

Bern, 16.06.2020

## **Projektierungsrichtlinie Fahrstrom + Sicherungsanlagen**



### Änderungskontrolle

Version	Datum	Ausführende Stelle	Bemerkung/Art der Änderung
V0.1	30.03.2020	AM FS+SA	Kapitel 1 – 10 erstellt
V0.2	02.04.2020	AM FS+SA	Kapitel 1 – 10 überarbeitet
V1.0	16.06.2020	AM FS+SA	Kapitel 1 – 10 finalisiert

### Prüfung

Version	Datum	Ausführende Stelle	Bemerkung
V0.1	30.03.2020	AM FS+SA	Rückmeldungen in Dokument eingearbeitet
V0.2	02.04.2020	AM FS+SA	Rückmeldungen in Dokument eingearbeitet

### Freigabe

Version	Datum	Ausführende Stelle	Bemerkung
V0.2	02.04.2020	AM FS+SA	Entwurf Nr.2
V1.0	16.06.2020	AM FS+SA	Freigabe der ersten finalisierten Version

## Inhalt

<b>1. Allgemeine Grundlagen .....</b>	<b>5</b>
1.1. Allgemeine Systembeschreibung .....	5
1.2. Wesentliche Bauelemente .....	9
1.3. Typische Querprofile .....	11
1.4. Technische Daten BERNMOBIL .....	12
<b>2. Projektierungsgrundlagen .....</b>	<b>16</b>
2.1. Planungsphasen .....	16
2.2. Die Fahrleitungsprojektierung .....	17
2.3. Projektierung .....	21
2.4. Kenngrössen und Definitionen .....	24
<b>3. Fundamente .....</b>	<b>26</b>
3.1. Übersicht .....	26
3.2. Fundamentnormalien .....	30
3.3. Fundament mit Kabeleinführung .....	30
<b>4. Masten .....</b>	<b>31</b>
4.1. Mehrschüssiger Rundmast (Normmast) .....	32
4.2. Konischer Rundmast .....	33
4.3. Stahlmast HEB mit Fussplatte .....	34
4.4. Mastanker .....	35
<b>5. Mauerbolzen .....</b>	<b>36</b>
5.1. Mauerbolzen geklebt (Verbundanker) .....	36
5.2. Mauerbolzen zementiert / einbetoniert .....	37
5.3. Mauerbolzen verlängert für Aussenisolation .....	37
5.4. Bügelplatte .....	37
5.5. Schwerlastkonsole .....	38
5.6. Decken- / Wand- / Hängestützen .....	38
<b>6. Tragwerke .....</b>	<b>39</b>
6.1. Querspanner .....	39
6.2. Ausleger .....	46
6.3. Auslegerrohre .....	47
6.4. Stützisolator .....	48
6.5. Ankerseile .....	48
6.6. Bruchsicherung .....	49
<b>7. Isolationselemente .....</b>	<b>50</b>
7.1. Isolierschlaufe .....	50
7.2. Isolierseil .....	50
7.3. ISOK .....	51
7.4. Isolierstab .....	51
7.5. Rillen- / Stabisolator .....	52

7.6.	Isolierschrauben, Unterlegscheiben, Muttern .....	52
<b>8.</b>	<b>Aufhängungen .....</b>	<b>53</b>
8.1.	Vollelastische Aufhängung .....	53
8.2.	Starre Aufhängung .....	53
8.3.	Fahrdrahtaufhängungen Tram .....	54
8.4.	Fahrdrahtaufhängungen Trolley .....	57
8.5.	Fahrdrahtaufhängung für Tram und Trolleybus .....	59
8.6.	Feederaufhängungen .....	60
8.7.	Hilfsseil.....	60
<b>9.</b>	<b>Längsmaterial .....</b>	<b>61</b>
9.1.	Feste Abfangungen .....	61
9.2.	Bewegliche Abfangung .....	62
<b>10.</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>66</b>
<b>11.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>67</b>
<b>12.</b>	<b>Anhang 1 – Tabelle Désaxement .....</b>	<b>69</b>

# **1. Allgemeine Grundlagen**

## **1.1. Allgemeine Systembeschreibung**

### **Einführung**

Die Fahrleitung ist als ganzheitliches System zu sehen. An diesem System sind auch die Fahrzeuge beteiligt, die durch die Eigenschaften des Stromabnehmers und des Antriebs in Wechselwirkung mit der Fahrleitung treten. Die Richtlinie beschreibt, wo nicht explizit ausgenommen, das System für Tram und Trolleybus.

### **Aufgabe**

Die Fahrleitung dient der Energieversorgung der Fahrzeuge. Weiter werden auf der Fahrleitung diverse Komponenten wie Fahrzeugkommunikation, Eindrahtrichter etc. installiert.

### **Anforderungen**

Aus der Aufgabe können folgende Anforderungen abgeleitet werden:

- Konstante, kontinuierliche elektrische Leistungsübertragung an die Fahrzeuge
- Resistenz gegenüber mechanischen Belastungen und Umwelteinflüssen
- Hohe Betriebssicherheit und Verfügbarkeit
- Isolation zur Einhaltung der Sicherheitsanforderungen und gegen Streuströme
- Nennspannungsbereich 750VDC (Spannungstoleranz +20% / -30%)
- Umgebungstemperaturen von -20°C bis +45°C
- Maximale Fahrzeuggeschwindigkeit 70km/h

## Geltende Vorschriften

EN 1461	Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken) - Anforderungen und Prüfungen
EN 10025	Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen
EN 10210	Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau
EN 10219	Kaltgeformte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau
EN 50119	Ortsfeste Anlagen - Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb
EN 50121-1	Elektromagnetische Verträglichkeit - Teil 1: Allgemeines
EN 50121-2	Elektromagnetische Verträglichkeit - Teil 2: Störaussendungen des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt
EN 50122-1	Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag
EN 50122-2	Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 2: Schutzmaßnahmen gegen Streustromwirkungen durch Gleichstrombahnen
EN 50123	Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen; Gleichstrom-Schalteneinrichtungen
EN 50124-1	Isolationskoordination - Teil 1: Grundlegende Anforderungen - Luft- und Kriechstrecken für alle elektrischen und elektronischen Betriebsmittel
EN 50124-1	Isolationskoordination - Teil 2: Überspannungen und geeignete Schutzmaßnahmen
EN 50163	Speisespannungen von Bahnnetzen
IEC 61952	Insulators for overhead lines - Composite line post insulators for AC systems with a nominal voltage greater than 1000V
IEC 62217	Polymeric insulators for indoor and outdoor use with a nominal voltage >1000V – General definitions, test methods and acceptance criteria
EBG	Eisenbahngesetz
EBV	Verordnung über Bau und Betrieb von Eisenbahnen / Eisenbahnverordnung
AB-EBV	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung
VPVE	Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren
EleG	Elektrizitätsgesetz
LeV	Leistungsverordnung
StV	Verordnung über elektrische Starkstromanlagen
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung
NIN	Niederspannung Installationsnorm (SN SEV 1000:2010)
NIV	Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen
D RTE 20150	Betrieb und Instandhaltung elektrischer Anlagen
D RTE 27900	Rückleitungs- und Erdungshandbuch
SUVA Richtlinien 1863	Richtlinien für den Einsatz von Kranen und Baumaschinen im Bereich elektrischer Freileitungen
FdV R 3301	Tram Fahrdienstvorschriften
FdV R 3302	Bus Fahrdienstvorschriften
ECH-192.36-001.V1.0	Schutzkonzept BERNMOBIL
Tram 2016A	PROJEKTIERUNGSRICHTLINIEN

### 1.1.1. Geschwindigkeit, Betriebsstromkreis

#### Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit und die Eigenschaften des verwendeten Stromabnehmers definieren weitgehend die Anforderungen an das Tragsystem der Fahrleitung.

Das statische und dynamische Verhalten eines Fahrleitungssystems kann mit entsprechenden Rechenmodellen simuliert werden.

#### Betriebsstromkreis

Beim Tram ist der Hinleiter die Kabelverbindung vom Gleichrichter bis zur Fahrleitung und die Fahrleitung selbst. Der Rückleiter ist durch die Schienen und die Kabelverbindung vom Gleis zum Gleichrichter gegeben.

Tram:

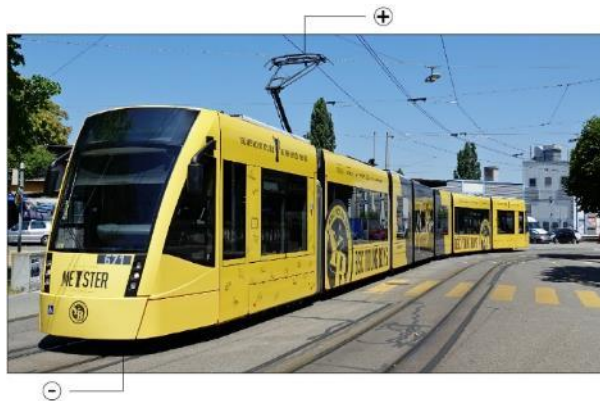


Abbildung 1: Betriebsstromkreis Tram

Beim Trolleybus sind die Hin- und Rückleiter mittels zweier Fahrleitungen über dem Fahrzeug installiert. Auch hier sind die Kabelverbindungen vom Gleichrichter auf die Fahrleitung und zurück Hin-, bzw. Rückleiter.

Trolleybus:

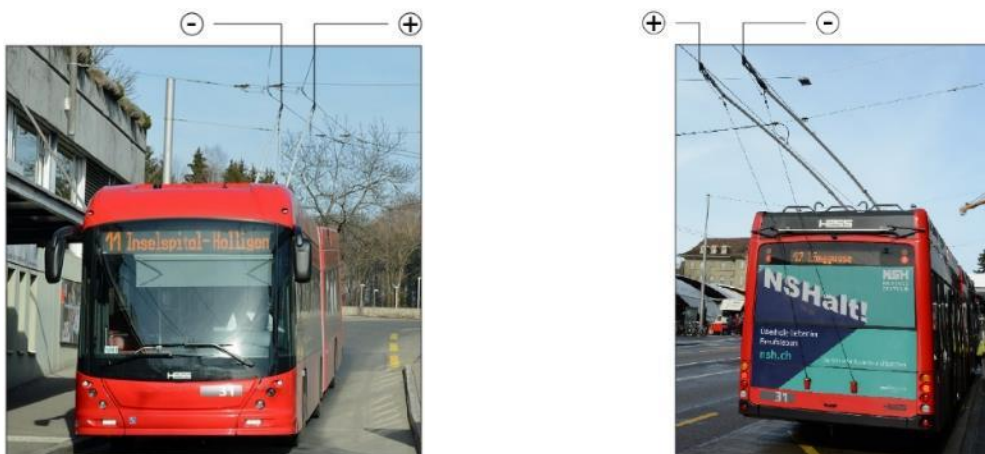


Abbildung 2: Betriebsstromkreis Trolleybus

## 1.1.2. Speisungsabschnitte und Speisungskonzept

Der vorgesehene Betrieb, Schutz- und wirtschaftliche Überlegungen bestimmen das Speisungskonzept, den Ort und die Anzahl der Einspeisepunkte. Die Fahrleitung ist in Sektoren unterteilt, die durch Trenner elektrisch voneinander getrennt sind. Aus Sicherheitsüberlegungen, wird angestrebt, dass sich Störfälle möglichst nur lokal (innerhalb des jeweiligen Sektors) auswirken. Mit entsprechenden Umschaltungen (zusammenschalten von zwei Sektoren) soll der Betrieb schnellstmöglich wieder aufgenommen werden können. Die Aufteilung der Sektoren geht aus dem Schaltschema hervor.

### 1.1.2.1. Weitere Eigenschaften von Fahrleitungssystemen

Fahrleitungssysteme sind neben den oben beschriebenen elektrischen Eigenschaften durch folgende Charakteristiken beschrieben:

- Art des Fahrleitungssystems
- Anzahl der Isolationen
- Art der Abspannung

### 1.1.2.2. Art des Fahrleitungssystems

Fahrleitungen werden nach drei Arten aufgebaut.

#### **Einfachfahrleitung**

Hier wird der Fahrdraht direkt an einen Quertragwerk montiert, es besteht kein zusätzliches Tragseil. Die Verstärkungsleitung (Feeder) wird ebenfalls am Quertragwerk montiert und parallel zum Fahrdraht geführt.

#### **Hochkette**

Bei der Hochkette wird der Fahrdraht an ein parallelgeführtes höherliegendes Tragseil aufgehängt. Damit können grössere Spannweiten realisiert werden. Zudem wird das Tragseil als elektrische Verstärkungsleitung verwendet.

#### **Windschief**

Dies ist eine Kombination von Einfachfahrleitung und Hochkette, welche bei BERNMOBIL nicht verwendet wird

### 1.1.2.3. Anzahl der Isolationen

Es ist zwingend notwendig, dass mindestens zwei voneinander unabhängige und in Serie geschaltete Isolationen, die stromführende Fahrleitung vom Erdpotential trennen. Bei BERNMOBIL wird, wenn möglich, immer dreifach isoliert. Die Distanz zwischen den Isolationen darf den Normwert von aktuell 1.75m nicht unterschreiten. In nachfolgender Tabelle wird das jeweilige Isolationskonzept abhängig von der Befestigungsart aufgelistet:

Tragwerk	Anzahl Isolationen
Querspanner	dreifache Isolation
Auslegerrohr	zweifache Isolation
Deckenkonstruktion	mindestens zweifache Isolation

Tabelle 1: Isolationskonzept



#### 1.1.2.4. Art der Abspannung

Die Abspannungen können entweder beweglich oder fest ausgeführt werden. Architektonisch wird innerstädtisch meist fest abgespannt, in den übrigen Gebieten wird wo möglich eine Nachspannung realisiert. Dies wird projektspezifisch durch BERNMOBIL definiert.

##### **Feste Abspannung**

Bei festen Abspannungen ändert sich infolge der Temperaturänderung die Länge vom Fahrdrabt. Dadurch verändert sich auch die Zugkraft, welche im Sommer ab- und im Winter zunimmt. Basiswert für die Bemessung ist die tiefste Temperatur.

##### **Nachgespannte Abspannung**

Nachspannungen werden auch als bewegliche Abspannungen bezeichnet. Hier gibt es die Bauformen mit Gewichtssteinen, Ringfedern oder Spiralfedern. BERNMOBIL setzt ab 2019 auf Federsysteme.

Im Unterschied zur festen Abspannung ergibt sich, gemessen über den vorgegebenen Temperaturbereich, eine nahezu gleichbleibende Zugkraft in der Fahrleitung.

## 1.2. Wesentliche Bauelemente

Das Fahrleitungssystem für Tram und Trolley sowie die drei Bauarten, bestehen aus den nachfolgenden beschriebenen Hauptkomponenten

### 1.2.1. Stützpunkte

Der Stützpunkt kann konstruktiv unterschiedlich aufgebaut sein. Seine Aufgabe besteht darin, das Tragwerk zu tragen und in einer bestimmten Position zu halten. Der Stützpunkt kann als Mast oder als Mauerbolzen ausgeführt werden. Bei Kunstbauten (Bsp. Unterführungen) werden die Stützpunkte an der Decke mittels Hänge- beziehungsweise Deckenstützen befestigt.

### 1.2.2. Tragwerk

Das Tragwerk bestimmt durch seine Ausgestaltung, wie die Spurhaltung getragen wird. Dabei wird grundsätzlich zwischen Querspanner-Tragwerken, Ausleger-Tragwerken und Deckenkonstruktionen unterschieden.

### 1.2.3. Spurhaltungen

Die Spurhaltung ist am Tragwerk befestigt und ist dafür verantwortlich, dass der Fahrdrabt in der vorgesehenen horizontalen Lage gehalten wird. Die Spurhaltung muss auch vertikal beweglich sein, damit der Hub des Fahrdrahtes, bedingt durch den Anpressdruck des Stromabnehmers, abgefedert werden kann.

### 1.2.4. Nachspannungen / Nachspanneinrichtung

Als Nachspannung wird die Einrichtung bezeichnet, welche den Fahrdrabt mit einer konstanten Kraft spannt. Es wird unterschieden zwischen zweiseitig nachgespannten Fahrleitung mit mittigem Fixpunkt mit Abschnittslängen von 500 – 1000 m und einseitig nachgespannten Fahrleitung mit Abschnittslängen bis 500 m.

#### **Fixpunkt**

Der Fixpunkt wird durch Verankerung des Fahrdrahtes zwischen zwei Nachspannvorrichtungen sichergestellt. Der Fixpunkt bewirkt, dass sich die Längenausdehnung aufgrund der Temperaturunterschiede beidseitig auswirkt und der Fahrdrabt nicht auf eine Seite wandert.

### 1.2.5. Trenner

Trenner werden für die Sektorenbildung eingesetzt. Sie ermöglichen die elektrische Aufteilung von Fahrleitungssektoren.

### **Streckentrenner Tram**

Der Streckentrenner dient zur Trennung zweier Sektoren der Fahrleitung. Beim befahren werden die Sektoren kurzzeitig miteinander verbunden.

### **Schutzstreckentrenner Tram**

Der Schutzstreckentrenner weist im Gegensatz zum Streckentrenner eine grössere Isolationsstrecke auf, damit auch beim Befahren keine Verbindung zwischen den Sektoren möglich ist.

### **Offene Streckentrennung Tram**

Ist eine Sonderbauform, bei welcher zwei Fahrdrähte auf einer kurzen Strecke parallel ohne elektrische Verbindungen geführt werden. Sie weisen die gleichen Eigenschaften auf, wie ein Streckentrenner.

### **Lufttrenner Trolley**

Der Lufttrenner weist mehreren Luftspalten im Fahrdraht auf und ist mit Dioden ausgerüstet, welche den Stromfluss nur von einem Sektor zulässt.

## **1.2.6. Kreuzungen / Weichen**

Wenn sich zwei Fahrleitungen kreuzen, wenn Spuren geteilt oder zusammengeführt werden, dann sind beim Tram Kreuzungen und beim Trolleybus Kreuzungen oder Weichen notwendig. Der Stromabnehmer hat dabei einen direkten Einfluss auf die Komplexität der Weiche, beziehungsweise Kreuzung. Darunter fallen alle Kreuzungen von Verkehrsmittel mit Fahrleitung. Die Stellen möglicher Berührung der Rückleitungs- und Speisefahrdrähte werden dabei isoliert.

## **1.2.7. Fahrdraht**

BERNMOBIL verbaut einen Fahrdraht mit einem Querschnitt von 107 mm<sup>2</sup>, Bauform BC107.

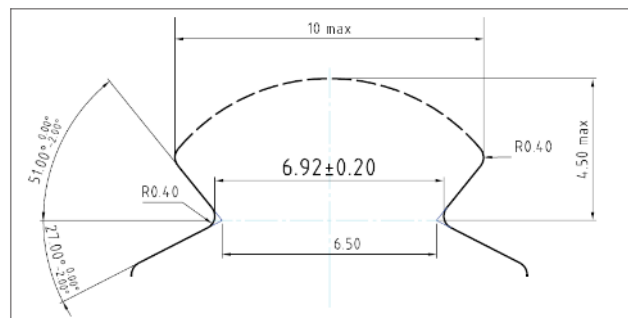


Abbildung 3: Fahrdraht BC107

## **1.2.8. Verstärkungsleitung (Feeder)**

Verstärkungsleitungen wurden bis und mit 2018 mit 107 mm<sup>2</sup> Fahrdraht gebaut, bei Neu- und Umbauten wird anstelle davon ein 120 mm<sup>2</sup> Cu-Seil eingesetzt.

## **1.2.9. Stromverbinder**

Stromverbinder werden eingesetzt, um eine gleichmässige Stromverteilung in den Fahrleitungen und den elektrischen Verstärkungsleitungen zu erhalten. Sie verbinden den Fahrdraht und wo vorhanden den Fahrdraht und Verstärkungsleitung untereinander. Verbindungen werden auf jedem dritten Tragwerk, also circa alle 75 m eingesetzt. Die Verbindung zwischen Verstärkungsleitungen wird mittels Aufhängungsklemmen an allen Tragwerken ausgeführt. Im Bereich von Haltestellen sind Stromverbinder zusätzlich vor und nach der Haltestelle zu planen.

## 1.3. Typische Querprofile

In den nachfolgenden Kapiteln sind für die verschiedenen Bauarten die entsprechenden Querprofile dargestellt (Die dargestellte Traktionsart ist nur symbolisch):

### 1.3.1. Querprofil mit Querspanner

Bei diesem Querprofil wird ein Querspanner an Masten oder Mauerbolzen verankert. Am Querspanner werden die Isolatoren und Fahrdrahtaufhängungen befestigt.

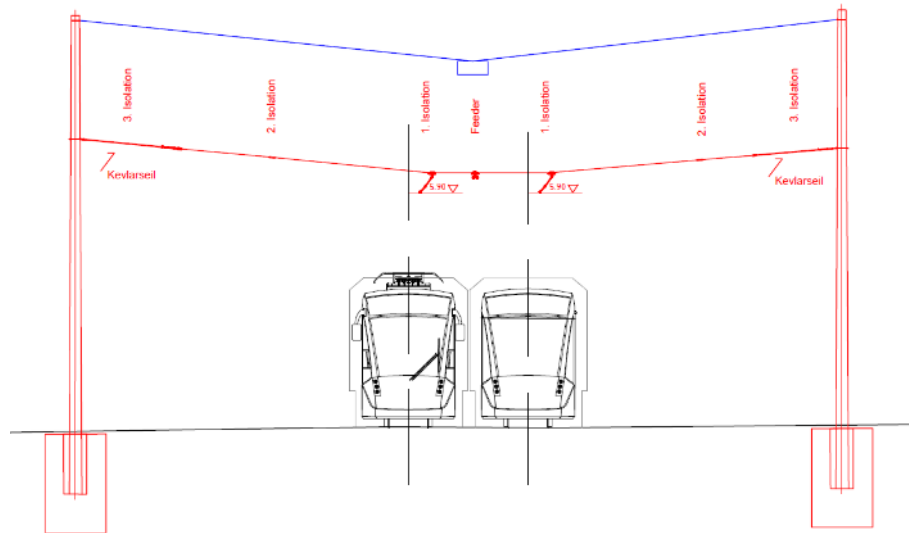


Abbildung 4: Querprofil mit Querspanner

### 1.3.2. Querprofil mit Ausleger

Ein Ausleger ist an einen Mast montiert und besteht aus Aufhängung, Isolator, Auslegerrohr, Auslegeranker und Bruchsicherung. Es existiert auch die Bauform mit Mittelmasten und beidseitig einem Ausleger.

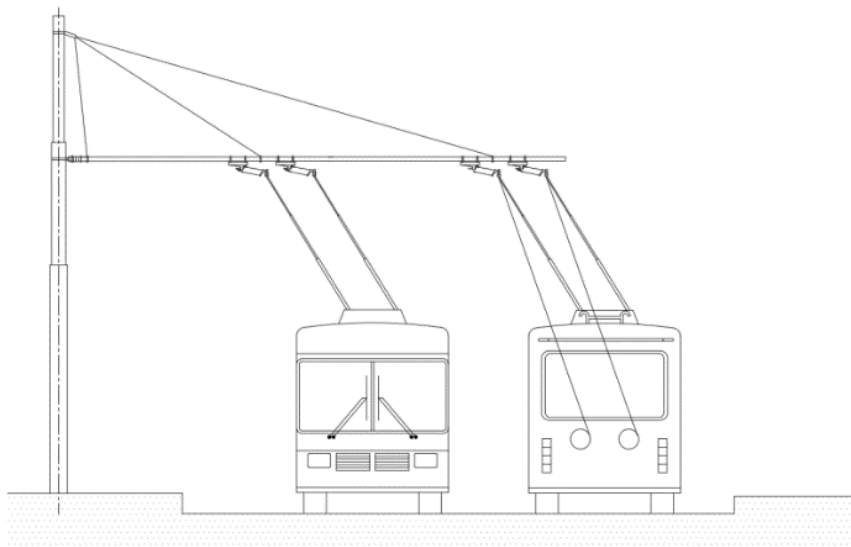


Abbildung 5: Querprofil mit Ausleger

### 1.3.3. Querprofil Tunnel oder Unterführungen und Depots

Das Tragwerk besteht aus der Befestigung an der Decke des Tunnels oder der Unterführung und der Fahrdrahtaufhängung mit Isolierkörper. Alternativ kann die Befestigung auch mit einer Spezialaufhängung realisiert werden.

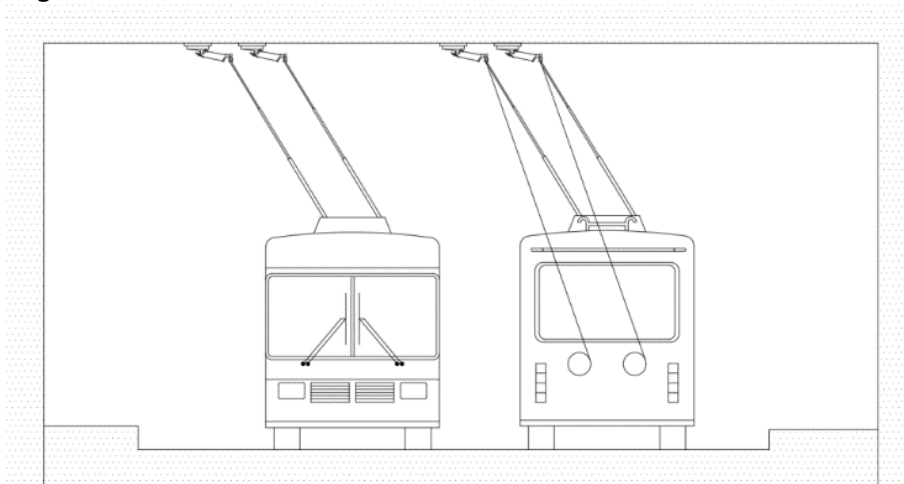


Abbildung 6: Querprofil Tunnel oder Unterführungen und Depots

## 1.4. Technische Daten BERNMOBIL

### 1.4.1. Streckennetz (NZB 2019)

Länge Einfachgleis Tram	Total 48 km
Länge Trolleybusfahrleitung	Total 25.7 km
Anzahl Weichen Tram elektrisch	65
Anzahl Weichen Tram mechanisch	65
Fahrgeschwindigkeit Tram	maximal 70 km/h
Fahrgeschwindigkeit Trolleybus	maximal 60 km/h

Tabelle 2: Streckennetz

### 1.4.2. Abmessungen

Spurweite Tram	1'000mm
Stromabnehmer Tram	(Bügelbreite 1950mm)
Spurweite Stromabnehmer Trolley	700mm
Stromabnehmerkopf Trolley	Kummler+Matter Stromabnehmerkopf 25 (B1426-1)

Tabelle 3: Abmessungen

### 1.4.3. Lichtraumprofil

#### Tram

Lichtraumprofil, Stromabnehmerraum  
Elektrischer Sicherheitsabstand ( $b_e$ )

Projektierungsrichtlinie Fahrbahn BERNMOBIL  
AB-EBV min. 3.5cm

#### Trolley

➔ Noch im Aufbau

### 1.4.4. Fahrleitung

Spannung  
Isolationsniveau

750 VDC  
1500 VDC

### 1.4.5. Leiterquerschnitt

	Typ	Querschnitt
Fahrdraht	BC107, Cu	107 mm <sup>2</sup>
Verstärkungsleitung (neu)	Cu	120 mm <sup>2</sup>
Verstärkungsleitung alt (Fahrdraht)	Cu	107 mm <sup>2</sup>
Querverbinder	4 GKW-AX 1500V	1x120 mm <sup>2</sup>
Steigleitungen Tram	4 GKW-AX 1500V	4x120 mm <sup>2</sup> je Sektor
Steigleitungen Trolley	4 GKW-AX 1500V	2x2x120 mm <sup>2</sup> je Sektor
Trennerüberbrückung	4 GKW-AX 1500V	2x120 mm <sup>2</sup>
Hinleiter Tram	Norm ewb	2x240 mm <sup>2</sup>
Rückleiter Tram	Norm ewb	4x240 mm <sup>2</sup>
Hinleiter Trolley	Norm ewb	2x150 mm <sup>2</sup>
Rückleiter Trolley	Norm ewb	2x150 mm <sup>2</sup>
Blitzschutz	4 GKW-AX 1500V	1x95 mm <sup>2</sup>
Masterdung	4 GKW-AX 1500V	1x95 mm <sup>2</sup>

Tabelle 4: Leiterquerschnitt

## 1.4.6. Fahrdrabt- / Verstärkungsleitungshöhe Temperaturangabe

### Tram

Fahrdrabthöhe im Aufhängepunkt	minimal 5.80 m	maximal 6.50 m
Fahrdrabthöhe zwischen Aufhängepunkten	minimal 5.30 m	maximal 6.20 m
Fahrdrabthöhe Tunnel	minimal 4.20 m	maximal 6.50 m
Verstärkungsleitung	20 cm über Fahrdrabt	

Tabelle 5: Fahrdrabt / Feederhöhe Tram

### Trolleybus

Fahrdrabthöhe im Aufhängepunkt	minimal 6.00 m	maximal 6.70 m
Fahrdrabthöhe im Spannungsfeldmitte	minimal 5.50 m	maximal 6.40 m
Fahrdrabthöhe Tunnel	minimal 4.20 m	maximal 6.70 m
Höhenversatz	10 cm über Fahrdrabt Tram	

Tabelle 6: Fahrdrabt / Feederhöhe Trolleybus

## 1.4.7. Maximale Zugkräfte

Die Montagezugkraft wird bei -20°C gerechnet.

Folgend die „Zugkrafttabelle“ für Fahrdrabt 107 mm<sup>2</sup> BC107:

Temp. (°C)	Kilogramm	Temp. (°C)	Kilogramm	Temp. (°C)	Kilogramm
- 20	963	0	695	16	540
- 14	876	2	674	18	521
- 12	847	4	657	20	506
- 10	820	6	631	22	489
- 8	792	8	612	24	474
- 6	765	10	592	26	460
- 4	742	12	574	28	447
- 2	720	14	556	30	434

Tabelle 7: Zugkrafttabelle (Quelle: Kummeler + Matter)

Bei neuem Fahrdrabt, mit + 10% überziehen.

## 1.4.8. Gewicht

	Seil - Typ	kg/m'
Fahrdrabt	Cu 107 mm <sup>2</sup>	0.94 kg/m'
Feederseil (neu)	Cu 120 mm <sup>2</sup>	1.152 kg/m'
Feederseil alt (Fahrdrabt)	Cu 107 mm <sup>2</sup>	0.94 kg/m'
Tragseil bei HN-FL	Cu 120 mm <sup>2</sup>	1.152 kg/m'
Querspanner	Fe 50 mm <sup>2</sup>	~0.5 kg/m'

Tabelle 8: Gewicht

#### 1.4.9. Spannweiten Fahrdraht

- In der Geraden: Maximal 30 m. Die Projektierung soll mit Spannweiten von maximal 27m erfolgen, um ein allfälliges späteres Verschieben der Masten infolge Planungs- und/oder Fundamentänderung auffangen zu können.
- In der Kurve: Die Spannweiten sind von der [Pfeilhöhe] und dem [Kurvenradius] der Gleisachse abhängig.

#### 1.4.10. Zick-Zack

Désaxement (Mass) in Geraden	+/- 30 cm
Désaxement (Mass) in Kurven mit Radius < 25 m	+0/-30 cm
Désaxement (Mass) in Kurven mit Radius 80 m > r > 25 m	+15/-30 cm
Désaxement (Mass) bei Trans X Induktionsschlaufen	+/- 1 cm

Für die exakte Ermittlung des Désaxement siehe im Anhang 1 – Tabelle Désaxement.

#### 1.4.11. Temperaturbereich (Regelfall) / Stromerwärmung / Längenänderung

Temperaturbereich	
Umgebung kalt	-20°C
Umgebung warm	+35°C
Stromerwärmung	+10°C
	$\Delta T$ 65°C

Ausdehnungskoeffizient Kupfer (Cu):

$$\alpha_{Cu} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ (} \frac{1}{^\circ\text{C}} \text{)}$$

Ausdehnungskoeffizient Valthermo (CuSn0,1):

$$\alpha_{CuSn0,1} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ (} \frac{1}{^\circ\text{C}} \text{)}$$

Rechnungsbeispiel (T = 65°C): Längenänderung durch die Temperaturänderung:

$$55,25\text{cm} = 500\text{m} \cdot \Delta T 65^\circ\text{C} \cdot (17 \cdot 10^{-6} \text{ (} \frac{1}{^\circ\text{C}} \text{)}) \begin{cases} Fd \text{ Cu } 107\text{mm}^2 \\ Ts \text{ Cu } 120\text{mm}^2 \end{cases}$$

#### 1.4.12. Weitere Begriffe

Begriffe aus der Energie- und Starkstromtechnik sind in der Starkstromverordnung Art. 3 und Schwachstromverordnung Art. 3 erklärt. Dabei geht es um Begriffe wie „Instruierte Person“, „Niederspannungsanlage“ usw.

Die VEAB erklärt in Art. 3 einige wenige Grundbegriffe im Zusammenhang mit der Fahrleitung und elektrischen Anlagen.

## **2. Projektierungsgrundlagen**

### **2.1. Planungsphasen**

#### **2.1.1. Planungsphasen nach SIA 103**

Die Leistungserbringung erfolgt gemäss SIA 103 (Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieure und Bauingenieurinnen).

#### **2.1.2. Zu erstellende Dokumente**

Die zu erstellenden Projektunterlagen sind Bestandteil des vertraglich vereinbarten Leistungsumfanges.

##### **Ausführung der Unterlagen**

Darstellungsformat: A4, grössere Pläne gefaltet zu A4

Dokumentationsform: Dokumentationsmappe mit Inhaltsverzeichnis und den einzelnen Bestandteilen gemäss den Vorgaben.

#### **2.1.3. Vorprojekt**

Im Vorprojekt wird eine Grobplanung des zu erstellenden Bauwerkes erstellt inklusive Varianten. Neben den Planunterlagen werden auch die groben Termine und Kosten dargestellt. In der Phase des Vorprojektes ist die Genauigkeit  $\pm 30\%$ . Die Positionen der Kostenschätzung werden in die Kategorien, Planung, Montage, Material aufgeteilt.

#### **2.1.4. Bauprojekt / Auflageprojekt**

Das Auflageprojekt entspricht in der Fahrleitungsplanung bereits dem Bauprojekt, enthält aber noch nicht alle statischen Berechnungen. Offerten sind nach Planung, Montage, Material, Maschinen, Spesen und Sonderaufwände zu gliedern, die Genauigkeit entspricht  $\pm 20\%$ .

##### **Auflageprojekt, PGV-Unterlagen**

PGV-Unterlagen werden durch BERNMOBIL beim BAV eingereicht. Das Vorhaben kann sowohl als reines Fahrleitungsprojekt oder kombiniert im Rahmen eines Gesamtprojektes eingegeben werden.

#### **2.1.5. Ausführungsprojekt**

Das Ausführungsprojekt umfasst alle zur Erstellung des Bauwerkes erforderlichen Unterlagen. Dazu gehören Planunterlagen, statische Berechnungen, Stücklisten und Terminplan. Abweichungen vom bewilligten Projekt benötigen die Einwilligung von BERNMOBIL, gegebenenfalls auch des BAV.

#### **2.1.6. Schlussdokumentation**

Die Ausführungspläne werden von der Anbieterin nach gebautem Werk bereinigt und BERNMOBIL innerhalb von 8 Wochen nach der Inbetriebnahme digital sowie einfach in Papierform übergeben.

Minimaler Inhalt der Schlussdokumentation:

- Fahrleitungspläne
- Allenfalls Querprofile (spezielle Bauformen)
- Allenfalls Zusatzpläne wie zum Beispiel spezielle Foundation, Konstruktion
- Verkabelungspläne
- Materialliste
- Fotodokumentation
- Abnahmeprotokoll
- Allfällige Dokumentation neuer Komponenten (Bedienungsanleitung, Wartungshandbuch und Materialliste)



## **2.2. Die Fahrleitungsprojektierung**

### **2.2.1. Allgemeines**

Die Fahrleitungsprojektierung ist nach den Vorgaben von BERNMOBIL zu erarbeiten. Bei Bedarf wird BERNMOBIL eine vorgängige Begehung zur Klärung durchführen.

### **2.2.2. Vorbereitung / Grundlagen für die Projektierung**

#### **2.2.2.1. Benötigte Unterlagen**

BERNMOBIL liefert die Grundlagen, welche in ihrem Zuständigkeitsbereich liegen. Weitere Unterlagen müssen von der Auftragnehmerin bei der Gesamtprojektierung respektive beim Generalplaner eingefordert werden.

- Projektperimeter
- Tiefbauprojekt (Strassen, Trottoir, Werkleitungen)
- Katasterauszug mit GIS-Punkten
- Werkleitungserhebung
- Haltestellen
- Öffentliche Beleuchtung
- Bäume und weitere natürliche Hindernisse
- Schwerverkehrsrouten
- Brücken, Unterführungen
- Gleislage, Situation, Quer- und Längsprofile
- Lichtsignalanlagen
- Netzschema Tram / Trolley

In einer gemeinsamen Begehung werden folgende Informationen und Vorgaben durch BERNMOBIL vorgegeben:

- Überführungen: Absenkung Fahrdraht
- Bestehende Mauerbolzen oder Masten
- Lage der Fahrdraht-Antennen beziehungsweise Lage der Infrarotmodule
- Lage von Signalen
- Einspeisung und Streckentrenner
- Typ der Fahrleitung
- Mauer, Geländeeinschnitte
- Balkone / Terrassen

#### **2.2.2.2. Situationsplan**

Der Situationsplan ist eine ebene Darstellung der Fahrleitung in einem projektierten Streckenabschnitt oder einem Anlageteil. Der Situationsplan muss massstäblich (1:200) erstellt werden.

Hauptbestandteile:

- Standorte und Abstand der Stützpunkte inklusive der jeweiligen Daten gem. 2.2.2.3
- Lage und Form der Tragwerke
- Leitungsführung der Fahr-, Verstärkungs- und Speiseleitungen
- Abfangungen, Verankerungen
- Fahrleitungskomponenten
- Richtung und Wert der resultierenden Kraft
- Winkelangaben
- Fahrdraht An- und Abstiege
- Informationen und Werte zum Stützpunkt (nach BERNMOBIL Standard)

### 2.2.2.3. Mast- / Mauerbolzenstempel CAD nach BERNMOBIL Standard

#### Darstellung Fahrleitungsplan

<b>Mast SSS-07-xxx</b>			
Mast Typ			
Länge total		m	
Länge eingespannt		m	
Spitzenzug		kN	
Mastmoment		kNm	
Fussplatte			
Auslegerlänge		m	
Ausleger Ø		Zoll	
Ausleger Höhe		m	
Ausleger-Anker		Stk	
Fundament Typ			
Fundament Kubatur		m <sup>3</sup>	
Zementrohr Ø		cm	
Kabeleinführung			
Terrain Differenz		m [SOK]	
Schuss	Länge	Ø [mm]	WS [mm]
1			
2			
3			

Mastbezeichnung:

SSS = Sektor  
07 = Mast  
xxx = fortlaufende Nr.

Mast Typ:

RM = Rundmast 3-schüssig  
RK = Rundmast konisch  
HEB = Breitflanschträger  
HEM = Breitflanschträger  
SM = Spezialmast

Abbildung 7: Maststempel Fahrleitungsplan

Die definitiven Durchmesser und Wandstärken werden erst im Plan des ausgeführten Bauwerkes eingetragen. Die Standartwerte für die Durchmesser werden in der Projektierungsphase durch BERNMOBIL vorgegeben.

#### Darstellung Typenschild am Mast

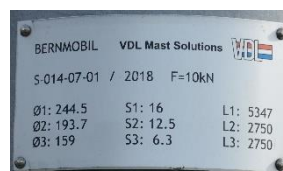


Abbildung 8: Mastplakette (Beispiel aus einem ausgeführten Projekt)

#### Darstellung Mauerbolzen

<b>MB-Nr.</b>	<b>Höhe M.ü.M.</b>	<b>Höhe m</b>	<b>Lastwert kN</b>
<b>SSS-08-xxx</b>	xxx.xx	6.40	10
<b>SSS-08-xxx</b>	xxx.xx	7.20	8.5

SSS = Sektor  
08 = Mauerbolzen  
xxx = fortlaufende Nr.

Abbildung 9: Mauerbolzen Fahrleitungsplan

#### 2.2.2.4. Querprofil

Querprofile beziehen sich auf einen projektierten Stützpunkt. Sie sind mit allen Vermessungen und Informationen zu versehen. Auf den Querprofilen werden alle Komponenten der Fahrleitungsanlage dargestellt, in Bezug auf die Terrain- und/oder Häuserkonturen sowie Gleisachse:

- Stützpunkte
- Ausleger (Einfach und Doppel)
- Querspanner
- Fliegende Abzüge
- Tunneltragwerke
- Flachkette
- Hochkette (Kettenwerk)
- Abzüge Fahrleitung
- Pendelaufhängung
- Beiseilaufhängung
- Feederaufhängung / Niederhalter
- Isolationen
- Fahrdrathöhe
- Fahrleitungsantenne
- Kabel und Kabelführung

#### 2.2.2.5. Normquerprofile

Normquerprofile (NQP) sind typisierte Profile an Stützpunkten. Sie zeigt die projektierte Fahrleitungsanlage an definierten Stützpunkten. Dabei werden gleichartige Profile zusammengefasst. Ein NQP enthält nur standardisierte oder für das Verständnis wichtige Daten und Masse, dazu gehören gegebenenfalls auch das Lichtraum- und das Stromabnehmerprofil.

Im Rahmen eines normalen Projektablaufes werden Normquerprofile typischerweise im Vorprojekt und/oder im Auflageprojekt verwendet.

#### 2.2.2.6. Längsprofile

Längsprofile sind Darstellungen, welche die Fahrleitungsanlage oder Teile davon längs der Gleisachse oder Strasse zeigen. Sie sind eher unüblich können aber in komplexen Projekten hilfreich sein.

Längsprofile sind geeignet, um den Verlauf der Fahrleitungsanlage in Bezug zu Objekten (Brücken, Unterführungen usw.) darzustellen. Ein solches Profil visualisiert die Abstände (z.B. Berührungsschutz), Verlauf sowie die Streckenföhrung.

#### 2.2.2.7. Spezielle Profile

Sind Sonderkonstruktionen erforderlich, müssen diese in gesonderten Detailplänen und Detailprofile dargestellt werden.

Zum Beispiel sind dies:

- bei Berührungsschutzproblemen sind die Verhältnisse, bezüglich Abstand am Objekt, darzustellen.
- bei Masten auf Bauwerken mit Fussplatte und/oder speziellen Erdungseinrichtungen.

#### 2.2.2.8. Verkabelungspläne

Der Verkabelungsplan gibt Auskunft über die Anschlusspunkte (zum Beispiel: Weichenlicht, Sicherungskasten, Fahrdrathantenne) und die Verlegung.

#### 2.2.2.9. Titelblätter

Es sind die Titelblätter von BERNMOBIL oder die von BERNMOBIL definierten zu verwenden. Der Titel wird von BERNMOBIL vorgegeben.

## 2.2.2.10. Plansymbole

Pläne, Zeichnungen und Skizzen, in denen Symbole verwendet werden, müssen eine entsprechende Legende aufweisen.

Durch BERNMOBIL festgelegte Symbole und Definitionen:










































SYMBOL FÜR STRASSENBAHN-FAHRLAUF	SYMBOL FÜR TROLLEYBUS-FAHRLAUF	FAHRLAUF
 1) MB 2) RM, BM 3) GM  Querspanner einseitig vertikal gespreizt  Zugkraft in daN bei -20°C Briden resp. MB Höhe  Seiljoch  Resultierendes Moment am Mastfuss  Doppelquerspanner für Streckentrenner  Tragnetz für Kreuzungen und Weichen  Fahrdrahtabfangung  Fahrdraht Hilfsabfangung  Streckentrenner  Feedertrennung  Querverbinder  Trennschalter  Speisung  Fixpunkt  Nachspannung  Kreuzung STB-STB bis 60° mit Kreuzungslab  Kreuzung STB-STB 40° - 90° verstellbar  Kreuzung TB-STB ohne Stromunterbruch  Kreuzung TB-STB mit Stromunterbruch	 1) MB 2) RM, BM 3) GM  Querspanner einseitig vertikal gespreizt  Zugkraft in daN bei -20°C Briden resp. MB Höhe  Seiljoch  Resultierendes Moment am Mastfuss  Doppelquerspanner für Streckentrenner  Tragnetz für Kreuzungen und Weichen  Fahrdrahtabfangung  Fahrdraht Hilfsabfangung  Streckentrenner  Querverbinder  Trennschalter  Speisung  Richtungsanzeige mit Verkabelung  Einsatzbogen  Übergangsklemmen  Kreuzung TB-TB  Kreuzung TB-STB ohne Stromunterbruch  Kreuzung TB-STB mit Stromunterbruch  Weiche 20°  Weiche 10°	<b>TECHNISCHE DATEN</b> Fahrlaifsystem EWS Fahrdrahtquerschnitt 107 mm <sup>2</sup> Feederquerschnitt -- mm <sup>2</sup> Fahrdrahthöhe TB 6.00 m Fahrdrahthöhe STB 5.80 m Fahrdrahtzug TB 9630 N (-20°) Fahrdrahtzug STB 9630 N (-20°) Feederzug -- N (-20°) Grundanstieg 1 : 7 / 1 : 10 Querspanner Stahseil Rohrleger --
		<b>FARBBEZEICHNUNGEN</b> — Schwarz: Bestehend — Rot: Neuer Fahrdraht, Mast, MB — Blau: Neues Tragwerk, Anker — Gelb: Demontage — Grün: Öffentliche Beleuchtung
		<b>KURZZEICHEN ALLGEMEIN</b> TB Trolleybus DB Dachbolzen STB Strassenbahn FH Fahrdrahthöhe RM Rohrmast Kr. Kreuzung BM Betonmast L/R Links / rechts GM Gittermast Spr. Spreizung MB Mauerbolzen
		<b>KURZZEICHEN TROLLEYBUS</b> P > Pendelaufh. St. Starre Aufh. KP Kurz-Pendel E Einsatzbogen LP Lang-Pendel LED Richtungsanzeige 3-30° Kurvenhalter WSK Weichenst.-kasten
		<b>KURZZEICHEN STRASSENBAHN</b> P > Pendelaufh. 4-9° 1 Spurhalter KP Kurz-Pendel > 9° 2 Spurhalter St. Starre Aufh.

Abbildung 10: Symbole 1










































Legende:	
 Fahrleitung Rundmast	 Trennschalter
 Fahrleitung HEB-Mast	 Überspannungsableiter (ÜA)
 Mauerhaken neu / bestehend	 Beleuchtung (OB / Platzbeleuchtung)
 Tunneltragwerk	 LSA an Mast
 Mast mit Ausleger	 LSA an Ausleger
 Mast mit Abzug	 LSA an Querspanner
 Querspannseil	 Starre Aufhängung
 Querspanner gespreizt (Trapez)	 Aufhängung mit Flachlagespurhalter
 Seiljoch	 010-08-001 Nummer zu Fahrleitungsmast
 Fahrdraht Tram Cu107mm <sup>2</sup>	 W1001 Nummer zu Mauerhaken
 Fahrdraht Trolley Cu107mm <sup>2</sup>	 -20.00m- Distanz Mast - Mast
 Feeder Cu107mm <sup>2</sup> (alt) / Feeder Cu120mm <sup>2</sup> (neu)	 8 daN/8.50m Zugkraft / Abfahöhe
 Abfangung Fahrdraht fest	
 Abfangung Fahrdraht beweglich (Tensorex)	
 Fixpunkt	
 Nachspannung	
 Streckentrenner	
 Trenner	
 Trenner mit Schutzstrecke	
 Verbindung Feeder	
 Verbindung Fahrdraht - Fahrdraht	
 Einspeisung	
 Fahrdrahtantenne	
 Bestehende FL - Anlage	 Bau in spätere Bauphase
 Projektierte FL - Anlage	 Provisorische FL - Anlage
 Abbruch	 Gebaut in früherer Bauphase

Abbildung 11: Symbole 2

### 2.2.2.11. Planbearbeitung und Datenformate

Dokumenttyp	Programm	Dateierweiterung
Planunterlagen / Zeichnungen	AutoCAD	.dwg .dxf
Textdokumente	Word	.docx
Tabellen	Excel	.xlsx
Plattformunabhängiges Dateiformat	Acrobat-Reader	.pdf

Tabelle 9: Datenformate

## 2.3. Projektierung

### 2.3.1. Stützpunkte

Alle Stützpunkte (Masten und Mauerbolzen) sind Bewilligungspflichtig. Mit den Grund- / Gebäudeeigentümer muss zudem eine Vereinbarung oder ein Dienstbarkeitsvertrag abgeschlossen werden.

#### 2.3.1.1. Masten / Fundamente

Als BERNMOBIL Standard werden 3-schüssige Rundmasten projektiert. Die Masten müssen allenfalls den projektspezifischen gestalterischen Vorgaben entsprechen und sind vor der Konstruktion durch BERNMOBIL freizugeben. Jeder Mast muss für die projektspezifische Kombination mit der öffentlichen Beleuchtung, Lichtsignalanlagen und weiteren Nutzern ausgelegt sein.

Die erforderliche Mast- und Fundamenteinführung zur Erschliessung vom Anstosselementen, Signalen, öffentlicher Beleuchtung, etc. sind durch den Fahrleitungsplaner zu erheben und durch BERNMOBIL freizugeben.

#### 2.3.1.2. Mauerbolzen

Die Mauerbolzen müssen je nach Mauerwerk ausgelegt werden. Die Anordnung ist durch BERNMOBIL freizugeben. Erschütterungen aus der Fahrleitung sind mit einer Dämpfung im Querspanner zu minimieren. Bei der Projektierung muss darauf geachtet werden, dass ein Mauerbolzen maximal mit 10 kN belastet wird.

Mauerbolzen dürfen nur an geeigneten Stellen im Mauerwerk angebracht werden. Diese findet man an folgenden Bauteilen:

- Hausecken
- T-Mauern: d.h. mit stabilen Mauern im Inneren des Gebäudes.
- Stützmauern
- Geschossdecke

### 2.3.2. Tragwerke

- Für Seiltragwerke gelten folgende generellen Anforderungen:
- Alle Seiltragwerke müssen einseitig mit einem Spannschloss ausgerüstet sein. Dieses muss auf der Kurveninnenseite montiert werden.
- Die Verbindungen zu Isolierschlaufen, Spannschloss, Mauerbolzen müssen lösbar sein, das heisst z.B. mit einem Schäkel ausgeführt und dürfen nicht fest eingepresst sein.
- Die Knoten müssen mit Ring und Schäkeln ausgeführt sein.
- Spreizungen sind mit Dreieckplatten auszuführen.
- Seiltragwerke müssen 3-fach isoliert sein:
  1. Isolation
    - a) am Mast mit Isolierschleife oder Gewebeseil (Kevlar oder Parafil)
    - b) am Gebäude normalerweise mit mindestens 1,5 m Gewebeseil, dass gleichzeitig als Schalldämpfer dient. Minimale Bruchfestigkeit 30 kN
  2. Isolation
    - a) 2 m ab Schienenaussenkante
  1. Isolation
    - a) Mittels Isolierkörper für die Fahrdrahtaufhängung
- Die Isolation hat folgende Eigenschaften:
  1. Eine minimale Bruchlast von 45 kN aufweisen
  2. Eine Durchschlagfestigkeit min. 1,5 kV aufweisen

Die Seiltragwerke können in zwei verschiedenen Ausführungsformen zum Einsatz kommen:

- Stahlseil 35 mm<sup>2</sup> bei  $F < 12 \text{ kN}$  / Stahlseil 50 mm<sup>2</sup> bei  $F > 12 \text{ kN}$ 
  - Material rostfreier (INOX) oder feuerverzinkter Stahl
  - Zugspannung mindestens 1.25 kN/mm<sup>2</sup>
  - Mindestbruchkraft bei 35 mm<sup>2</sup> = 40 kN, bei 50 mm<sup>2</sup> = 60 kN

#### Elektrische Abstände

Die Distanzen zwischen den einzelnen Isolationen betragen 1.75 m. Damit ein Gewebeseil als Isolation gewertet werden darf, muss es mindestens 1.50 m lang sein. Die einzelnen Isolationsstrecken dürfen nicht übergriffen werden können.

### 2.3.3. Aufhängungen

Die Befestigungen müssen an Stahlseilen, Kunststoffseilen und Auslegern einsetzbar sein. Grundbedingung zur Reduzierung des mechanischen Verschleisses an Fahrdrähten ist eine elastische Ausführung, d.h. die Aufhängungen müssen unter dem Anpressdruck des Stromabnehmers nachgiebig sein.

Im geraden werden Aufhängungen als Kurzpendel oder Langpendel ausgeführt. In Kurven mit ein- oder zweifachen Spurhaltern oder beim Trolley mit Kurvenschienen realisiert. Es gelten die jeweiligen Vorschriften des Herstellers.

### 2.3.4. Nachspannung

Eine volle Nachspannung weist eine Gesamtlänge von 1000 m auf mit einem Fahrdrahtfixpunkt in der Mitte. Eine halbe Nachspannung ist 500 m lang und besitzt eine feste Abfangung auf der einen Seite und die Nachspannung auf der anderen Seite.

Die Zugkraft für den nachgespannten Fahrdraht beträgt 7.50 kN und wird mit einem Tensorex C+, Befestigung A realisiert. Regulierlänge beträgt 750 mm.

### 2.3.5. Fixpunkt

Der Fixpunkt wird durch Verankerung des Fahrdrahtes mittig zwischen zwei Nachspannvorrichtungen sichergestellt. Der Fixpunkt bewirkt, dass sich die Längenausdehnung aufgrund der Temperaturunterschiede beidseitig auswirkt und der Fahrdraht nicht auf eine Seite wandert.

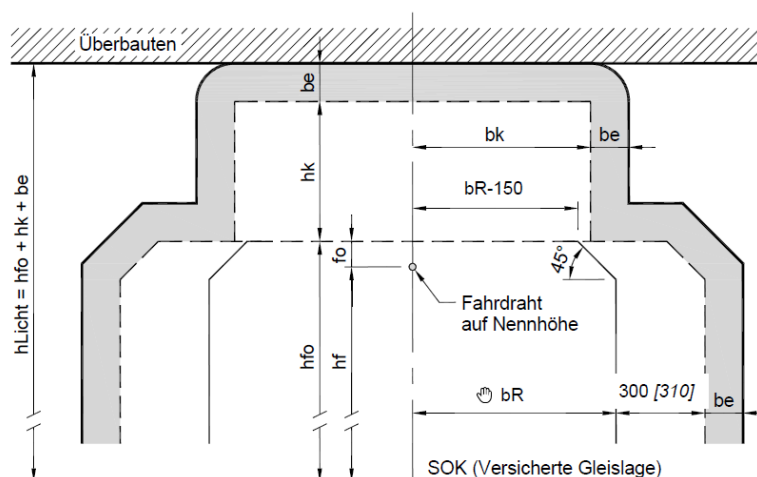
## 2.3.6. Lichtraumprofil Tram

Als Lichtraumprofil gilt die Projektierungsrichtlinie FÜR ANLAGEN VON STRASSENBAHNEN IM NETZ VON BERNMOBIL.

## 2.3.7. Stromabnehmerraum

Das Lichtraumprofil orientiert sich an den maximalen Abmessungen für Tramfahrzeuge nach AB-EBV "Meterspur Stromabnehmerraum und Oberleitungsraum". Zu beachten ist die spezifische Fahrdrathöhe von minimal 5.50 m im Mischverkehr, respektive 5.40 m im Eigentrasse. Eine abweichende Fahrdrathöhe, z.B. bei Sonderbauwerken wie Unterführungen, Depot wird durch BERNMOBIL vorgegeben.

Die Gesamthöhe des Stromabnehmerraums setzt sich aus  $h_{fo} + h_k + b_e$  zusammen.



hfo : Anhublage des Fahrdrahtes	bR : Halbe Breite der Bezugslinie des Stromabnehmers (bw+65 [70]) (inkl. Seitenverschiebung unter Einwirkung einer horizontalen Kraft sowie seitliche Befestigungstoleranzen in Funktion der Höhe)
hf : Nennhöhe des Fahrdrahtes	be : elektrischer Schutzabstand gemäss AB-EBV zu Art. 44, AB 44.c, Ziff. 5.9
fo : Anhub des Fahrdrahtes	
hk : Höhe des Oberleitungs-Konstruktionsraumes	
bk : Halbe Breite des Oberleitungs-Konstruktionsraumes	
bw : Halbe Breite der Stromabnehmerwippe	

Die angegebenen Werte gelten für Anhublagen des Fahrdrahtes bis 5'500 mm [Werte in Klammer gelten bis 5'700 mm]. Für grössere Nennhöhen des Fahrdrahtes müssen diese Werte neu bestimmt werden.

Abbildung 12: Stromabnehmerraum

## 2.3.8. Fahrdrabt

Material Verwendung	Konstruktion	A [mm <sup>2</sup> ]	g [N/m']	E [kN/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha$ 10 <sup>-5/0</sup>	Fu [kN]	Ø [mm]
Cu 107 Fd EN 50149/BC-107		107	9.23	105	1.7	34.4	12.24

A= Querschnitt  
g= Gewicht

E= E-Modul  
a= Ausdehnungskoeffizient

Fu= Bruchlast  
Ø= Seildurchmesser

Tabelle 10: Fahrdrabt

### 2.3.9. Exponentieller Fahrdrähtanstieg /-abstieg

Nach respektive vor einer Höheneinschränkung wird die erste Fahrdrahtaufhängung auf der gleichen Höhe gehalten wie im Bereich der Höheneinschränkung. Danach wird der Anstieg respektive Abstieg wie unten im Bild dargestellt auf das normale Niveau geführt.

Unter vorgegebenen Umgebungsbedingungen und Toleranzen darf die horizontale Auslenkung des Fahrdrahtes und des Stromabnehmers nicht zum Abgleiten des Fahrdrahtes von der Stromabnehmerwippe führen, außer an den Übergabepunkten von Weichen, wo dies konstruktiv vorgesehen ist. Untenstehend der Auszug aus der SNEN-50119 Art. 5.10.3:

Geschwindigkeit bis	Größte Neigung		Größter Neigungswechsel	
	km/h	‰		‰
100	1/167	6	1/333	3

Tabelle 11: Exponentieller Fahrdrähtanstieg /-abstieg

## 2.4. Kenngrößen und Definitionen

Die nachfolgenden Definitionen werden heute schweizweit angewendet.

### 2.4.1. Überhöhung [ü]

Die Überhöhung ist eine Kenngrösse des Gleises, diese wird in mm angegeben.

Eine Neigung nach links wird mit einem negativen Vorzeichen versehen, eine Neigung nach rechts mit positivem Vorzeichen.

### 2.4.2. Schienenoberkante [SOK]

Die Schienenoberkante (SOK) ist das Hauptreferenzmass für die Fahrleitungsanlage. Der Referenz-Punkt liegt mittig auf der Ebene zwischen den beiden Schienenoberkanten eines Gleises.

Kann auch als gemeinsame Fahrflächen-Tangente [GFT] bezeichnet werden.

### 2.4.3. Fahrdrähthöhe [hf]

Die Bezeichnung hf ist die Höhe zwischen Fahrdraht und SOK am entsprechend bezeichneten Ort, in Ruhelage. Die Höhe entspricht dem Abstand von SOK zur Fahrdrähtunterkante.

### 2.4.4. Mastanzug

Der Mastanzug bezeichnet die Schiefstellung von dem Mast bei der Montage, damit der Mast unter Last senkrecht steht. Bezugspunkt ist die Mastachse beim Übergang in den Boden und an der Mastspitze. Der Anzug ist ein Montagemaß, welcher in die Gegenrichtung von dem resultierenden Kraftvektor anzugeben ist.

### 2.4.5. Erdungsprinzipschema

Das Erdungsprinzipschema zeigt, wie die Anlageteile geerdet werden müssen. Im Weiteren hat es darüber Aufschluss zu geben, wie die verschiedenen Erdungssysteme verbunden oder getrennt werden. Masse sind einzutragen, wenn sie für die Beurteilung des Erdungskonzeptes notwendig sind. Abstände für den Berührungsschutz sind immer einzuzeichnen.



#### **2.4.6. Technischer Bericht**

Der technische Bericht beschreibt die Nutzungszustände des geplanten Projektes:

- Ausgangslage
- Grundlagen
- Strukturelemente der Fahrleitung, Systembeschreibung
- Funktion und Netztopologie der Anlage
- Auswirkungen des Projektes auf benachbarte Anlagen
- Elektrische Nennwerte
- Sicherheitstechnische Aspekte, Berührungsschutz
- Kostenschätzung (+/- 20%) beim Vorprojekt / Kostenvoranschlag (+/- 10%) beim Bauprojekt
- Umweltaspekte
- Gefahrenanalyse

Der Bericht ist so zu erstellen, dass auch nicht versierte Fachkräfte sich einen Überblick verschaffen können. Der technische Bericht Fahrleitung, kann Bestandteil eines Berichtes über das gesamte Bauprojekt sein.

#### **2.4.7. Fundamentplan**

Der Fundamentplan enthält die Angaben, die für den Fundamentbau wichtig sind. Die Fundamentnormalien sind auf der Webseite [www.bern-baut.ch/](http://www.bern-baut.ch/) unter Normalien aufgeschaltet.

#### **2.4.8. Netzsschema Tram / Trolleybus**

Das Netzschema zeigt die elektrische Aufteilung einer Fahrleitungsanlage und deren Schaltzustand.

Informationen auf einem Netzschema:

- Ortsangaben
- Gleichrichter
- Einspeise- und Überbrückungsmesser
- Strecken- und Schutzstreckentrenner
- Sektoren
- Legende

### 3. Fundamente

#### 3.1. Übersicht

Das vorliegende Kapitel beschreibt die bei BERNMOBIL zur Anwendung kommenden Fundamenttypen für Fahrleitungsmasten. Bei BERNMOBIL werden vorwiegend Köcherfundamente eingesetzt. Vom Standard abweichende Fundamente sind zu begründen und von BERNMOBIL freizugeben. Nähere Angaben zu diesem Fundamenttyp sind unter [www.bern-baut.ch](http://www.bern-baut.ch) im Normalienblatt 2-771 zu finden.

Neben BERNMOBIL gibt es noch weitere Nutzer auf den Fahrleitungsmasten, was bereits bei der Fundamentplanung und Werkleitungseinführung in den Masten eine Koordination verlangt. So liegt zum Beispiel bei Masten, welche sich für eine Lichtsignalanlage (LSA) anbieten, die Lage der Fundamentoberkante 10 cm tiefer als der definitive Bodenbelag ist.

##### Unterirdische Leitungen

Bei der Planung beziehungsweise beim Bau von Fundamenten ist besonders auf bereits bestehende unterirdische Leitungen wie z.B. Wasserleitungen, Gasleitungen, etc. zu achten. Ein "exzentrisches" Fundament ist eine mögliche Lösung. Eine Absprache mit dem Eigentümer der Leitungen und der Einhaltung seiner Richtlinien ist zwingend.

Den Bauunterlagen sind Querprofile, Situationspläne, Fundamentliste und die Fundamentnormen beizulegen.

##### Bestimmungen

Für die Aushärtung des Betons der Fundamente verlangt BERNMOBIL mindestens 3 Tage wobei diese Zeit auf milde Witterung bezogen ist. Danach darf das Fundament frühestens mit der vollen Zugkraft belastet werden. Bei extremen Witterungsbedingungen sind geeignete Massnahmen zu treffen, sowie die Aushärtungszeit anzupassen. Die Betonüberdeckung der Armierung ist in den Fundamentnormalien angegeben.

Spezialfundamente, zum Beispiel für Erdungen von Masten mit Überspannungsableiter, Mastschalter, Berührungsschutz oder Speisekasten, sind durch BERNMOBIL freizugeben.

#### 3.1.1. Köcherfundament

##### Anwendung: Standard BERNMOBIL



Abbildung 13: Köcherfundament

### **3.1.2. Fundament für Rundmast mit Fussplatte**

**Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**



Abbildung 14: Fundament für Rundmast mit Fussplatte

### **3.1.3. Fundament für HEB-Mast mit Fussplatte**

**Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**



Abbildung 15: Fundament für HEB

### 3.1.4. Mauerkonsole

#### Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)

Mastkonsolen werden an Mauern oder Brücken eingesetzt. Eine Halbschale dient als Druck-, die andere als Zugstütze. Wird der Mast mit Winkelzug belastet, so ist die Konstruktion seitlich abzustützen. Für eine einfachere Montage sollte die Mauerkonsole einen Boden haben, d.h. der Mast kann in die Konsole gestellt und danach definitiv fixiert werden. Bei der Konstruktion ist der Anzug zu berücksichtigen. Der Einsatz und die Gestaltung sind mit den verschiedenen Interessensgruppen bis ins Detail zu koordinieren.

Mögliche Interessensgruppen sind: Eigentümer der Brücke, ewb Beleuchtung, Stadt/Kanton für Signalisation (Schilder und LSA), Denkmalpfleger, ev. Mobilfunk Anbieter, BERNMOBIL als Eigentümer der Masten.



Abbildung 16: Mauerkonsole Neufeld



### 3.1.5. Bohrpfahlfundament

#### Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)

Kann kein Standardfundament ausgehoben werden, besteht die Möglichkeit ein Bohrpfahlfundament einzusetzen. Dieser Fundamenttyp benötigt lediglich 60-80 cm im Durchmesser und wird mit einem Stahlrohr in den Boden gebohrt / getrieben.



Abbildung 17: Bohren von Pfahlfundamenten mit Grossbohrgerät. (Bildquelle: [https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/247890/IMG\\_390x390/liebherr-lb-28-rotary-drilling-rig-drehbohrgerät-kellybohren-kelly-11.jpg](https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/247890/IMG_390x390/liebherr-lb-28-rotary-drilling-rig-drehbohrgerät-kellybohren-kelly-11.jpg))

### 3.1.6. Mikropfähle

#### Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)

Dieser Fundamenttyp kommt hauptsächlich in Hanglagen zum Einsatz. Mit den einzelnen Mikropfählen kann ein Abrutschen verhindert werden. Die Pfähle müssen bis in stabilen Grund getrieben werden, Länge und Anzahl sind von der Situation abhängig.

Auf die Mikropfähle kann ein Köcherfundament oder ein Betonblock mit Ankerschrauben gegossen werden, auf den ein Mast mit Fussplatte montiert werden kann.

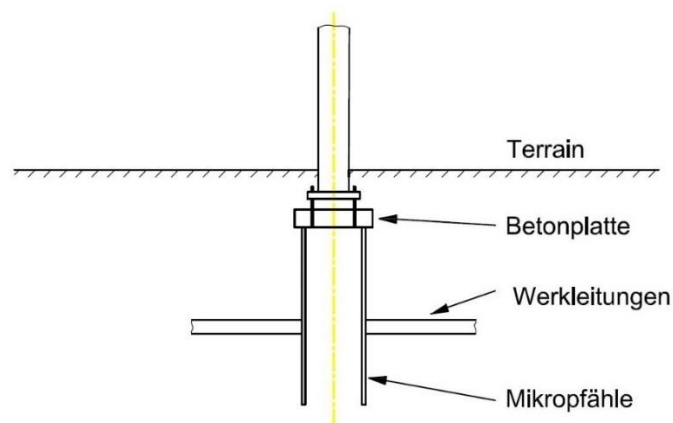


Abbildung 18: Mikropfähle

## 3.2. Fundamentnormalien

### 3.2.1. Beispiel Fundamentliste

Mast Nr.	km-Angabe QP	Mast Typ/Länge	Fundament Typ	Fundament- schrauben	Koordinaten Mast Mitte		Koordinaten zu Ausrichtung Gleismitte		Rohreinlagen gem. WL-Plan	Rohreinlagen für Erdung	Bemerkung
					X	Y	X	Y			
101	0.015 km	HEB 220/10.00m	DP 2	4x M30	603'565.290	198'511.513	603'565.509	198'513.903	1xPE 80	1xPE 80	
102	0.026 km	HEM 240 H/8.50m	HP 1	6x M36	603'576.134	198'509.465	603'576.746	198'511.578		1xPE 80	
103	0.035 km	HEB 220/9.00m	DP 2	4x M30	603'583.173	198'505.328	603'584.270	198'507.313	1xPE 80	1xPE 80	
104	0.045 km	HEB 220/9.00m	DP 2	4x M30	603'589.292	198'498.588	603'591.043	198'500.058		1xPE 80	
105	0.060 km	HEB 220/8.50m	DP 2	4x M30	603'597.707	198'485.747	603'599.607	198'487.008		1xPE 80	
106	0.072 km	HEB 220/9.00m	DP 2	4x M30	603'604.546	198'475.542	603'606.290	198'477.045		1xPE 80	
107	0.082 km	HEM 240 H/9.00m	HP 1	6x M36	603'611.596	198'467.851	603'613.265	198'470.917		1xPE 80	
108	0.091 km	HEB 220/9.00m	DP 2 exz.	4x M30	603'621.505	198'464.700	603'621.947	198'468.186		1xPE 80	Fundament exzentrisch
109	0.100 km	HEM 240 H/9.00m	HP 1	6x M36	603'631.576	198'466.992	603'630.959	198'469.192		1xPE 80	
110	0.110 km	HEB 220/9.00m	DP 2	4x M30	603'640.507	198'472.211	603'639.062	198'473.988		1xPE 80	
111	0.119 km	HEB 220/9.00m	DP 2 exz.	4x M30	603'646.428	198'480.656	603'644.443	198'481.794		1xPE 80	Fundament exzentrisch
112	0.129 km	HEB 220/8.00m	DP 2 exz.	4x M30	603'648.310	198'491.382	603'646.021	198'491.457		1xPE 80	Fundament exzentrisch
113	0.139 km	HEB 220/9.00m	DP 2	4x M30	603'647.283	198'502.383	603'643.358	198'500.655		1xPE 80	
114	0.148 km	HEB 220/8.00m	DP 2	4x M30	603'639.983	198'510.966	603'637.394	198'507.584		1xPE 80	
115	0.157 km	HEB 220/8.00m	DP 2	4x M30	603'630.669	198'515.514	603'629.592	198'511.378		1xPE 80	
116	0.175 km	HEB 220/8.00m	DP 2	4x M30	603'610.844	198'510.740	603'611.044	198'513.323		1xPE 80	
117	0.195 km	HEM 240 H/8.50m	HP 1	6x M36	603'590.920	198'512.497	603'591.064	198'514.346		1xPE 80	

Abbildung 19: Fundamentliste

## 3.3. Fundament mit Kabeleinführung

### 3.3.1. Kabeleinführung bei Rundmasten

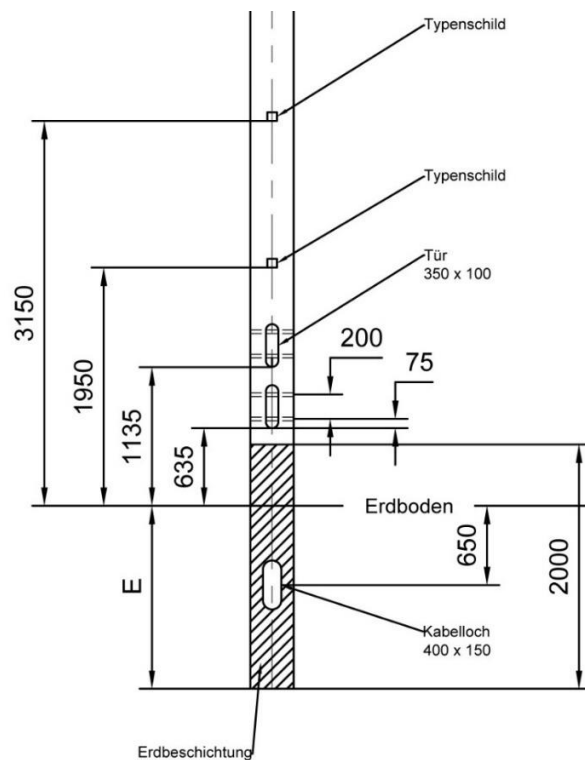


Abbildung 20: Kabeleinführung bei Rundmasten

Die Ausrichtung 1 entspricht der definierten Einführungsrichtung

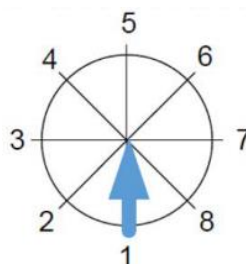


Abbildung 21: Einführungsrichtung

## 4. Masten

Die Fahrleitungsmasten sind wie folgt auszulegen:

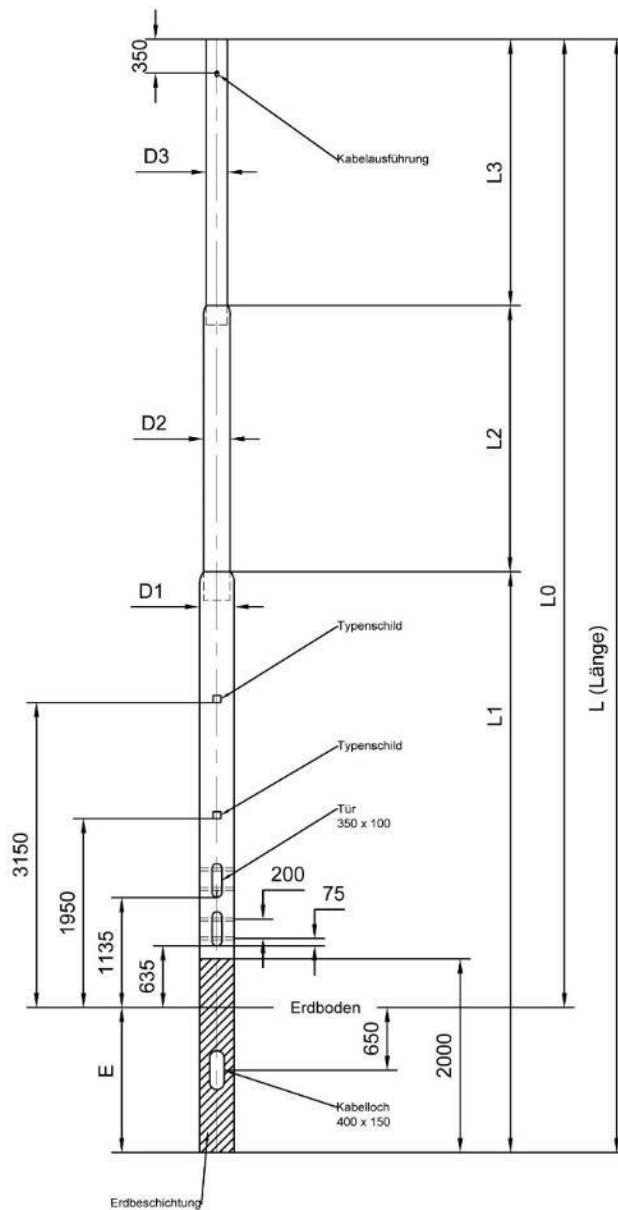
- Ausgelegt auf Spitzenzug unter Berücksichtigung der schwächsten Seite und von n-Querspanner minus ein Querspanner, für den Fall mit der grössten resultierenden Belastung (Ausgenommen beim HEB-Mast)
- Sicherheit 2-fach
- Durchbiegung maximal 2% der Mastlänge über der Einspannung
- Material S355 (Stahl 52) gemäss EN10025
- Einhaltung EN10210 oder EN10219
- 2 Masttüren 100 mm \* 350 mm
- 1 Kabeleinführung 150 mm \* 400 mm
- Kabelauführung 15 cm unterhalb des Mastkopfes mit einem ¾" Rohr
- 2 Mastplaketten, erste Plakette 1.80 m über OK Fundament und zweite Plakette 3.00 m über OK Fundament
- Abnehmbare Mastkappe
- Transportaufhängevorrichtung im Mastkopf

Fahrleitungsmasten sind wie folgt gegen Korrosion zu schützen:

- Oberfläche innen und aussen Stahl feuerverzinkt nach EN ISO 1461. Die Mindestschichtdicke von 100 µm in Abhängigkeit der Materialstärke ist einzuhalten.
- Oberfläche mit 2-Komponenten-Grundierung und anschliessender Nasslackierung Farbton-standard BERNMOBIL „SikaCor EG-4 Farbe DB 702“, projektspezifische Vorgaben möglich. Dicke je Schicht mind. 50 µm.
- Der Mastfuss, welcher im Fundament- und Sockelbereich liegt, ist mit einer speziellen Beschichtung zu versehen. Diese Beschichtung muss folgende Anforderungen erfüllen:
  - Mechanische Beständigkeit
  - Chemische Beständigkeit
  - Schutzdauer mindestens 30 Jahre

## 4.1. Mehrschüssiger Rundmast (Normmast)

### Anwendung: Standard BERNMOBIL



Folgende Angaben werden durch BERNMOBIL Projektspezifisch vorgegeben:

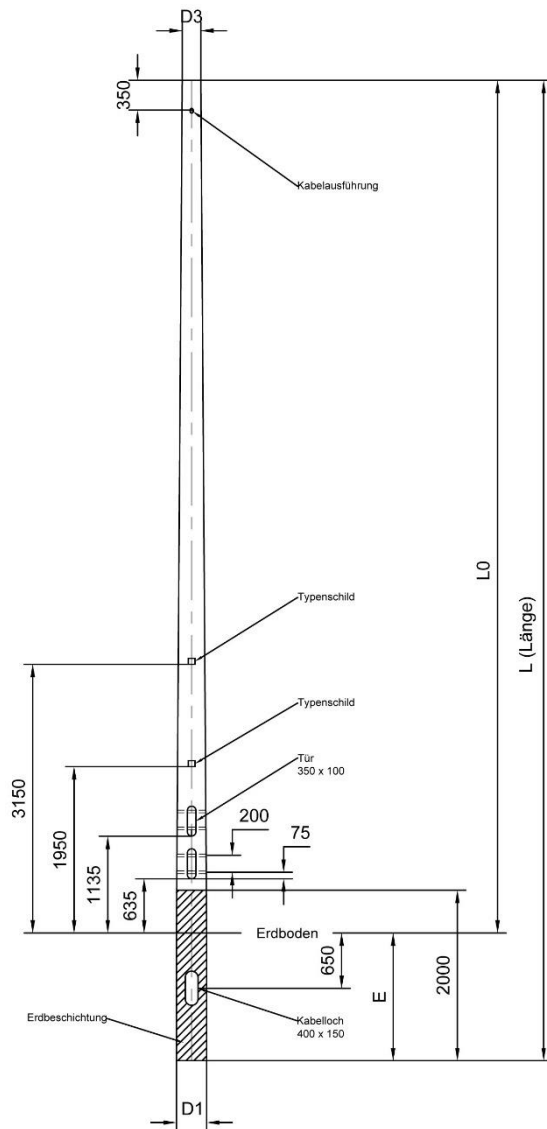
- Spitzenzug (F)
- Längen L1 / L2 / L3
- Durchmesser D1 / D2 / D3
- Lage der Einführungen und Masttüren.
- Schweissnaht flach verschliffen

Spitzenzug F minimal	10.0 kN in 4 kN Abstufungen aufwärts
Spitzenzug F maximal	35 kN bei 10 Meter freier Länge
Länge L minimal	8.0 m
Länge L maximal	12 m



## 4.2. Konischer Rundmast

### Anwendung: Variante BERNMOBIL



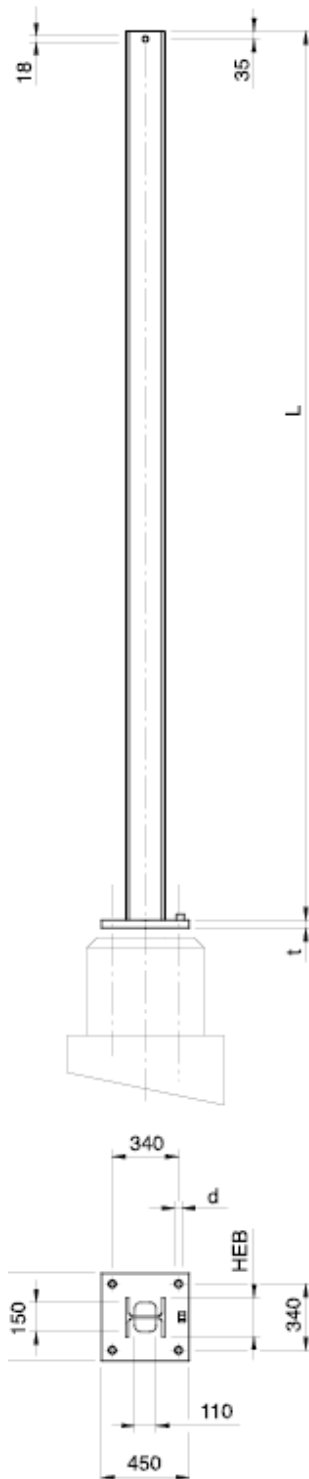
Folgende Angaben werden durch BERNMOBIL Projektspezifisch vorgegeben:

- Spitzenzug (F)
- Längen L
- Durchmesser D1 / D2
- Lage der Einführungen und Masttüren
- Schweissnaht flach verschliffen

Spitzenzug F minimal.	10.0 kN in 4 kN Abstufungen aufwärts
Spitzenzug F maximal	35 kN bei 10 Meter freier Länge
Länge L minimal	8.0 m
Länge L maximal	12 m

## 4.3. Stahlmast HEB mit Fussplatte

**Anwendung:** Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)



Folgende Angaben werden durch BERNMOBIL Projektspezifisch vorgegeben:

- Längen L
- Masttyp
- Lage der Einführung

Spitzenzug F minimal	10.0 kN in 4 kN Abstufungen aufwärts
Spitzenzug F maximal	35 kN bei 10 Meter freier Länge
Länge L minimal.	8.0 m
Länge L maximal	12 m

### 4.3.1. Masttyp

Typ	HEB (mm)	G (kg/m)	M (mm)	d (mm)	t (mm)
24	240	83.2	36	45	40
26	260	93.0	36	45	40
28	280	103.0	36	45	40
30	300	117.0	36	45	40

Tabelle 12: Masttyp

## 4.4. Mastanker

Mastanker werden eingesetzt, wenn Masten den Zugkräften nicht standhalten. Vorsicht: die Knicklast vergrößert sich durch die Abspannung! Als Mastanker darf nur in zwingenden Fällen ein Gewebeseil geplant werden, da sich dieses zu stark dehnt. Um die Längenausdehnung zu kompensieren, ist in jedem Fall am Mast ein langes, geschlossenes Spannschloss vorzusehen.

Folgende drei Ausführungen können realisiert werden:

### 4.4.1. Mast – Boden

Der Mast wird gegen den Boden abgespannt. Als Fixpunkt dienen Ankerfundamente oder Montageanker. Der Montageanker wird wie eine Schraube in das Erdreich gedreht

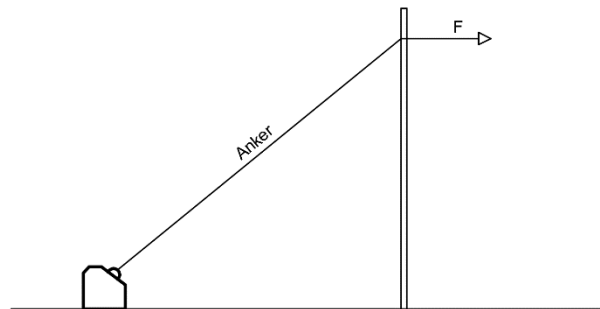


Abbildung 22: Mastanker | Mast – Boden

### 4.4.2. Mast – Mauerbolzen

Der Mast wird gegen einen oder mehrere Mauerbolzen abgespannt. Bei der Planung ist die statische Überprüfung des Mauerwerkes notwendig.

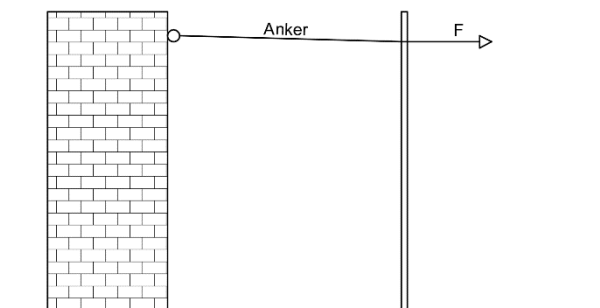


Abbildung 23: Mastanker | Mast – Mauerbolzen

### 4.4.3. Mast – Mast

Die Verankerung wird von Mast zu Mast realisiert. Bei der Planung ist die statische Überprüfung des Ankermastes notwendig. Bei tieferliegenden Fixpunkten muss das LRP berücksichtigt werden.

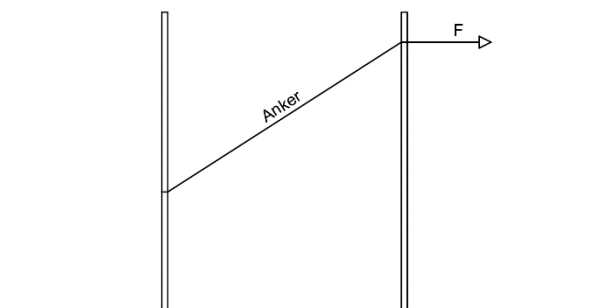


Abbildung 24: Mastanker | Mast – Mast

## 5. Mauerbolzen

Mauerbolzen sind mit dem Eigentümer der Liegenschaft zu vereinbaren. Diese Vereinbarung wird von BERNMOBIL gegebenenfalls im Rahmen des PGV erstellt.

Mauerbolzen sind wie folgt auszulegen:

- Ausgelegt auf einen Spitzenzug von 10 kN (Ausnahmen sind von BERNMOBIL freizugeben)
- Sicherheit 1.2-fach
- Kräftewinkel +/- 15° in der vertikalen, +/-60° in der horizontalen
- Material Stahl INOX
- 1 Beschriftungsplakette

Bei der Planung ist die statische Überprüfung des Mauerwerks notwendig, sowie die Lage am Gebäude. Der Verlauf eines Querspanners muss bei der Positionierung eines Mauerbolzens berücksichtigt werden (Konflikte mit Fenstern, Fensterläden, Balkonen und Bäumen). Weiter ist die Einwirkung auf die Gebäudedämmung zu beurteilen, um keine Wärmebrücken zu schaffen. Wärmebrücken können mittels Schwerlastkonsolen oder anderen Massnahmen verhindert werden.

Zusätzlich soll weitgehend auf ästhetische Aspekte Rücksicht genommen werden. Um eine Übertragung von Schwingungen auf die Fassade zu verhindern, werden Gewebeseile oder eine alternative Dämpfung eingebaut.

Folgende Mauerbolzenarten sind bei BERNMOBIL üblich:

### 5.1. Mauerbolzen geklebt (Verbundanker)

**Anwendung: Standard BERNMOBIL in Betonfassaden**

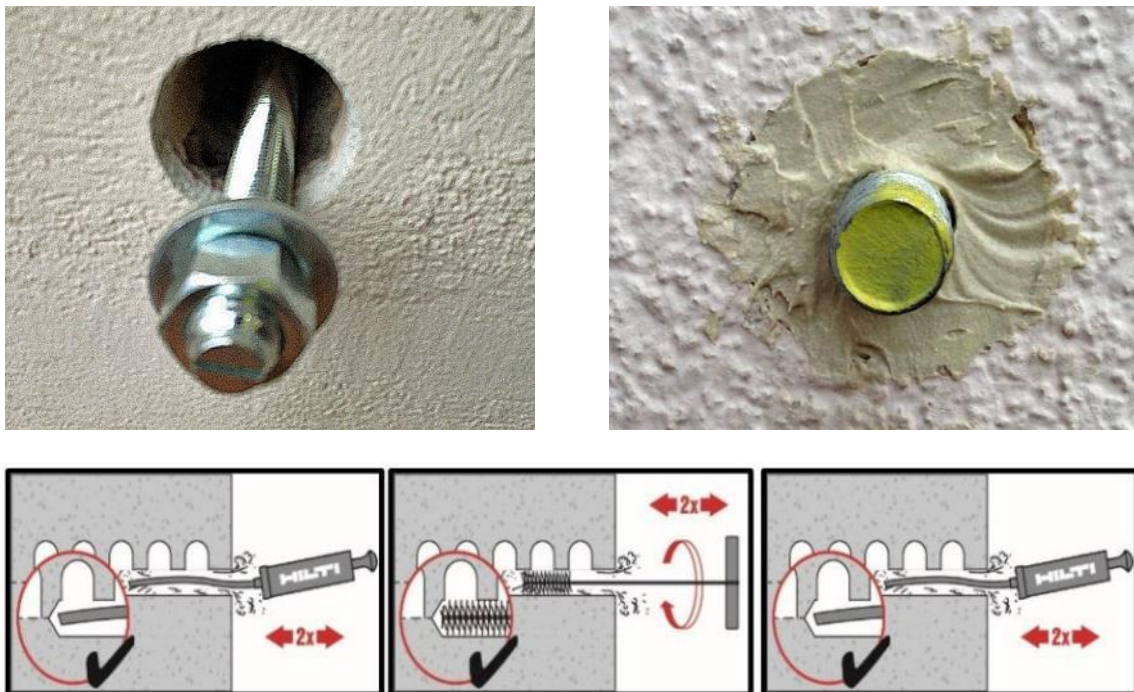


Abbildung 25: Verbundanker

## 5.2. Mauerbolzen zementiert / einbetoniert

Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)



Abbildung 26: Mauerbolzen zementiert / einbetoniert

## 5.3. Mauerbolzen verlängert für Aussenisolation

Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)

Einsatzbereich:

Bei Gebäuden mit Aussenisolation und Fassadenverkleidung mit grossem Abstand.

Planungshinweis:

Druckfeste Dämmschicht und Isolation der Schrauben nötig (Wärmebrücke)

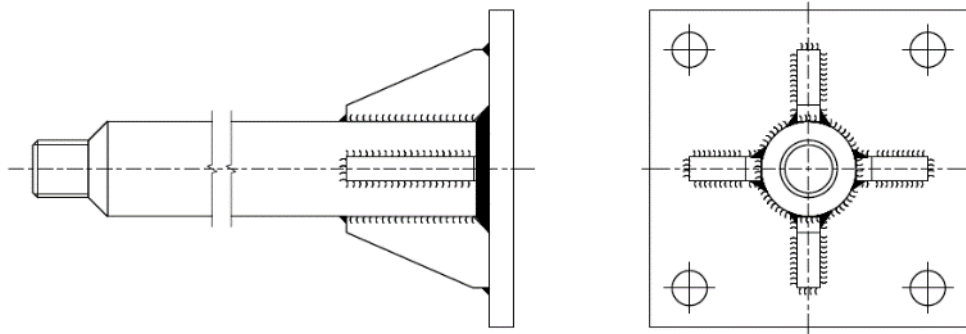


Abbildung 27: Mauerbolzen verlängert für Aussenisolation

## 5.4. Bügelplatte

Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)

Geeignet für Ankerschienen und in Verbindung mit Schwerlastkonsolen.



Abbildung 28: Bügelplatte

## 5.5. Schwerlastkonsole

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Schwerlastkonsolen werden auf Fassaden verbauen welche anschliessend mit einer Aussendämmung versehen werden. Bei der Planung muss der Fassadenaufbau (Höhe) berücksichtigt werden. Die Aufbauhöhe der Konsolen müssen fassadenspezifisch bestellt werden.



Typ: Dosteba Schwerlastkonsole  
SLK®-ALU-TQ

Abbildung 29: Schwerlastkonsole

## 5.6. Decken- / Wand- / Hängestützen

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**



Abbildung 30: Hängestützen Garage Eigerplatz



## 6. Tragwerke

Als Tragwerke kommen Querspanner, Ausleger und Spezialtragwerke (Tunnel, Depot und Kunstbauten – siehe Kapitel 8.5.1 Elastischer Arm) zum Einsatz.

Am Tragwerk fallen die unten aufgelisteten Lasten an:

### Statischen Lasten

- Leitergewicht
- Komponenten
- Kurvenzug
- Winkelkräfte
- Stromabnehmer
- Eindrahttrichter
- Schnee- und Eislast
- Bahntechnische Gewerke wie Fahrdrähtantennen und Signale

### Dynamische Lasten

- Temperatur
- Windlast
- Stromabnehmer

### 6.1. Querspanner

Querspanner werden standardmässig 3-fach isoliert gebaut, wenn die Verhältnisse zu eng sind, kann ausnahmsweise auch 2-fach isoliert werden. Damit die Schwingungen auf dem Tragwerk minimiert werden, soll der Querspanner eine maximale Länge von 40 m nicht überschreiten. Bei längeren Querspanner ist die Schwingungsamplitude durch den Planer zu berechnen und durch BERNMOBIL freizugeben. Die Querspanner werden standardmässig rechtwinklig zum Gleis ausgerichtet.

Gerader Querspanner:

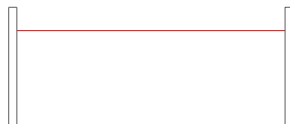


Abbildung 31: Gerader Querspanner

Y-Querspanner:

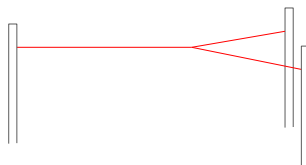


Abbildung 32: Y-Querspanner

YY-Querspanner:

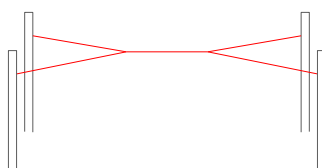


Abbildung 33: YY-Querspanner

### 6.1.1. Querspanner gerade

**Anwendung: Standard BERNMOBIL**

Der Aufbau eines geraden Querspanners kann folgendermassen aussehen:



Abbildung 34: Darstellung Querspanner gerade

Komponenten:

- Stahlseil
- Schlingenisolator
- Schäkel
- Spannschloss
- Spirale
- Gewebeseil



Abbildung 35: Beispiel Brünen



### 6.1.2. Querspanner Y oder YY

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Ist ein zum Gleis rechtwinkliger Querspanner mittels eines geraden Querspanners nicht möglich, kann ein Y- oder YY-Querspanner in der horizontalen Achse eingesetzt werden.

Der Aufbau eines Y Querspanners kann folgendermassen aussehen:

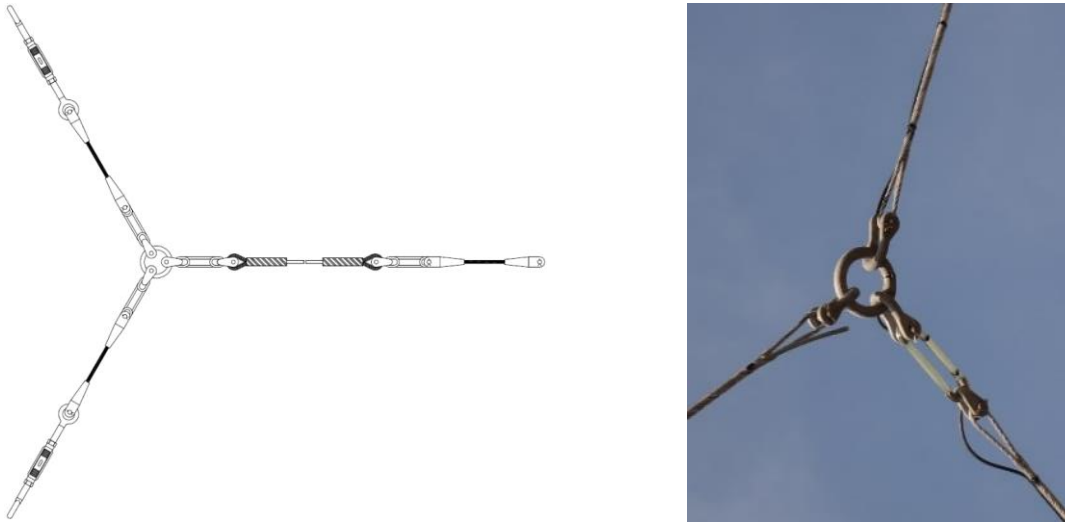


Abbildung 36: Y-Querspanner

#### Komponenten:

- Spirale
- Spannschloss
- Schäkel
- Schlingenisolator
- Abspannring
- Gewebeseil
- Stahlseil

Ein YY Querspanner entspricht vom Aufbau her einem gespiegelten Y Querspanner.

### 6.1.3. Spreizung

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Dieser Aufbau wird angewendet, sobald die Zugkraft die maximal zulässige Kraft übersteigt. Die Kraft wird mit der vertikalen Spreizung (Y) auf zwei Fixpunkte aufgeteilt. Die Spreizung wird ausschliesslich bei geraden Querspannern verwendet.

Der Aufbau einer Spreizung kann folgendermassen aussehen:

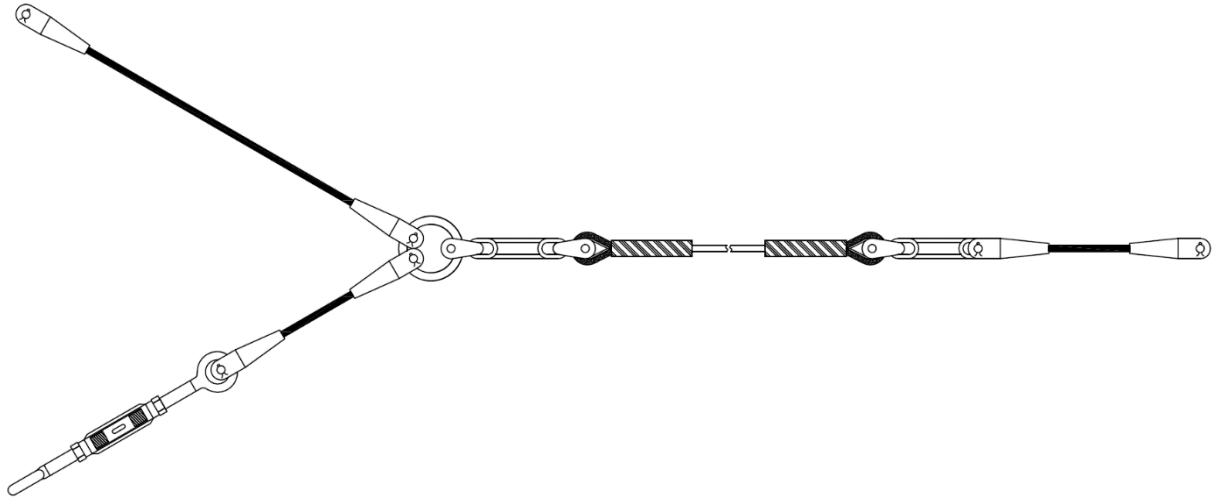


Abbildung 37: Spreizung

#### Komponenten:

- Schäkel
- Schlingenisolator
- Stahlseil oder Gewebeseil
- Spannschloss
- Abspannring
- Spirale

### 6.1.4. Trapez

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Trapeze werden gebaut, um Komponenten aufzuhängen oder Leitungen zu führen.

Trapez anstelle Querspanner:

Um Speise- oder Überbrückungskabel zu dem Fahrdraht und Feeder zu führen, kann ein Trapez direkt über dem Fahrdraht anstelle eines einfachen Querspanners gebaut werden.

Trapez über dem Querspanner:

Diese Konstellation kommt bei der Aufhängung von Streckentrenner und Schutzstreckentrenner zur Anwendung, wobei beide Seiten des Trapezes gegenüber dem anderen elektrisch isoliert sein müssen. Allfällige Speise- / Überbrückungskabel werden ebenfalls Seitengetrennt geführt.

Trapez in Fahrtrichtung über Trolleybusweichen und Kreuzungen:

Um das Gewicht von einzelnen Anlageteilen, wie zum Beispiel Trolleybus Kreuzungen beziehungsweise beziehungsweise Weichen, aufnehmen zu können, genügt ein einfaches Trageil nicht. Die Komponenten werden in diesem Fall über ein Trapez in einer zweiten Ebene aufgehängt.

Trapez in Sonderbauform:

Dieses unterscheidet sich von der normalen Trapezform darin, dass das Trapez nicht im Abspannring endet. Es kann als Doppelquerspanner ausgeführt werden oder nach dem Ring in einem Y-Querspanner übergehen.

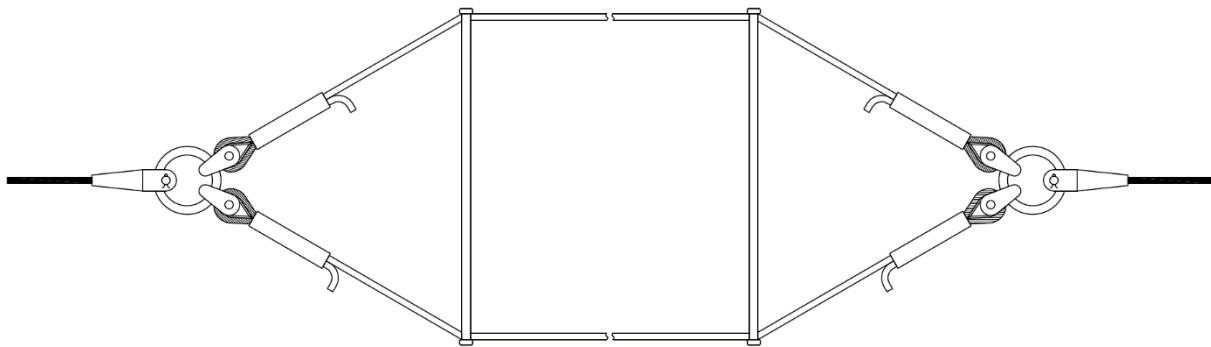


Abbildung 38: Trapez

Komponenten:

- Kausche
- Kerbverbinder
- Schäkel
- Spreizrohr isoliert
- Anspannring
- Stahlseil

### 6.1.5. Fliegende Abzüge

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Fliegende Abzüge werden in engen Radien, hauptsächlich in Wendeschlaufen, angewendet. Im Bereich von Wendeschlaufen können Ausleger die Tragfunktion übernehmen, da in diesem Bereich nicht beidseitig Masten gestellt werden können. Er kann als gerader Abzug oder Y Abzug ausgeführt werden.



Abbildung 39: Fliegender Abzug

### 6.1.6. Seiljoch

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Das Seiljoch verdoppelt einen Querspanner in einer höheren Ebene. Diese werden mittels Hängedrähte miteinander verbunden.

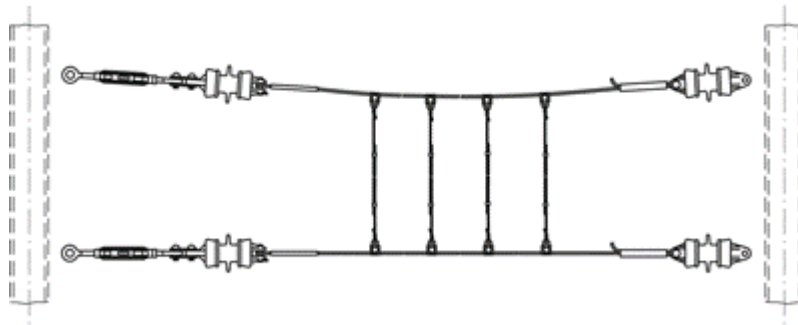


Abbildung 40: Seiljoch

### 6.1.7. Flachkette

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Flachketten übernehmen mehrere Querspanner welche situationsbedingt nicht einzeln befestigt werden können. Über die Flachkette werden mehrere Aufhängepunkte für Querspanner zur Verfügung gestellt.



Abbildung 41: Flachkette

### 6.1.8. Einsatzbogen

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Einsatzbögen sind in Rohranlagen beim Trolleybus im Bereich von Kreuzungen oder Weichen einzusetzen, wenn diese in Kurvenbereichen liegen.

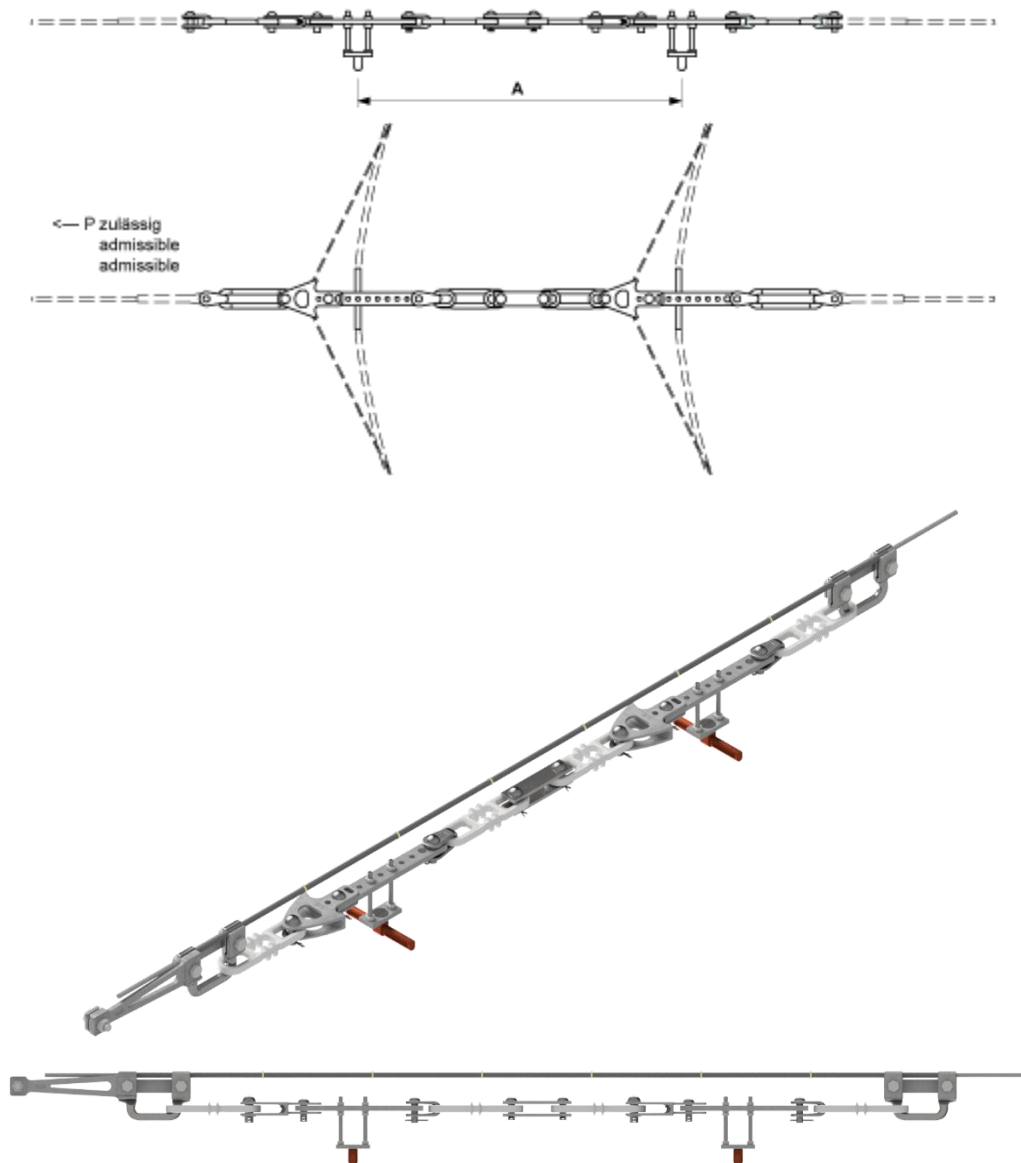


Abbildung 42: Einsatzbogen

### 6.1.9. Spezialtragwerke

#### Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)

Spezialtragwerke sind zum Beispiel in Querspanner integrierte Auslegerrohre.

## 6.2. Ausleger

Der Ausleger übernimmt, wie Querspanner die Tragwerksfunktion für Fahrdrabt und Feeder. Die Bauweise hängt von der Länge, und Gewichtskraft ab, es gibt einfache und doppelt geführte Ausleger. Hauptbauteile sind Auslegerrohr /e, Stützisolator, Ankerseile und Bruchsicherung.

Ausleger-Tragwerke sind, konstruktiv bedingt, nur doppelt isoliert. Die erste Isolation bildet der Isolierkörper der Aufhängung, die zweite Isolation bilden die zwei Elemente, Schlingenisolator am Ankerfixpunkt und der Stützisolator des Auslegerrohres.

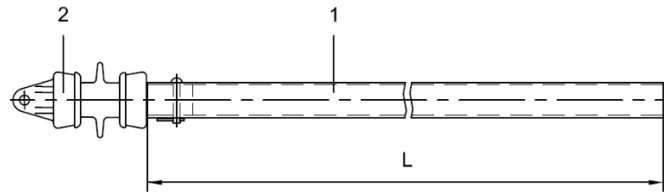


Abbildung 43: Ausleger

Für die Auslegung der Höhe zwischen Ausleger und Ankerfixpunktes gilt:

1/3 der Länge vom Ausleger entspricht der Distanz zwischen Ausleger und Ankerfixpunkt.

Der Ausleger kommt in Bereichen ohne beidseitige Gebäude, oder bei ungeeigneten Gebäuden (Glasfassaden, keine geeigneten Verankerungspunkte), bei engen Kurven oder Schleifen sowie in Baumalleen zum Einsatz. Gegenüber von Querspannern, liegt der Vorteil von Auslegern darin, dass nur einseitig Masten benötigt werden, z.B. bei Wendeschlaufen. In Kurven sind Ausleger auf der Aussenseite zu disponieren, kurveninnenseitig (Druckbelastung schlecht für den Isolator) nur in Ausnahmefällen.

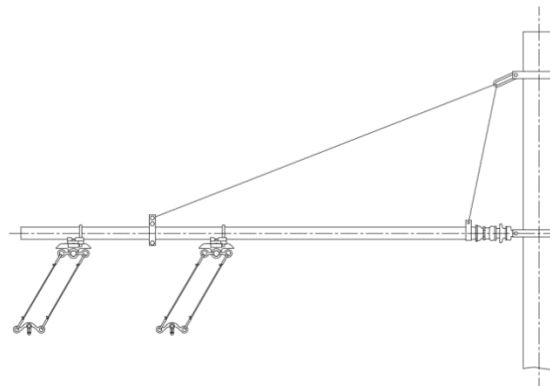


Abbildung 44: Prinzipielle Darstellung eines Auslegers



Abbildung 45: Beispiel 2 Gleis-Ausleger mit 2 Traktionen

### 6.3. Auslegerrohre

Es gibt zwei verschiedene Varianten, Metallrohr mit Isolator oder Kunststoffrohr.

Ausleger werden in folgenden Varianten ausgeführt:

- Metallrohr Stahl verzinkt
- Metallrohr Stahl rostfrei (A4)
- Metallrohr Aluminium
- Kunststoffrohr GFK

#### 6.3.1. Auslegerrohr aus Stahl verzinkt

**Anwendung: Standard BERNMOBIL**

Folgende Angaben werden durch BERNMOBIL projektspezifisch vorgegeben:

- Rohrdurchmesser 2.5"
- Rohrstärke "stark"
- Rohrlänge maximal 6 Meter
- Rohrverlängerung durch Rohrverbinder "stark"
- Rohrbeschichtung: In Ausnahmefällen lackiert in der Mastfarbe

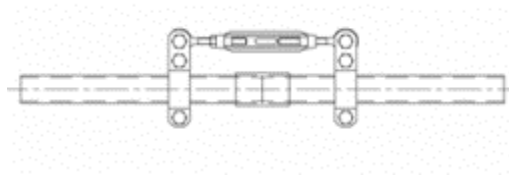


Abbildung 46: Rohrverbinder

#### 6.3.2. Auslegerrohr aus Stahl rostfrei, Aluminium, Kunststoff

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Die Anwendung wird von BERNMOBIL und gegebenenfalls Dritten projektspezifisch festgelegt.

## 6.4. Stützisolator

Es gibt zwei verschiedene Varianten, Porzellanisolator oder Kunststoffisolator.

### Anwendung: Standard BERNMOBIL

- Kunststoffisolator
- Isolationsfestigkeit 3000 VDC
- Prüfspannung mindestens 20 kV
- Zugkraft 20 kN
- Biegekraft 5 kN
- Anschlussstück für horizontale Bewegung

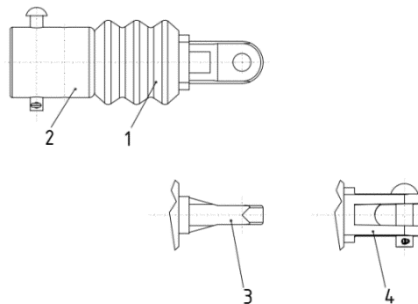


Abbildung 47: Gießharzisolator mit Armaturen und für Rohrenden

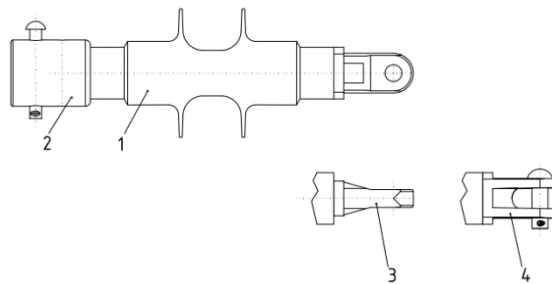


Abbildung 48: Verbundisolator mit Armaturen und für Rohrenden

## 6.5. Ankerseile

Es gibt zwei verschiedene Varianten, Stahlseil oder Gewebeseil.

### Anwendung: Standard BERNMOBIL

- Stahlseil 35mm<sup>2</sup> feuerverzinkt
- Stahlseile und Komponenten lösbar, nicht fix verpresst
- Zugkraft  $\geq 12$  kN
- Schlingenisolator an oberem Ankerfixpunkt
- 3 oder 4-Lochplatte

1-fach bis 4.00 m Auslegerlänge  
2-fach bis 6.00 m Auslegerlänge  
3-fach über 6.00 m Auslegerlänge  
4-fach über 9.00 m Auslegerlänge



## 6.6. Bruchsicherung

Anwendung: Standard BERNMOBIL

Die Bruchsicherung wird mittels Spannschloss zwischen Masten und Auslegerrohr realisiert.



Abbildung 49: Bruchsicherung

Komponenten:

- Mastbride
- Spannschloss
- Befestigungsschelle

## 7. Isolationselemente

Isolationselemente isolieren die unter elektrischer Spannung stehenden Teile der Fahrleitung, die elektrischen Leiter gegeneinander, sowie gegen Erde. Sie sind Teil des Tragsystems und müssen damit sowohl elektrische als auch statische, bzw. dynamische Anforderungen erfüllen.

### 7.1. Isolierschlaufe

Anwendung: Standard BERNMOBIL

Isolierschlaufen werden eingesetzt als Zwischen- oder Endisolatoren in Tragwerken, sowie als Auslegeranker.

Spezifikationen:

- Beschichtung mit Kunststoff
- Prüfspannung > 6000 V
- Nennspannung 1500 VDC
- Zugkraft > 15 kN
- Länge aussen, 174mm ± 2mm
- Länge innen, 151mm ± 2mm



Abbildung 50: Schlingenisolator

### 7.2. Isolierseil

Anwendung: Standard BERNMOBIL

Als Isolierseil können Gewebeseile eingesetzt werden. Durch die geringe elastische Eigenschaft übernehmen die Gewebeseile auch eine Funktion eines Schwingungsdämpfers. Somit werden Schwingungen an Gebäude minimiert.

Spezifikation:

- Beschichtung mit Kunststoff
- Nennspannung 1500 VDC
- Zugkraft > 12 kN
- Mindestlänge für Isolierstrecke, gemäss Hersteller

Verwendete Gewebeseile bei BERNMOBIL:

- Kevlarseil von Furrer+Frey
- Parafilseil von Kummler+Matter

### 7.3. ISOK

Der ISOK (Isolierkörper) übernimmt die Fahrdrahtaufhängung respektive den Fahrdrahtabzug sowie die Aufhängung der Verstärkungsleitung. Je nach Belastung und Belastungswinkel benötigt es unterschiedliche ISOK. Der ISOK wird an Querseilen, Rohrausleger oder an speziellen Konstruktionen festgemacht.

Spezifikation:

- UV beständig
- Nennspannung 1500 VDC

Verwendete ISOK bei BERNMOBIL:

- Isolierkörper von Kummler+Matter (**Standard**)
- Isolierkörper von weiteren Lieferanten (**Nur in Ausnahmefällen**)

### 7.4. Isolierstab

Isolierstäbe gibt es für unterschiedliche Anwendungen. Isolierstäbe dürfen nicht mit Stabisolatoren verwechselt werden.

Anwendungsbeispiele:

- Fahrleitungsbereiche mit Rohranlage
- Offene Tram-Trolley- oder Trolley-Trolley-Kreuzungen
- Trolleyweichen
- Streckentrenner Trolleybus

Material und Gewicht:

- Gewicht: 0.260 kg
- Material: GFK/St Inox

Spezifikation:

- Kriechstromfestigkeit: (KC) > 600
- Durchschlagsfestigkeit: 12 kV/mm

## 7.5. Rillen- / Stabisolator

Rillenisolatoren können stehend, hängend oder unter Zugspannung in einem Winkel eingesetzt werden. Sie können als druck- oder zugbelastetes Element eingesetzt werden, halten jedoch nur geringe Biege- / Querkräfte aus. Da die Anwendungsorte und die Verwendungszwecke sehr unterschiedlich sind, müssen diese spezifisch ausgelegt werden. Stützisolatoren für Auslegerrohre sind im Kapitel 6.4 Stützisolator spezifiziert.

Anwendungsbeispiele:

- Trennung zu anderen ÖV-Infrastrukturen mit Wechsel- oder Gleichstrom
- Isolierte Montage eines Überspannungsableiters
- Montage von Deckenstromschiene

Spezifikation:

- Zu SBB Infrastruktur, gemäss Vorgabe der SBB
- UV-beständig
- Nennspannung 1500 VDC

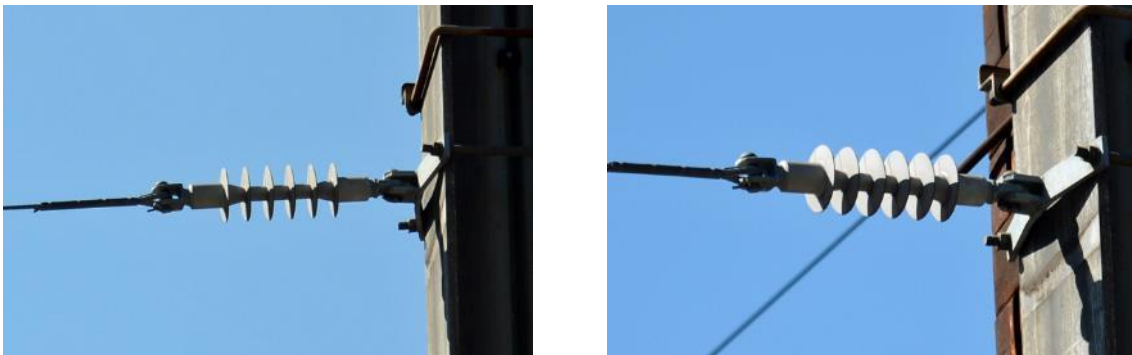


Abbildung 51: Rillen- / Stabisolator

## 7.6. Isolierschrauben, Unterlegscheiben, Muttern

Diese Schrauben bestehen meist aus POM (Polyoxymethylen) und werden für die Montage von Fahrdrahtantennen, Trolleytrichter aber auch an weiteren Orten eingesetzt.

## 8. Aufhängungen

Die primäre Funktion der Aufhängung besteht darin, einen oder mehrere Fahrdrähte, Verstärkungsleitungen oder Hilfsseile in Position zu halten. Die Montage am Tragwerk wird mit einem Isolierkörper ausgeführt. Die Aufhängung besteht im Wesentlichen aus:

- Isolierkörper
- Hängeseil, Kurz- oder Langpendel, Spurhalter (Aufzählung nicht abschliessend)
- Fahrdraht, Feeder und Hilfsseile mittels Klemmen

Im Nachfolgenden werden die wichtigsten Vorgänge der Stromabnahme sowie der Unterschied zwischen starrer und elastischer Fahrdrahtaufhängung technisch erläutert werden.

### 8.1. Vollelastische Aufhängung

**Anwendung: Standard BERNMOBIL**

Die Bezeichnung „elastisch“ bezieht sich im Kontext der Fahrdrahtaufhängung auf die Halteposition des Fahrdrahts und nicht die Aufhängungskomponenten selbst. Eine elastische Fahrdrahtaufhängung erlaubt limitierte, federnde Auslenkung des Fahrdrahtes

Die elastische Aufhängung hat folgende Aufgaben:

- Vertikale Nachgiebigkeit des Fahrdrahtes im Aufhängungspunkt
- Kompensation der Zugspannungsdifferenzen
- Gleichmässiger Anpressdruck des Stromabnehmers
- Absorbieren von Schlägen
- Minimierung der Fahrdrahtabnutzung

### 8.2. Starre Aufhängung

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Starre Aufhängungen werden nur bei sehr geringen Abständen zu Stahlkonstruktionen oder Kunstbauten eingesetzt. Aufhängepunkte sind, wenn möglich immer mit einer vollelastischen Aufhängung zu lösen.

Eigenschaften und Merkmale:

- Harter Aufhängungspunkt
- Genaue Positionierung möglich
- Erhöhte Fahrdrahtabnutzung

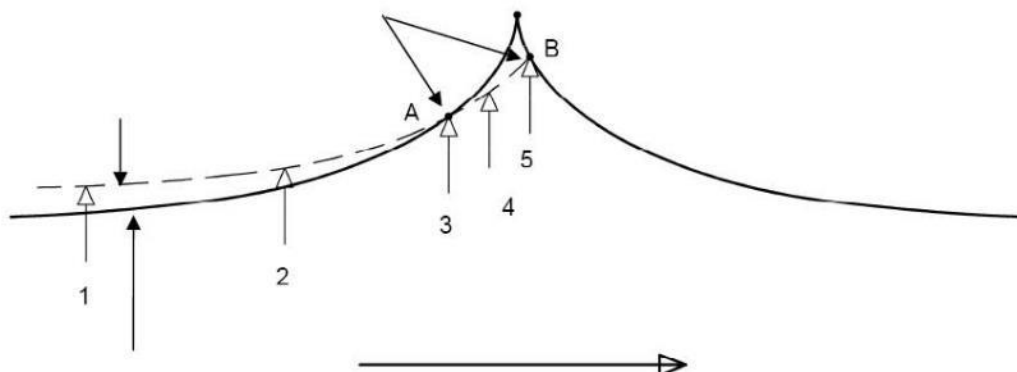


Abbildung 52: Darstellung einer starren Fahrdrahtaufhängung

Bei starrer Aufhängung kann es bei höheren Geschwindigkeiten im Bereich der Aufhängung zu Sprüngen des Pantographen und einer Ablösung des elektrischen Kontakts kommen. Der Fahrdraht weist in diesem Bereich eine immer steiler werdende Kurve auf, der der Pantograph in seiner Trägheit nicht mehr folgen kann. Bei Punkt A kommt es zu einer Ablösung des elektrischen Kontakts. Der Stützpunkt wird übersprungen und es kommt zum Aufprall in Punkt B auf. Durch

den „Sprung“ kommt es zu einem Lichtbogen, welcher Schweissperlen und/oder Abbrand zur Folge hat. Der Fahrdraht unterliegt an dieser Stelle einem höheren Verschleiss.

Ist eine Trolley-Fahrleitungen starr aufgehängt, besteht die Gefahr von Entgleisungen.

## 8.3. Fahrdrahtaufhängungen Tram

### 8.3.1. Kurzpendel

**Anwendung: Standard BERNMOBIL**

Geeignet für gerade Fahrleitung 0 – 4°, fest abgespannte Fahrleitung.

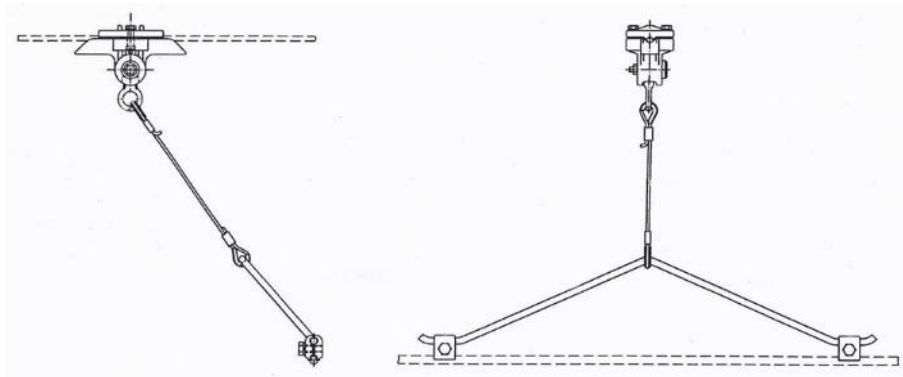


Abbildung 53: Kurzpendel Tram

Komponenten:

- Isolierkörper
- Hängeöse
- Hängedraht < 35 cm
- Abzugbügel
- Fahrdrahtklemme

### 8.3.2. Langpendel

**Anwendung: Standard BERNMOBIL**

Geeignet für gerade Fahrleitung 0 – 4°, nachgespannte Fahrleitung.

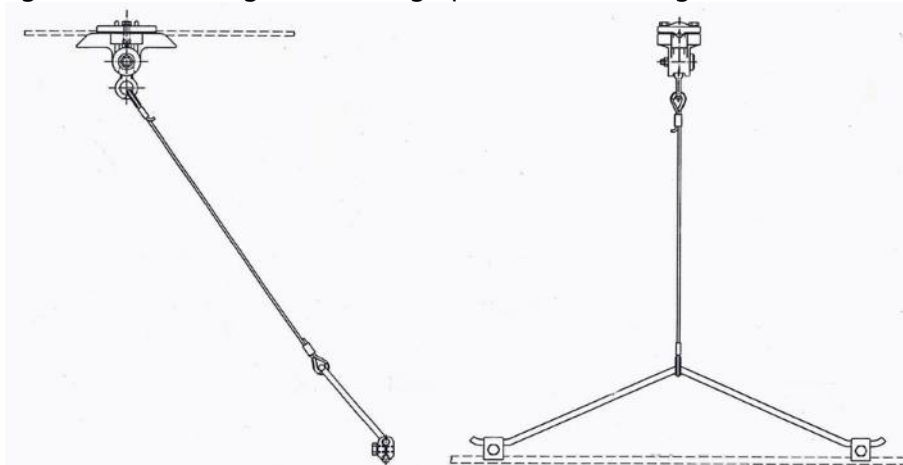


Abbildung 54: Langpendel Tram

Komponenten:

- Isolierkörper
- Hängeöse
- Hängedraht (40 – 60 cm)
- Abzugbügel
- Fahrdrahtklemme

### 8.3.3. Einfachspurhalter

Anwendung: Standard BERNMOBIL

Geeignet für Fahrleitungswinkel  $> 4 - 9^\circ$  und nachgespannte Fahrleitung.

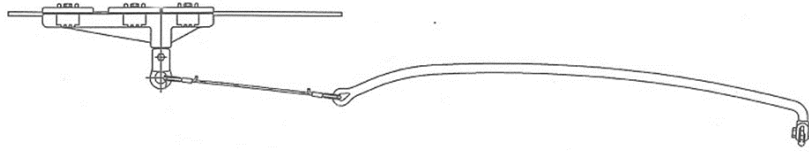


Abbildung 55: Einfachspurhalter (Ansicht Seite)

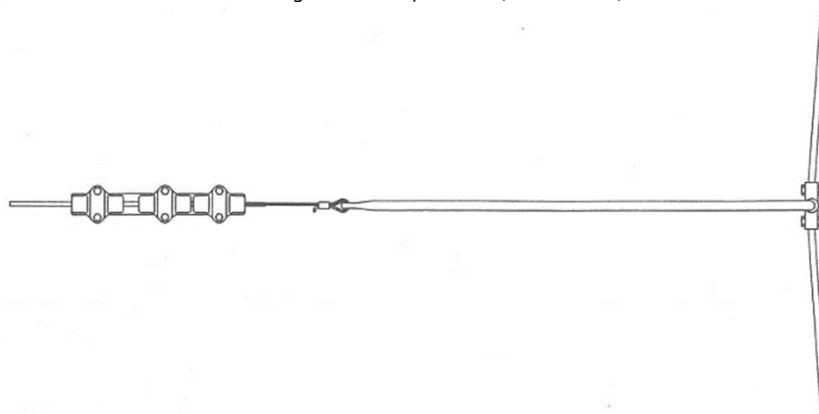


Abbildung 56: Einfachspurhalter (Ansicht Oben)

Komponenten

- Isolierkörper
- Hängeöse
- Hängedraht
- Spurhalter
- Fahrdrahtklemme

### 8.3.4. Zwei Einfachspurhalter

Anwendung: Standard BERNMOBIL

Geeignet für Fahrleitungswinkel  $> 9 - 25^\circ$  und nachgespannte Fahrleitung.

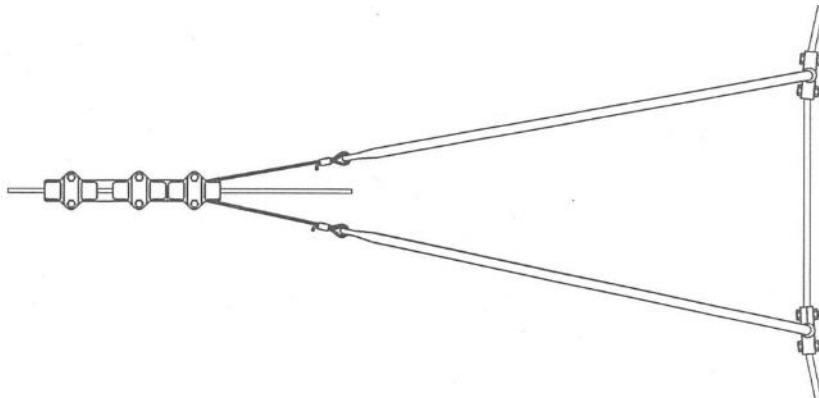


Abbildung 57: Zwei Einfachspurhalter Tram

Komponenten:

- Isolierkörper
- Hängeöse
- Hängedraht
- Spurhalter
- Fahrdrahtklemme



### 8.3.5. Abzug fliegend, gerade mit Einfachspurhalter

Anwendung: Standard BERNMOBIL

Geeignet für Fahrleitungswinkel  $> 4 - 9^\circ$ .



Abbildung 58: Fliegender Abzug Tram

Komponenten:

- Stahlseil
- Spirale
- Schäkel
- Spannschloss
- Spurhalter
- Fahrdrahtklemme

### 8.3.6. Abzug fliegend mit zwei Einfachspurhaltern

Anwendung: Standard BERNMOBIL

Geeignet für Fahrleitungswinkel  $> 9 - 25^\circ$ .

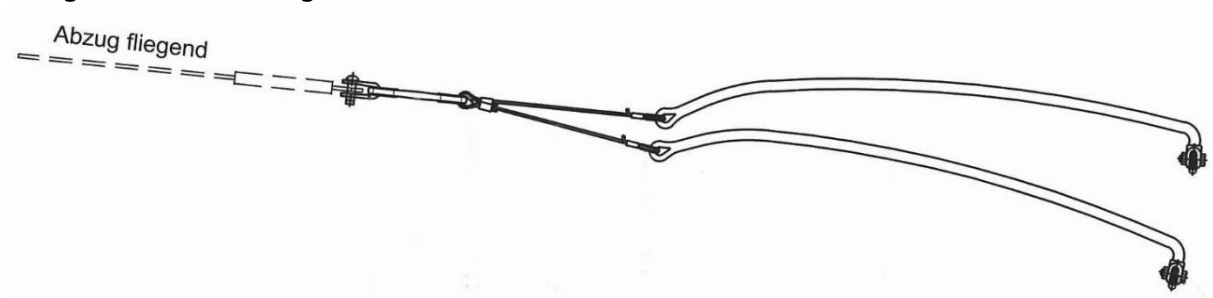


Abbildung 59: Doppelt ausgeführter, fliegender Abzug Tram

Komponenten:

- Stahlseil
- Spirale
- Schäkel
- Spannschloss
- Spurhalter
- Fahrdrahtklemme

### 8.3.7. Starre Aufhängung

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Sonderbauform für Depotanlagen, auf dem Streckennetz ist diese Aufhängung nicht geeignet und nicht toleriert, da dadurch der Verschleiss von Fahrdraht und Stromabnehmer ungünstig beeinflusst wird.



Abbildung 60: Starre Aufhängung

### 8.4. Fahrdrahtaufhängungen Trolley

Die Trolleyfahrdrähte werden mit einer Distanz von 700mm +/- 50mm und einem Zick-Zack von ungefähr 2.5° aufgehängt. Die Fahrdrähte werden durch die Aufhängung isoliert an das Tragwerk montiert. Die Stromverbinder (Plus und Minus) werden auf zwei aufeinander folgende Tragwerke aufgeteilt.



Abbildung 61: Zick Zack einer Trolleybusfahrleitung (zweispurig)

### 8.4.1. Pendelwaage

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Wird das Pendel befahren, so wird durch den Anpressdruck des Stromabnehmers, der Fahrdraht angehoben. Durch die Waage bleibt die Schleiffläche parallel zum Stromabnehmer.

Geeignet für gerade Fahrleitung < 2.5°.

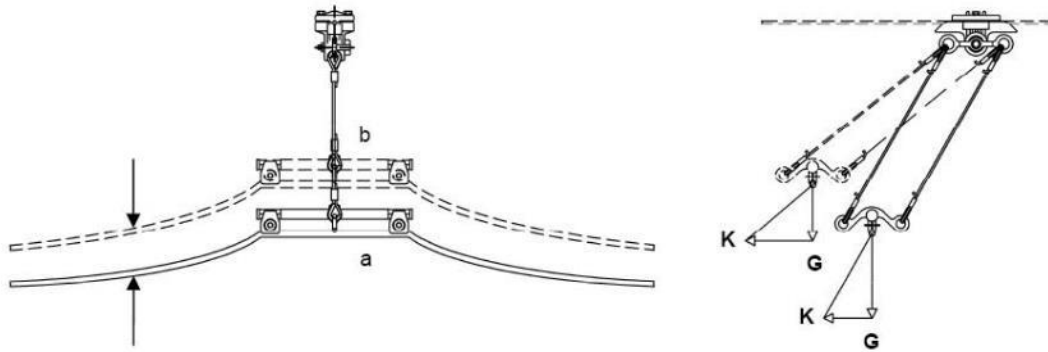


Abbildung 62: Funktion der Pendelaufhängung

Die Pendelwaage besteht aus folgenden Komponenten:

- Einstellbarer Isolierkörper mit Doppelöse
- Hängedrähte INOX
- Aufhänge Bügel
- Fahrdrahtklemmen

### 8.4.2. Kurvenaufhängung

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

In Kurvenfahrten entstehen durch die langen Stromabnehmerstangen der Trolleybusse grosse Fliehkräfte am Stromabnehmerkopf. Um die daraus resultierenden seitliche, schlagartige Beanspruchung der Fahrleitung zu verhindern, kommen in Kurven Kurvenschienen zum Einsatz. Dazu stehen je nach Anwendungsbereich (Ablenkwinkel) die Typgrößen 0 bis 4 zur Verfügung. Der Anwendungsbereich für Trolleybus-Aufhängungen mit Kurvenschienen liegt bei Ablenkwinkeln von 3° bis 30°.

Geeignet für Winkelzug von 2.5 – 30°

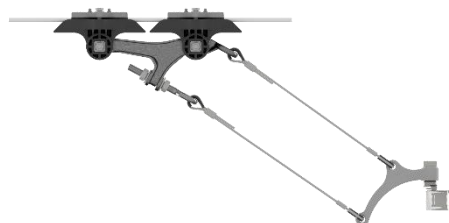


Abbildung 63: Kurvenaufhängung

Die Kurvenaufhängung besteht aus folgenden Komponenten:

- Isolator mit Doppelöse verstellbar
- Hängedrähte
- Abzugshebel INOX
- Kurvenschiene

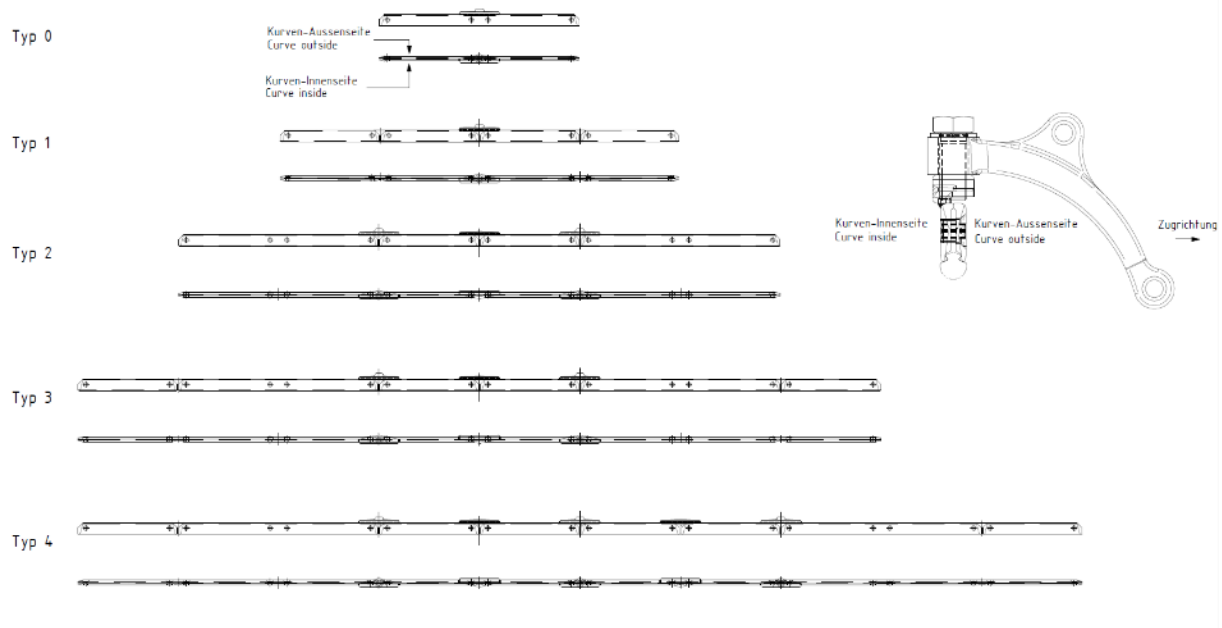


Abbildung 64: Kurvenschienen - Typen 0 - 4

## 8.5. Fahrdrahtaufhängung für Tram und Trolleybus

### 8.5.1. Elastischer Arm

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Bei Überführungen kann der Fahrdraht mittels Tunneltragwerken gehalten werden. Diese werden direkt an der Decke, bzw. am Gewölbe befestigt. Der elastische Arm dient zur Befestigung an Kunstbauten mit eingeschränkten Platzverhältnissen. Diese elastische Aufhängung ist ein selbsttragendes Tragwerk und geeignet für fest- oder nachgespannte Systeme, bis zu einem maximalen Ablenkswinkel von 30°.

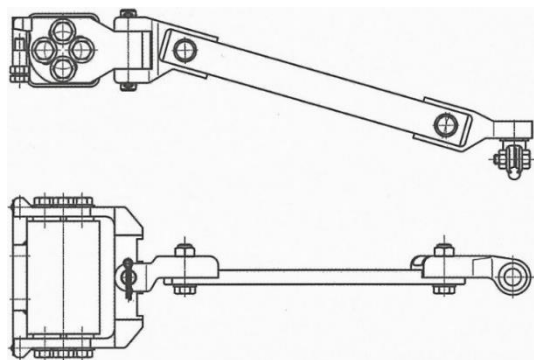


Abbildung 65: Elastischer Arm

Der elastische Arm besteht aus folgenden Komponenten:

- Grundeinheit: Gummi-Federelement mit Hebelarm
- Isolierter Haltewinkel für Deckenmontage
- Fahrdrahtklemme

## 8.6. Feederaufhängungen

**Anwendung: Standard BERNMOBIL**

Zur Steigerung der elektrischen Leistungsfähigkeit ist es oftmals notwendig, den Leistungsquerschnitt für den Stromfluss zu erhöhen. Durch den Einsatz von Verstärkungsleitung (Feeder) wird der zur Verfügung stehende Querschnitt erhöht. Der Feeder wird mittig, isoliert zwischen den Tramachsen geführt und muss höher liegen als der Fahrdrabt, der durch den Anpressdruck angehoben wird.

## 8.7. Hilfsseil

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Hilfsseile werden im Bereich der zweiten Isolationsstrecke geführt. Muss diese Isolation konstruktionsbedingt verlassen werden, so muss das Hilfsseil mittels Schlingenisolator aufgetrennt werden.

Geeignet für die Kabelführung von Kommunikations- und Signalleitungen.

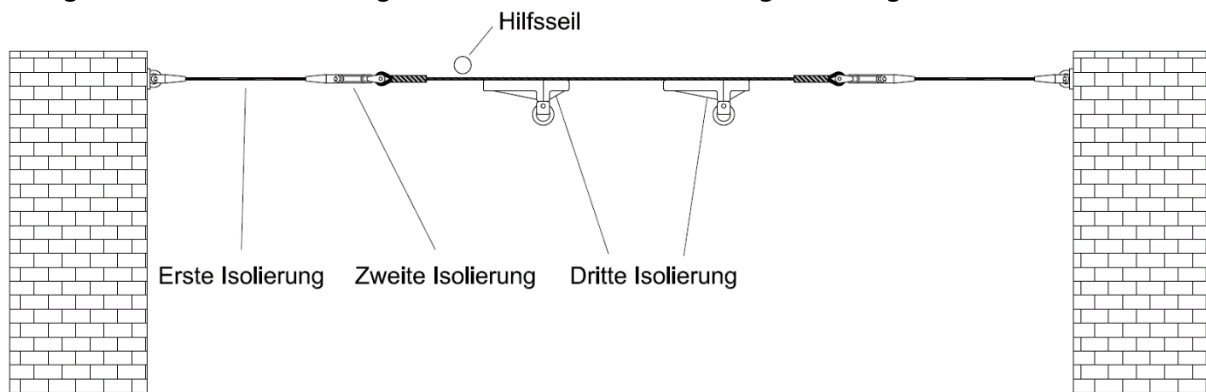


Abbildung 66: Hilfsseil

## 9. Längsmaterial

Längsmaterial beinhaltet Abfangungen, Nachspannungen, etc....

### 9.1. Feste Abfangungen

Feste Abfangungen werden an folgenden Orten verwendet:

- am Ende eines Fahrdrahtes (Stumpengleis, Depot)
- am Ende eines Feederseiles / Fahrdrahtes
- bei einem elektrisch offenem Übergabefeld
- bei einem elektrisch geschlossenen Übergabefeld
- bei einem Gleiswechsel

#### 9.1.1. Feste Abfangung an Rundmast einfach

Anwendung: Standard BERNMOBIL

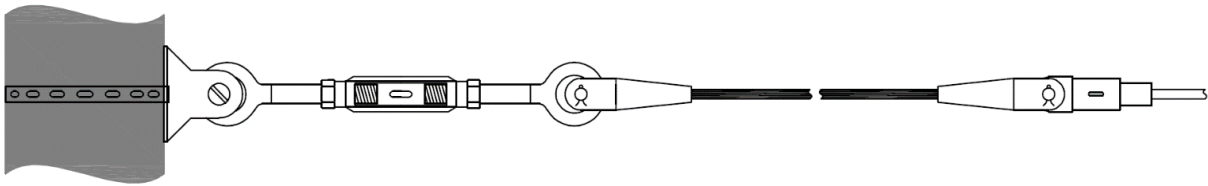


Abbildung 67: Feste Abfangung

Komponenten:

- Konusklemme
- Gewebeseil
- Spannschloss
- Schäkel
- Anschlussgelenk mit Gabel
- Bandbride

#### 9.1.2. Feste Abfangung an Rundmast zweifach

Anwendung: Standard BERNMOBIL

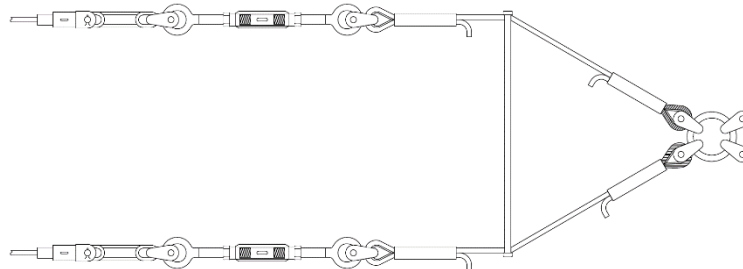


Abbildung 68: Feste Abfangung zweifach

Komponenten:

- Konusklemme
- Schlingenisolator
- Spannschloss
- Schäkel
- Stahlseil 35mm<sup>2</sup>
- Spreizrohr

### 9.1.3. Reduzierter Zug

Der Fahrdraht wird mit reduzierten Zugspannungen eingebaut um in engen Kurven oder Schlaufen die Tragwerke zu entlasten. Hierzu ist die Planung von verkürzten Spannweiten zwingend notwendig. Bei Gleiswechseln und in eingesetzten Kurven welche ein eigener ein- und auslaufender Fahrdraht von kurzer Länge aufweisen, ist die Bauweise mit reduziertem Zug ebenfalls einsetzbar.



Abbildung 69: Darstellung reduzierter Zug

## 9.2. Bewegliche Abfangung

Bewegliche Abfangungen sind Nachspanneinrichtungen. Nachspanneinrichtungen werden verwendet, um die Fahrdrähte unter möglichst konstanter Zugspannung zu halten. Sie kompensieren Längenänderungen des Fahrdrahts aus, welche durch Temperaturschwankungen im Fahrdrabt verursacht werden.

### 9.2.1. Nachspannlängen

Unter einer Nachspannlänge versteht man die volle Länge zwischen zwei Gewichtsnachspannungen und einem mittig angeordneten Fixpunkt. Eine halbe Nachspannlänge bedeutet, dass das Kettenwerk einseitig fest abgespannt ist, auf der anderen Seite die Gewichtsnachspannungen sind.

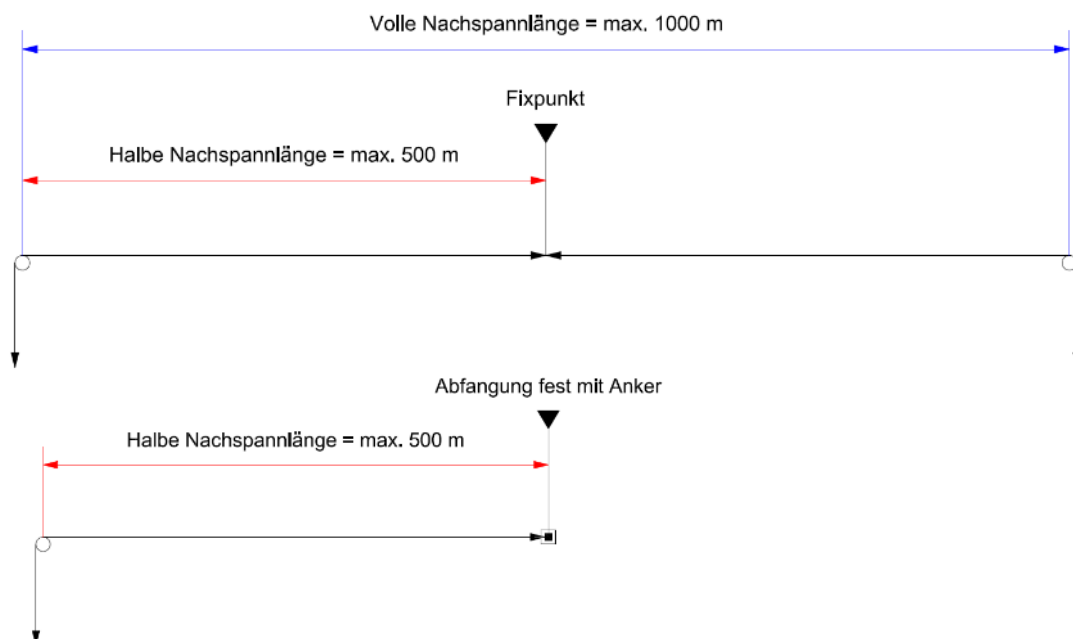


Abbildung 70: Nachspannlängen



### 9.2.2. Bewegliche Abfangung mit Tensorex C+ an Rundmast

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Für die FL-Nachspannung wird das System Tensorex C+ (Pfisterer) eingesetzt. Dieses System bringt die Zugkraft mit einer Spiralfeder und einer Kurvenscheibe auf den Fahrdraht.

Mastbereich: Rundmast 160 - 229 mm

Zugkraft: 7,5 kN

Hinweis: Seillänge 2.1m

Nachspannlänge: 750mm



Abbildung 71: Tensorex C+

#### Komponenten:

- Tensorex C+
- Befestigung an Rundmast (Typ A für Rundmasten aus Stahl)

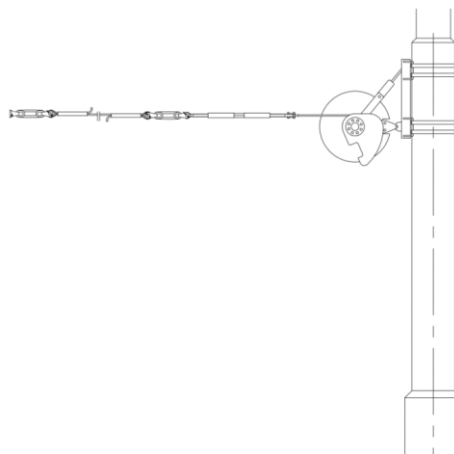


Abbildung 72: Tensorex C+ montiert

### 9.2.3. Bewegliche Abfangung mit Tensorex C+ an HEB-Mast

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Mastbereich: Profil HEB 240 - 300

Hinweis: Seillänge 2.1m

Nachspannlänge: 750mm

Zugkraft: 7.5 kN

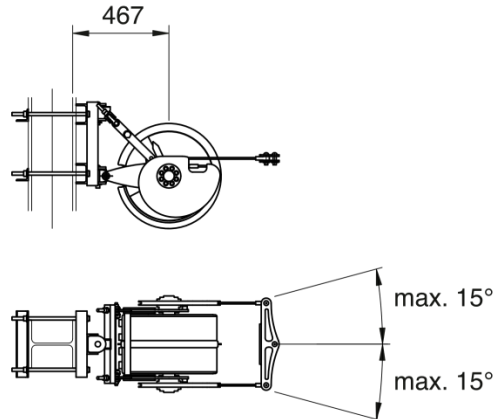


Abbildung 73: Tensorex C+ an HEB

Komponenten:

- Tensorex C+
- Befestigung an HEB-Mast (Typ A für Vierkant- und Peinermasten aus Stahl)

### 9.2.4. Nachspanneinrichtungen mit Gewichten

**Anwendung: Nur in Ausnahmefällen (Vorgabe BERNMOBIL)**

Die Nachspannung mit Gewichten erreicht die Zugkraft durch Beton- oder Gussgewichte, deren Gewichtskraft über Umlenkrollen auf den Fahrdraht geleitet wird. Durch die Anzahl an Gewichtsteinen kann die Zugkraft im Fahrdraht dem vorliegenden System angepasst werden.

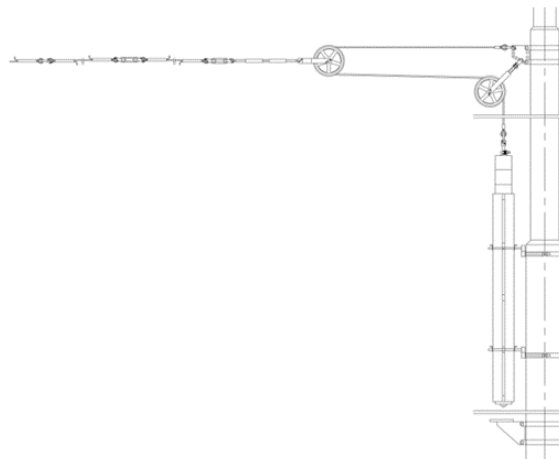


Abbildung 74: Gewichtsnachspannung

### 9.2.5. Fixpunkt

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Der Fixpunkt wird bei einer vollen Nachspannungslänge in Mitte der von beiden Seiten nachgespannten Strecke installiert. Der Fixpunkt kann auf verschiedene Varianten erstellt werden, eine davon ist die feste Abspannung, welche im Kapitel 9.1 Feste Abfangungen erläutert und vor allem bei der halben Nachspannlänge eingesetzt wird. Eine andere Möglichkeit wird unten mit der Zeichnung dargestellt.

Der Fixpunkt wird jeweils projektspezifisch geplant, da dieser auf die örtlichen Begebenheiten angepasst werden muss.

#### Bild --> folgt

Komponenten:

- Beiseil Ø6 mit Ösenende
- Schlingenisolator
- Abspann-Spirale
- Gewebeseil
- Stahlseil
- Spannschloss
- Fahrdrachtklemme für Beiseilaufhängung
- Gabelendklemme
- Kreuzungsklemme
- Schäkel

### 9.2.6. Übergabefeld

#### Anwendung: Standard BERNMOBIL

Im Übergabefeld wird der Fahrdrachtwchsel, von fest abgespannt auf nachgespannte Fahrleitung, umgesetzt. Das Übergabefeld kann spannungsführend, sowie isoliert, sprich als Streckentrennung, realisiert werden.

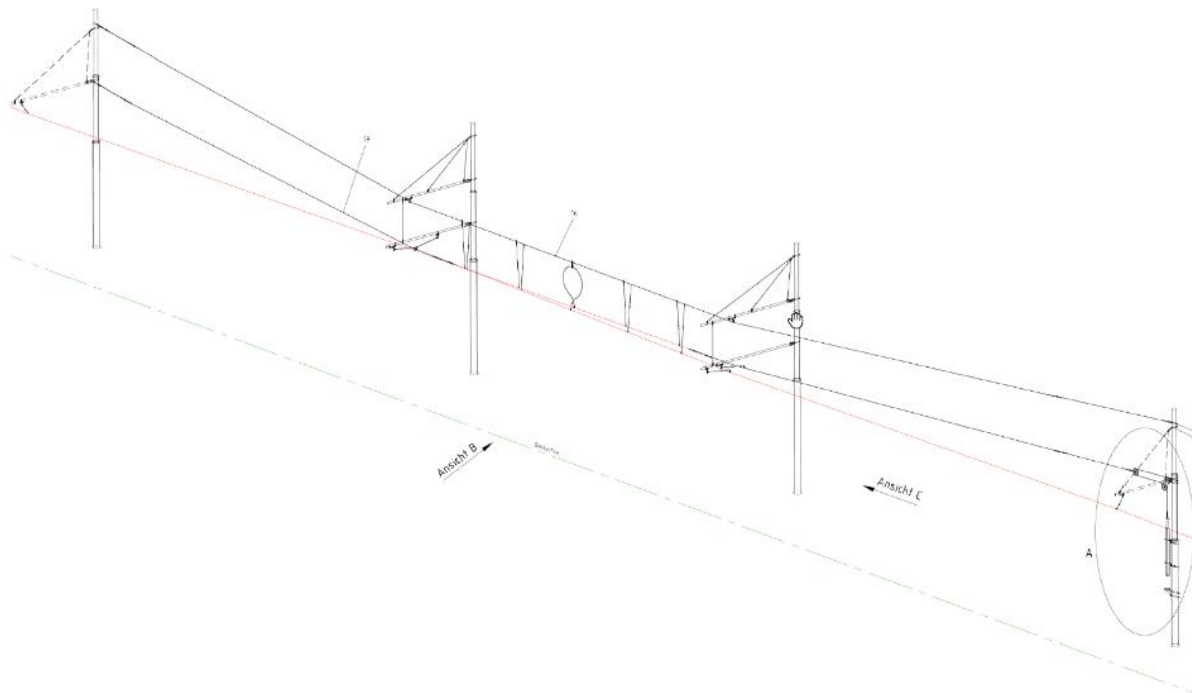


Abbildung 75: Übergabefeld

## 10. Glossar

### I

[hf]	
Fahrdrahthöhe .....	25
[SOK]	
Schienenoberkante .....	25
[ü]	
Überhöhung .....	25

### B

BAV	
Bundesamt für Verkehr .....	17

### D

D	
Durchmesser .....	33

### F

F	
Spitzenzug (Zugkraft) .....	33

### L

L	
Länge .....	33

### T

T	
Temperatur .....	16

## 11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Betriebsstromkreis Tram .....	7
Abbildung 2: Betriebsstromkreis Trolleybus .....	7
Abbildung 3: Fahrdraht BC107 .....	10
Abbildung 4: Querprofil mit Querspanner .....	11
Abbildung 5: Querprofil mit Ausleger .....	11
Abbildung 6: Querprofil Tunnel oder Unterführungen und Depots .....	12
Abbildung 7: Maststempel Fahrleitungsplan .....	18
Abbildung 8: Mastplakette (Beispiel aus einem ausgeführten Projekt) .....	18
Abbildung 9: Mauerbolzen Fahrleitungsplan .....	18
Abbildung 10: Symbole 1 .....	20
Abbildung 11: Symbole 2 .....	20
Abbildung 12: Stromabnehmerraum .....	23
Abbildung 13: Köcherfundament .....	26
Abbildung 14: Fundament für Rundmast mit Fussplatte .....	27
Abbildung 15: Fundament für HEB .....	27
Abbildung 16: Mauerkonsole Neufeld .....	28
Abbildung 17: Bohren von Pfahlfundamenten mit Grossbohrgerät .....	29
Abbildung 18: Mikropfähle .....	29
Abbildung 19: Fundamentliste .....	30
Abbildung 20: Kabeleinführung bei Rundmasten .....	30
Abbildung 21: Einführungsausrichtung .....	30
Abbildung 22: Mastanker   Mast - Boden .....	35
Abbildung 23: Mastanker   Mast - Mauerbolzen .....	35
Abbildung 24: Mastanker   Mast – Mast .....	35
Abbildung 25: Verbundanker .....	36
Abbildung 26: Mauerbolzen zementiert / einbetoniert .....	37
Abbildung 27: Mauerbolzen verlängert für Aussenisolation .....	37
Abbildung 28: Bügelplatte .....	37
Abbildung 29: Schwerlastkonsole .....	38
Abbildung 30: Hängestützen Garage Eigerplatz .....	38
Abbildung 31: Gerader Querspanner .....	39
Abbildung 32: Y-Querspanner .....	39
Abbildung 33: YY-Querspanner .....	39
Abbildung 34: Darstellung Querspanner gerade .....	40
Abbildung 35: Beispiel Brücken .....	40
Abbildung 36: Y-Querspanner .....	41
Abbildung 37: Spreizung .....	42
Abbildung 38: Trapez .....	43
Abbildung 39: Fliegender Abzug .....	44
Abbildung 40: Seiljoch .....	44
Abbildung 41: Flachkette .....	44
Abbildung 42: Einsatzbogen .....	45

Abbildung 43: Ausleger .....	46
Abbildung 44: Prinzipielle Darstellung eines Auslegers.....	46
Abbildung 45: Beispiel 2 Gleis-Ausleger mit 2 Traktionen.....	46
Abbildung 46: Rohrverbinder .....	47
Abbildung 47: Giessharzisolator mit Armaturen und für Rohrenden.....	48
Abbildung 48: Verbundisolator mit Armaturen und für Rohrenden .....	48
Abbildung 49: Bruchsicherung.....	49
Abbildung 50: Schlingenisolator .....	50
Abbildung 51: Rillen- / Stabisolator .....	52
Abbildung 52: Darstellung einer starren Fahrdrahtaufhängung .....	53
Abbildung 53: Kurzpendel Tram.....	54
Abbildung 54: Langpendel Tram .....	54
Abbildung 55: Einfachspurhalter (Ansicht Seite) .....	55
Abbildung 56: Einfachspurhalter (Ansicht Oben).....	55
Abbildung 57: Zwei Einfachspurhalter Tram .....	55
Abbildung 58: Fliegender Abzug Tram .....	56
Abbildung 59: Doppelt ausgeführter, fliegender Abzug Tram .....	56
Abbildung 60: Starre Aufhängung .....	57
Abbildung 61: Zick Zack einer Trolleybusfahrleitung (zweispurig).....	57
Abbildung 62: Funktion der Pendelaufhängung.....	58
Abbildung 63: Kurvenaufhängung .....	58
Abbildung 64: Kurvenschienen - Typen 0 - 4 .....	59
Abbildung 65: Elastischer Arm .....	59
Abbildung 66: Hilfsseil.....	60
Abbildung 67: Feste Abfangung .....	61
Abbildung 68: Feste Abfangung zweifach.....	61
Abbildung 69: Darstellung reduzierter Zug .....	62
Abbildung 70: Nachspannlängen.....	62
Abbildung 71: Tensorex C+ .....	63
Abbildung 72: Tensorex C+ montiert .....	63
Abbildung 73: Tensorex C+ an HEB .....	64
Abbildung 74: Gewichtsnachspannung .....	64
Abbildung 75: Übergabefeld.....	65

## 12. Anhang 1 – Tabelle Désaxement

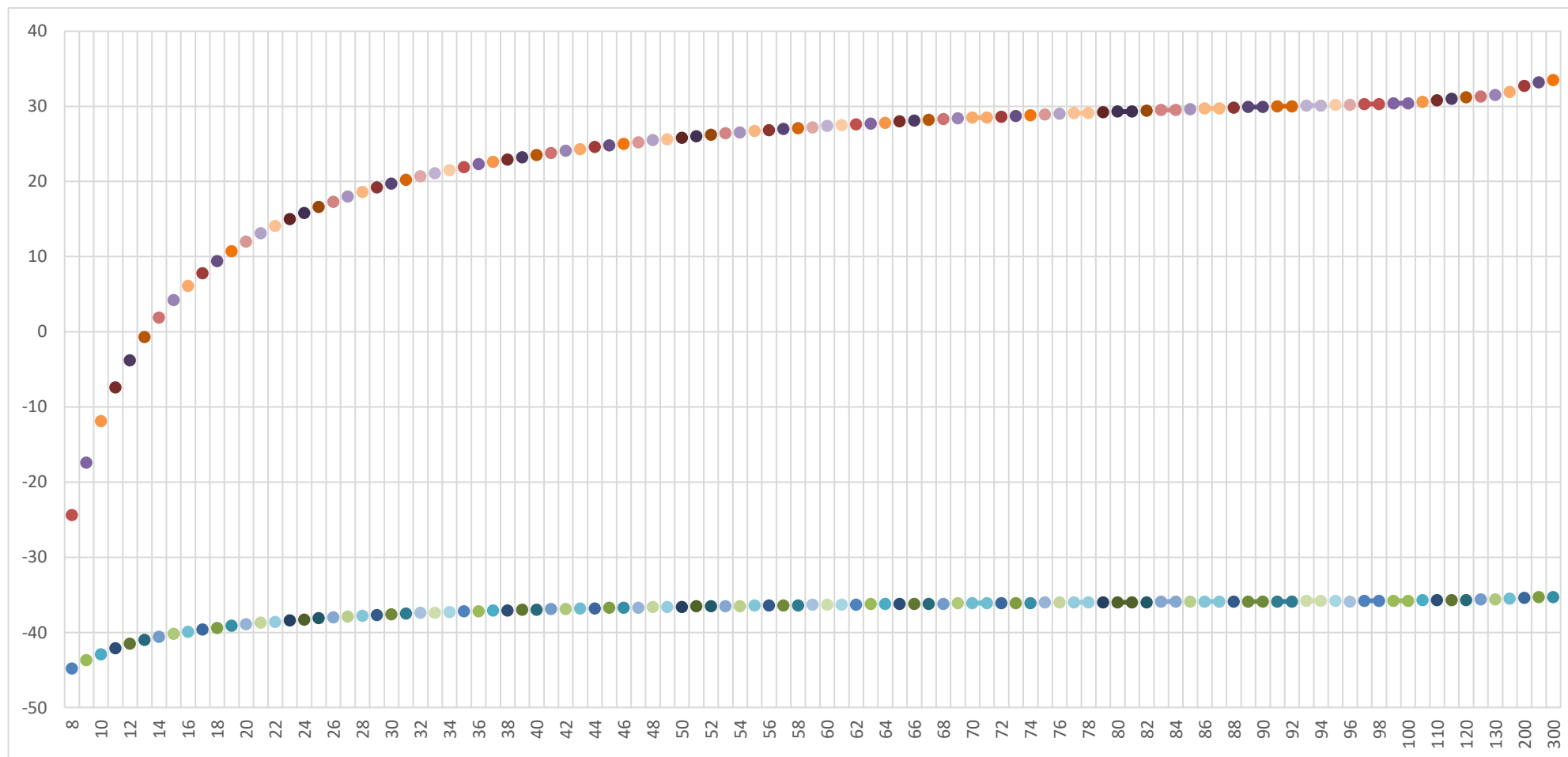


Tabelle 13: Désaxement