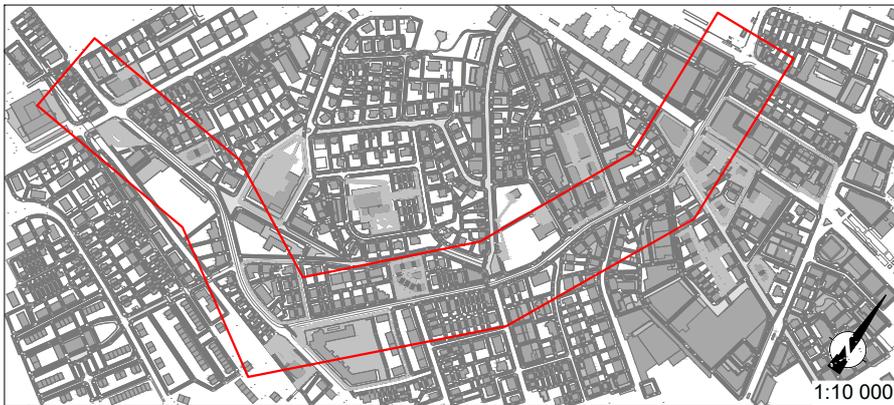


Gleisersatz Brunnhof - Fischermätteli

Plangenehmigungsverfahren Ordnungszahl 14.06

Erdungskonzept
Fischermätteli - Brunnhof



Stand: 31.01.2024

	Datum	Auftraggeber	gez.	Beschreibung / Änderung
A				
B				
C				
D				
E				
F				

	Name	Datum
Proj.	FMD	31.01.24
gez.	ASR2	31.01.24
gepr.	FMD	31.01.24

Format : 297 / 210

Unterschriften :

BERNMOBIL

.....
René Schmied
Direktor

.....
Samuel Masmajan
Projektleiter Infrastrukturplanung

Furrer + Frey

.....
Fabian Maillard
Gesamtprojektleiter



ENOTRAC 

BERNMOBIL
ZUSAMMEN UNTERWEGS

Erdungs- und Rückleitungskonzept Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL

Bericht zum Konzept

ECH-192.51-001
Version 1.0

Auftraggeber:

BERNMOBIL Städt. Verkehrsbetriebe Bern
Eigerplatz 3
Postfach
3000 Bern 14

Herausgeber:

ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
CH-3600 Thun
Tel. +41 33 346 66 11
Fax +41 33 346 66 12
info@enotrac.com
www.enotrac.com

Freigegeben
08.04.2021

ECH-192.51-001.V1.0.Konzept_Erdung_Rueckleitung.docx
© ENOTRAC AG

Aktuelle Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
1.0	08.04.2021	Freigegeben	C. Sauter	S. Nydegger	U. Fuchs (BERNMOBIL)

Vorherige Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Änderungen seit der vorherigen Version

Urheberrecht

Dieses Dokument wurde durch ENOTRAC AG im Auftrag des Kunden erarbeitet. Für das Dokument und den darin dargestellten Gegenstand erhält der Kunde das Nutzungsrecht. Die Urheberrechte liegen bei ENOTRAC AG. Vervielfältigung, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhalts über die vorgesehene Nutzung hinaus sind ohne schriftliche Zustimmung verboten.
© ENOTRAC AG

Bookmarks

Projekttitlel	ProjTitle1	Erdungs- und Rückleitungskonzept
	ProjTitle2	Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL
Berichttitlel	DocTitle1	Bericht zum Konzept
	DocTitle2	
	DocTitle3	
Berichtnummer	DocNumber	ECH-192.51-001
Auftraggeber	ClientName	BERNMOBIL Städt. Verkehrsbetriebe Bern
	ClientAddr	Eigerplatz 3 Postfach 3000 Bern 14
Logos	EnoLogoHeader	
	ClientLogo1Header	
	ClientLogo2Header	
Kontakt	Contact	Claudia Sauter, Tel. +41 33 346 66 47
	Contact_Mail	claudia.sauter@enotrac.com

Inhalt:

1	Einleitung	5
2	Grundlagen	6
2.1	Gesetzesgrundlagen	6
2.2	Anerkannte Regeln der Technik	6
2.3	Weitere Grundlagen	6
2.4	Abkürzungen und Begriffe	7
3	Systembeschreibung	8
4	Grundsätze des Konzepts	11
4.1	Anforderungen an das Konzept	11
4.2	Übergeordnete Massnahmen	11
4.2.1	Verhindern von gefährlichen Berührungsspannungen	11
4.2.2	Gewährleistung der sicheren Rückstromführung im Tramnetz	13
4.2.3	Gewährleistung Schutz vor Streustrom	14
4.2.4	Regelmäßige Inspektionen der Rückleitungs- und Erdungssysteme	14
4.3	Einzusetzende Leitertypen für typische Verbindungen	15
4.4	Einsatz Spannungsbegrenzer und Spannungsüberwachung für Personenschutz	16
4.5	Erdung Trolleybusnetz	16
4.5.1	Gleichrichterstation mit Speisung des Tramnetzes	16
4.5.2	Gleichrichterstation ohne Speisung des Tramnetzes	16
4.5.3	Beeinflussung durch Wechselstrombahnen	17
4.6	Prinzip-Skizzen / Schemata	18
5	Objektspezifische Massnahmen	19
5.1	Gleichrichterstationen	19
5.1.1	Erdsysteme	19
5.1.2	Gleichrichter-Sammelschienen und -Abgänge	19
5.1.3	Erdung Trolleybusnetz	20
5.1.4	Kabel	20
5.1.5	Überspannungsableiter	20
5.1.6	50-Hz Versorgung	21
5.2	Einspeisung und Rückleitung	21
5.2.1	Streckentrennungen Trolleybusnetz	21
5.2.2	Rückleiteranschluss	21
5.2.3	Blitzschutz	22
5.3	Strecke	22
5.3.1	Fahrleitung und Fahrleitungsmasten	22
5.3.2	Zone besonderer Massnahmen	23
5.3.3	Elektrisch leitende Elemente in Fahrleitungsnähe	23
5.3.4	Beeinflussung von Wechselstrombahnen	23
5.3.5	Spannglieder, Mikropfähle und Anker	24
5.3.6	Gleisanlagen Tramnetz	24
5.3.7	Öffentliche Beleuchtung	24
5.3.8	Weichenheizungen und Weichensteuerungen	25

5.4	Haltestellen	25
5.5	Kreuzung Fahrleitungen Tram und Trolleybus	25
5.6	Brücken	26
5.7	Depots	26
6	Referenzen	27
6.1	Normen / Gesetze / Richtlinien	27
6.2	Dokumente im Anhang	28

1 EINLEITUNG

Das vorliegende Konzept liefert Angaben zu folgenden Themen des Bahnenergieversorgungssystems von BERNMOBIL (Tram und Trolleybus):

- Erdung und Rückstromführung
- Blitzschutz
- Einhaltung von Berührungsspannungen
- Streustromschutz

Basierend auf Gesetzesgrundlagen und Normen werden Grundsätze für eine sichere Stromrückführung und Erdung des Bahnsystems formuliert. Folgende typische Anlageteile der Bahnstromversorgung werden vertieft betrachtet:

- Gleichrichterstationen mit Speisung des Trolley- und / oder Tramnetzes
- Einspeisung und Rückleitung
- Strecke (Masten, Gleisanlagen, öffentliche Beleuchtung, etc.)
- Haltestellen

Das vorliegende Dokument ist ein generisches Konzept und stützt sich bezüglich des Umfangs und behandelten Themen auf die hoheitlichen Vorschriften gemäss Kapitel 2. Es dient als Basis für die detaillierte Planung der Erdung und Stromrückführung bei konkreten Projekten im BERNMOBIL-Netz und soll in die bestehende Projektierungsrichtlinie von BERNMOBIL zu Fahrstrom und Sicherungsanlagen [22] integriert werden.

In Kapitel 2 und 3 sind die Grundlagen zur Erarbeitung des Konzepts und das betrachtete System beschrieben. Die Grundsätze und übergeordnete Massnahmen werden in Kapitel 4 behandelt. Für die objektspezifischen Massnahmen wurden Prinzip-Skizzen erstellt (siehe Kapitel 4.4). Die wichtigsten Erläuterungen zu den Skizzen sind in Kapitel 5 zu finden.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Gesetzesgrundlagen

Für den Bau und Betrieb von elektrischen Anlagen im Bereich von Eisenbahnen und Trolleybus gelten für den Teil Rückstromführung, Erdung und Streustrom folgende Vorschriften:

- Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (EBV, SR 742.141.1, [1]) und deren Ausführungsbestimmungen (AB-EBV, [2])

Subsidiär zur EBV gelten nach Artikel 2 EBV folgende Verordnungen:

- Schwachstromverordnung, SR 734.1 [3]
- Starkstromverordnung, SR 734.2 [4]
- Niederspannungs-Installationsverordnung, NIV, SR 734.27 [5]

Nach Artikel 2 EBV gelten als anerkannte Regeln der Technik die einschlägigen EN- und IEC-Normen sowie die Richtlinien des SEV.

2.2 Anerkannte Regeln der Technik

Als anerkannte Regeln der Technik werden im Bereich Erdung im Bahnbereich die folgenden europäischen Normen angewendet:

- EN 50122-1 [6]
- EN 50122-2 [7]
- EN 50122-3 [8]

Weisungen und Leitsätze:

- Richtlinie C3 der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK): Richtlinie zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen [14]
- D RTE 27900, Rückleitungs- und Erdungshandbuch [15]
- SNG 483755 Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen [16]
- SNR 464113 Fundamenterder [17]
- SNR 464022 Blitzschutzsysteme [18]

2.3 Weitere Grundlagen

- BERNMOBIL Projektierungsrichtlinie Fahrstrom + Sicherungsanlagen [22]
- ewb Werknormen Netzbau WN 17 Gleichrichterstation [24]

2.4 Abkürzungen und Begriffe

AB-EBV	Aus Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
AC	Wechselstrom (alternating current)
BERNMOBIL	Städtische Verkehrsbetriebe der Stadt Bern
BWE	Bauwerkserde
DC	Gleichstrom (direct current)
EBV	Eisenbahnverordnung
EKS	Erdungskurzschliesser
ewb	Energie Wasser Bern
EWE	Erdsystem der Elektrizitätsversorgung von ewb der Stadt Bern
HPAS	Hauptpotentialausgleichsschiene
NIV	Niederspannungs-Installationsverordnung
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn
RLS	Rückleitungs- und Erdungssystem der Bahn
SEV	Gewerkschaft des Verkehrspersonals

3 SYSTEMBESCHREIBUNG

Nachfolgend die Beschreibung des Energieversorgungssystems für das Tram- & Trolleybusnetz von BERNMOBIL (Städtische Verkehrsbetriebe für die Stadt Bern und Umgebung) mit Fokus auf Erdung und Rückleitung:

Energieversorgung Tramnetz

Die Energieversorgung der Tramlinien erfolgt mit 600 VDC Nennspannung. Diese wird über Gleichrichterstationen ab dem Mittelspannungsnetz der ewb (3-phasig, AC 50 Hz) bereitgestellt. Mehrere Gleichrichterstationen von BERNMOBIL versorgen sowohl das Tramnetz wie auch das Trolleybusnetz (siehe nächster Abschnitt) mit Traktionsenergie. Aktuell versorgen 7 Gleichrichteranlagen beide Systeme und 6 Gleichrichterstationen lediglich das Tramnetz.

Die Versorgung der Fahrzeuge erfolgt über eine Fahrleitung (grundsätzlich als Einfach- oder vereinzelt als Kettenwerksfahrleitung) und die Rückstromführung über durchgehend miteinander verbundenen Schienen. Diese sind gegen das Erdreich isoliert montiert, um die DC-Streuströme zu minimieren. Die Tramlinien sind durchgängig zweispurig ausgebaut - ausser in den Wendeschleifen.

Mehrere Gleichrichterstationen versorgen das 600 V-Netz mit Energie, wobei das Versorgungsnetz über elektrische Trenner in der Fahrleitung (Hinleiter) in einzelne Speisesektoren unterteilt ist. Ab dem Gleichrichter wird die Fahrleitung über Leistungsschalter gespeist. Die Schalter sind über das Leitsystem von ewb schaltbar. Die Leistungsschalter verfügen über Schutzfunktionen, um Fehler an der Fahrleitung (Kurzschluss) zu detektieren und abzuschalten.

Energieversorgung Trolleybusnetz

Die Energieversorgung der Trolleybuslinien erfolgt mit derselben 600 VDC Nennspannung wie beim Tram.

Die Versorgung der Busse erfolgt über je einen Fahrdrabt als Hin- und Rückleiter. Bei Doppelspurabschnitten sind die Hinleiter-Fahrdrähte jeweils "innen" angeordnet. Es erfolgt keine Rückstromführung in der Erde, wie das bei Wechselstrombahnen in der Regel der Fall ist. Das Thema Streustrom kann daher für das Trolleybus-Netz ausgeklammert werden.

Analog zum Tramnetz wird die Trolleybusfahrleitung über Leistungsschalter in den Gleichrichterstationen gespeist und in einzelne Speisesektoren mit Trennung der Hin- als auch Rückleiter unterteilt. Die Speiseabschnitte der Trolleybusse und der Trams werden über separate Leistungsschalter in den Gleichrichterstationen gespeist und geschaltet.

Gemäss Kapitel 5.6.3.4 der EN 50122-1 [6] gilt für die Energieversorgung eines Trolleybus-Systems, welche mit einer Bahnenergieversorgung verbunden ist, folgende Anforderungen:

- *Ein Fahrdrabt der Obus-Fahrleitung muss unterbrechungsfrei mit der Rückleitung der Strassenbahn verbunden sein;*
- *Falls ein Schalter im Leiter zur Rückleitung der Strassenbahn eingebaut ist, muss ein weiterer Schalter im anderen Leiter*

angeordnet sein; die Schalter müssen so gegeneinander verriegelt sein, dass zuerst der Speiseschalter öffnet;

- *Die Obus-Rückleitung muss an mindestens einem Punkt mit der Straßenbahnrückleitung verbunden sein.*

In den Gleichrichterstationen, welche das Tram- und Trolleybusnetz speisen, ist der Fahrdraht-Rückleiter (Minus-Pol) daher mit dem Rückleitungssystem des Tramnetzes elektrisch verbunden.

Spannungserhöhung auf 750 VDC	BERNMOBIL prüft eine künftige Erhöhung der Nennspannung des Tram- und Trolleybusnetzes auf 750 VDC. Eine solche Anlage entspricht weiterhin einer Niederspannungsanlage (bis 1'500 VDC gemäss EN 50122-1 [6]). Das vorliegende Konzept bleibt daher auch nach einer Spannungserhöhung auf 750 VDC gültig. Eine höhere Nennspannung führt zudem tendenziell zu tieferen Strömen und dadurch auch zu tieferen Berührungsspannungen. Das vorliegende Konzept für 600 V ist hinsichtlich Berührungsspannungen somit auf der sicheren Seite.
Schnittstellen zu RBS	<p>Das Tramnetz ist über Streckentrenner (ein Trenner pro Fahrtrichtung) in der Nähe der Haltestelle Egghölzli mit dem Energieversorgungsnetz der RBS verbunden. Die Streckentrenner sind im Normalzustand offen. Die Rückleitung der beiden Netze ist jedoch über die Schienen verbunden.</p> <p>Die Tramstrecken der RBS sind teilweise lediglich einspurig ausgebaut. Bis zur Streckentrennung Seite BERNMOBIL führt jedoch eine Doppelspur.</p>
Schnittstellen zu ewb	Die Gleichrichterstationen sind Eigentum von BERNMOBIL und werden im Auftrag von BERNMOBIL durch ewb betrieben, überwacht und instandgehalten. Die Schnittstellen zur ewb sind im Schutzkonzept in [23] im Detail beschrieben.
Energieversorgung Beleuchtung, Haltestellen	Die Energieversorgung der Strassenbeleuchtung und der Haltestelleneinrichtungen erfolgt direkt ab dem öffentlichem 50-Hz-Netz der ewb.
Weichenheizung und Weichensteuerung	Die Speisung der Weichenheizungen erfolgt ab Fahrleitung mit 600 VDC. Die Rückstromführung erfolgt über die Schienen. Die Weichensteuerungen werden ab dem öffentlichen 50-Hz-Netz der ewb gespeist.
Trolleybusse	<p>Da bei einem Trolleybus-System kein Anschluss an einen Schutzleiter der Traktionsstromversorgung möglich ist, sind für alle elektrischen Betriebsmittel der Trolleybusse entsprechende Massnahmen nötig, wie</p> <ul style="list-style-type: none">• doppelt isoliert, angelehnt an Artikel 6.5.5 EN 50153 [12], und/oder• alle Teile, die durch einen Passagier beim Einstieg oder Verlassen des Fahrzeuges berührt werden können (Türen, Griffe, etc.), sind gemäss EN 50502 [11] mit einer dritten Isolation zu versehen. <p>Die korrekte Auslegung der Busse ist nicht Bestandteil des vorliegenden Konzeptes. Für das Erdungs- und Rückleitungskonzept wird aber grundsätzlich davon ausgegangen, dass die für Trolleybusse gültigen Normen eingehalten werden, u.a. EN 50502 [11].</p>

Tramfahrzeuge Das Gehäuse der Tramfahrzeuge ist via die Schienen mit dem Rückleitungssystem verbunden. Es sind daher fahrzeugseitig keine besonderen Massnahmen notwendig.

4 GRUNDSÄTZE DES KONZEPTS

4.1 Anforderungen an das Konzept

Nebst den Anforderungen für eine sichere Rückstromführung gemäss AB-EBV [2], Art 44.d Ziff. 1 müssen die folgenden übergeordneten Anforderungen im Bereich der Personensicherheit beherrscht werden:

- Verhindern einer Berührung eines unter Spannung stehenden Objekts (z.B. der Fahrleitung oder anderen unter Spannung stehenden Teile);
- Verhindern Stromschlag bei gleichzeitigem Berühren von zwei metallisch leitenden Objekten, wie dies beispielsweise zwischen zwei gleichzeitig berührbaren fremden Erdungssystemen möglich ist. Dabei gelten leitfähige Objekte bis auf eine Höhe von 2.5 m über der Standfläche und mit weniger als 1.75 m Direktabstand als gleichzeitig berührbar gemäss AB-EBV [2], Art. 44.d, Ziff. 2.3. Es gelten als zulässige Potenzialdifferenz Werte gemäss EN 50122-1 [6] und EN 50122-3 [8];
- Verhindern eines Abgriffes einer grösseren Berührungsspannung ab einer Schiene als in EN 50122-1 [6] und EN 50122-3 [8]: im Betrieb, bei einem Kurzschluss oder bei einem Unterbruch in der Rückstromführung zwischen einem beliebigen Schienenstück und der speisenden Quelle.

Zusätzlich zur Personensicherheit darf der Bahnrückstrom weder Anlagen der Eisenbahnen noch Anlagen Dritter unzulässig stören oder gefährden. Daraus abgeleitet folgende Anforderungen an die Rückstromführung:

- Verhindern von Streustrom der Gleichstrombahn, welcher aufgrund seiner Korrosionswirkung Schäden an metallischen Strukturen (Armierungen, Rohren, Brücken, ...) hervorrufen kann. Dem Streustrom von Gleichstrombahnen ist daher besondere Beachtung zu schenken. Dabei sind die Anforderungen gemäss EN 50122-2 [7] Rechnung zu tragen (Streustrom = Anteil vom Traktionsstrom, der nicht über die dafür vorgesehenen Rückleiter zurück in die Gleichrichterstation fliesst);
- Verhindern von thermischer Überlastung von elektrischen Betriebsmitteln durch Rückströme der Bahn im Betriebs- wie auch im Kurzschlussfall.

4.2 Übergeordnete Massnahmen

4.2.1 Verhindern von gefährlichen Berührungsspannungen

Mit den nachfolgend genannten Massnahmen kann ein Stromschlag durch Berührung zweier Elemente, die nicht am gleichen Erdsystem angeschlossen sind, ausgeschlossen werden. Die formulierten bei Projekten von BERNMOBIL anwendbaren Prinzipien stützen sich auf die EBV Art. 44 [1] und deren AB-EBV AB 44d [2] sowie die Norm EN 50122-1 [6].

- 1) Grundsätzlich müssen elektrisch leitende Elemente mit dem Rückleitungssystem (RLS) verbunden werden, die sich in der Zone besonderer Massnahmen gemäss AB-EBV [2] AB 44d Ziff. 4.1.1 und EN 50122-1 Kapitel 4.1 [6] befinden. Dabei gelten bei den reinen DC-Gleisen (Niederspannung $\leq 1'500$ VDC, resp. $1'000$ VAC) für die Kenngrösse $X = 2$ m links und rechts jeder Gleisachse. Alle anderen metallisch leitenden Objekte ausserhalb der Zone besonderer

Massnahmen werden entweder an die Erde des speisenden Netzes (EWE) angeschlossen oder sind über deren Fundament mit der entfernten Erde verbunden (BWE).

- 2) Bei elektrischen Betriebsmitteln in der Zone besonderer Massnahmen ist gemäss EN 50122-1 [6] Kapitel 6.2 zu verfahren. Der Einsatz von elektrischen Betriebsmitteln in dieser Zone ist, wenn immer möglich, zu vermeiden.
- 3) Bei metallisch leitenden Objekten ohne elektrische Betriebsmittel in der Zone besonderer Massnahmen ist gemäss EN 50122-1 [6] Kapitel 6.3 zu verfahren.
 - a. Gemäss EN 50122-1, Kapitel 6.3.1.2 [6] müssen kleine leitende Teile ohne elektrische Einrichtungen nach EN 61140 [10], die sich in der Zone besonderer Massnahmen befinden (z.B. Schachtdeckel, Schutzgitter usw.), nicht mit dem RLS verbunden werden. Es muss jedoch aus einer beliebigen Richtung erkennbar sein, ob ein aktiver Leiter das leitende Teil berührt.
 - b. In der Zone besonderer Massnahmen kann anstelle der Verbindung mit dem RLS gemäss EN 50122-1 [6], Kapitel 6.3.1.4 ein Hindernis zwischen Fahrleitung und leitfähigem Element angeordnet werden. Das Hindernis muss mindestens so breit sein, wie der Stromabnehmer- oder Oberleitungsbereich und mindestens 0.5 m über das Element herausragen. Zudem muss das Hindernis die Isolationsanforderungen für Schutzklasse II erfüllen oder mit der Rückleitung verbunden werden. Diese Massnahme ist bei temporären Systemen dem Erden an das RLS gemäss Punkt 1) zu bevorzugen.
 - c. Gemäss EN 50122-1 [6], Kapitel 6.3.1.5 müssen leitende Elemente nicht mit dem RLS verbunden werden, wenn ein blankes, leitfähiges und mit der Rückleitung verbundenes Bauteil in geeigneter Ausführung zwischen der Fahrleitung / dem Stromabnehmer und dem zu schützenden Bauteil angeordnet ist.
- 4) Zwischen dem RLS und fremden Erdsystemen – hier beispielsweise EW-Erde (EWE) – muss gemäss AB-EBV [2], Art. 44.d, Ziff. 2.3 überall und jederzeit bis auf eine Höhe von 2.5 m über Boden ein minimaler Sicherheitsabstand von 1.75 m gewährleistet sein. Dadurch kann ein Stromschlag durch gleichzeitige Berührung zwischen den zwei fremd geerdeten Erdsystemen ausgeschlossen werden. Falls dieser Sicherheitsabstand von 1.75 m nicht eingehalten werden kann, muss eine der folgenden Massnahmen umgesetzt werden (die Reihenfolge repräsentiert die Priorität der Massnahmen):
 - Objekt verschieben.
 - Isolation vom fremden Erdsystem: wie beispielsweise bei Leuchten mittels Speisung über Fehlerstromschutzschalter (RCD) und Isolationsklasse II oder räumliche Abtrennung mittels elektrisch nichtleitender Trennwände.
 - Trennung der Speisungssysteme mit Trenntransformatoren.
 - Verbindung: Dauernde Verbindung, wie zum Beispiel bei Einrichtungen im Perronbereich oder zeitlich begrenzte Verbindungen mittels automatischen Kurzschliessern (siehe Kapitel 4.4).

Das Flussdiagramm in der nachfolgenden Abbildung 4-1 fasst das Vorgehen der Punkte 3) und 4) zusammen.

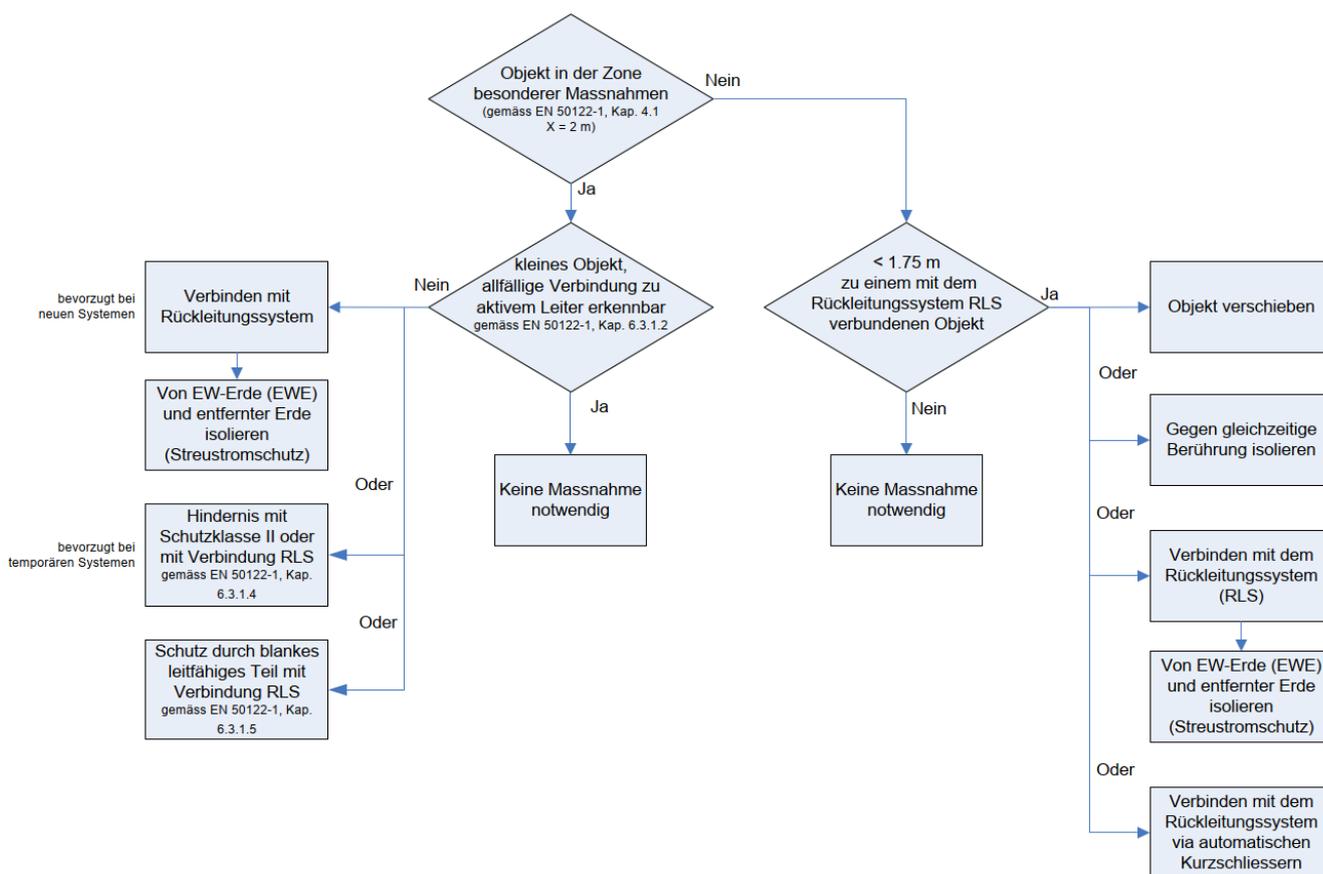


Abbildung 4-1: Vorgehen zur Festlegung einer Massnahme für metallisch leitende Objekte ohne elektrische Betriebsmittel in der Zone besonderer Massnahmen und für nahegelegene Objekte mit verschiedenen Erdsystemen.

4.2.2 Gewährleistung der sicheren Rückstromführung im Tramnetz

Die folgenden Grundsätze für das Tramnetz basieren auf den AB-EBV [2], Art. 44.d, Ziff. 1 und EN 50122-1 [6] und gewährleisten eine vollständige und zuverlässige Rückführung des Bahnstroms.

- 5) An jedem beliebigen Punkt im Projektperimeter dienen immer zwei Schienen pro Gleis zur Rückstromführung ab Fahrzeugrad oder sonstigen ab Fahrleitung gespeisten Verbrauchern (wie Weichenheizung). Die zur Rückleitung verwendeten Schienen sind über Weichen und Querverbindungen im Gleisbereich mehrfach parallelgeschaltet. Da alle Tramlinien von BERNMOBIL als Doppelspur ausgebaut sind, sind durch die zwei parallelen Gleise zwei unabhängige Rückstrompfade garantiert. Falls eine Einspurstrecke gebaut wird, ist ein Rückleiterseil als zweiter unabhängiger Rückstrompfad zu installieren.
- 6) Die Festigkeit und Leitfähigkeit der Schienenverbindungen und -anschlüsse dürfen durch betriebsbedingte Veränderungen der Gleislage und durch die von Fahrzeugen herrührenden Erschütterungen nicht beeinträchtigt werden. Die Verbindungen und Anschlüsse dürfen die Festigkeit der Schienen nicht beeinträchtigen (AB-EBV [2], Art. 44.d, Ziff. 1.5.2 und 1.5.5).
- 7) Gemäss EN 50122-1 [6], Kapitel 10.3.3 müssen Gleisverbinder in geeigneten Abständen vorgesehen werden, um den Strompfad für den Bahnrückstrom zu gewährleisten und somit die Sicherheitskriterien für die Berührungsspannung sowohl unter Betriebsbedingungen als auch im Fehlerfall einzuhalten.

- 8) Gemäss EN 50122-1 [6], Kapitel 10.3.1 muss die Anzahl der Rückleitungsanschlussleiter zu den Fahrschienen die Unterbrechung eines Rückleiteranschlussleiters berücksichtigen («N-1 Kriterium»).
- 9) Gemäss AB-EBV [2], Art. 44.d, Ziff. 1.6.2 müssen Anschlüsse des Unterwerks an die Fahrschienen bei bis Oberkante eingedeckten Rillenschienen, über mindestens 5 m Gleisstrecke verteilt werden.
- 10) Leiter und deren Anschlüsse müssen den dynamischen und thermischen Belastungen im Kurzschlussfall standhalten. Leiter und Anschlussstellen müssen kontrollierbar sein. Wo eine Sichtkontrolle nicht möglich ist, muss die elektrische Prüfung der Einzelleiter möglich sein (AB-EBV [2], Art. 44.d, Ziff. 1.5.4).

4.2.3 Gewährleistung Schutz vor Streustrom

Die nachfolgend formulierten Massnahmen dienen dem Schutz vor DC-Streuströmen. Gesetzlich massgebend sind die AB-EBV [2], Art. 44.d, Ziff. 3.

- 11) Um den Rückstrom in den für die Rückstromführung vorgesehenen Leitern zu konzentrieren, ist das RLS von BERNMOBIL konsequent von fremden Erdsystemen und von der entfernten Erde zu isolieren. Allfällige sicherheitsbedingte Verbindungen zwischen fremden Erdsystemen (Schutzmassnahme gegen Berührungsspannung) werden ausschliesslich als zeitlich begrenzte Verbindungen durch Erdungskurzschliesser ausgeführt. Eine Ausnahme bilden die Depotanlagen, siehe Punkt 15). Die Effizienz der Erdsystemtrennung muss überprüft werden können.
- 12) Um den über das Erdreich (und die darin eingebetteten elektrisch leitenden Elemente) zurückfliessenden Rückstromanteil zur Gleichrichterstation zu minimieren, müssen alle rückstromführenden Objekte, respektive alle an das RLS angeschlossene Objekte, isoliert montiert werden. Der Ableitbelag (reziproker Wert des längenbezogenen Bettungswiderstands) zwischen den Schienen und der Erde muss gemäss EN 50122-2 [7] bei offenem Oberbau kleiner sein als 0.5 S/km pro Gleis, bei geschlossenem Oberbau kleiner als 2.5 S/km pro Gleis.
- 13) Sämtliche Querverbindungen zwischen den Rückleitern (wie Schiene-Schiene, Schiene-Rückleiter) müssen gemäss EN 50122-2 [7] Kapitel 6.2.7 mindestens einfach elektrisch isoliert sein (T-Seil gelb, siehe Kapitel 4.3).
- 14) Da im gesamten Projektperimeter eine Gefährdung durch Streustromkorrosion nicht ausgeschlossen werden kann, ist bei bahnnahen Kunstbauten (z.B. Brücken, Unterführungen, etc.) eine Trennung von Rückleitungssystem und Bauwerkserde erforderlich.
- 15) Neue Depot-Anlagen werden durch einen separaten Gleichrichter gespeist. Die Schienen am Übergang zwischen Strecke und Depotbereich werden dabei mit versetzten Isolierstücken aufgetrennt (Inselbetrieb, gemäss SGK Richtlinie C3 [14], Kapitel 22430.2). Diese Konfiguration ermöglicht die direkte Verbindung der Bauwerkserde mit dem Rückleitersystem im Depotbereich für einen verbesserten Personenschutz innerhalb des Depots, insbesondere der Werkstätten.

4.2.4 Regelmäßige Inspektionen der Rückleitungs- und Erdungssysteme

- 16) Gemäss AB-EBV AB 46.1 Ziff. 2.3 [2] bestimmt der Betriebsinhaber für jeden Anlageteil und für die Arbeitsmittel eine Kontrollperiode. Der allgemeine Rahmen bezüglich der Kontrollperioden

ist in der Starkstromverordnung [4] festgelegt. Für die elektrischen Anlagen gelten insbesondere folgende Kontrollperioden:

- a. jährlich, für Schutzapparate zwischen Rückleitungs- und Erdungssystemen untereinander und miteinander und Teilen von solchen (insbesondere Kurzschliesser), sowie für die Verriegelungssysteme und Rückleiter in Depots und Instandhaltungseinrichtungen, Kurzschluss- und Erdungsvorrichtungen, Verbindungsvorrichtungen mit der Rückleitung, Erdungsschalter, doppelte Isolationen mit nicht geerdeter bzw. mit der Rückleitung verbundener Zwischenmasse, Schienenverbinder, Speisung abgestellter Fahrzeuge,
- b. alle zehn Jahre, für die übrigen Teile des Rückleitungs- und Erdungssystems, sowie elektrische Niederspannungsinstallationen, die ganz oder überwiegend dem Bahnbetrieb dienen (bahnspezifische elektrische Niederspannungsanlagen).
- c. Für elektrische Schutzeinrichtungen gelten die Anforderungen gemäss AB-EBV [2] AB 44.f, Ziff. 1.5: Die Prüfung des gesamten Schutzsystems wird den Sicherheitsanforderungen der konkreten Anlage und den vorhandenen Funktionen wie Selbstüberwachung, Fehlerfallanalyse und redundante Schutzsysteme angepasst.

Für die Instandhaltung der Gleichrichterstationen ist die ewb zuständig (siehe Kapitel 3).

Für die Kontrolle aller anderen Anlageteile ist BERNMOBIL zuständig.

4.3 Einzusetzende Leitertypen für typische Verbindungen

Falls in konkreten Fällen nicht anders vermerkt (z.B. in Schemata), sind für die elektrischen Verbindungen für die Rückleitung und Erdung im Mindesten die folgenden Leitertypen anzuwenden (ein grösserer Querschnitt darf verwendet werden):

Verbindung	Leitertyp	Querschnitt [mm ²]	Isolation	Farbe	Bemerkung
Anschluss elektrische Betriebsmittel an RLS	Cu	1x50	doppelt	gelb-grün	
Potentialausgleichsleiter in der Zone besonderer Massnahmen	Cu	1x50	doppelt	gelb-grün	z.B. für Anschluss Zäune / Geländer
Quer- und Gleisverbindungen	4 GKW-AX 1500V	1x120	doppelt	gelb	
Rückleitung zu den GR Anlagen Tramnetz	Cu, Typ GKN	4x240	doppelt	gelb	
Rückleitung zu den GR Anlagen Trolleybusnetz	Cu, Typ GKN	2x150	doppelt	gelb	
Steigleitungen Trolleybusnetz	4 GKW-AX 1500V	2x2x120 je Sektor	doppelt	gelb	
Blitzschutz	4 GKW-AX 1500V	1x95	doppelt	gelb	
Masterdung	4 GKW-AX 1500V	1x95	doppelt	gelb	

Tabelle 4-1: Übersicht der zu verwendenden Leitertypen basierend auf [22]

4.4 Einsatz Spannungsbegrenzer und Spannungsüberwachung für Personenschutz

In jeder Gleichrichterstation wird zwischen der Rückleitersammelschiene und der Hauptpotentialausgleichsschiene der EW-Erde eine Spannungsüberwachung installiert, welche bei unzulässig hohen Berührungsspannungen die GR-Anlage abschaltet.

Für Tramhaltestellen gilt folgendes: Grundsätzlich ist bei jedem Neubau / jeder Sanierung einer Haltestelle der Platz und die Anschlüsse für einen Spannungsbegrenzer zwischen den Schienen und der Hauptpotentialausgleichsschiene der EW-Erde vorzusehen. Installiert werden die Begrenzer jedoch lediglich, falls zu hohe Berührungsspannungen auf einem Speiseabschnitt auftreten würden.

Die Spannungsbegrenzer müssen die Anforderungen gemäss EN 50122-1 [6] Anhang F, Typ VLD-O (en: voltage limiting device for operation), erfüllen. Je nach Situation und Platzbedarf können entweder passive Spannungsbegrenzer («VLD») oder aktive Spannungsbegrenzer mit fernüberwachbarer Steuerung («EKS») eingesetzt werden. Wenn passive Spannungsbegrenzer installiert werden, müssen diese zusätzlich mit einer Überwachungsgerät ausgerüstet werden, damit allfällige Störungen an das Leitsystem oder den Pikettdienst übermittelt werden.

4.5 Erdung Trolleybusnetz

4.5.1 Gleichrichterstation mit Speisung des Tramnetzes

Aktuell wird das Trolleybusnetz durch Gleichrichterstationen gespeist, welche gleichzeitig auch das Tramnetz mit Traktionsenergie versorgen. Die Fahrdraht-Rückleiter (Minus-Pol) sind in der Gleichrichteranlage mit dem Rückleitungssystem des Tramnetzes elektrisch verbunden und werden bei den Streckentrennungen analog zu den Fahrdraht-Hinleitern getrennt (siehe Kapitel 3).

Bei neuen Gleichrichteranlagen mit gleichzeitiger Speisung der beiden Netze soll dieses Prinzip beibehalten werden («Energieversorgung des Obus verbunden mit der Bahnenergieversorgung einer Strassenbahn» gemäss EN 50122-1 [6]).

4.5.2 Gleichrichterstation ohne Speisung des Tramnetzes

4.5.2.1 Verbindung zum «Stammnetz»

Bei (neuen) Gleichrichteranlagen, welche lediglich das Trolleybusnetz speisen, kann in den Gleichrichterstationen der Fahrdraht des Minus-Pols offensichtlich nicht an das Rückleitungssystem des Tramnetzes angeschlossen werden. Daher darf der Fahrdraht des Minuspols bei den Streckentrennungen bei der Verbindung zum «Stammnetz» nicht getrennt werden, wie das sonst üblich im Netz von BERNMOBIL erfolgt. Damit wird sichergestellt, dass bei allen Speisevarianten die Rückleiter in den neuen Speiseabschnitten mit den Rückleitern des bestehenden Trolleybusnetzes (und damit mit dem RLS des Trams) verbunden bleiben.

4.5.2.2 Inselnetz

Aktuell ist bei BERNMOBIL noch keine solche Anlage in Betrieb (Stand 2021), jedoch könnten solche gebaut werden. Aus diesem Grund hierzu die Anforderungen, welche bei der Planung / Realisierung beachtet werden müssen.

Bei potenziellen Neubauten von Gleichrichteranlagen, welche ein vom «Stammnetz» isoliertes Trolleybus-Inselnetz speisen, also ohne direkte elektrische Verbindung zum bestehenden Trolleybusnetz, gilt folgendes Prinzip hinsichtlich Erdung- und Rückleitung:

- Das Inselnetz wird symmetrisch, also erdfrei, betrieben («Nicht geerdete Obus-Anlage» gemäss EN 50122-1 [6]). Somit ist das RLS von BERNMOBIL konsequent von anderen Erdsystemen getrennt und Streuströme werden minimiert. Wird ein Speiseabschnitt abgeschaltet, müssen stets beide Fahrdrähte freigeschalten werden, d.h. die Schalter von beiden Polen sind miteinander verriegelt (auch Anforderung aus Norm EN 50122-1 [6]).
- Der Isolationszustand der Leiter gegen Erde wird mithilfe einer Isolationsüberwachung in jeder Gleichrichteranlage des Inselnetzes permanent überwacht. Der Zustand der Isolationsüberwachung muss dabei ans Leitsystem übermittelt werden (→ wird auch eine Anpassung des Schutzkonzeptes nach sich ziehen). Bei einem entdeckten Isolationsfehler ist zwar kein unmittelbarer Handlungsbedarf nötig (z.B. keine Abschaltung der Anlage erforderlich), aber die Fehlerstelle muss spätestens in der nächsten Betriebspause (Nacht) ermittelt und behoben werden.
- Beide Fahrdrähte werden bei den Streckentrennungen getrennt (analog dem «Stammnetz»).

4.5.3 Beeinflussung durch Wechselstrombahnen

In der Nähe von parallel verlaufenden Fahrleitungen von Wechselstrombahnen (oder parallelen Hochspannungsleitungen) können aufgrund der Wechselwirkungen Spannungen und Ströme in den Trolleybus-Fahrdrähten induziert werden. Gemäss der EN 50122-3 [8] müssen entsprechend der Stärke der induzierten Spannungen geeignete Massnahmen ergriffen werden. Dies gilt insbesondere für abgeschaltete nicht-geerdete Trolleybus-Speiseabschnitte zum Schutz vor gefährlichen oder unangenehmen Berührungsspannungen.

Auf einem ausgeschalteten Trolleybus-Speiseabschnitt von BERNMOBIL werden die beiden Fahrdrähte miteinander verbunden. Die Fahrdrähte werden grundsätzlich nicht geerdet und sind nicht zwingend mit dem RLS des Tramnetzes verbunden. Bei Speiseabschnitten in der Nähe von parallel verlaufenden Wechselstrombahnen können daher Spannungen induziert werden, welche bei Berührung unangenehm oder gefährlich sind. Deshalb sind bei solchen Sektoren die folgenden zusätzlichen Vorsichtsmassnahmen zu ergreifen:

In regelmässigen Abständen sind Masten zu erden (Fundamenterder) und mit Erdungskasten auszurüsten, über welche die beiden Fahrdrähte einerseits elektrisch verbunden und andererseits geerdet werden können.

4.6 Prinzip-Skizzen / Schemata

Das Rückleitungs- und Erdungskonzept für das Bahnenergieversorgungssystem von BERNMOBIL ist grundsätzlich durch Prinzip-Skizzen dokumentiert, welche mit vorliegendem Dokument erläuternd ergänzt werden. Nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Schemata. Grundsätze, welche für die Erdung und Rückleitung relevant sind, sind in den Schemata mit Nummern gekennzeichnet.

Titel Prinzipschema	Ref.	Dokumenten-ID	Blatt Nr.	Verweis auf Kapitel für Erläuterung
Gleichrichterstation Tram- & Trolleybusnetz	[25]	ECH-192.51-002	A	5.1
Gleichrichterstation Trolleybus-Inselnetz	[26]	ECH-192.51-002	B	5.1
Einspeisung, Rückleitung, Strecke Tramnetz	[27]	ECH-192.51-002	C	5.2, 5.3
Einspeisung, Rückleitung, Strecke Trolleybusnetz	[28]	ECH-192.51-002	D	5.2, 5.3
Tramhaltestelle und Zone besonderer Massnahmen	[29]	ECH-192.51-002	E	5.4
Trolleybushaltestelle und Zone besonderer Massnahmen	[30]	ECH-192.51-002	F	5.4

Tabelle 4-2: Liste der Schemata zum Rückleitungs- und Erdungskonzept des Tram- und Trolleybusnetzes von BERNMOBIL.

5 OBJEKTSPEZIFISCHE MASSNAHMEN

5.1 Gleichrichterstationen

Siehe hierzu das Schema in [25] (Speisung des Tram- & Trolleybusnetzes). Das referenzierte Schema soll als Projektierungsrichtlinie für neue Gleichrichteranlagen verwendet werden und gilt nicht für alte, bereits bestehende Anlagen. Die im Schema dargestellten Massnahmen basieren auf den Werknormen der ewb für Gleichrichterstationen [24] und sollen auch zukünftig mit ewb abgeglichen werden.

Das Schema in [26] zeigt das Erdungs- und Rückstromkonzept für potenzielle Neubauten von Gleichrichteranlagen, welche ein vom «Stammnetz» separates Trolleybus-Inselnetz speisen. Aktuell besitzt BERNMOBIL keine solche Anlage. Bei einer allfälligen Realisierung eines Trolleybus-Inselnetz sind dieses Schema und die Prinzipien gemäss Kapitel 4.5 zu beachten.

Für die Speisung von Fahrleitungsanlagen in Depots sind separate Gleichrichteranlagen vorzusehen (siehe Kapitel 5.7).

5.1.1 Erdsysteme

Auch in den Gleichrichterwerken müssen die Komponenten des RLS (Rückstromkreis der Traktion) streng von anderen Erden (EWE oder BWE) isoliert sein.

Da die Gehäuse (Gleichrichter und Gleichstromverteilung) erdfrei sind, ist ein Maximalstromrelais (Gerüstschlussschutz gemäß EN 50123-7-1 [9]) erforderlich, um die Erkennung von Isolationsfehlern sicherzustellen (Erkennung möglicher Ströme, die zwischen dem Gehäuse und der Bauwerkserde zirkulieren, siehe auch Schutzkonzept BERNMOBIL [23]). Im Falle eines Fehlers sind die betroffenen MS-Leistungsschalter und die DC-Abgangsschalter sofort automatisch zu öffnen (allseitige Trennungen aller Schalter einer Gleichrichteranlage).

Für den Personenschutz wird zwischen der Sammelschiene des Rückstromkreises und des Gerüstschlussschutzes ein Spannungsrelais installiert, welches die beiden Potentiale auf gefährliche Berührungsspannungen überwacht¹. Beim Überschreiten der zulässigen Berührungsspannungen werden dabei alle Leistungsschalter mit einer Verzögerung von ein paar wenigen Sekunden automatisch geöffnet werden. Bei der Konfiguration werden die zulässigen Berührungsspannungen in Abhängigkeit der Zeitdauer gemäss EN 50122-1 [6] berücksichtigt. Bei einer nicht geerdeten Anlage (Trolleybus-Inselnetz) ist kein Spannungsrelais notwendig, jedoch muss mit einer Isolationsüberwachung die Erdfreiheit permanent überwacht werden.

5.1.2 Gleichrichter-Sammelschienen und -Abgänge

Ab dem Gleichrichter erfolgt über einen Trennschalter mit zwei Kontakten die Speisung der Hinleiter-Sammelschiene (Plus) sowie der Rückleiter-Sammelschiene (Minus). Gemäss Artikel 10.3 der EN 50122-1 [6] ist der Trennschalter der Rückleiter-Sammelschiene mit demjenigen der Hinleiter-

¹ Diese Lösung mit Spannungsrelais ist historisch bedingt. Eigentlich wäre die Installation eines Spannungsbegrenzers (VLD), eine einfachere und günstigere Lösung und heute Stand der Technik, auch denkbar. Aus Gründen der Einheitlichkeit der Anlagen wird an der bestehenden Lösung jedoch festgehalten.

Sammelschiene derart zu verriegeln, dass der Trennschalter im Rückleiterpfad nur geöffnet werden kann, wenn der Schalter des Hinleiters auch geöffnet ist. Diese Vorgabe ist mit dem Prinzip eines gemeinsamen Schalters mit zwei Kontakten erfüllt.

Die Abgangsfelder sind mit Leistungsschaltern und Schutzgeräten ausgestattet und speisen einzelne Abschnitte des Tram- oder des Trolleybusnetzes. Bei den Abgängen des Trolleybusnetzes werden in der Rückleitung Trenner eingebaut, welche mit den Schaltern in den Hinleitern verriegelt werden (der Trenner im Rückleiterpfad darf nur geöffnet werden, wenn auch der Schalter des Hinleiters geöffnet ist). Der konsequente Einbau dieser Schalter in der Rückleitung ermöglicht einen allfälligen zukünftigen Betrieb des Trolleybusnetzes als «nicht geerdete Anlage» gemäss EN 50122-1 [6] Ziff. 5.6.3.2.

Bei einer nicht geerdeten Anlage (Trolleybus-Inselnetz) müssen bei einer Abschaltung eines Speiseabschnittes beide Fahrdrähte freigeschalten werden.

5.1.3 Erdung Trolleybusnetz

Bei gleichzeitiger Speisung des Tram- und Trolleybusnetzes werden die Trolleybus-Abgangsfelder an dieselben Hin- und Rückleiter-Sammelschienen angeschlossen. Somit ist der Minus-Pol der Trolleybusfahrleitung mit dem Rückleitungssystem des Tramnetzes, also den Schienen, verbunden.

Speist eine Gleichrichteranlage lediglich das Trolleybusnetz, wird die Rückleitersammelschiene nicht geerdet. Ein Trolleybus-Inselnetz wird somit erdfrei betrieben (für Details siehe Kapitel 4.5 und [26]).

5.1.4 Kabel

Die Hin- und Rückleiterkabel werden doppelt isoliert ausgeführt.

Die Kabelschirme der Speisekabel sind einseitig auf Seite der Gleichrichteranlage zu erden. Auf Seite Einspeisekasten Seite Fahrleitung ist der Schirm offen und isoliert auszuführen. Die Erdung der Schirme erfolgt für die Hinleiter- und Rückleiterkabel unterschiedlich:

- Hinleiterkabel: der Schirm wird auf die Rückleiter-Sammelschiene gelegt. Bei einem Kabeldefekt (Seele – Schirm – Schluss) erfolgt ein Stromfluss (eine Art Kurzschluss), welcher durch das Schutzgerät über die Kabelschirmüberwachung entdeckt und abgeschaltet wird. Bei neuen Anlagen soll eine separate Kabelschirmüberwachung pro Hinleiterkabel installiert werden.
- Rückleiterkabel: der Schirm wird über eine Cu-Sammelschiene auf die Bauwerkserde gelegt. (Anmerkung: Aufgrund der gesetzlichen Anforderungen benötigen die Rückleiterkabel keinen Schirm. Die bestehenden Rückleiterkabel verfügen jedoch wegen der Kabelstandardisierung alle über einen Schirm).

5.1.5 Überspannungsableiter

Zur Begrenzung von transienten Überspannungen, die durch einen Blitzeinschlag oder Schalthandlungen entstehen können, werden in der GR-Station folgende Überspannungsableiter installiert:

- Ein Überspannungsableiter zwischen der Rückleitersammelschiene und der Bauwerkserde

- Ein Überspannungsableiter pro Abgangsfeld zwischen dem Hinleiter (vor Kabelendverschluss des Speisekabels) und der Rückleitersammelschiene. Damit ist jedes Speisekabel mindestens an einem Ende durch einen Überspannungsableiter geschützt.

Anmerkung: Wie in Kapitel 5.2.3 beschrieben, wird zudem streckenseitig zwischen den Fahrdrähten und der Fundamenterde ein Überspannungsableiter installiert. Dieser wird möglichst nahe bei der Einspeisung montiert. Grundsätzlich ist für den Blitzschutz ein streckenseitiger Überspannungsableiter ausreichend. Aus historischen Gründen und Gründen der Einheitlichkeit werden jedoch zusätzlich Überspannungsableiter bei den Abgängen in den Gleichrichterstationen installiert.

Für die Auswahl von Überspannungsableitern siehe auch [13].

5.1.6 50-Hz Versorgung

Die 50-Hz-Niederspannungsverteilung soll, sofern möglich, ab einem vorhandenen EW-Anschlusskasten gespeist werden. Der Schutzleiter (PE) der Niederspannung wird in der Gleichrichteranlage an die HPAS angeschlossen.

Alternativ kann die Niederspannung mit einem Eigenbedarfstransformator erzeugt und als TN-S System betrieben. Die Erdung des Transformators und der Sternpunkt des Trafos werden dabei direkt an die HPAS angeschlossen.

5.2 Einspeisung und Rückleitung

Siehe hierzu die Schemata in [27] (Tramnetz) und [28] (Trolleybusnetz).

5.2.1 Streckentrennungen Trolleybusnetz

Grundsätzlich wird bei den Streckentrennungen der Fahrdraht-Rückleiter analog dem Fahrdraht-Hinleiter getrennt. Ausnahmen gelten bei Streckentrennungen in einem Trolleybus-Inselnetz sowie bei Streckentrennungen eines Speisesektors, welcher von einer Gleichrichterstation ohne Speisung des Tramnetzes gespeist wird: In diesen Fällen wird der Fahrdraht-Rückleiter nicht getrennt, damit eine durchgängige Verbindung der Trolleybus-Rückleiter gewährleistet ist (siehe Kapitel 4.5).

5.2.2 Rückleiteranschluss

5.2.2.1 Tramnetz

Von den Schienen führen gelb markierte isolierte Rückleitungskabel den Strom zurück zur Gleichrichterstation. Die Rückleiterkabel müssen in mindestens zwei verschiedenen Rohren angeordnet sein (mind. 2 Rückleiterkabel pro Speisepunkt).

Die Anschlüsse der Rückleiter an die Schienen müssen nach den AB-EBV [2], AB 44.d, Ziff. 1.6.2 auf mindestens 5 m verteilt werden. Darüber hinaus müssen die Anschlussstellen sichtbar oder markiert

und jederzeit zugänglich sein (z.B. durch Anschlusskästen). Die Anzahl der Verbindungskabel zu den Schienen berücksichtigt die Tatsache, dass eine Kabelverbindung gemäß der Anforderung in Abschnitt 10.3.1 der EN 50122-1 [6] unterbrochen werden kann.

5.2.2.2 Trolleybusnetz

Die Rückleitersammelschiene der Gleichrichterstation muss gemäss EN 50122-1 [6], Ziff. 10.3.1, über mindestens zwei isolierte Rückleiter mit dem Rückleiter-Fahrdraht verbunden sein. Die Rückleiterkabel müssen in mindestens zwei verschiedenen Rohren angeordnet sein.

5.2.3 Blitzschutz

Die Fahrleistungsmasten sind grundsätzlich nicht explizit zu erden (siehe Kapitel 5.3.1). Jedoch sind sämtliche Fahrleistungsmasten, welche über einen Blitzschutz verfügen, über Fundamenterder gezielt zu erden. Für einen funktionierenden Blitzschutz ist eine direkte Verbindung vom Einschlagort zur Erde notwendig. Pro Fahrleistungssektor und Pol (Hinleiter- und Rückleiter-Fahrdrähte) ist daher für den Blitzschutz zwischen Fahrdraht und Fundamenterde mindestens ein Überspannungsableiter installiert. Die Verbindung vom Überspannungsableiter zum Fundamenterder wird isoliert innerhalb des Masts geführt. Der Blitzschutz darf nicht an die Gleise oder an die Rückleitung angeschlossen werden.

Ein Überspannungsableiter pro Pol ist auch bei Doppelspuren ausreichend, sofern die Fahrdrähte desselben Pols der beiden Spuren untereinander querverbunden werden. In der Regel, und wenn möglich, ist der Blitzschutz beim Mast direkt bei der Einspeisung ab Gleichrichterstation vorzusehen.

Bei Einspeisungen, bei welchen die Fahrleitung über Wandanker aufgehängt ist, ist die Montage eines Überspannungsableiters oft nicht praktikabel. In diesen Fällen ist ein Überspannungsableiter bei der nächstbesten Gelegenheit vorzusehen. Anmerkung: wie in Kapitel 5.1.5 beschrieben, sind in der Gleichrichterstation zwischen Hinleiter und Rückleitersammelschiene sowie zwischen Rückleitersammelschiene und Erde ebenfalls Überspannungsableiter installiert.

Für die Auswahl von Überspannungsableitern siehe auch [13].

5.3 Strecke

Siehe hierzu die Schemata in [27] (Tramnetz) und [28] (Trolleybusnetz).

5.3.1 Fahrleitung und Fahrleistungsmasten

Die Isolation der Fahrleitung muss gemäss Tabelle 5-1 überall mindestens doppelt ausgeführt werden. Das Isolationsniveau muss 1500 V betragen und die einzelnen Isolationen müssen einen Abstand von mindestens 1 m aufweisen (Mindestabstand gemäss AB-EBV [2] AB 44c Ziff. 4.2.2.1). Dank dieser Massnahme müssen die Fahrleistungsmasten generell nicht geerdet und nicht mit dem Rückleitungssystem der Bahn verbunden werden (siehe EN 50122-1 [6], Ziff. 6.2.3.2).

Tragwerk	Anzahl Isolationen
Querspanner	Dreifache Isolation

Tragwerk	Anzahl Isolationen
Auslegerrohr	Zweifache Isolation
Deckenkonstruktion	Mind. zweifache Isolation

Tabelle 5-1: Isolationskonzept gemäss [22]

5.3.2 Zone besonderer Massnahmen

Die Massnahmen für elektrisch leitende Elemente in der Zone besonderer Massnahmen (gemäss AB-EBV [2] AB 44d 2 m links und rechts jeder Gleisachse) sind in Kapitel 4.2.1 beschrieben. Diese Zone der besonderen Massnahmen setzt sich aus dem Stromabnehmer- und Oberleitungsbereich zusammen und ist in den Schemata in [29] (Tramnetz) und [30] (Trolleybusnetz) graphisch dargestellt.

Die Kenngrössen X und Y entsprechen den Vorgaben der AB-EBV [2] AB 44d.

Für die Kenngrösse Z sind gemäss AB-EBV [2] AB 44d beim Tramnetz mindestens 2 m gefordert und beim Trolleybusnetz mindestens 1 m. Für das Tramnetz gelten diese 2 m. Beim Trolleybusnetz gilt bei BERNMOBIL aus Gründen der Instandhaltung ein leicht höherer Wert von 1.2 m. In Ausnahmefällen gibt BERNMOBIL eine Unterschreitung dieses Minimalabstandes frei. In diesen Fällen sind jedoch entsprechende Massnahmen zu treffen, wie beispielsweise bei Unterführungen oder Brücken die Installation von isolierenden Abdeckungen, so dass ein Stromabnehmer ohne Kontakt zur Fahrleitung das Bauwerk nicht unter Spannung setzen kann.

Die Zone besonderer Massnahmen muss innerhalb von Kurven dem Risiko entsprechend erweitert werden. Konkret muss die Breite des Oberleitungsbereichs vergrössert werden. Der Umfang der Erweiterung soll situativ mit BERNMOBIL und unter Berücksichtigung des Rissbereichs der Fahrleitung bestimmt werden.

5.3.3 Elektrisch leitende Elemente in Fahrleitungsnähe

Metallkonstruktionen wie Geländer, Kandelaber usw. werden nach Möglichkeit nicht mit dem Rückleitungssystem verbunden. Befinden sie sich innerhalb der Zone besonderer Massnahmen (siehe EN 50122-1 [6], Ziff. 4. Das Mass x beträgt 2 m.) oder kann die minimale Berührungsdistanz von 1.75 m zwischen bahngeerdeten und EW-geerdeten Metallkonstruktionen nicht eingehalten werden, müssen Schutzmassnahmen getroffen werden, wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben.

5.3.4 Beeinflussung von Wechselstrombahnen

Bei Trolleybus-Speiseabschnitten in der Nähe von parallel verlaufenden Wechselstrombahnen sind gemäss Kapitel 4.5.3 in regelmässigen Abständen die Masten zu erden (Fundamenterder) und mit Erdungskasten auszurüsten, über welche die beiden Fahrdrähte einerseits elektrisch verbunden und andererseits geerdet werden können. Bei Ausschaltung eines solchen Trolleybusabschnitts sind die beiden Fahrdrähte zu erden, damit hohe induzierte Spannungen vermieden werden können.

5.3.5 Spannglieder, Mikropfähle und Anker

Für Spannglieder ist die ASTRA Richtlinie 12 010 [19] anzuwenden. Gemäss dieser sind alle Spannglieder hier in der Kategorie c auszuführen (elektrisch isoliert, überwachbar). Nach dem Bau sind Messungen gemäss ASTRA Richtlinie 12 010 [19] Anhang I durchzuführen und zu dokumentieren.

Für Mikropfähle und Anker ist die Korrosionsschutzstufe 3a gemäss SIA 267 [20] anzuwenden. Die Mikropfähle und Anker sind galvanisch von der Bewehrung zu trennen. Die Messungen zur Prüfung des Korrosionsschutzes sind gemäss den Vorgaben der SIA 267/1 [21] Kapitel 6.2.5 durchzuführen und zu dokumentieren.

5.3.6 Gleisanlagen Tramnetz

Die Schienen dienen als Rückleitung und sind somit über die Länge der Strecke lückenlos zu verschweissen. Im Bereich von Weichen sind die einzelnen Stränge stromfest zu verbinden. Die Schienen sind zudem regelmässig untereinander mit einfach isolierten 50-mm²-Kupferleitern (gemäss EN 50122-1 [6], Ziff. 10.3.1) zu verbinden (Querverbindungen zwischen den einzelnen Schienen und den Gleisen). Entgegen der Forderung aus Punkt 10) der übergeordneten Massnahmen sind diese Querverbindungen nach dem Einbau nicht mehr sichtbar und nicht kontrollierbar. Daher werden die Schienen ca. alle 50 m untereinander querverbunden, um eine genügende Sicherheit auch bei Unterbrechung einzelner Verbindungen zu gewährleisten.

Gemäss dem BERNMOBIL Standard werden Schienen im „geschlossenen Oberbau“ gemäss EN 50122-2 [7] Ziff. 5.2 eingesetzt. Die Gleisanlagen sind im gesamten Projektperimeter in Bezug auf Streustromschutz gemäss den Massnahmen in Kapitel 4.2.3 auszuführen. Die konstruktiven Lösungen zur Realisierung des Streustromschutzes sind zu dokumentieren. Die Einhaltung der geforderten Werte des Ableitbelags sind mittels Messungen gemäss EN 50122-2 [7] Anhang A nachzuweisen und zu dokumentieren (siehe auch SGK Richtlinie C3 [14]).

5.3.7 Öffentliche Beleuchtung

Fremde Betriebsmittel, wie die Strassenbeleuchtung, werden ab dem öffentlichen Versorgungsnetz gespeist und geerdet. Die Beleuchtung entlang der Strecke muss sich ausserhalb der Zone besonderer Massnahmen befinden.

Die Beleuchtung, welche an eigenen Tragseilen über einer Fahrleitungsanlage aufgehängt sind, müssen eine Isolation für die Schutzklasse II (EN 61140 [10]) für eine Spannung von 1'500 V aufweisen. Die Betriebsmittel dürfen dabei nicht mit einem PE-Leiter verbunden sein und die TT-Speisung muss eine Fehlerstromschutzeinrichtung aufweisen (EN 50122-1 [6], Ziff. 7.3.2 und 7.4.1). Die Tragkonstruktion (Seil) für die Strassenbeleuchtung muss gegen den Befestigungspunkt beidseitig einfach elektrisch isoliert sein (AB 44c AB-EBV [2], Hintergrund: falls die Konstruktion auf die Fahrleitung fällt, wird so die Spannung nicht verschleppt). Unter diesen Voraussetzungen muss sich die Beleuchtung nicht zwingend ausserhalb der Zone besonderer Massnahmen befinden.

5.3.8 Weichenheizungen und Weichensteuerungen

Die Speisung der Weichenheizungen erfolgt ab Fahrleitung mit 600 VDC. Die Rückstromführung erfolgt über die Schienen. Der Schaltschrank der Weichenheizung wird separat an die nächstliegende Schiene angeschlossen und ist isoliert aufgestellt.

Die Weichensteuerungen im Schaltschrank werden ab dem öffentlichen 50-Hz-Netz der ewb in einem TN-System und mithilfe von Trenntransformatoren gespeist. Dadurch sind die öffentliche Erde und das RLS getrennt und die Verschleppung von gefährlichen Spannungen oder Strömen wird verhindert. Gemäss EN 50122-1 Kapitel 7.4.3 ([6], Niederspannungsversorgung durch ein TN-Netz) muss die EW-Erde auf der Primärseite des Trenntrafos isoliert aufgestellt werden. Für alle Anlageteile im Gleisbereich (innerhalb der Zone besonderer Massnahmen) wird das RLS als Schutz Erde verwendet und die Anlageteile werden isoliert aufgestellt.

5.4 Haltestellen

Siehe hierzu die Schemata in [29] (Tramnetz) und [30] (Trolleybusnetz).

Die Haltestelleneinrichtungen werden in der Regel ab dem öffentlichen Netz mit Energie 3x400/230 V 50 Hz versorgt und sind daher mit dem EWE verbunden. Diese Einrichtungen und alle weiteren leitenden Elemente und elektrische Betriebsmittel im Haltestellenbereich müssen sich, wenn irgendwie möglich ausserhalb der Zone besonderer Massnahmen befinden (siehe dazu Kapitel 4.2.1 und Kapitel 5.3.2) und dürfen nicht mit dem Rückleitungs- und Erdungssystem der Bahn (RLS) verbunden werden.

Für elektrisch leitende Elemente, welche sich trotzdem innerhalb der Zone besonderer Massnahmen befinden, müssen hingegen Schutzmassnahmen gemäss EN 50122-1 Kapitel 6 [6] getroffen werden. Siehe dazu Kapitel 4.2.1 mit dem Flussdiagramm zum Vorgehen in Abbildung 4-1. Alle Elemente, welche mit dem RLS verbunden werden, müssen gegen Erde isoliert werden und einen Abstand von mindestens 1.75 m bis auf eine Höhe von 2.5 m zu fremden Erdsystemen aufweisen.

Gemäss den Grundsätzen aus Kapitel 4.4 müssen bei jedem Neubau / jeder Sanierung einer Haltestelle der Platz und die Anschlüsse für einen Spannungsbegrenzer zwischen den Schienen und der Hauptpotentialausgleichsschiene der EW-Erde vorgesehen werden.

In der SGK Richtlinie C3 Ziff. 22443 [14] wird empfohlen, für die Oberfläche von Ein- oder Aussteigzonen weitgehend isolierendes Material zu verwenden. Da bisher jedoch keine Probleme mit unangenehm erhöhten Berührungsspannungen aufgetreten sind, werden dazu keine weiteren Massnahmen umgesetzt. Es sind weiterhin die Vorgaben der Stadt Bern zum Strassenbau umzusetzen.

5.5 Kreuzung Fahrleitungen Tram und Trolleybus

Die Realisierung von Kreuzungen zwischen Fahrleitungen des Tram- und / oder Trolleybusnetzes wird in der Projektierungsrichtlinie in [22] beschrieben. Die Stellen möglicher Berührung der Fahrdrabt-Hinleiter und Fahrdrabt-Rückleiter müssen dabei mit einem Isolationsniveau von 1'500 V isoliert werden.

5.6 Brücken

Grundsätzlich gelten die gleichen Massnahmen, welche in den Kapiteln 5.3.1 - 5.3.8 für Objekte entlang der Strecke definiert wurden.

Die Erdung der Brücken und die Zuordnung der Brückenelemente zum Rückleitungssystem der Bahn oder der Bauwerkserde ist gemäss der SGK Richtlinie C3 [14] auszuführen. Generell darf die Bauwerkserde (BWE) nicht mit der Rückleitung der Bahn (RLS) verbunden werden. Zu beachten sind die Empfehlungen der SGK zur Erdung der Brücken (Ziffer 22410 mit Bilder 13-17) und zu metallischen Geländen auf Eisenbahnbrücken (Ziffer 22451).

5.7 Depots

Neue Depot-Anlagen müssen durch einen separaten Depot-Gleichrichter gespeist werden. Die Schienen am Übergang zwischen Strecke und Depotbereich werden mit versetzten Isolierstücken aufgetrennt (Inselbetrieb, gemäss SGK Richtlinie C3 [13], Kapitel 22430.2). Dadurch kann die Bauwerkserde direkt mit der Rückleitung (RLS) im Depotbereich verbunden werden. Damit wird die Gefahr durch hohe Berührungsspannungen bei Arbeiten im Depot deutlich reduziert und die Sicherheit erhöht. Durch die geringe Ausdehnung des Bereichs, welcher durch den Depot-Gleichrichter versorgt wird, sind die resultierenden Gleis-Erde-Spannungen sehr klein und somit die Streuströme weiterhin gering.

Dieses Prinzip steht im Gegensatz zum Erdungskonzept von Streckengleichrichtern, bei welchen das Rückleitungs- und Erdungskonzept der Bahn von fremden Erden isoliert ist (siehe Kapitel 5.1.1).

Die Massnahmen zu den Gleichrichterabgängen, Kabelschirmerdung und 50-Hz-Versorgung gemäss den Kapiteln 5.1.2 - 5.1.6 gelten auch für Depotanlagen.

6 REFERENZEN

6.1 Normen / Gesetze / Richtlinien

- [1] BAV, Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen, Eisenbahnverordnung, EBV, vom 23. November 1983 (Stand am 01. Juli 2020)
- [2] Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung, AB-EBV Stand 01.07.2016
- [3] BAV, Verordnung über elektrische Schwachstromanlagen, Schwachstromverordnung, vom 30. März 1994 (Stand am 20. April 2016)
- [4] BAV, Verordnung über elektrische Starkstromanlagen, Starkstromverordnung, vom 30. März 1994 (Stand am 1. Juni 2019)
- [5] BAV, Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationsanlagen, Niederspannungs-Installationsverordnung, NIV, vom 7. November 2001 (Stand am 1. Juni 2019)
- [6] SN EN 50122-1:2011 + A:2017 "Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag"
- [7] SN EN 50122-2:2010 "Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 2: Schutzmassnahmen gegen Streustromwirkungen durch Gleichstrom-Zugförderungssysteme"
- [8] SN EN 50122-3:2010 «Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 3: Gegenseitige Beeinflussung von Wechselstrom- und Gleichstrombahnsystemen»
- [9] SN EN 50123-7-1:2003-02 «Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Gleichstrom-Schaltanlagen. Teil 7-1: Mess-, Steuer- und Schutzeinrichtungen in Gleichstrom-Bahnanlagen – Anwendungsleitfaden»
- [10] SN EN 61140:2016-05 «Schutz gegen elektrischen Schlag - Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel»
- [11] SN EN 50502:2015-08: «Bahnanwendungen - Fahrzeuge - Elektrische Ausrüstung in O-Bussen - Sicherheitsanforderungen und Verbindungssysteme»
- [12] SN EN 50153:2014-05: «Bahnanwendungen - Fahrzeuge - Schutzmaßnahmen in Bezug auf elektrische Gefahren
- [13] SN EN 50526-3:2016-01: «Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Überspannungsableiter und Spannungsbegrenzungseinrichtung für Gleichspannungsnetze - Teil 3: Anwendungsleitfaden»
- [14] Richtlinie C3 der Korrosionskommission der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK), Richtlinien zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen, Ausgabe 2011-5
- [15] VöV, D RTE 27900, Rückleitungs- und Erdungshandbuch, 01.02.2015

- [16] SNG 483755:2019-12: «Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen, Erläuterungen zu den Artikeln 53 – 61 der Starkstromverordnung SR 734.2»
- [17] SNR 464113:2015-10: «Fundamenterder»
- [18] SNR 464022:2015-03: «Blitzschutzsysteme»
- [19] ASTRA Richtlinie 12 010, Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten, 2007 V2.00
- [20] Norm SIA 267:2013, Geotechnik, 01.08.2013
- [21] Norm SIA 267/1:2013, Geotechnik – Ergänzende Festlegungen, 01.08.2013
- [22] BERNMOBIL Projektierungsrichtlinie Fahrstrom + Sicherungsanlagen, Version 1.0, 16.06.2020
- [23] BERNMOBIL Schutzkonzept, Dachdokument, ENOTRAC AG, ECH-192.36-001 Version 1.1, 08.10.2020
- [24] ewb Werknormen Netzbau WN 17 Gleichrichterstation, V1.0, 08.10.2015

6.2 Dokumente im Anhang

- [25] Erdungs- und Rückleitungskonzept Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL, Gleichrichterstation Tram- & Trolleybusnetz, ENOTRAC AG ECH-192.51-002 Version 1.0 Blatt A
- [26] Erdungs- und Rückleitungskonzept Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL, Gleichrichterstation Trolleybus-Inselnetz, ENOTRAC AG ECH-192.51-002 Version 1.0 Blatt B
- [27] Erdungs- und Rückleitungskonzept Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL, Einspeisung, Rückleitung, Strecke Tramnetz, ENOTRAC AG ECH-192.51-002 Version 1.0 Blatt C
- [28] Erdungs- und Rückleitungskonzept Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL, Einspeisung, Rückleitung, Strecke Trolleybusnetz, ENOTRAC AG ECH-192.51-002 Version 1.0 Blatt D
- [29] Erdungs- und Rückleitungskonzept Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL, Tramhaltestelle und Zone besonderer Massnahmen, ENOTRAC AG ECH-192.51-002 Version 1.0 Blatt E
- [30] Erdungs- und Rückleitungskonzept Tram- und Trolleybusnetz BERNMOBIL, Trolleybushaltestelle und Zone besonderer Massnahmen, ENOTRAC AG ECH-192.51-002 Version 1.0 Blatt F