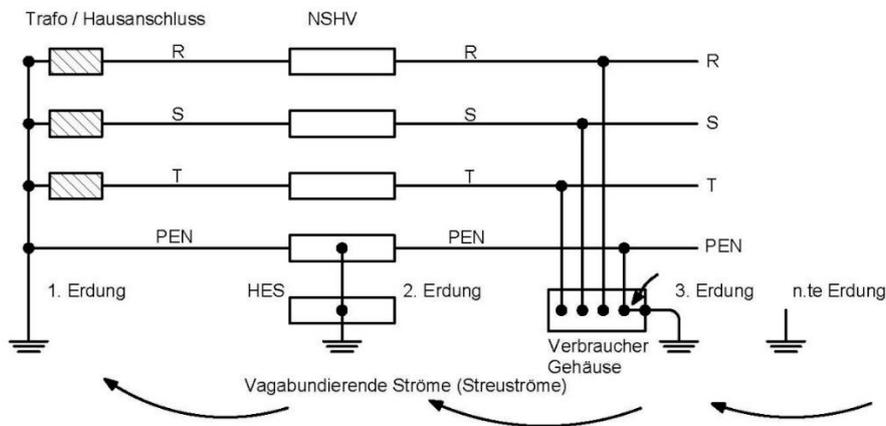


Abb. 19 TN-C-Netz mit vagabundierenden Strömen

Im Prinzip entspricht das Bahnstromsystem einer Wechselstrombahn dem TN-C-Netz, während das Bahnstromsystem einer Gleichstrombahn wegen der Isolierung der Fahrschienen eher einem unsymmetrischen (wegen der begrenzten Isolierfähigkeit) IT-Netz gleichkommt.

5.3.3 TN-C-S Netze (Bild G 24)

Beim TN-C-S-Netz ist die Speiseseite als TN-C und sind Teile der Abnehmeranlage als TN-S ausgeführt. Derartige Netzkonfiguration sind auch heute noch für Neuerrichtungen zugelassen, aber wegen der Nachteile der TN-C-Seite eigentlich abzulehnen.

Sie sind jedoch bei Verbraucheranlagen infolge der TN-C-Versorgung durch das EW der Normalfall.

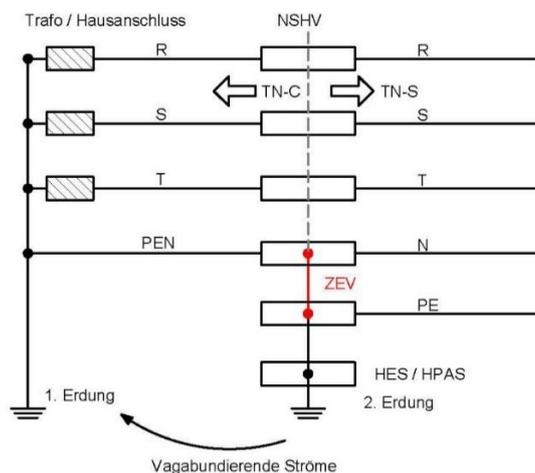


Abb. 20: TN-C-S-Netz

5.3.4 TT-Netze (Terre Terre)

Bei TT-Netzen wird die Speisequelle starr geerdet und der Strom über die Leiter L und N dem Verbraucher zugeführt. Die metallenen Gehäuse der Verbraucher besitzen eine eigene Erdung. Gelangt Leiterspannung durch einen Fehler auf das Gehäuse (Berührungsfährdung, indirekte

Berührung), wird der Fehlerstrom über die Erde zur Speisequelle zurückgeführt und lässt die Schutzeinrichtungen ansprechen.

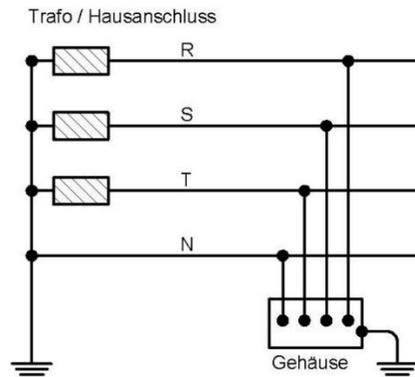


Abb. 21: TT-Netz

Bei der Bemessung der Überstromschutzeinrichtung sind die Erdungswiderstände zu berücksichtigen, zu hohe Erdungswiderstände können zu einer Nicht- oder unzulässig verzögerten Auslösung von Sicherungen und Leitungsschutzschaltern führen.

Fehlerstromschutzschalter sind auch nur bei entsprechend nachgewiesenen Erdungsverhältnissen einsetzbar.

TT-Netze kommen dann zur Anwendung, wenn sich beispielsweise Gehäuse oder metallene Halterungen von elektrischen Betriebsmitteln im Rissbereich einer Oberleitung befinden. Im Kabel oft mitgeführte PE-Leiter sind im Betriebsmittel isoliert zu verwalten.

5.3.5 IT-Netze (Isolee Terre)

Im IT-Netz wird kein Leiter geerdet. Im Betriebsfall liegen an Hin- und Rückleiter jeweils die halbe Speisespannung, aber mit entgegengesetzten Vorzeichen an. Die „Mitten“ von Quelle und Verbraucher nehmen das Potenzial $\varphi = 0 \text{ V}$ an.

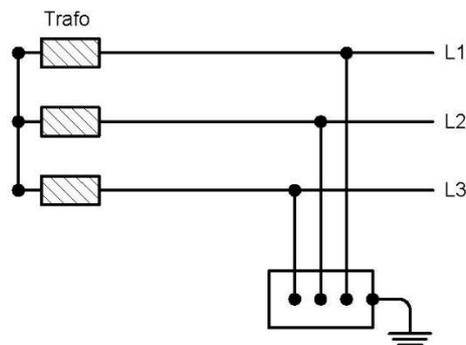


Abb. 22: IT-Netz

Im Fehlerfall (Betriebsspannung gelangt auf das metallene, berührbare, geerdete Gehäuse) nehmen Gehäuse und fehlerbehafteter Leiter das Erdpotential an. Der fehlerfreie Leiter geht von halber Speisespannung auf volle Speisespannung. Die Anlage kann weiter betrieben werden, der Berührungsschutz ist gewährleistet. Auch bei direkter Berührung eines Leiters im IT-Netz ist der Berührungsschutz gewährleistet, da dieser Leiter sofort auf Erdpotential springt. Es fließt ein geringer, kapazitiver Körperstrom (infolge der Erdkapazität des nicht berührten Leiters), der aber bei langen Leitungen gefährlich werden kann.

IT-Netze werden vornehmlich dort eingesetzt, wo eine Berührung aktiver Teile möglich ist, aber nicht zur Abschaltung führen darf (z. B. in der Medizintechnik, bei der Marine und bei Tunnel-Elektranten).

Da sich Fehlerstromschutzschalter in IT-Netzen nur schwierig anwenden lassen, kommen hier vornehmlich Isolations-Überwachungsgeräte zum Einsatz.

Alternative zum IT-Netz ist die Verwendung von Schutzkleinspannungen.

Die praktische Anwendung der Niederspannungs-Netzformen bei Gleichstrombahnen wird in den Details (Anhang 1 - 7) näher beschrieben.

5.4 Informationstechnische Netze

Informationstechnische Netze (z. B. LST) werden heute in der Regel zweidrähtig-erdfrei oder als LWL ausgeführt. Dadurch ist eine galvanische Einkopplung von Fremdströmen in die Betriebsstromkreise (die Fremdströme würden die Signalpegel störend überlagern) nicht möglich. Möglich ist aber die induktive Einkopplung von Störungen in zweidrähtige-erdfreie informationstechnische Netze. Ursache ist hierfür das von einer Fremdanlage ausgehende magnetische Feld. Solche Störungen äussern sich als gefährliche Längsspannungen auf den Signaladern und als Querspannungen zwischen beiden Signaladern. Die entstehende Querspannung hängt proportional von der vor allem kapazitiven Asymmetrie der Signaladern ab.

Schutz vor induktiver Beeinflussung von informationstechnischen Netzen ist durch Metallmäntel und Schirme der eingesetzten Kabel möglich. Die Erdung der Mäntel und Schirme darf bei zwei- oder mehrfacher Erdung des Metallmantels nicht an den DC-Fahrschienen erfolgen (Gefahr durch Überlastung mit anteiligem Rückstrom).

Vielfach wird auf die zwei- oder mehrfache Erdung des Kabelmantels verzichtet und nur die einseitige Erdung (meist an der Quelle) angewandt. Dadurch wird eine statische Schirmung (gegen das elektrische Feld) erreicht, nicht jedoch eine Reduzierung der induktiven Beeinflussung.

Bei Gleichstrombahnen ist eine gefährliche induktive Beeinflussung durch den Betriebsstrom nicht zu erwarten. Im Kurzschlussfall (bedingt durch die sehr schnelle zeitliche Änderung des Stroms) kann es jedoch zu einer unzulässigen Beeinflussung informationstechnischer Netze kommen. Dieser Fall sollte durch Beeinflussungsberechnungen abgeklärt werden.

Eine einseitige Erdung der Metallmäntel und Schirme informationstechnischer Kabel bietet nur einen Schutz gegen elektrische Felder, nicht jedoch gegen magnetische Felder.

Vorsicht ist beim Einsatz einfacher Koaxialkabel geboten. Hier ist der geerdete „Schirm“ eigentlich kein Schirm, sondern der koaxiale Rückleiter und damit Bestandteil des Signalstromkreises. Das Signal wird störanfällig in Bezug auf galvanisch und induktiv eingekoppelte Störungen. Besser sind Koaxialkabel mit doppeltem Schirm, wobei der innere Schirm erdfrei den Signalstrom führt und der äussere, geerdete Schirm den Beeinflussungsschutz sicherstellt.

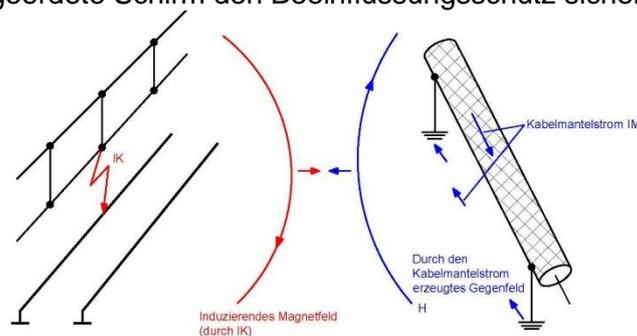


Abb. 23: Magnetfeldkompensation in Kabelmantel



6 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------|--|
| AA | Aussenanlage |
| Abb. | Abbildung |
| AB-EBV | Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung |
| BPL-Rechner | Bedienplatz-Rechner |
| BUE | Bahnübergang |
| Bü | Hauptsignale bei Bahnübergängen |
| EL-Team | Elektroteam |
| ESTW | Elektronisches Stellwerk |
| FL-Masten | Fahrleitungsmasten |
| FL-Team | Fahrleitungsteam |
| GAK (QC) | Gleisanschlusskasten |
| HPAS | Hauptpotenzialausgleichsschiene |
| IA | Innenanlage |
| IBN | Inbetriebnahme |
| KAG | Kabelabschlussgestell |
| KEV | Kabelendverschluss |
| KV | Kabelverteiler |
| LED | Light-emitting diode |
| LRP | Lichttraumprofil |
| LWL | Lichtwellenleiter |
| RGS | Ralph Gautschi Suhr Bahnsicherungstechnik GmbH |
| RTE | Regelwerk Technik Eisenbahn |
| SEAG | Schweizer Electronic AG |
| SOK | Schienen oberkant |
| Tab. | Tabelle |
| TK | Tastenkasten |
| Vb | Vorbereitungssignale |
| WB | Waldenburgerbahn |
| ZSI | Zugsicherung (Name der Produktlinie von Siemens Schweiz, TS) |



BLT Baselland Transport AG
Grenzweg 1
CH-4104 Oberwil

BLT – Projektierungsrichtlinie Rückleitung und Erdung

Beilage 1

Apparatekabinen und Apparateschränke

Planungs- und Ausführungsgrundlagen für:
Erdung, Potenzialausgleich, Isolierung und Streustromschutz

30. April 2024





Änderungsverzeichnis

| REV. | ÄNDERUNG | URHEBER | DATUM | BEMERKUNG |
|------|------------------------------------|----------------|------------|-----------------------|
| 0 | Erstellung Beilage 1 AK's & AS | Stephan Arnold | 31.08.2021 | Prüfung Electrosuisse |
| 1 | HAK 2.0 / Potentialausgleich in AK | Stephan Arnold | 30.04.2024 | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Grundsätze | 3 |
| 2 | Grundlagen | 3 |
| 2.1 | Normen und Richtlinien | 3 |
| 2.2 | Abkürzungen | 3 |
| 3 | Allgemeine Beschreibung | 4 |
| 3.1 | Energieversorgungskonzept | 4 |
| 3.1.1 | Apparatekabine (AK) | 4 |
| 3.1.2 | Apparateschränke AS | 5 |
| 3.2 | Potenzialausgleich / Erdung / Blitzschutz | 6 |
| 3.2.1 | Galvanische Trennung der Erdsysteme EWE, BWE, RLS | 6 |
| 3.2.2 | Potenzialausgleich | 6 |
| 3.2.3 | Erdung | 6 |
| 3.2.4 | Blitzschutz | 6 |
| 3.2.5 | Überspannungsbegrenzer VLD | 6 |
| 4 | Aufbau der Apparatekabine AK | 7 |
| 4.1.1 | Niederspannungs Hauptverteilung | 7 |
| 4.1.2 | Abgänge für dritte mit separater Messung | 7 |
| 4.1.3 | BLT Messung: | 8 |
| 5 | Aufbau der Apparateschränke AS | 10 |
| 5.1.1 | Stromversorgung vom Lokalen EW | 10 |
| 6 | Verbindungen mit dem Rückleitungssystem | 12 |



1 Grundsätze

Die Planung- und Ausführungsgrundlage der BLT haben als Ziel sämtlichen Anlagen der BLT-Standardisiert auszuführen dabei sind für das Rückleitungs- und Erdungskonzept die folgenden Punkte als wichtigste Grundsätze anzuwenden:

- Ziel ist die sichere und schnelle Abschaltung der Fahrleitungseinspeisung bei einem Fahrleitungsbruch (Fehler)
- Verhinderung von Potenzialunterschieden zum Personenschutz durch Abstand und Spannungsbegrenzung
- Korrosionsschutz durch Streustrombeherrschung

2 Grundlagen

2.1 Normen und Richtlinien

Für das Rückleitungs- und Erdungskonzept gelten folgende massgebende Normen und Richtlinien:

- [1.] Eisenbahngesetz (EBG)
- [2.] Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (EBV)
- [3.] Ausführungsbestimmungen EBV (AB-EBV)
- [4.] Niederspannungs-Installationsverordnung NIV
- [5.] Niederspannungs-Installationsnormen NIN
- [6.] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung)
- [7.] Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)
- [8.] SN EN50122-1 Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1: Schutzmassnahmen gegen elektrischen Schlag
- [9.] SN EN50122-2 Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen – Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückstromführung - Teil 2: Schutzmassnahmen gegen Streustromwirkungen durch Gleichstrom-Zugförderungssysteme
- [10.] Richtlinie C3 der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK): Richtlinie zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen
- [11.] Regelwerk Technik Eisenbahn RTE 27900 Rückleitungs- und Erdungshandbuch
Verband öffentlicher Verkehr

2.2 Abkürzungen

| | |
|-------|--|
| BWE | Bauwerkserde |
| EWE | Erdsystem des Elektrizitätswerks |
| GR | Gleichrichteranlage |
| HAK | Hausanschlusskasten |
| H-PAS | Haupt Potenzialausgleichsschiene |
| KSS | Kabelmantel Sammel Schiene |
| LSA | Licht Signal Anlage |
| RCD | Residual Current Device |
| RLS | Rückleitungs- und Erdsystem |
| TN-S | Terre Neutre Séparé |
| USV | Unterbruchsfreie Stromversorgung |
| VLD | (Nieder)-Spannungsbegrenzer (voltage limiting device) Fehlerschutz |

3 Allgemeine Beschreibung

In Apparatekabinen (AK) sind je nach Ausführung Hauptverteilung, USV-Anlage, BUe-Steuerungen, LSA-Steuerung, Stellwerksrechner, LWL-Knoten, Fernwirkanlagen und weitere Anlagen verbaut.

Apparateschränke (AS) sind vorwiegend auf Haltestellen als Haltestellenverteiler verbaut.

3.1 Energieversorgungskonzept

3.1.1 Apparatekabine (AK)

Die Energieversorgung der Apparatekabine erfolgt über eine redundante, USV gestützte Stromversorgung vom lokalen EW und als Rückfallebene von der Fahrleitung.

Falls die Apparatekabine in unmittelbarer Nähe zum Gleichrichter (GR) steht, wird die AK über den Eigenbedarfstransformator versorgt.

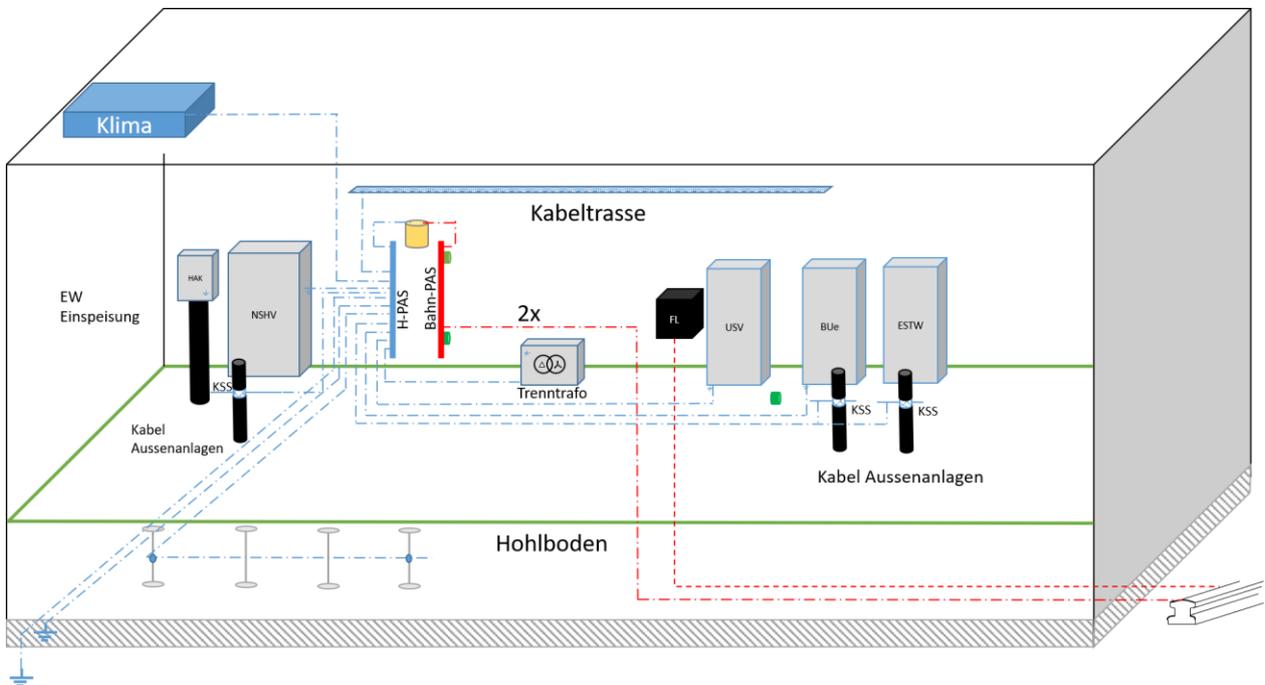


Abb. 1: Erdungsprinzip Apparatekabine

3.1.2 Apparateschränke AS

Die Energieversorgung des Apparateschranks erfolgt über eine Zuleitung vom lokalen EW und hat keine Rückfallebene von der Fahrleitung.

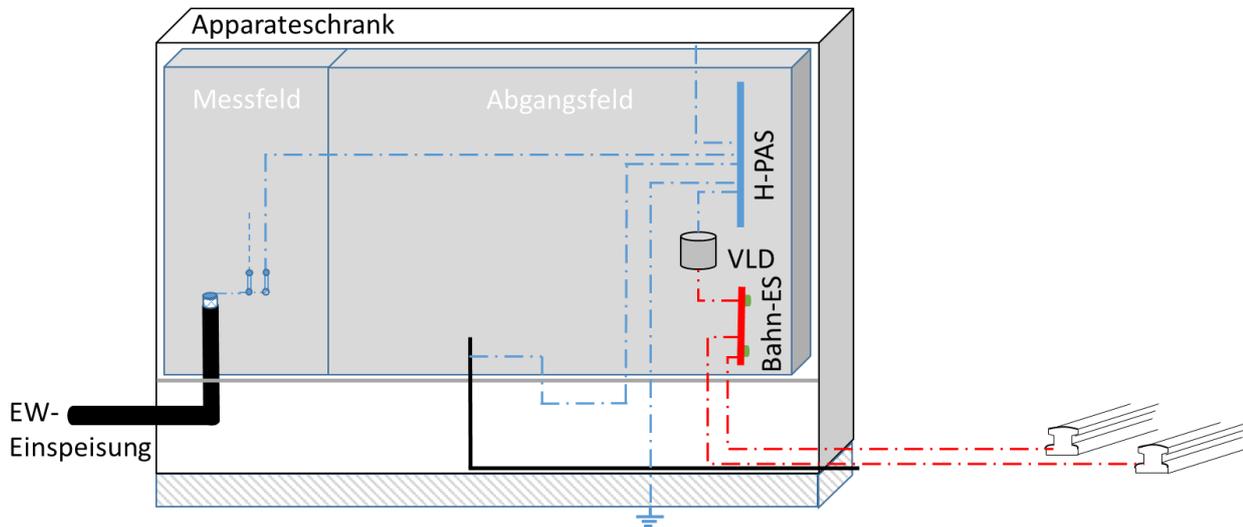


Abb. 2 Erdungsprinzip Apparateschrank



3.2 Potenzialausgleich / Erdung / Blitzschutz

3.2.1 Galvanische Trennung der Erdsysteme EWE, BWE, RLS

- Die EW-Erde (EWE), die in der Regel gerade die metallene Bewährung der EW Zuleitung bildet, wird im HAK nicht mit der BWE verbunden und verbleibt isoliert im HAK.
- Sämtliche metallenen Anlage Teile werden an die Bauwerkserde (BWE) angeschlossen. Die BWE bildet das Rückgrad des BLT Erdungssystems.
- Die Einführung von Ruckleitungspotential (RLS) in die Apparatekabinen ist zu vermeiden. Ausnahme bildet eine Potenzialausgleichsleitung, welche auf eine gegen das Bauwerk isolierte Schiene aufgelegt wird. Diese Schiene ist mit einem Schild – Achtung „Bahnerde“ – zu kennzeichnen. Die Rückleitung der redundanten DC Versorgung ist als separate Leitung (siehe Kap.([6]) auf die Fahrachse zu führen diese darf nicht auf die Erdungsschiene (Bahn-PAS) des RLS angeschlossen werden.
- Der Niederspannungsbegrenzer VLD ist kurzschlussfest zwischen den H-PSA der BWE und der RLS (Bahn-PAS) anzuschliessen.

3.2.2 Potenzialausgleich

Sämtliche leitenden Anlageteile wie Türen, metallene Kabelprieschen, Doppelboden Gerüste, etc. sind in den Potenzialausgleich einzuschliessen und an die H-PAS (BWE) anzuschliessen. Dazu wird eine Leiter mit 50mm² verwendet.

3.2.3 Erdung

Das Fundament der Apparatekabine bildet in der Regel den Erder der Anlage, das lokale EW bestimmt, ob ein zusätzlicher Erder in Form eines Ring- oder Staberders notwendig ist. Der Fundamenterder ist ebenfalls an die H-PAS anzuschliessen.

3.2.4 Blitzschutz

Die Apparatekabine besitzt in der Regel keinen Blitzschutz, da diese meist in der Unmittelbaren Nähe der Fahrleitung platziert ist und damit gerechnet werden kann das ein Blitz in die Fahrleitung oder in eine FL-Mast einschlägt.

3.2.5 uberspannungsbegrenzer VLD

Zwischen der Haupt-Potenzialausgleichsschiene (H-PAS) (BWE) und der RLS-ES (Bahn-ES) befindet sich der uberspannungsbegrenzer (VLD), der im Falle zu hoher Berührungsspannungen und im Falle der Eintragung von Fahrleitungsspannung auf Ausrüstungen der Haltestelle eine niederohmige Verbindung zwischen der Potenzialausgleich (BWE) und dem RLS herstellt. Dieser uberspannungsbegrenzer muss die Funktionalitäten VLD-O (Voltage Limiting Device – Operation) und VLD-F (- Fault) erfüllen.

Der bei BLT eingesetzte ABB HVL 120.03 erfüllt diese Vorgabe. Sowohl die BWE- als auch die RLS des uberspannungsbegrenzers müssen kurzschlussfest verbunden sein.

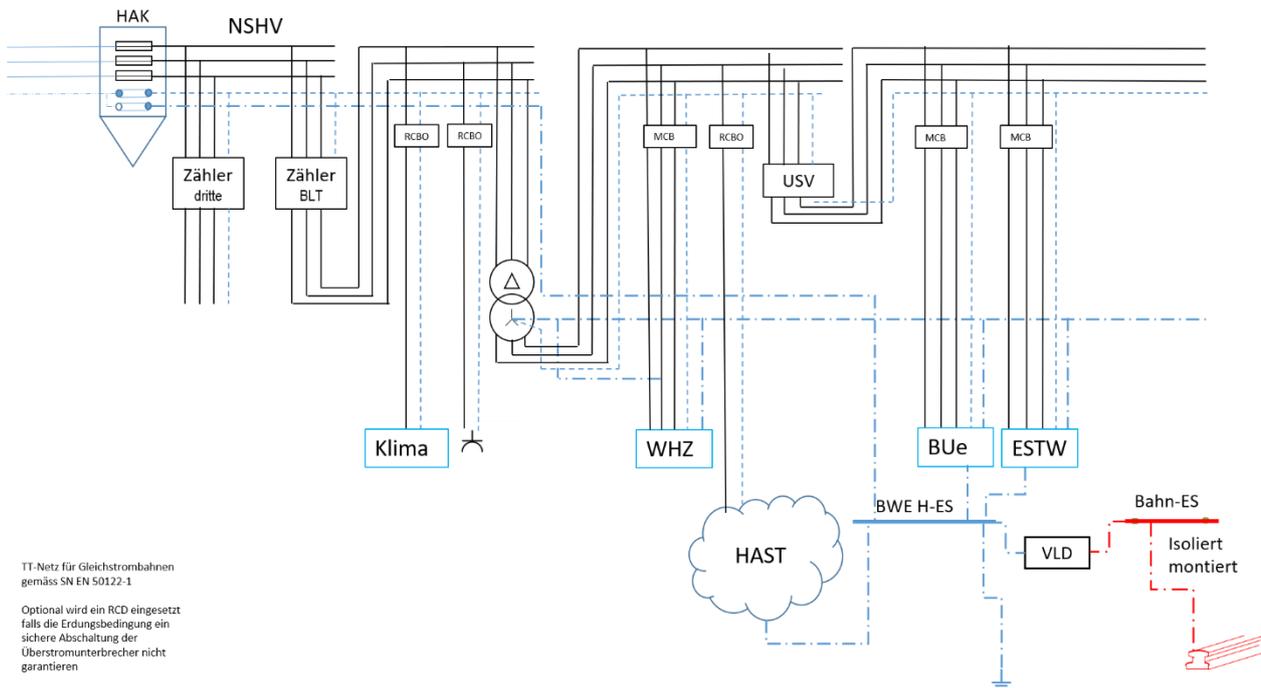
4 Aufbau der Apparatekabine AK

4.1.1 Niederspannungs Hauptverteilung

Durch die Auftrennung der EWE und der BWE entstehen in Gebieten mit hohen Erdübergangswider Situationen, die den Einsatz von Fehlerstromschutzschalter (RCD) anstelle von Schmelzsicherungen im Hausanschlusskasten erfordern. BLT entscheidet situativ, ob ein konventioneller HAK oder ein HAK mit RCD eingesetzt wird.

Die Hauptverteilung kann aufgrund von den unterschiedlichen Situationen, die auf dem Netz herrschen nicht abschliessend für alle Konfigurationen beschreiben werden.

Je nach Standort sind in der AK zusätzlich LSA-Steuerungen untergebracht diese bedeutet, dass die HV einen weiteren Zählerplatz für die LSA-Steuerungen hat. Die aktuell eingesetzten USV



anlagen besitzen, je nach Konfiguration über nicht genügen Anschlüsse, so dass die gesicherten Abgänge aus Platz gründen über die HV geführt werden. Je nach Energiebedarf der Anlage wird der Trenntransformator dimensioniert. Dieser wird in der Regel in die Hauptverteilung integriert.

Abb. 3 Aufbau NSHV Gemäss SN EN 50122-1

Die Hauptverteilung hat je nach Anlage Konfiguration folgenden Aufbau:

4.1.2 Abgänge für dritte mit separater Messung

Gemeindemessung

Für Strassenbeleuchtung Gemeindestrassen

Abgänge immer über RCD (FI) führen (TT-Netz)

Kantonsmessung:

Für LSA, und Beleuchtung Kantonsstrassen

Abgänge immer über RCD (FI) führen (TT-Netz)



4.1.3 BLT Messung:

vor dem Trenntransformator:

sämtliche Abgänge müssen über einen Fehlerstrom Schutz RCD verfügen (TT-Netz)

Abgänge für Klima, Heizung, Steckdosen, etc.



Abgänge nach dem Trenntransformator:

Abgänge müssen nicht zwingend über einen RCD verfügen, wenn der Kurzschlussstrom ausreichend gross ist um eine sichere Abschaltung zu gewährleisten.

Abgänge für:

- Haltestellen wie z.B. DFI, Billetautomat und Beleuchtung Perron, -Shelter, etc. werden immer über einen RCD (Typ A) erschlossen. Falls ein Objekt in der Zone 1 steht, muss diese über einen RCD (Typ B) geschützt sein.
- Weichenheizungen werden immer über einen RCD Typ B erschlossen (Gleichstrom Beaufschlagung kann nicht ausgeschlossen werden).
- USV-Anlage

Unterbruchsfreie Strom Versorgung:

Abgänge müssen nicht zwingend über einen RCD verfügen, wenn der Kurzschlussstrom ausreichend gross ist um eine sichere Abschaltung zu gewährleisten. (Achtung bewegliche mittel müssen immer über einen FI (RCD) Schutz verfügen)

Abgänge für:

- Raumbelichtung der Apparatekabine
- USV-Steckdose (Orange)
- Fernwirkanlage
- BUe Steuerung
- Stellwerk

5 Aufbau der Apparateschränke AS

5.1.1 Stromversorgung vom Lokalen EW

- Durch die Auftrennung der EWE und der BWE entstehen in Gebieten mit hohen Erdübergangswider Situationen, die den Einsatz von Fehlerstromschutzschalter (RCD) anstelle von Schmelzsicherungen im Hausanschlusskasten erfordern. BLT entscheidet situativ, ob ein konventioneller HAK oder ein HAK mit RCD eingesetzt wird.
- Die Haltestelle verfügt über eine Einspeisung vom EW welche die Anlagen mit Energie versorgt.
- BLT setzt bei der Haltestelleneinspeisung das TT-Netz gemäss SN EN 50122-1 um.

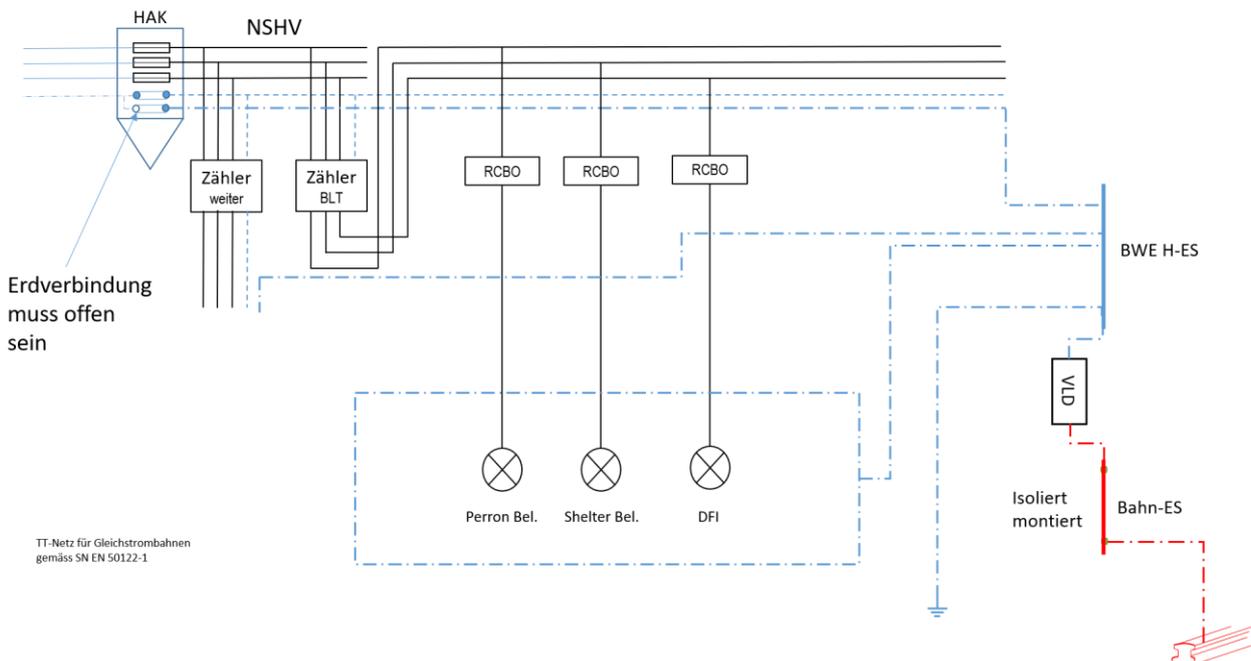


Abb. 4 Aufbau Hauptverteilung im Apparateschrank

Abgänge für feste Installationen

Hierbei handelt es sich um die Abgänge für die Versorgung der Ausrüstungen der Haltestelle. Diese werden bei der BLT grundsätzlich in der Netzform TT mit vorgeschalteten Fehlerstromschutzschaltern allpolig geschützt. In der Zone 1 darf der PE nicht angeschlossen werden, da eine Beaufschlagung mit dem Fahrdrabt den mit geführten PE beschädigt.

Abgänge für bewegliche Mittel

Für die Verwendung beweglicher elektrischer Geräte (Reinigungsmaschinen, Arbeitsmaschinen) sind Steckdosen vorzusehen. Generell sollten diese Geräte die Schutzklasse II (SK II) besitzen. Allerdings ist nicht auszuschliessen, dass auch Geräte der SK I zum Einsatz kommen (schwere Bohrmaschinen und Schrauber).

Bei diesen Geräten ist nicht auszuschliessen, dass sie nur SK I aufweisen und beim Arbeiten an den Fahrschienen oder am Zug Rückleitungspotenzial annehmen können.

Die Steckdose ist deshalb innerhalb des Einspeiseschranks und nur zugänglich für Fach- oder unterwiesenes Personal anzuordnen. Die Steckdose ist mit dem Hinweis – Für Arbeiten im Gleisbereich nur ein Gerät anschliessen – zu versehen.



Die Einspeisung in der Steckdose erfolgt in der Netzform TT mit Fehlerstromschutzschalter (FI). In die PE-Leitung ist ein RC-Glied einzuschleifen¹. Die Festlegungen gelten sowohl für Wechsel- als auch für Drehstromsteckdosen.

Alternative: Auf die RC-Glieder kann verzichtet werden, wenn der Anschluss der Arbeitsmittel an die Steckdose über einem zwischengeschalteten tragbaren Trenntransformator erfolgt. Am Abgang des Trenntransformators ist der Hinweis anzubringen: **«Nur ein Gerät anschliessen»**.

Potenzialausgleich

Der metallene Gerüststrahmen der NSHV ist an die H-PAS (BWE) aufzulegen. Der PE-Schiene der NSHV ist ebenfalls Kurzschlussfest an die H-PAS aufzulegen.

¹ SN EN 50122-1 Kap. (7.4.4.2)

6 Verbindungen mit dem Rückleitungssystem

Die Rückleitung der Redundante Einspeisung und die Verbindung zum Niederspannungsbegrenzer (VLD) benötigen eine Verbindung mit dem Rückleitungssystem.

Die Verbindung vom VLD zur Rückleitung ist nicht stromführend und wird daher grün-gelb markiert diese wird mit $2 \times 120 \text{ mm}^2$ ausgeführt.

Die Rückleitung der redundanteren DC Einspeisung muss dagegen gelb gekennzeichnet werden. $1 \times 16 \text{ mm}^2$

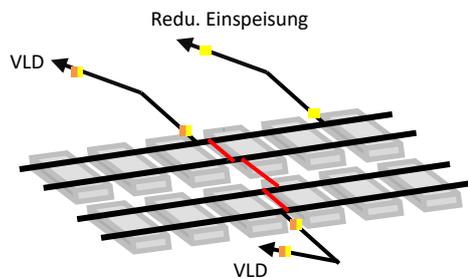


Abb. 5 Verbindungen mit dem RLS

Schienenquerverbinder SQV

In unmittelbarer Nähe der Verbindung mit dem VLD muss ein SQV montiert werden 120 mm^2 .

Diese ist ausreichend dimensioniert so, dass für die DC Rückleitung der redundanten Einspeisung nicht eine separate SQV erstellt werden muss. Vorausgesetzt diese Verbindungen werden im Abstand von wenigen Metern erstellt. Bei einem zweigleisigen Haltepunkt ist der Überspannungsbegrenzer mit einer zweiten Leitung auch am zweiten Gleis anzuschließen².

² RTE 27900 (Kap. 6.4)



BLT Baselland Transport AG
Grenzweg 1
CH-4104 Oberwil

BLT – Projektierungsrichtlinie Rückleitung und Erdung

Beilage 2

Bahnübergänge BUe

Planungs- und Ausführungsgrundlagen für:
Erdung, Potenzialausgleich, Isolierung und Streustromschutz

31. August 2021





Änderungsverzeichnis

| REV. | ÄNDERUNG | URHEBER | DATUM | BEMERKUNG |
|------|---|-------------------------------|------------|-----------------------|
| 0.1 | Erstellung Entwurf Handbuch | Dr. H. Tschiedel, G. Maier | 22.11.2018 | |
| 0.2 | Überarbeitung und Ergänzungen | Stephan Arnold | 02.05.2019 | |
| 1.0 | Finalisierung für Freigabe | Stephan Arnold | 15.10.2019 | BAV geprüft |
| B | Verbindungen mit dem RLS / Dokumentenbezeichnung gemäss DBR | Stephan Arnold | 07.03.2021 | |
| C | Innenanlage / Beilagen Nummerierung | Stephan Arnold | 31.08.2021 | Prüfung Electrosuisse |



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|------------------------------------|----------|
| 1 | Grundsätze | 3 |
| 2 | Grundlagen | 3 |
| 2.1 | Normen und Richtlinien | 3 |
| 2.2 | Abkürzungen | 3 |
| 3 | Allgemeine Beschreibung | 4 |
| 4 | Innenanlagen | 4 |
| 4.1.1 | BUe Steuerschrank | 4 |
| 5 | Aussenanlagen | 5 |
| 5.1 | Verbindungsschutzleiter AK → VK | 5 |
| 5.1.1 | Dimensionierung | 5 |
| 5.2 | Anschlussschutzleiter VK → Element | 5 |
| 5.2.1 | Dimensionierung | 5 |
| 5.3 | Kabelmantel Behandlung | 5 |



1 Grundsätze

Die Planung- und Ausführungsgrundlage der BLT haben als Ziel sämtlichen Anlagen der BLT Standardisiert Auszuführen dabei sind für das Rückleitungs- und Erdungskonzept die folgenden Punkte als wichtigste Grundsätze anzuwenden:

- Ziel ist die sichere und schnelle Abschaltung der Fahrleitungseinspeisung bei einem Fahrleitungsbruch (Fehler)
- Verhinderung von Potenzialunterschieden zum Personenschutz durch Abstand und Spannungsbegrenzung
- Korrosionsschutz durch Streustrombeherrschung.

2 Grundlagen

2.1 Normen und Richtlinien

Für das Rückleitungs- und Erdungskonzept gelten folgende massgebende Normen und Richtlinien:

- [1.] Eisenbahngesetz (EBG)
- [2.] Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (EBV)
- [3.] Ausführungsbestimmungen EBV (AB-EBV)
- [4.] Niederspannungs-Installationsverordnung NIV
- [5.] Niederspannungs-Installationsnormen NIN
- [6.] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung)
- [7.] Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)
- [8.] SN EN50122-1 Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1: Schutzmassnahmen gegen elektrischen Schlag
- [9.] SN EN50122-2 Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen – Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückstromführung - Teil 2: Schutzmassnahmen gegen Streustromwirkungen durch Gleichstrom-Zugförderungssysteme
- [10.] Richtlinie C3 der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK): Richtlinie zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen
- [11.] Regelwerk Technik Eisenbahn RTE 27900 Rückleitungs- und Erdungshandbuch Verband öffentlicher Verkehr

2.2 Abkürzungen

| | |
|-------|--|
| BWE | Bauwerkserde |
| EWE | Erdsystem des Elektrizitätswerks |
| GR | Gleichrichteranlage |
| HAK | Hausanschlusskasten |
| H-PAS | Haupt Potenzialausgleichsschiene |
| LSA | Licht Signal Anlage |
| RCD | Residual Current Device |
| RLS | Rückleitungs- und Erdsystem |
| TN-S | Terre Neutre Séparé |
| USV | Unterbruchsfreie Stromversorgung |
| VLD | (Nieder)-Spannungsbegrenzer (voltage limiting device) Fehlerschutz |



3 Allgemeine Beschreibung

Die Ein- und Ausschaltinformationen werden in der Apparatekabine (AK) verarbeitet und steuern die Bahnsignale, den Schranken Antrieb und die Strassensignale. BUe können vom Stellwerk aus oder in autarker Form betrieben werden. Bestimmte Aufgaben lassen sich mit unterschiedlichen Betriebsmitteln erfüllen, so die Gleisfreimeldung z. B. mit Gleisstromkreisen, Radsensoren, Balisen, Funk oder zuletzt mit „Fahren auf Sicht.“

4 Innenanlagen

Der Aufbau der Energieversorgung in der Apparatekabine ist in der Beilage 1 beschrieben. Hier werden nur die Grundlegenden Anforderungen an die BUe Steuerung wiedergegeben.

4.1.1 BUe Steuerschrank

- Sämtliche Leitungen die von aussen in die BUe Steuerung eingeführt werden sind mit einem Überspannungsschutz gesichert.
- Überspannungsschutzgeräte sind mit Leitungslängen unter 0.50 m anzuschliessen.
- Die N-Schiene ist gegen den Schrank zu isolieren. Sie darf keine Verbindung zur (BWE-PAS) bzw. zur Erde haben. Keine Verletzung des TN-S Prinzips
- Der metallene Schrankrahmen / Gestell ist an die H-PAS anzuschliessen.
- Der metallene Rahmen der Steuereinheit ist an die H-PAS anzuschliessen.

5 Aussenanlagen

Die von der BUe Steuerung versorgten Aktoren werden in der Netzform TT angeschlossen. Ein allfällig mitgeführter Schutzleiter (PE) wird nicht angeschlossen und isoliert verwahrt. Sämtliche Aussen-elemente wie Anschlusskasten, Schranken-antriebe, Strassen- und Bahnsignale, etc. werden erdfühlig gestellt und an den Schutzleiter des Bauwerks BWE angeschlossen. Im fehlerfall, Fahrleitungs-riss und Beaufschlagung eines Elements in der Zone 1, wird der Kurzschluss über den VLD auf das RLS abgeleitet. Hier ist zu beachten, dass die Erdungsleitung den Fehlerstrom sicher führen kann .

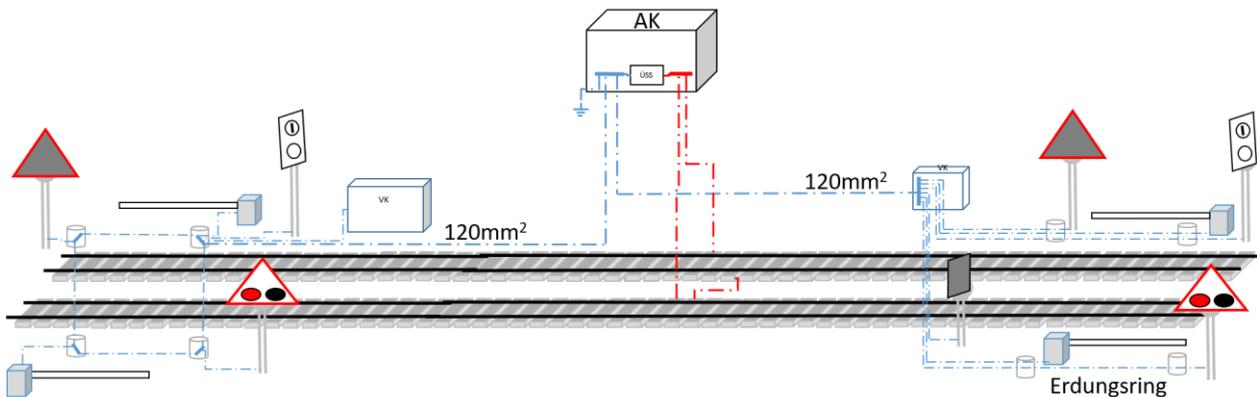


Abb. 1: BUe Aussenanlagen

5.1 Verbindungsschutzleiter AK → VK

Die Verbindung von der H-PAS aus der AK zur Sammelerschiene im Verteilkasten VK diese Verbindung kann mehrere hundert Meter lang sein. Hier muss der Schlaufenwiderstand besonders beachtet werden.

5.1.1 Dimensionierung

Mit den im BLT Netz zu erwartenden Kurzschlussströmen und Abschaltzeiten reicht bis einer Distanz von 100 m ein 120 mm² ab dieser länge muss der Querschnitt berechnet werden.

5.2 Anschlusschutzleiter VK → Element

Bahnübergangselement wie Schranken-antriebe, Haltesignale, Wechselblinker, etc. werden je nach Situation direkt an den Ringleiter angepresst oder im VK an die Sammelerschiene angeschlossen.

5.2.1 Dimensionierung

Bis zu einer Distanz von 50 m werden Sämtliche Bahnübergangselemente werden mit 70 mm² an den Ringleiter, bzw. an die Sammelerschiene angeschlossen. Bei längeren Distanzen muss eine Kurzschlussberechnung gemacht werden.

5.3 Kabelmantel Behandlung

Von aussen eingeführte Kabel

- Metallische Bewehrungen und Kabelschirme dürfen bei Gleichstrombahnen nur an einem Kabelende geerdet werden, damit sie nicht durch Bahnrückströme übermässig thermisch



belastet werden. Das offene Schirmende muss aus Gründen des Personenschutzes isoliert werden.¹

- Schirme und metallene Bewehrungen sind mit der Kabelmantel-Sammelschiene (KSS) der Quelle zu verbinden.

¹ D RTE 27900 (Kap. 9.6)