

Intern

Swissgrid AG
Bleichemattstrasse 31
Postfach
5001 Aarau
Schweiz

Erdung

Swissgrid-Standard ZSTD-00-026

T +41 58 580 21 11
info@swissgrid.ch
www.swissgrid.ch

Darf an Dienstleister und Lieferanten abgegeben werden

Version 2.0 vom 03.09.2020

Verfasser Jonas Baumann
Grid Infrastructure

DOKUMENTENNUMMER

ZSTD-00-026

BETRIFFT ANLAGE/OBJEKT

Unterwerke und Leitungen

VERANTWORTLICHE STELLE

GR-GS-SP

DATEINAME

ZSTD-00-026_Standard Erdung.docx

Alle Rechte, insbesondere das Vervielfältigen und andere Eigentumsrechte, sind vorbehalten.
Dieses Dokument darf in keiner Weise gänzlich oder teilweise vervielfältigt oder Dritten zugänglich gemacht werden ohne eine ausdrückliche schriftliche Genehmigung seitens Swissgrid AG.

Laufweg									
	GO								
		Datum			Datum			Datum	
Dokument-Owner	GO-GI-AD	14.09.11							
Erstellung	GO-EN-SU W. Wirz	14.09.11							
Prüfung Gemäss Vernehmlassung Swissgrid vom 02.06.14 bis 30.06.14	GO-GI-AD Leiter	09.05.2014							
	GO-EN Leiter	09.05.14							
	GO-MT Leiter	09.05.14							
	GO-SO Leiter	09.05.14							
	GO-GI Leiter	09.05.14							
Freigabe	GO (BU-Meeting)	27.10.14							

Überarbeitung			
Datum	Name, Stelle	Version	Änderungen
14.09.11	W. Wirz, AM-PR-UW	1.0	Ersterstellung
14.03.12	C. Zumbrunn, AM-ST-ST	1.1	Einbindung in Styleguide, Erklärungen in Anhang verschieben und umstrukturieren.
06.03.14	M. Nafzger, GO-EN-SU	1.2	Überarbeitung in Basiskonzept für Leitungen und Unterwerke
06.10.14	C. Zumbrunn, GO-GI-AD	1.3	Anpassung des Laufwegs Aufgrund Vernehmlassung
03.09.20	J. Baumann, GR-GS-SP	2.0	Vorgaben von Ausführung, Dimensionierung Erdungsmaterial

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemein	6
1.1	Zweck und Ziel	6
1.2	Gültigkeitsbereich	6
1.3	Abkürzungen	6
1.4	Übergeordnete und zugehörige Dokumente	7
1.4.1	Rechtliche Grundlagen	7
1.4.2	Normen und Richtlinien	7
1.4.3	Swissgrid Standard	8
2	Anlagenerdung	8
2.1	Anforderungen	8
2.2	Elemente der Anlagenerdung	9
2.2.1	Erder	9
2.2.2	Erdungsleiter	9
2.2.3	Potentialausgleichsleiter	9
2.3	Auslegung der Anlagenerdung	10
2.4	Dimensionierung der Erdung	11
2.4.1	Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung	11
2.4.2	Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung	11
2.4.3	Bemessung in Hinblick auf Berührungsspannung	12
2.5	Materialvorgabe für Erdungsausführung	14
3	Blitzschutz	15
3.1	Allgemein	15
3.2	Äussere Blitzschutz	15
3.2.1	Fangeinrichtung	15
3.2.2	Ableiteinrichtung	16
3.3	Innere Blitzschutz	16
3.3.1	Überspannungsableiter	16
3.3.2	Überspannungsschutzelementen	17
3.4	Materialvorgabe für Blitzschutz	17
4	Erdungsmassnahmen in Unterwerken	18
4.1	Oberflächenerder	19
4.2	Tiefenerder	20
4.3	Fundamenterder	20
4.3.1	Allgemein	20
4.3.2	Erdungsnetz / Erdung in Beton	21
4.3.3	EMV / HF-Netz	22
4.3.4	Rohrblöcke und Gebäudeeinführungen	22
4.4	Erdung innerhalb von Gebäuden	23

4.4.1	Erdungssammelleiter/ Erdungsleiter	23
4.4.2	GIS Erdung	23
4.4.3	Sekundäranlage	24
4.4.4	Kabeltragsystem	25
4.4.5	Ausgedehnte Metallteile	26
4.5	Erdung von Niederspannungsanlagen	28
4.6	Erdung in Freiluftschaltanlage (AIS)	29
4.6.1	Ausführung Allgemein	29
4.6.2	Gerüste von Betriebsmitteln	29
4.6.3	Erdungsanschlüsse	30
4.6.4	Erdung von Leistungsschaltern	30
4.6.5	Erdung von Trenner / Erder	31
4.6.6	Erdung Messwandler	31
4.6.7	Erdung von Kabelendverschlüssen	31
4.6.8	Erdung Überspannungsableiter	32
4.6.9	Erdung von Abspanngerüsten	34
4.6.10	Erdung von Reservegerüste	35
4.7	Erdung von Transformatoren	35
4.7.1	Transformator-Standplatz	35
4.7.2	Transformatorkessel	36
4.7.3	Sternpunkt	36
4.7.4	Brandlöschanlage	36
4.7.5	Geleise	36
4.8	Erdung von Kabelschirm	37
4.8.1	Hochspannungskabel	37
4.8.2	Sekundärkabel	39
4.9	Erdungsleiter von Kabel- und Freileitungen	39
4.9.1	Erdseil der Freileitung	39
4.9.2	Erdausgleichsleiter der Kabelleitungen	40
4.10	Erdung Anlagenumzäunung	42
5	Erdungsmassnahmen bei Leitungen	43
5.1	Freileitungen	43
5.2	Kabelleitungen	45
6	Vorgaben für Erdungsverbindungen	46
6.1	Erdverbindungen im Hinblick auf Korrosion	46
6.2	Verbindungen im Beton	48
6.2.1	Kreuzverbindungen im Beton	48
6.2.2	Anschlüsse für Potentialausgleich	48
6.2.3	Wanddurchführung für hohe Ströme	49
6.3	Schraubverbindungen	49
6.4	Klemmverbindungen	50
6.5	Kupferband – Verbindungen	51

6.5.1	Hartlöt-Verbindung	51
6.5.2	Pressverbindung	51
6.5.3	Schraubverbindung	52
6.5.4	Klemmverbindung	52
6.6	Verlegung von Erdungsleitungen	53
6.6.1	Verlegung auf Beton	53
6.6.2	Verlegung auf Stahl	54
6.6.3	Erdungskabelverlegung	54
6.6.4	Übergang Beton – Luft	54
7	Baustellenerdung	55
8	Grundlagen für Planung	56
8.1	Auslegung für neue Standorte	56
8.2	Auslegung für Erweiterungen	56
8.3	Auslegung für bestehende Standorte	57
9	Kontrolle / Abnahme der Anlagenerdung	58
9.1	Kontrolle der Fundamenterdung	58
9.2	Kontrolle Erdungsleiter	58
9.3	Kontrolle Blitzschutz	58
9.4	Abnahme vor Inbetriebnahme	58
9.5	Erdungsmessung	58
10	Dokumentation	59

1 Allgemein

1.1 Zweck und Ziel

Dieses Dokument inkl. Allen Beilagen dient als Basis für die Projektierung, Ausschreibung und Realisierung von Anlagenerdungen im schweizerischen Übertragungsnetz der Spannungsebenen 220 kV und 380 kV. Es bildet die Grundlage für die Erstellung von Plan- und Ausschreibungsunterlagen. Zudem dient dieser Standard als Grundlage zur Beantwortung von allfälligen Fragen der Lieferanten bzw. Planer im Zusammenhang mit Projekten im Übertragungsnetz der Swissgrid.

Das Dokument definiert die Grundsätze zur Dimensionierung bzw. Auslegung der Anlagenerdung und enthält konkrete Vorgaben zur Erstellung der Erdungseinrichtung.

1.2 Gültigkeitsbereich

Dieser Standard ist gültig für die Planung und Erstellung von Anlagenerdungen bei Neu- und Umbauten von Unterwerken und Leitungen.

Bei Umbauten (z.B. Erweiterung, Komponentenersatz) gelten die Vorgaben für die Anlagenerdung des betroffenen Anlageteils. Projektspezifisch zu prüfen ist, ob die bestehende Anlagenerdung für die neuen Anforderungen (z.B. Höhe Kurzschlussstrom) noch ausreichend dimensioniert ist oder im Rahmen des Umbauprojekts übergeordnet angepasst werden muss.

Alle Vorgaben des vorliegenden Standards sind umzusetzen. Abweichungen vom Standard müssen immer in vernünftigem Masse begründet und durch Swissgrid genehmigt werden.

Befinden sich auf dem betroffenen Areal noch Infrastrukturen von anderen Betreibern (z.B. VNB, KWB, SBB) sind projektspezifisch Massnahmen zu definieren und allenfalls weitere Gesetze oder Branchenrichtlinien zu berücksichtigen.

1.3 Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AIS	Air Insulated Switchgear (Luftisolierte Schaltanlage)
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat
GIS	Gas Insulated Switchgear (Gasisolierte Schaltanlage)
HS	Hochspannung
KWB	Kraftwerksbetreiber
PGV	Plangenehmigungsverfahren
SAS	Stations-Automatisierungs-System
SG	Swissgrid AG
UW	Unterwerk
VNB	Verteilnetzbetreiber
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Tabelle 1: Abkürzungen

1.4 Übergeordnete und zugehörige Dokumente

1.4.1 Rechtliche Grundlagen

Die Anlagenerdung und alle mit deren Erstellung zusammenhängenden Arbeiten müssen mit den schweizerischen Gesetzen und Verordnungen konform sein, insbesondere:

Ref.	Dokument Nr.	Bezeichnung
[1]	SR 734.2	Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung, StV)
[2]	SR 734.31	Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)
[3]	SR 734.1	Verordnung über elektrische Schwachstromanlagen (Schwachstromverordnung)
[4]	SR 734.27	Verordnung über elektrische Niederspannungs-Installationen (Niederspannungs-Installationsverordnung, NIV)

Tabelle 2: Rechtliche Grundlagen

1.4.2 Normen und Richtlinien

Weiter gelten als anerkannte Regeln der Technik nach Artikel 4 der Starkstromverordnung [1] alle anwendbaren Normen sowie die Branchenrichtlinien und Weisungen.

Die nachfolgende Aufzählung enthält die wichtigsten Normen und Richtlinien bezüglich Anlagenerdung.

Ref.	Dokument Nr.	Bezeichnung
[10]	SNEN 50522	Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannung über 1kV
[11]	SNEN 62305	Blitzschutz, Teil 1-4
[12]	SN EN 62561	Blitzschutzsystembauteile (LPSC)
[13]	SN EN 61936-1	Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV - Teil 1
[14]	SN EN 60099-4	Überspannungsableiter – Teil 4
[15]	SNG 483755	Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen (Erläuterung zu den Art. 53-61 der Starkstromverordnung SR 734.2)
[16]	SNR 464113	Fundamenterder – Leitsätze von Electrosuisse
[17]	SNR 464022	Blitzschutzsystem – Leitsätze von Electrosuisse
[18]	ESTI Nr. 511	Weisung für elektrische Installation in Abwasseranlage
[19]	SN 411000	Niederspannungsinstallationsnorm NIN
[20]	SN EN 60071	Isolationskoordination
[21]	SN EN 62271-209	Kabelanschlüsse für gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen
[22]	VSE Si-Handb.	VSE Sicherheitshandbuch

Tabelle 3: Normen und Richtlinien

1.4.3 Swissgrid Standard

Nebst den rechtlichen Grundlagen und Normen gelten die weiteren Swissgrid Standards. Die folgenden Dokumente haben möglichen Einfluss auf den vorliegenden Standard.

Ref.	Dokument Nr.	Bezeichnung
[50]	ZSTD10-001	Standard Bau in Unterwerken
[51]	ZSTD30-000	Standard Nebenanlagen / Eigenbedarf
[52]	ZSTD40-001	Standard GIS Schaltanlage
[53]	ZSTD40-003	Standard AIS Schaltanlage

Tabelle 4: Swissgrid Standards

2 Anlagenerdung

2.1 Anforderungen

Gemäss dem Grundsatz der Starkstromverordnung [1, Art. 53] sind leitfähige Anlageteile, die normalerweise nicht unter Spannung stehen zu erden, um die Gefährdung von Personen durch Berührungsspannung und von Sachen durch Fehler- oder Erdschlussströme zu vermindern.

Für Hochspannungsanlagen gilt gemäss Starkstromverordnung [1, Art. 57] alle zu erdenden Teile mit der Anlagenerdung zu verbinden. Jede Anlageerdung ist über mindestens zwei unabhängige Erdungsleiter zu erden.

Die Auslegung der Anlagenerdung muss gemäss Starkstromverordnung [1, Art. 60] vier Anforderungen erfüllen:

- a) Sicherstellung der mechanischen Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit
- b) Thermische und mechanische Beherrschung der höchst möglichen Fehlerströme
- c) Vermeidung der Beschädigung von Sachen und Betriebsmittel
- d) Gewährleistung der Sicherheit von Personen in Bezug auf auftretende Berührungsspannungen an Anlagenerdungen während des höchsten Erdfehlerstroms

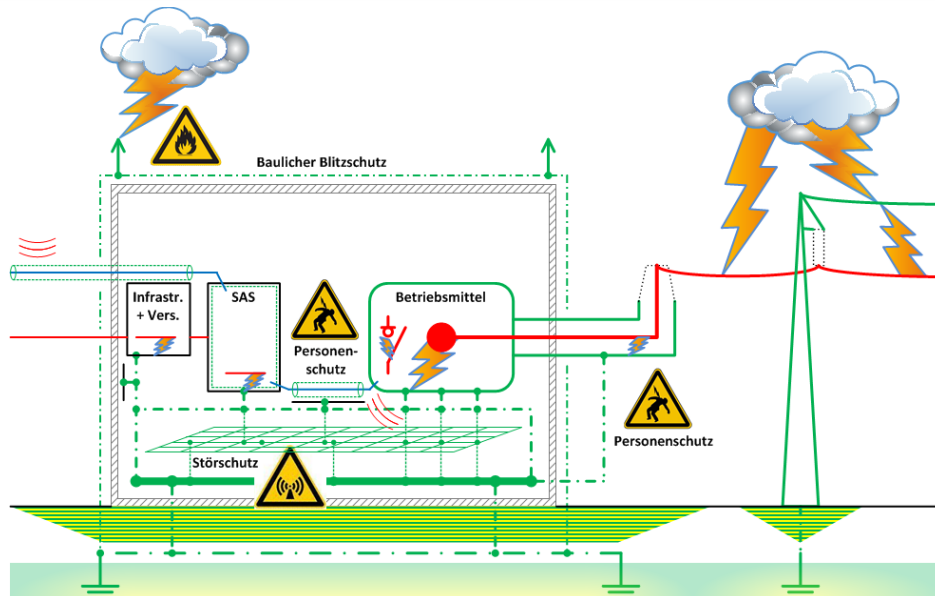


Abbildung 1: Anforderungen an Anlagenerdung

Die Anlagenerdung dient somit der Schutz-, Funktions-, Betriebs- und Blitzschutzterdung sowie dem Potentialausgleich. Sie wird nachfolgend als Anlagenerdung bezeichnet und ist gleichbedeutend mit dem Begriff der Erdungsanlage gemäss Erdungsnorm [10].

Folgende Grundsätze sind bei der Erstellung des Erdungskonzeptes zu befolgen:

- Errichtung eines gemeinsamen Erdungssystems für alle Zwecke, einschliesslich Hochspannungsversorgung, Niederspannungsversorgung, Kommunikationstechnik und Blitzschutz
- Einbeziehung der Fundamente aller Gebäude, grosser Komponenten und den Stützmauern
- Verbinden aller Erdungsinstallationen in vermaschter Form, um Potentialunterschiede soweit als möglich zu vermeiden

2.2 Elemente der Anlagenerdung

Die Anlagenerdung setzt sich zusammen aus Erder, Erdungsleiter, Potentialausgleichsleiter und Massnahmen bezüglich EMV / Blitzschutz (siehe Kap. 3). Durch das Zusammenschliessen mehrerer Anlagenerdungen entsteht ein Erdungssystem.

2.2.1 Erder

Die Funktion des Erders ist es, die über die Erdungsleiter fliessenden Ausgleichs- oder Fehlerströme aufzunehmen und ins Erdreich abzuleiten. Der Erder kann als Oberflächenerder, Tiefenerder oder Fundamenteerder ausgeführt werden. In den meisten Fällen ist es eine Kombination davon.

2.2.2 Erdungsleiter

Erdungsleiter verbinden leitfähige Körper von Betriebsmitteln, die jedoch nicht zum Stromkreis gehören, mit dem Erder. Die Funktion des Erdungsleiters ist es Fehlerströme zum Erder abzuleiten und die Bildung gefährlicher Differenzspannungen zwischen den einzelnen Anlagen zu verhindern.

2.2.3 Potentialausgleichsleiter

Der Potentialausgleichsleiter dient nicht zur Ableitung hoher Fehlerströme. Ein Schutz-Potentialausgleich wird errichtet, um gefährliche Differenzspannungen zwischen leitfähigen Teilen, die nicht zu den Betriebsmitteln gehören, wie beispielsweise Reservegerüste, Kabelkanäle sowie Gebäudekonstruktionen, zu vermeiden.

2.3 Auslegung der Anlagenerdung

Für die Auslegung der Erdungsanlage sind folgende Parameter von Bedeutung:

- Höhe des Fehlerstromes
- Fehlerdauer
- Beschaffenheit der Erde

In einem Unterwerk, in der unterschiedliche Nennspannungen verwendet werden, sind die vier Anforderungen (gem. Kap. 2.1) für jedes Hochspannungsnetz zu erfüllen. Für die Festlegung des höchstmöglichen Erdfehlerstromes sind zukünftige Netzausbauten projektspezifisch zu prüfen und zu berücksichtigen.

Die Fehlerarten in einem Drehstromsystem unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Anzahl der am Kurzschluss beteiligten Leiter und der Verbindung mit der Erde. Die möglichen Fehlerarten sind in der Abbildung 2 ersichtlich.

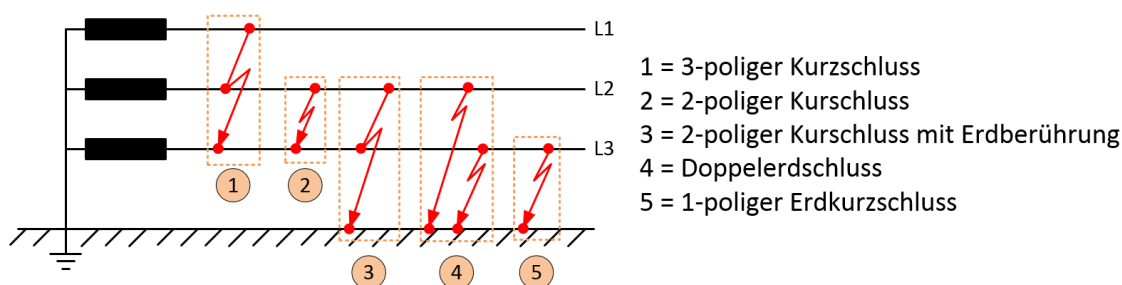


Abbildung 2: Fehlerarten im Drehstromnetz

Für die Auslegung der Anlagenerdung müssen diejenigen Fehler berücksichtigt werden, die einen Stromfluss über das Erdungssystem verursachen. Dies sind die Fehler 3, 4 und 5 aus der Abbildung 2. Die Fehlerarten 3 und 4 haben denselben Fehlerstrom (2-poliger Fehler) zur Folge.

Bei der Auslegung der Anlagenerdung auf die thermische Festigkeit und den Personenschutz sind diese Fehler bei den unterschiedlichen Spannungsebenen unter Berücksichtigung ihrer Dauer projektspezifisch zu betrachten. Der anzunehmende Fehlerstrom wird durch Swissgrid (Netzplanung) vorgeben.

Die Abschaltzeit ist abhängig vom installierten Schutzsystem (z.B. Sammelschienenenschutz) und wird von Swissgrid (SAS, Schutz) vorgegeben. Sie ist relevant zur Bestimmung der zulässigen Berührungsspannung.

Unabhängig von der Abschaltzeit im Fehlerfall ist der Erdungsleiter im Hinblick auf die thermische Beanspruchung für den genormten Wert der Bemessungs-Kurzschlussdauer von 1 s gemäss Norm [10, Abs. 4.2.2] auszulegen.

Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft mögliche Werte.

Netz	Fehlerart	Abschaltzeit [s]	Kurzschlusszeit [s]	Fehlerstrom [kA] (jeweils SS pro Schaltanlage)
220kV, starr geerdet	1-polig	0.09	1	43
	2-polig	0.09	1	46
380kV, starr geerdet	1-polig	0.09	1	36
	2-polig	0.09	1	39

Tabelle 5: Beispiel für mögliche Werte (Fehlerstrom, Abschaltzeit)

2.4 Dimensionierung der Erdung

Bei Dimensionierung und Wahl der Erdungsmaterialien sind verschiedene Punkte zu beachten.

2.4.1 Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung

Gemäss Erdungsnorm [10, Abs. 5.2] sind die mechanische Festigkeit und die Korrosionsbeständigkeit sichergestellt, wenn für Erdungsleiter und Potentialausgleichsleiter folgende Mindestquerschnitte eingehalten werden:

Kupfer:	16 mm ²
Aluminium:	35 mm ²
Stahl:	50 mm ²

Abweichend dieser Vorgabe sind in Swissgrid Anlagen die Potentialausgleichsleiter aus Kupfer mit einem Mindestquerschnitt von 25 mm² auszuführen. Dies gilt sowohl in der Hochspannungsanlage als auch in der Niederspannungsanlage (hier wäre gemäss NIN-Norm [19] nur 10mm² gefordert).

Für Erder sind gemäss Erdungsnorm [10, Anhang C] folgende Mindestquerschnitte einzuhalten:

Kupferband:	50 mm ² , Dicke ≥ 2 mm
Kupferseil:	25 mm ² , Einzeldrahtdurchmesser ≥ 1.7 mm
Stahlband:	90 mm ² , Dicke ≥ 3 mm

In Beton eingebettete Leiter des Fundamenters sind aus verzinktem Erdungsseil (Stahl) auszuführen.

Gemäss Blitzschutznorm [12] ist die mechanische Festigkeit und die Korrosionsbeständigkeit sichergestellt, wenn ein Stahlseil im Beton einen Querschnitt von mindestens 70 mm² aufweist, wobei der Durchmesser der Einzeladern mindestens 1,7 mm betragen muss. Für Swissgrid Anlagen sind die Leiter des Fundamenters im Beton aus verzinktem Stahl-Erdungsseil mit Querschnitt 75 mm² auszuführen.

Verzinktes Stahlband ist nicht zu verwenden, da zum einen die Verlegung aufwendiger ist und zum anderen die Gefahr besteht, dass im Beton unter dem Stahlband Lufteinschlüsse entstehen. Durch die Luft beginnen die Bänder an diesen Stellen zu korrodieren, die Erdung wird dadurch geschwächt. Da die Erdungsleiter vollständig im Beton eingebettet sind kann eine nachträgliche Kontrolle bzw. Korrosionssanierung nicht durchgeführt werden.

2.4.2 Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung

Im Hinblick auf die thermische Beanspruchung ist die Strombelastbarkeit gemäss Erdungsnorm [10, Anhang D] zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für die Erdungsleiter, Erder und Potentialausgleichsschienen.

Bei starr geerdeten Netzen ist der maximale 1-polige Erdfehlerstrom (siehe Kap. 2.1) massgebend. Abhängig vom Werkstoff und der Verlegeart ist der minimale Querschnitt gemäss nachfolgender Formel zu berechnen. Als Rechenbeispiel ist der häufigste Fall für Dimensionierung eines Erdungsleiters (Kupfer in Erdreich bzw. Luft) aufgeführt.

$$A = \frac{I_k}{K} \sqrt{\frac{t_f}{\ln\left(\frac{\vartheta_i + \beta}{\vartheta_i + \beta}\right)}} = \frac{50000A}{226A \frac{\sqrt{s}}{mm^2}} \sqrt{\frac{1s}{\ln\left(\frac{300^\circ C + 234.5^\circ C}{20^\circ C + 234.5^\circ C}\right)}} = 200 mm^2$$

A: Leiterquerschnitt

I_k: Fehlerstrom (Effektivwert)

t_f: Fehlerstromdauer (= 1s)

K: Werkstoffkonstante; Kupfer = 226 A√s/mm², Stahl = 78 A√s/mm²

β: Kehrwert des Temperaturkoeffizienten (bei 0°C); Kupfer = 234.5°C, Stahl = 202°C,

ϑ_i : Anfangstemperatur (= 20°C)

ϑ_e : Endtemperatur; Kupfer in Luft/Erdreich = 300°C, Stahl in Beton = 150°C

Der Mindestquerschnitt ist basierend auf den projektspezifischen Angaben zu ermitteln. Gemäss Norm [10, Abs. 5.3.1] ist es zulässig die Erdung nur für einen Teil des Fehlerstromes zu bemessen, da sich die Ströme in der Anlagenerdung aufteilen. Wird angenommen, dass sich der einlaufende Kurzschluss gleichmässig auf Verzweigungen aufteilt, müssen die Erdungsleiter nur 50 % des Kurzschlussstromes tragen. Aus Sicherheitsgründen sind die einzelnen Erdungsleiter auf ca. 70% des Kurzschlussstromes auszulegen.

Eine Größenordnung für die Dimensionierung von Erdungsleitern aus Kupfer kann folgender Tabelle entnommen werden.

Fehlerstrom I_k [kA]	Dauer der Kurzschlussstromes t_f [s]			Dauer der Kurzschlussstromes t_f [s]		
	0.5	1	3	0.5	1	3
	Leiterquerschnitt Q [mm ²]			Min. Leiterquerschnitt Q_{min} (Q x 70%) [mm ²]		
20	73	103	178	51	72	124
30	108	154	267	75	107	186
40	145	205	356	101	143	249
50	182	257	445	127	179	311
63	229	324	561	160	226	392

Tabelle 6: Dimensionierung Erdungsleiter Kupfer

Für Swissgrid Anlagen sind folgende standardisierten Kupferbänder für die Erdungsleiter und Erder zu verwenden:

$I_k \leq 31.5$ kA: Kupferband 120mm² (40 x 3 mm)

$31.5 > I_k \leq 63$ kA: Kupferband 200mm² (40 x 5 mm)

Es ist zulässig die standardisierten Kupferbänder doppelt zu führen, um den notwendigen Querschnitt zu gewährleisten.

2.4.3 Bemessung in Hinblick auf Berührungsspannung

Bei der Auslegung der Anlagenerdung ist die maximal zulässige Berührungsspannung gemäss Starkstromverordnung [1, Art. 52] zu beachten und entsprechende Massnahmen einzuplanen.

Für die Bemessung der Anlagenerdung in Hinblick auf die Berührungsspannung ist gemäss Norm [10, Tabelle 1] der 1-polige Erdschlussstrom und die zugehörige Abschaltzeit massgeblich. Diese Werte sind gemäss Kap. 2.3 projektspezifisch zu ermitteln. Als Beispielswert soll folgende Annahme getroffen werden:

- 220-kV-Ebene: $I_k'' = 43$ kA, Abschaltzeit = 0.09 s

Unter Berücksichtigung der Abschaltzeit ist die maximal zulässige Berührungsspannung U_{TP} gemäss Starkstromverordnung [1, Anhang 4] definiert und in der Abbildung ersichtlich.

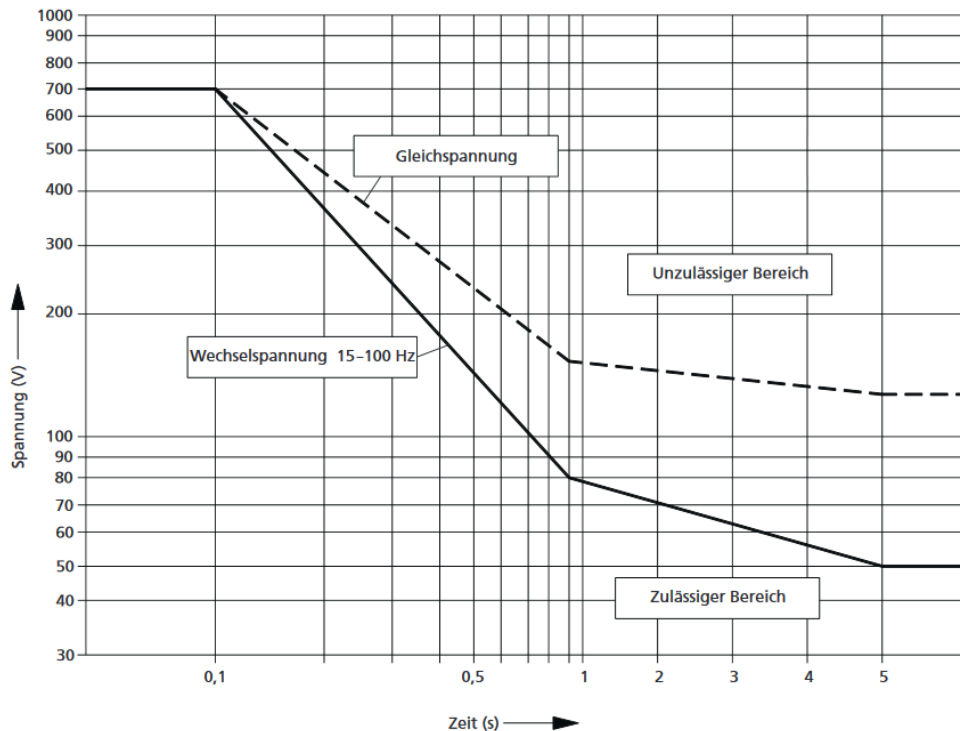


Abbildung 3: Zulässige Berührungsspannung (Quelle: StV-Norm [1, Anhang 4])

Für die angenommenen Beispielswerte ergibt sich folgende zulässige Berührungsspannung.

- 220-kV-Ebene: $U_{TP220} = 700 \text{ V}$

Für die Ermittlung der Erdungsspannung U_E sind der Fehlerstrom und die Erdimpedanz des betroffenen Standorts relevant. Die Erdimpedanz ist bei bestehenden Anlagen meist aus früheren Erdungsmessungen bekannt. Bei Neubauten muss die Erdimpedanz messtechnisch erfasst werden. Als Beispielwert wird hier eine Erdimpedanz von 35 mΩ angenommen:

- 220-kV-Ebene: $U_{E220} = I_{k''} \times Z_E = 43 \text{ kA} \times 35 \text{ m}\Omega = 1505 \text{ V}$
 $U_{E220} \approx 2.15 \times U_{TP220}$

Die Erdungsspannung U_E ist im vorliegenden Fall grösser als die doppelte zulässige Berührungsspannung ($2 \times U_{TP}$). Somit sind gemäss Norm [10, Kap.5.4] und der Richtlinie [15] zusätzliche Massnahmen notwendig. Bei Unterwerken sind generell immer Massnahmen erforderlich, um diese Bedingungen zu erfüllen und für die Überprüfung insbesondere die die Figur 32b der Richtlinie [15] zu berücksichtigen. Folgende Massnahmen zur Einhaltung der maximal zulässigen Berührungsspannung müssen durchgeführt werden:

- Steuerung des Potentialgefälles bei allen Anlagen- und Gebäudeteilen, welche von ausserhalb des UW berührt werden können
- Isolieren von Standorten an denen die Berührungsspannung überschritten wird
- Verringern Unterwerk-Erdimpedanz durch verbinden der Freileitungserdseile mit der Anlagenerde über Erdungskabel
- Nachweis durch Erdungsmessung nach Ende einer Bau- bzw. Umbauphase, dass die Berührungsspannung U_T an keiner Stelle den höchstzulässigen Wert der Berührungsspannung U_{TP} erreicht

2.5 Materialvorgabe für Erdungsausführung

Basierend auf den vorherigen Abschnitten sind in Swissgrid-Anlagen folgende Vorgaben für die Materialien der Anlagenerdung einzuhalten.

Leiterfunktion	Min. Querschnitt [mm ²]	Leiterart	Material	Form
Erder	200, (4x50mm) 120, (3x40mm)	massiv	Kupfer blank ¹	Band
Erdungsleiter	200, (4x50mm) 120, (3x40mm)	massiv	Kupfer blank ¹	Band
Isolierte Erdungsleiter	150-300	Seil, (Einzeldraht min. Ø 1.7mm)	Kupfer Kabel ²	rund
Erdungssammelring	200, (4x50mm) 120, (3x40mm)	massiv	Kupfer blank ¹	Band
Potentialsteuerung (insb. im Erdreich, wie z.B. Anlagenumzäunung)	120 (3x40mm)	massiv	Kupfer blank ¹	Band
Potentialausgleich (im Innenbereich, exkl. HS- Kabeltragsystem)	25	Seil	Kupfer Kabel ²	rund
Potentialausgleich (im Aussenbereich, HS- Kabeltragsystem)	50	Seil (Einzeldraht min. Ø 1.7mm)	Kupfer Kabel ²	rund
Potentialausgleich (z.B. Türen, Schranktüren)	25	Flachlitzen	Kupfer verzinnt	Band
Fundamenterder (im Beton)	75	Seil, (Einzeldraht min. Ø 1.7mm)	Stahl verzinkt	rund
HF Netz	Ø 6-8 mm, Maschenweite 150mm	massiv	Armierungs- gitter	rund

Tabelle 7: Materialvorgabe Erdungsausführung

¹ Im sichtbaren Bereich (Aufputz) ist Stangenmaterial als Kupferband zu verwenden. Im nicht sichtbaren Bereich (Erdreich) ist Rollenmaterial als Kupferband einzusetzen.

² Werden Erdungs- oder Potentialausgleichsleiter in Kabel ausgeführt ist sicherzustellen, dass die Farbe der Isolation gelb/grün ist. Es sind UV-beständige und halogenfreie Kabelisolationen zu verwenden. Bei Erdungskabeln mit einer doppelten Kunststoffmantel-Isolation (Innenisolation gelb/grün, Aussenisolation schwarz oder grau) sind die beiden Enden mit gelbgrünem Schrumpfschlauch zu markieren.

3 Blitzschutz

3.1 Allgemein

Unterwerke wie auch Leitungen sind gegen die Auswirkungen von direkten und indirekten Blitzeinschlägen zu schützen. Der Blitzschutz ist gemäss der Blitzschutznorm [11] und den Regeln [17] auszuführen. Für die zum Blitzschutz eingesetzten Bauteile (Systembauteile) gelten die jeweiligen Anforderungsnormen [12].

Den Entscheid über die Notwendigkeit eines Blitzschutzsystems und in welchem Umfang es errichtet werden muss, trifft gemäss Regel [17] die kantonale Brandschutzbehörde anhand der vorgelegten Baubewilligung. Der Blitzschutz ist nach der von der Behörde vorgegebenen Blitzschutzklasse zu errichten. Werden keine Auflagen von der Behörde erteilt so wird ein Konzept nach der Schutzklasse III erstellt. Der Blitzschutz besteht aus einem äusseren und einem inneren Blitzschutz. Für Anforderungen zur Auslegung von Leitungen und Schaltanlage hinsichtlich Blitzüberspannungen gilt die Isolationskoordination [20].

3.2 Äussere Blitzschutz

Der äussere Blitzschutz schützt Anlagen bei einem direkten Blitzeinschlag, in dem dieser den Blitzstrom direkt in die Erde leitet. Er umfasst Fang- und Ableitungen, Trennstellen sowie die Erdung um das schützende Objekt. Fangeinrichtungen und Ableitungen sind überall dort zu errichten, wo mit einem direkten Blitzeinschlag zu rechnen ist. Die Blitzeinschlagpunkte sind unter Anwendung des Blitzkugel-, Schutzwinkel- oder Maschenverfahrens oder einer Kombination einzelner Methoden zu bestimmen.

Für den Blitzschutz des Unterwerksareals können vorhandene Komponenten und Anlagen, wie z.B. Abspannportale und Erdseile von Freileitungen genutzt werden. Unterwerkgebäude erhalten in jedem Fall ein Blitzschutzsystem, unabhängig davon ob bereits vorhandene Anlagen als Blitzschutz dienen könnten.

3.2.1 Fangeinrichtung

Die Fangeinrichtungen sind für die zuverlässige Entwicklung von Fangentladungen und das Einfangen des Leitblitzes vorgesehen, ohne dass Schäden an den Anlagen entstehen werden.

Freileitungen:

- Erdseile bei Freileitungen gelten als Fangeinrichtung im Sinne des äusseren Blitzschutzes
- Elektrisch leitfähige Freileitungsmasten gelten sowohl als Fang- wie als „natürliche“ Ableitvorrichtungen im Sinne des äusseren Blitzschutzes

Unterwerke:

- Als Fangeinrichtung ist ein Maschennetz auf dem Dach der Gebäude mit einer Maschenweite der entsprechend der Blitzschutzklasse zu erstellen
- Die Leiter der Fangeinrichtung sind unter der Berücksichtigung der Korrosion und mechanischen Festigkeit als Rundkupfer mit den Abmessungen gemäss Regel [17, Abs. 5] auszuführen
- Weitere Blitzschutzmassnahmen wie Blitzfangstangen oder Fangseile sind bei Bedarf zu installieren
- Allfällige metallische Konstruktionen auf dem Gebäudedach (z.B. Dachumfassung, Absturzsicherungen) sind in den Blitzschutz zu integrieren; eine Ausnahme stellen metallische Dachaufbauten dar, die eine direkt leitende Verbindung ins Gebäudeinnere haben; diese Dachaufbauten werden mit getrennt angebrachten Fangeinrichtungen gegen direkte Blitzeinschläge geschützt; hierbei ist auf die Einhaltung des Trennungsabstandes besonderes zu achten; damit wird das Abfließen der Blitzentladung ins Gebäudeinnere verhindert

- In Freiluftschaltanlagen dürfen Massnahmen zum äusseren Blitzschutz, insbesondere Fangeinrichtungen die Anlagenverfügbarkeit nicht massgeblich beeinträchtigen; Leitungskreuzende Fangseile sind zu vermeiden

3.2.2 Ableiteinrichtung

Die Ableiteinrichtungen müssen die Blitzströme schadfrei von den Fangeinrichtungen zum Erdungssystem ableiten.

Bei Ableiteinrichtungen von Gebäuden ist folgendes zu beachten:

- Ableitungen sind auf dem kürzest möglichen Weg mit dem Oberflächenerder (siehe Kap. 4.1) zu verbinden und nicht direkt an die Fundamenterdung anzuschliessen
- Die Verbindungen sind für Messzwecke jederzeit zugänglich und lösbar auszuführen

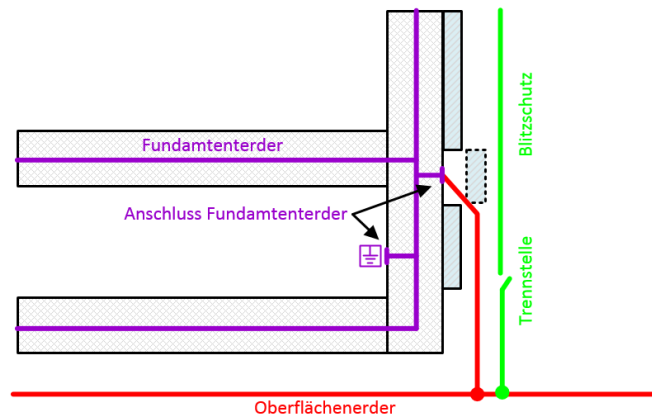


Abbildung 4: Anschluss Blitzleiter an Oberflächenerder

- Ableitungen des Blitzschutzes sind in einen Abstand von mindestens 1m zu Erdanschlusspunkten/Fundamenterdseilen in der Gebäudeausenwand sowie Einführungen der Anlagen-erdung zu platzieren
- Die Ableitungen müssen das gesamte Gebäude umschliessen und in jedem Eckpunkt vorhanden sein; die Ableitungen dürfen nicht weiter als die Maschenweite der Blitzschutzklasse auseinanderliegen
- Natürliche vorhandene Ableitungen, wie Regenrinnen, metallische Wandfassaden etc. sind in den Blitzschutz als Ableiteinrichtungen zu integrieren; diese ersetzen die Ableitungen mit Rundkupfer jedoch nicht

3.3 Innere Blitzschutz

Bestandteil des inneren Blitzschutzes ist der Potentialausgleich und der Überspannungsschutz. Er schützt vor den indirekten Auswirkungen eines nahen Blitzschlages, wie durch das Magnetfeld induzierte Spannungen.

3.3.1 Überspannungsableiter

Überspannungsableiter schützen die Schaltanlagen und Transformatoren vor Blitzüberspannungen und weiteren Überspannungen im Netz. Generell gilt:

- Überspannungsableiter sind gemäss der Ableiter-Norm [14] und der technischen Vorgaben von Swissgrid (siehe Standard [52] und [53]) auszuführen)
- Transformatoren müssen auf allen Spannungsebenen mit Überspannungsableiter geschützt werden; bei VN-Trafos ist die Dimensionierung der Ableitern auf der OS-Seite mit dem VNB abzustimmen

- Hochspannungskabel sind, wenn immer möglich, beidseitig mit Überspannungsableiter zu schützen; bei direktem Kabelanschluss an eine GIS-Anlagen ist die Notwendigkeit für die Installation eines Überspannungsableiters mittels einer Studie der Isolationskoordination zu prüfen
- Jede einkommende Freileitung ist im Bereich des Abspannportals mit Überspannungsableiter auszurüsten
- Die Überspannungsableiter werden unter Einhaltung der zulässigen Mindestabstände so nahe wie möglich an den zu schützenden Apparaten installiert; der Abstand zu Kabelendverschlüssen und Transformatordurchführungen muss jedoch mindestens den halben Leiter-Erde-Abstand betragen um das Potentialsteuerungsverhalten von Kabelendverschlüssen und Transformatordurchführungen nicht zu beeinflussen

3.3.2 Überspannungsschutzelementen

Für fest installierte oder empfindliche Systeme wie komplexe Steuerungen ist ein konsequenter Überspannungsschutz unerlässlich. Deshalb ist zum Schutz vor Überspannungen ein Überspannungsschutz mit entsprechenden Überspannungsschutzelementen (Funkenstrecken, Varistoren, Z-Dioden) vorzusehen.

Signal-, Steuer- und Telefonleitungen, welche als klassische Kupferleitungen die Anlageerdung verlassen, sind mit Schutzübertragern auszurüsten. Dies erfolgt in erster Linie um Schäden bei Potentialunterschieden infolge einpoliger Erdkurzschlüsse zu vermeiden.

Die Schutzübertrager/Breitbandübertrager müssen gemäss Schwachstromverordnung [3] mindestens für das 1.3-fache der maximalen Erdungsspannung isoliert sein. Es sind Schutzübertrager mit einer Isolationsspannung von mindestens 20 kV einzusetzen.

3.4 Materialvorgabe für Blitzschutz

Basierend auf den vorherigen Abschnitten werden für Swissgrid-Anlagen folgende Mindestvorgaben für die Materialien für den Blitzschutz definiert.

Leiterfunktion	Min. Querschnitt [mm ²]	Leiterart	Material	Form
Blitzschutz Fangeinrichtung	50 (Ø 8 mm)	massiv	Kupfer blank	rund
Blitzschutz Ableitung	50 (Ø 8 mm)	massiv	Kupfer blank	rund

Tabelle 8: Materialvorgabe Blitzschutz

4 Erdungsmassnahmen in Unterwerken

Um die elektrische Sicherheit von Personen und Sachen zu gewährleisten, muss eine Anlage über eine umfassende und eine auf die verschiedenen Elemente abgestimmte Erdung verfügen. In diesem Kapitel sind die dazu notwendigen Massnahmen aufgelistet und detailliert beschrieben. Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch die notwendigen Erdungsmassnahmen in Unterwerken.

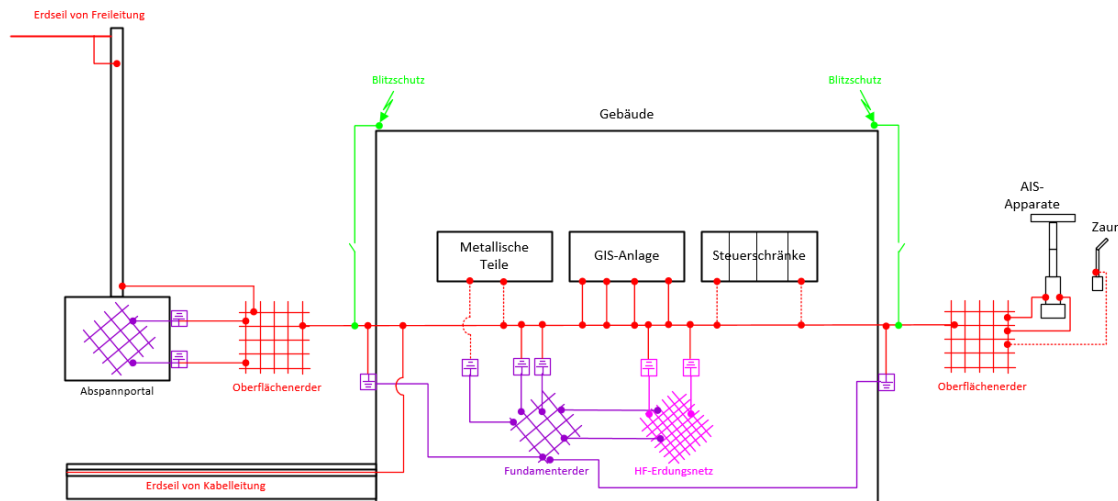


Abbildung 5: Schematische Darstellung von Erdungsmassnahmen

Anhand der Abbildung 6 werden die möglichen Elemente der Anlagenerdung dargestellt. Die Abbildung ist vereinfacht dargestellt und dient dem besseren Verständnis der nachfolgenden Unterkapitel.

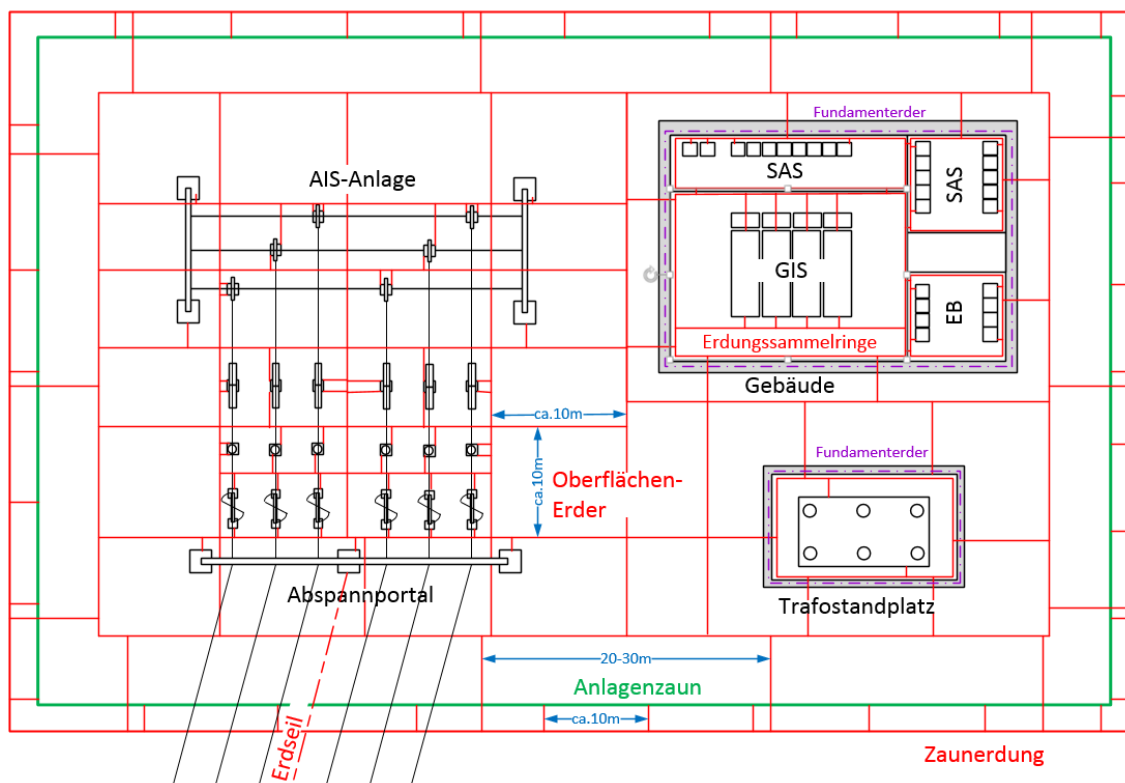


Abbildung 6: Elemente der Anlagenerdung

4.1 Oberflächenerder

Der Oberflächenerder ist Bestandteil der Anlagenerdung und gewährleistet, dass innerhalb des ganzen Areals keine unzulässigen Potentialunterschiede entstehen können. Dazu ist die gesamte Fläche des Unterwerkes mit einem vermaschten Oberflächenerder auszugestalten.

Der Oberflächenerder ist mit Kupferband und einem minimalen Querschnitt gemäss Auslegung in Kap. 2.5 zu erstellen. Die Verbindung der Oberflächenerder untereinander und zu Erdungsleiter ist gemäss Kap. 2.5 auszuführen.

Ein Oberflächenerder ist in geringer Tiefe von ca. 0.8 m bis etwa 1 m zu verlegen. Die im Erdreich verlegten Kupferbänder sind von leicht gestampftem Erdmaterial mit guter Leitfähigkeit allseitig von ca. 25 cm zu umgeben. Das Verlegen in grobkörnigem Kies bzw. das Umgeben mit Steinmaterial ist zu vermeiden.

Die Maschenweite des Erdungsnetzes muss aus Gründen des Potentialausgleichs im Bereich von Hochspannungsapparaten möglichst klein gehalten werden. Generell ist die Maschenweite ca. 10m auf 10m einzuhalten. Bei der Ausgestaltung der Maschen ist die Anordnung der Elemente des Unterwerkes zu berücksichtigen. Die einzelnen Maschen sind so auszuführen, dass zu erdende Elemente wie Gerüste, Schaltanlagenelemente, Transformatoren möglichst direkt mit kurzen Erdungsleitungen daran angeschlossen werden können. Hochspannungsapparate dürfen nicht in Reihe geerdet werden, sondern sind einzeln an den Oberflächenerder anzuschliessen (siehe Abbildung 7). Grundsätzlich ist eine möglichst starke Vermaschung des Oberflächenerders anzustreben.

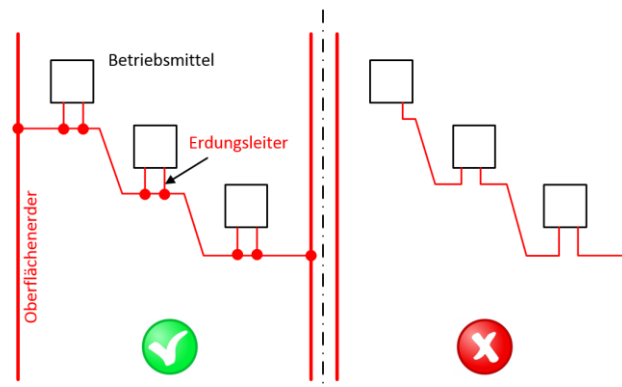


Abbildung 7: Anschluss Betriebsmittel an Oberflächenerder

Im Bereich von Gebäuden ist die Potentialsteuerung mit Oberflächenerder auszuführen, welche ringförmig um die Gebäude verlaufen. Die Potentialsteuerung reduziert im Erdfehlerfall die Berührungsspannungen und leitet beim Blitzeinschlag den Strom gegen Erde ab.

Der Oberflächenerder ist dafür 0.3 m-0.5 m tief und im Abstand von 0.8 m zum Gebäude zu verlegen. An diesen Oberflächenerder ist in regelmässigen Abständen der Blitzschutz (siehe Kap.3.2.2), der Fundamenterder (siehe Kap. 4.3.1) und der Erdungssammelring innerhalb des Gebäudes (siehe Kap. 4.4.1) anzuschliessen.

4.2 Tiefenerder

Falls aufgrund der Bodenbeschaffenheit mittels Oberflächenerder nicht die gewünschte Erdimpedanz erzielt sind Tiefenerder zu erstellen (gemäss Erdungsnorm [10]).

Tiefenerder bestehen aus Kupfer, Rundstahl, Rohr oder anderen Profilstählen und werden in der Regel in größere Tiefen eingetrieben. Die maximale Erdungstiefe wird dabei durch die Beschaffenheit des Erdbodens bestimmt. In der Regel werden sie bis zu 30 Meter in die Erde getrieben, bei felsigem oder steinigem Untergrund kann die Tiefe deutlich darunter liegen. Vorteilhaft ist bei Tiefenerdern die dauerhafte Verbindung mit dem Grundwasser. Sie sollten mindestens 9 m tief im Erdreich liegen.

Bei einer Pfahlgründung ist in den Gründungspfählen in einem Pfahlabstand von ca. 10 m je ein Erder in der Länge des Pfahles einzulegen und jeweils in Abständen von ca. 2 m mit der Armierung des Pfahles zu verschweissen. Die Erder sind oben aus den Pfählen herauszuführen und sind dann mit den Erdern des Plattenfundamentes zu verbinden.



Abbildung 8: Beispiel Tiefenerder



Abbildung 9: Tiefenerder kombiniert mit Hangsicherungsanker

4.3 Fundamenterder

4.3.1 Allgemein

Bewehrte Elemente wie Gebäude (Bodenplatte und Seiten- und Zwischenwände), Trafowannen, Brandschutzmauern, grosse Stützmauern und Fundamente die über eine grossflächige zusammenhängende Armierung verfügen (z.B. Hochgerüstfundamente, Zaunfundament), sind als Fundamenterder gemäss den Leitsätzen [16] auszuführen.

In Beton eingebettete Leiter des Fundamenterder sind aus verzinktem Erdungs-Stahlseil (siehe Kap. 2.5) auszuführen. Sie dienen zum Potentialausgleich und der Abschirmung gegen hochfrequente Störungen und sind nicht zur Ableitung von Kurzschlussströmen auszulegen.

Der Fundamenterder ist an mindestens zwei Stellen mit dem Oberflächenerder des Unterwerkes zu verbinden. Die Verbindung erfolgt über Anschlussgarnituren (siehe Kap. 6.2.2), welche wenn immer möglich oberhalb des Terrains zu platzieren sind, damit der Anschluss kontrollierbar und sichtbar bleibt.

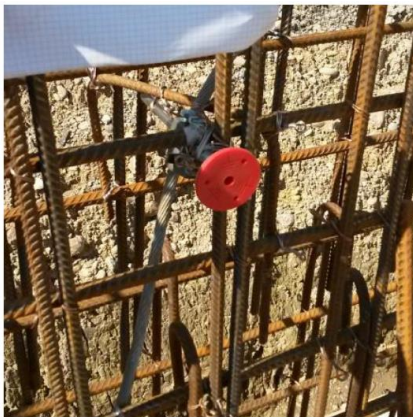


Abbildung 10: Fundamenterder, Anschlussgarnitur

Einzelstehende kleine Mast- und Gerüstfundamente sind nicht als Fundamenterder auszuführen und sind daher nicht mit dem Oberflächenerder zu verbinden.

4.3.2 Erdungsnetz / Erdung in Beton

In Beton eingelegte Erdungen (Fundamenterder / Erdungsnetz) eines Gebäudes sind netzförmig mit verzinktem Erdungsseil (gem. Kap. 2.5) auszuführen. Die Aufgabe des Erdungsnetzes ist es, einen gleichmässigen Potentialausgleich im Gebäude sicherzustellen. Das Erdungsnetz ist im Beton in alle Böden, Decken und Wände zu integrieren.

Das Erdungsnetz muss zusätzlich folgende Kriterien aufweisen:

- Die Maschenweite ist kleiner 10 m x 10 m auszuführen
- Im Bereich der Bodenplatte der GIS-Anlagen ist das Erdungsnetz auf eine Maschenweite von maximal 3 m x 3 m zu reduzieren; zusätzlich ist ein HF-Erdungsnetz entsprechend Kap. 4.3.3 einzubringen
- Das Erdungsnetz ist an jedem Kreuzungspunkt und in den Gebäudeecken miteinander zu verbinden; dies hat mit Kreuzverbindungen gemäss Kap. 6.2.1 zu erfolgen
- Das Erdungsnetz ist mindestens alle 5 m mit der Gebäudearmierung zu verschrauben; hierfür sind Verbindungselemente gemäss Kap. 6.2.1 zu verwenden; zusätzlich ist das Erdungsseil alle 50 cm elektrisch leitend mit der Bewehrung zu verrödeln
- Das Erdungsnetz ist vom Beton vollständig zu umschliessen und ca. 5 cm von der Fundamentsohle zu distanzieren
- Das Erdungsnetz ist an die bestehende Anlagenerdung anzuschliessen; dazu ist das Erdungsnetz an mindestens zwei Stellen oder pro 20 m Gebäudeaussenwand mittels Anschlussgarnituren (siehe Kap. 6.2.2) mit dem aussenliegenden Oberflächenerder zu verbinden;
Die Abstand zu Blitzableitungen und zu Einführungen der Anlagenerdung muss mindestens 1m betragen
- Das Betonfundament muss erdfühlig sein; ist die Bodenplatte isoliert muss eine fallspezifische Lösung erarbeitet werden, z.B. ein externer Erder im Erdreich (dieser gilt dann nicht als Fundamenterder und muss aus korrosionstechnischen Gründen aus Kupfer ausgeführt werden)



Abbildung 11: Verbindung Erdseil / Armierung



Abbildung 12: Bodenplatte mit Erdseil

4.3.3 EMV / HF-Netz

Schaltvorgänge von Leistungsschalter, Trenner und Erder in gekapselten, gasisolierten Anlagen erzeugen stärkere hochfrequente Ausgleichsvorgänge (HF-Störer) als solche in konventionellen Anlagen.

Zur Abschirmung der HF-Störer ist zusätzlich zum Erdungsnetz (Maschenweite 3 m x 3 m) ein feinmaschiges HF-Netz im Bereich der Hochspannungsanlagen auf der Oberarmierung des Fussbodens zu verlegen. Dieses besteht aus Stahl-Armierungsmatten (siehe Kap. 2.5). Das HF-Netz hat keine mechanische Stützfunktion dient rein dazu die empfindlichen Schaltschränke der Sekundärtechnik vor Emissionen der Hochspannungsanlage zu schützen. Um eine gute Abschirmung zu erhalten sind die Baustahlmatten des HF-Netzes durchgängig untereinander zu verschweissen.

Das HF-Netz ist mit Kreuzverbindungen gemäss Kap. 6.2.1 mindesten alle 3m an das Erdungsnetz im Beton anzuschliessen.

Das HF-Netz ist an mindestens jedem zweiten GIS-Feld über Erdungsfestpunkte (gemäss Kap. 6.2.2) an den Aufputz-verlegten Erdsammelleiter anzuschliessen. Sofern ein Kabelkeller vorhanden ist, erfolgt der Anschluss vorzugweise an Deckenseite des Kabelkellers.



Abbildung 13: Einbau HF-Netz



Abbildung 14: Anschlusspunkt HF-Netz

4.3.4 Rohrblöcke und Gebäudeeinführungen

Um Wirbelströme in den Armierungen zu vermeiden, sind Rohrblöcke generell nicht bewehrt auszuführen. Es dürfen keine Bleche oder Metallkonstruktionen verwendet werden, die eine geschlossene Schleife um eine einzelne Kabel- oder Leitereinführung ausbilden können. Für statisch erforderliche Armierungen sind Massnahmen zu ergreifen, die eine Ausbildung von geschlossenen Schleifen unterbinden. Dies kann durch eine der folgenden Massnahmen erreicht werden:

- Armierungsfreier Bereich um ein komplettes Kabelsystem (L1-L2-L3) erstellen (Abbildung 15)
- Trennung der Längs- und/oder Querarmierung aus Stahl durch isolierende Zwischenlagen wie Kunststoffclips, Epoxidharz-Umhüllung oder andere Methoden die den elektrischen Kontakt unterbinden (Abbildung 16)
- Ersetzen einer Richtung Stahlarmierung durch Glasfaserarmierung
- Bei Durchdringungen von bewehrten Mauern soll die Armierung einen Mindestabstand von ca. 20 cm zum Rohrmittelpunkt aufweisen; ansonsten ist eine Glasfaserarmierung einzusetzen

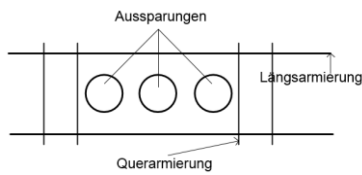


Abbildung 15: Armierungsfreier Bereich

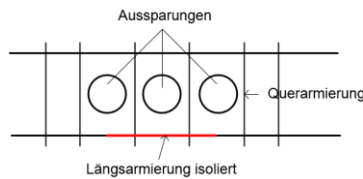


Abbildung 16: Armierung isoliert

4.4 Erdung innerhalb von Gebäuden

Innerhalb von Unterwerksgebäuden befinden sich üblicherweise Niederspannungs- als auch Hochspannungsapparate. Deshalb sind bei der Erstellung der Anlagenerdung nebst den Vorschriften für die Hochspannungsanlagen auch die NIN [19] zu berücksichtigen. Gemäss der Richtlinie [5, Abs. 7.1.6] ist die Erdungsanlage einer Niederspannungseinrichtung mit der Anlagenerdung der Hochspannungsanlage zu verbinden.

4.4.1 Erdungssammelleiter/ Erdungsleiter

Die Erdungssammelleiter sind Aufputz zu verlegen und umspannen ringförmig die Kabelkeller und die Räume der Sekundärtechnik (SAS, Telematik, Eigenbedarf, Kommandoraum). In den Räumen der Sekundärtechnik verlaufen die Sammelringe (wenn möglich) im Doppelboden. Die Komponenten der Sekundärtechnik (Schaltschränke) sind an die Sammelringe anzuschliessen. Falls im Bereich der Hochspannungsanlage kein Kabelkeller vorhanden ist, wird der Erdungssammelleiter ringförmig in der GIS-Halle verlegt. Bei grösseren Raumdimensionen (z.B. Kabelkeller) ist der Erdungssammelring in Längs- oder Querrichtung zusätzlich zu verbinden, damit eine maximale Maschengrösse von ca. 20x10m eingehalten werden kann. Der Erdungssammelring ist in den Räumen so zu platzieren, dass die zu erdenden Elemente möglichst mit einer kurzen Verbindung daran angeschlossen werden können.

Die Erdungssammelleiter der einzelnen Räume sind an mindestens 2 Stellen untereinander zu verbinden. Die Verbindung ist vorzugsweise mittel Aufputz verlegten Erdungsleiter zu erstellen, welche via Wand- oder Bodendurchbrüche geführt werden. Ist dies nicht möglich ist eine Verbindung mit Wanddurchführungen (gem. Kap. 6.2.3) zu erstellen.

Die Erdungsleiter und Erdungssammelleiter sind mit Kupferbänder gemäss Kap. 2.5 auszuführen und gemäss Kap. 6.5.4 zu verlegen.

Über im Beton eingelegte Wanddurchführungen (siehe Kap. 6.2.3) oder Vorschächte sind die Erdungssammelringe in den Kabelkellern (oder Doppelboden) direkt mit dem ringförmig verlaufenden Oberflächenerder ausserhalb des Gebäudes zu verbinden. Die Anzahl der Wanddurchführung ist gemäss dem möglichen Kurzschlussstrom des Unterwerks zu wählen und entlang des Gebäudeumfangs gleichmässig zu verteilen.

Als Beispiel:

Kurzschlussstrom von Unterwerk I_k'' :	43 kA, 1 s
Kurzschlussstrom pro Wanddurchführung:	11 kA, 1 s
Sicherheitsmarge:	100%
Anzahl Wanddurchführungen:	$43 \text{ kA} / 11 \text{ kA} \times 2 = 8 \text{ Stück}$

Zum Potentialausgleich sind innerhalb des Gebäudes zusätzlich die Erdungssammelringe über mehrere Erdungsfestpunkte (siehe Kap. 6.2.2) mit dem Erdungsnetz des Gebäudes zu verbinden. Dies hat an mindestens zwei Stellen pro Raum oder pro 20 m Raumumfang zu erfolgen.

4.4.2 GIS Erdung

Bei der Planung der Anlagenerdung für einen Hochspannungsraum mit einer GIS sind die Anforderungen des GIS-Lieferanten zwingend zu berücksichtigen. Der Fundament- und Erdungsplan bedingt eine frühzeitige und genaue Abstimmung zwischen dem Bauplaner und dem GIS Lieferanten (Anforderungen, Schnittstellen).

Bei GIS-Anlagen treten neben dem Kurzschlussstrom im Fehlerfall auch sogenannte VFT (Very Fast Transients) bei Schalthandlungen auf, deren Frequenzen im MHz-Bereich liegen. VFT breiten sich als elektromagnetische Wellen im Gehäuse einer GIS aus. Über die vorhandenen Verbindungen zwischen dem GIS-Gehäuse und dem Erdungssystem des Unterwerkes werden diese VFT in das Erdungssystem eingekoppelt. Um die Auswirkungen der VFT zu minimieren ist ein HF-Netz gemäss Kap. 4.3.3 in die Bodenplatte der GIS-Halle zu verlegen.

Um den Kurzschlussstrom im Fehlerfall gegen Erde abzuleiten sind pro GIS-Feld zwei Erdungsleiter mit dem Erdungssammelring zu verbinden (z.B. an jeder Hochspannungs- oder Sekundärkabelöffnung durch den Boden in den Keller).



Abbildung 17: Anschluss GIS Erdung



Abbildung 18: Anschluss an Erdungsleiter in Kabelkeller

Gemäss Vorgabe vom GIS-Lieferant sind zusätzliche Verbindungen der einzelnen Anlagekomponenten (z.B. Leistungsschalter, Kabelabgang, Tragkonstruktionen) an die dafür vorgesehen Anschlusspunkte zu erstellen. Diese Verbindungen sind als Erdungsleiter auf dem Boden der GIS-Halle zu erstellen (siehe Kap. 6.6.1).

Gasisolierte Ausleitungen sind im Aussenbereich mit dem Oberflächenerder und im Innenbereich mit dem Erdungssammelring zu verbinden. Die metallische Abdeckung beim Wand- bzw. Fassadendurchbruch ist mit dem Potentialausgleich zu verbinden.

Die Erdung im Übergangsbereich von dem GIS-Kabelanschluss zum Hochspannungskabel projektspezifisch zu betrachten und zwischen GIS-Lieferant und Kabellieferant abzustimmen (siehe Kap. 4.8.1).

Die Erdung von gasisolierten Schaltanlagen ist mit Kupferbändern gemäss Kap. 2.5 auszuführen.

4.4.3 Sekundäranlage

Die Schränke der Sekundärtechnik sind mittels Erdungsleiter mit Erdungssammelring im Kabelkeller oder im Doppelboden zu verbinden. Schränke, welche mittel Erdungsschiene verbunden sind müssen jeweils an den äussersten beiden Schränken mit dem Erdungssammelring verbunden werden. Einzelne Schränke sind mit je einem Erdungsleiter anzubinden.

Der Erdungsleiter ist als isoliertes Erdungskabel mittels Klemmverbindung (siehe Kap. 6.4) an den Erdungssammelring anzuschliessen. Der Querschnitt vom Erdungsleiter ist für den maximal auftretenden Kurzschlussstromes des jeweiligen Schrankes auszulegen (mind. 50mm²).

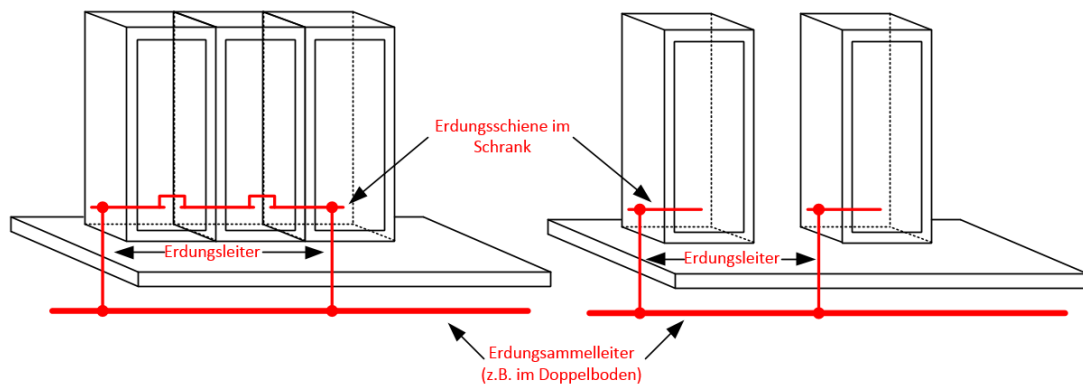


Abbildung 19: Erdung Sekundärschränke

Bei Batterieanlagen ist zu berücksichtigen, dass die Batteriegestelle im Regelfall aus isolierten Einzelteilen bestehen und nicht geerdet werden müssen.

4.4.4 Kabeltragsystem

Der Kabelschirm der Hochspannungskabel ist bereits für den Kurzschlussstrom ausgelegt, die Kabeltragsysteme werden daher für den Potentialausgleich geerdet. Für die Erdung ist ein Erdungsseil oder Flachkupfer gemäss Kap. 2.5 zu verwenden. Der Potentialausgleichsleiter kann für die vereinfachte Montage parallel zu den Hochspannungskabeln geführt und an jedem Kabelgerüst angeschlossen werden. Situationsabhängig sind die Potentialausgleichsleiter an den Erdungssammelleiter im Kabelkeller oder dafür vorgesehene Erdanschlusspunkte (gem. Kap. 6.2.2) anzuschliessen. Entsprechende Erdanschlusspunkte sind im Bereich der Kabeleinführung im Kabelkeller vorzusehen.

Die Installation der Potentialausgleichsleiter darf keine Stolperfalle darstellen.

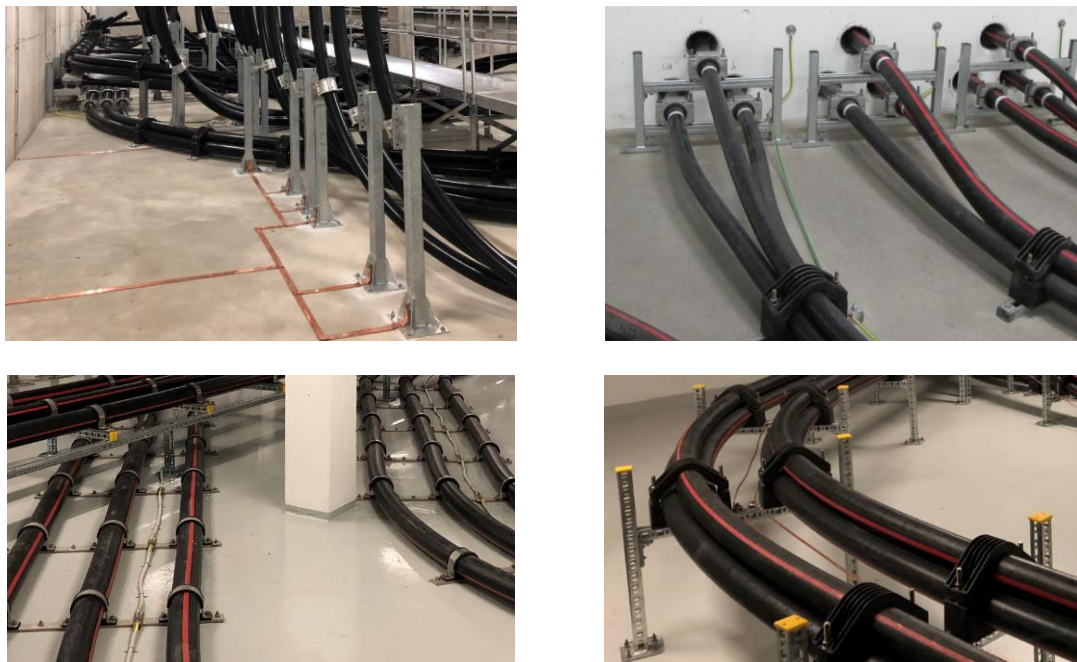


Abbildung 20: Erdung Kabeltragsystem

Die Tragkonstruktion für die Kabel-Verankerungsbriden unterhalb der GIS-Anlage ist direkt an den Erdungssammelleiter (z.B. an Kabelkellerdecke) anzuschliessen.



Abbildung 21: Erdung Kabeltragsystem Decke

4.4.5 Ausgedehnte Metallteile

Ausgedehnte Metallteile wie Rohrleitungen, Treppengeländer, Aufzugsführungsschienen, Kranschienen, Lüfter, Kanäle für Heizungs- und Klimaanlage, untereinander verbundene Metallteile von Hohlböden usw. können für Blitz- oder allfällige Fehlerströme einen Strompfad bilden. Um einen durchgehenden Potentialausgleich zu erreichen sind diese Elemente mit der Anlagenerdung zu verbinden (gemäss Richtlinie [15, Abs. 7.1.1]).

Gemäss Swissgrid gelten metallische Elemente mit Länge > 2 m und/oder Oberflächen > 0.5 m² als ausgedehnte Metallteile.

Bei diesen Erdungs-Verbindungen handelt es sich um einen Potentialausgleich, welche mit Seil oder Flachlitze gemäss Kap. 2.5 auszuführen ist. Dabei dürfen keine Ringleitungen (Schlaufen) gebildet werden.

Folgendes ist bei der Erstellung des Potentialausgleichs zu beachten:

- Jedes ausgedehnte Metallteil ist pro Raum mindestens einmal sichtbar zu erden
- Lüftungsrohre oder auch Kabelpritschen die durch mehrere Räume verlaufen, sind in jedem Raum mindestens einmal sichtbar zu erden
- Bei Lüftungsrohren mit nichtleitender Isolierung ist Anschluss des Potentialausgleichs auf das leitende Rohr sicherzustellen
- Kabelpritschen sind an den Enden zu erden; bei grösseren Abschnitten ist zusätzlich alle 20m eine Erdung anzubringen; einzelne Abschnitte müssen leitend überbrückt sein die Stossstellen von Kabelpritschen müssen sicher miteinander verschraubt oder überbrückt sein (siehe Abbildung 22)
- Metallische Türrahmen sind an der Anlagenerdung anzuschliessen; Türblätter aus Metall sind zusätzlich über eine flexible Verbindung zu erden; das gleiche gilt für Tore; bei Toren sind die einzelnen Elemente durch flexible Erdungsleiter zu verbinden und an die Anlagenerdung anzuschliessen (siehe Abbildung 23)
- Wasserleitungen müssen nach Eintritt ins Gebäude geerdet werden, sämtliche Ventile und Wasserzähler sind zu überbrücken gemäss Schwachstromverordnung [3] (siehe Abbildung 26); aufgrund der Spannungsverschleppungs- und Korrosionsgefahr sind Wasserleitungen (Zuleitungen oder Transitleitungen) im Unterwerksareal grundsätzlich als Kunststoffleitungen auszuführen
- Metallene Abdeckungen grösserer Ausdehnung (z.B. Abdeckung von Montageöffnung in GIS-Halle) müssen in den Schutz-Potentialausgleich integriert werden; dazu sind deren elektrisch leitenden Abstützungen (z.B. L-Winkel) zu erden

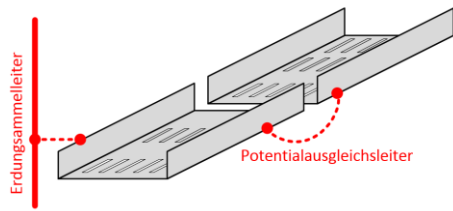


Abbildung 22: Erdung Kabeltritten

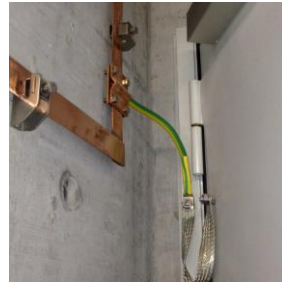
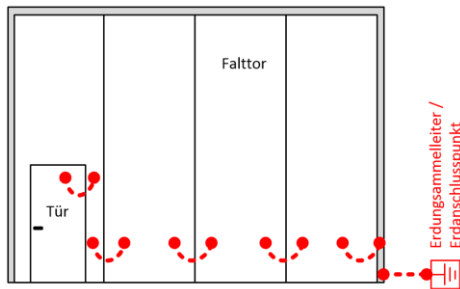


Abbildung 23: Erdung Tor, Tür (inkl. Türblatt)

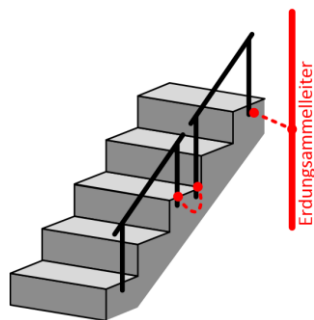


Abbildung 24: Erdung Treppengeländer

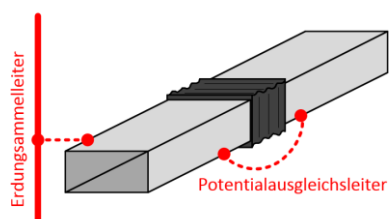


Abbildung 25: Erdung Lüftungskanäle



Abbildung 26: Erdung Wasserleitungen



Abbildung 27: Erdung Metallteile

4.5 Erdung von Niederspannungsanlagen

Dieser Abschnitt betrifft die Niederspannungsanlagen, welche den Werkbereich der Hochspannungsanlage nicht verlassen (betriebstechnische Niederspannungsanlage) und Niederspannungsanlagen ausserhalb des Werkbereichs mit direkter Einspeisung aus dem Werkbereich.

Im zweiten Fall sind, hinsichtlich der Verbindung von Hoch- und Niederspannungs-Anlagenerdung sowie der Vermeidung von Potentialverschleppungen im Fall von Erdfehlern innerhalb der Hochspannungsanlage, die Norm [13, Abs. 10.2.3] und die Richtlinie [15, Abs. 7.1.6] zu beachten.

Für Niederspannungsanlagen (bis 1000V) gilt grundsätzlich die Niederspannungsinstallationsnorm NIN [19]. Die Anordnung des Schutz- und Neutralleiters erfolgt nach dem TN-S-System.

Der Nullpunkt der Niederspannungsanlage (Eigenbedarf) ist nahe der Speisestelle mit dem Erdungssammelleiter der Hochspannungsanlage zu verbinden.

Schutzleiter:

Der Schutzleiter befindet sich auf dem gleichen Spannungspotential wie die Anlagenerdung. Innerhalb von Schaltgerätekombinationen (Unter- und Hauptverteilungen sowie anderen Verteilerschränken), die mit einer Schutzleiter-Schiene ausgerüstet sind, ist der Schutzleiter blank und nicht isoliert zu verlegen. Falls Schutzleiter zu den entsprechenden Betriebsmitteln separat geführt werden, sind die Mindestquerschnitte gemäss NIN [19, Abs. 5.4.3] zu berücksichtigen. Verbraucher, die sich innerhalb des Werksgebäudes befinden (z.B. Beleuchtungen, Apparateheizungen) werden über den Schutzleiters des Kabels geerdet. Verbraucher ausserhalb des Werksgebäudes (im Aussenbereich) sind bei einer Entfernung von mehr als 20 m zur Starkstromverteilung zusätzlich zum Schutzleiter mit lokaler Erdverbindung zu erden. Nicht notwendig ist dies, wenn das durch den Schutzleiter geerdete Gehäuse mit der geerdeten Konstruktion leitend verbunden ist.

PEN-Leiter:

PEN-Leiter sind gemäss NIN [19, Abs. 5.4.3.4] anzuordnen. PEN-Schienen innerhalb von Schaltgerätekombinationen (Haupt- und Unterverteilung) sind blank zu verlegen. Sie sind, wie die Schutzleiterschienen auch, mit der Anlageerdung zu verbinden (siehe dazu NIN [19, Abb. 5.4.B]).

Wird ein Trenntransformator eingesetzt, um unzulässige Berührungsspannungen durch Spannungsverschleppung zu verhindern ist folgendes zu beachten.

- Der Standort vom Trenntransformator ist im Bereich der Anlagenerdung von Swissgrid zu platzieren.
- Der Isolationspegel des Trenntransformators ist auf die höchst mögliche Trichterspannung auszulegen

4.6 Erdung in Freiluftschaltanlage (AIS)

4.6.1 Ausführung Allgemein

Betriebselemente in der Freiluftschaltanlage sind mittels Erdungsleiter auf kürzestem Weg an die Anlagenerdung (Oberflächenerder) anzuschliessen. Als Erdungsleiter ist Flachkupfer zu verwenden, wobei die Dimensionierung gemäss Kap. 2.5 zu erfolgen hat. Anhand der Aufstellung bzw. Ausführung der Betriebselemente ist die Anzahl der zu verwendenden Erdungsleiter wie folgt festgelegt:

1-phasige Komponenten: 2 Erdungsleiter

3-phasige Komponenten: 3 Erdungsleiter

Die Erdungsanschlüsse sind möglichst an gegenüberliegenden Seiten und unabhängigen Anschlusspunkten der Betriebsmittel bzw. Stahlgerüste vorzusehen.

4.6.2 Gerüste von Betriebsmitteln

Erdung von Betriebsmitteln auf Stahlgerüsten:

Für die Erdung von Betriebsmitteln auf Stahlgerüsten bzw. Stahlkonstruktionen ist es nicht notwendig die Erdungsleiter bis zu den Erdungs-Anschlussstellen der HS-Apparate zu führen. Ausgenommen hiervon sind Überspannungsableiter (siehe Kap. 4.6.8) und Messwandler (siehe Kap.4.6.6).

Falls die Betriebsmittel mit der Konstruktion in leitender Verbindung stehen, ist die Erdung des Gerüstfusses gemäss Erdungsnorm [10, Abs. 7.1] und Regel [15, Abs. 10.2.5] ausreichend. Die Anzahl der Erdungsleiter ist gemäss Kap. 4.6.1 einzuhalten und die Erdungsleiter sind so zu verlegen, wie im Kap. 6.6.2 beschrieben.

Der im Stahlgerüst für den Erdkurzschlussstrom zur Verfügung stehende Strompfad muss den Mindestquerschnitt (gem. Kap. 2.4.2). aufweisen.

Bei der Erschliessung der Stahlgerüste ist folgendes zu beachten:

- Bei Gerüsten mit Farbanstrich ist dieser im Bereich der Erdungsanschlüssen, sowie der Erdungsbolzen beidseitig zu entfernen; ein dauerhafter Korrosionsschutz muss trotzdem gewährleistet sein
- Bei vollumfänglich gestrichenen Gerüsten, insbesondere bei denen, die 3-phasigen HS-Apparate tragen, sind die Kontakte zwischen den einzelnen Stahlprofilen zu gewährleisten; bei Kontaktstellen ist die Farbe zu entfernen; bei Bedarf sind separate Kupferverbindungen (Überbrückungen) zu erstellen
- Bei verzinkten unlackierten Gerüsten ist der Kontakt über die Zinkschicht ausreichend
- Schrauben, die Konstruktionsteile miteinander verbinden, dürfen nicht als Erdungsanschlüsse verwendet werden

Erdung von Betriebsmitteln auf Betongerüsten:

Falls sich Betriebsmittel auf Betongerüsten befinden, müssen die Erdungsleiter bis zum entsprechenden Erdungsanschluss des Betriebsmittels geführt werden. Dabei ist die Anzahl der Erdungsleiter gemäss Kap. 4.6.1 einzuhalten und die Erdungsleiter sind so zu verlegen, wie im Kap. 6.6.1 beschrieben.

4.6.3 Erdungsanschlüsse

Der Erdungsanschluss ist generell mit einer M12 Schraube aus rostfreiem Stahl (min. Inox A2) auszuführen. Um Korrosionseffekte zwischen dem Gerüst und dem Erdungsleiter zu verhindern sind Massnahmen gemäss Kap. 6.1 vorzunehmen.

Alle Schraubverbindungen von Erdungsleitern dürfen nur mit Werkzeugen geöffnet werden können und müssen gegen Selbstlockern gesichert werden, hierfür sind Federringe zu verwenden (siehe auch Kap. 6.3).

Der Erdungsleiter des Gerüsts ist jeweils gemäss Kap. 2.5 mit Oberflächenerder zu verbinden, wie in Abbildung 28 ersichtlich. Falls das Gerüst doppelt oder mehrfach geerdet werden muss sind die Erdungsleiter jeweils einzeln am Oberflächenerder zu verbinden, wie in Abbildung 29 angedeutet.

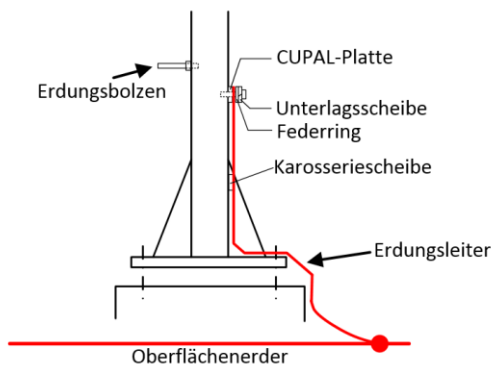


Abbildung 28: Anschluss Erdungsbolzen

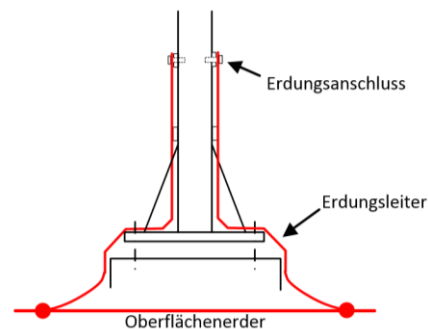


Abbildung 29: Doppelte Erdung Gerüst

Gerüste von Hochspannungsapparaten in der Nähe von Phasenfestpunkten sind mit einem Erdungsanschluss (Erdungsbolzen / Flansch / Steg) für die Installation einer Handerdung auszustatten.

Es ist nicht zwingend notwendig den Erdungsleiter direkt an den Erdungsanschluss zu führen, wenn der Anschluss einen guten metallisch leitenden Kontakt zum Stahlgerüst hat und den erforderlichen Mindestquerschnitt aufweist.

4.6.4 Erdung von Leistungsschaltern

Die Abbildung 30 zeigt die nötige Anzahl Erdungsleiter für die Erdung von Stahlgerüsten mit Leistungsschaltern. Dabei ist zu beachten, dass die Stahlträger untereinander nicht durch den Anstrich isoliert sind.

Die Antriebskästen von Schaltern müssen geerdet werden. Hierfür wird der Erdungsanschluss am Antriebskasten mit einem Erdungsleiter an das Gerüst bzw. die Anlagenerdung verbunden.

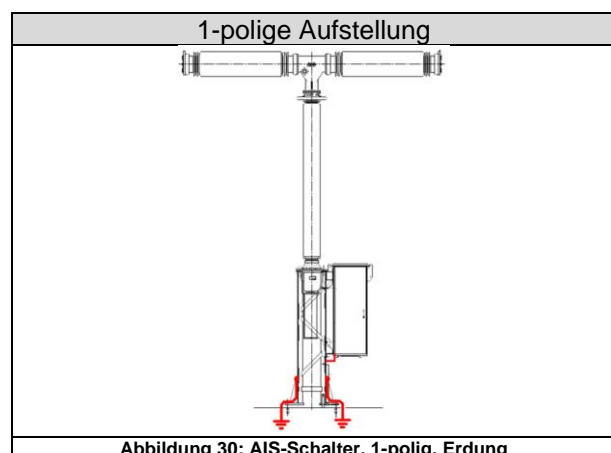
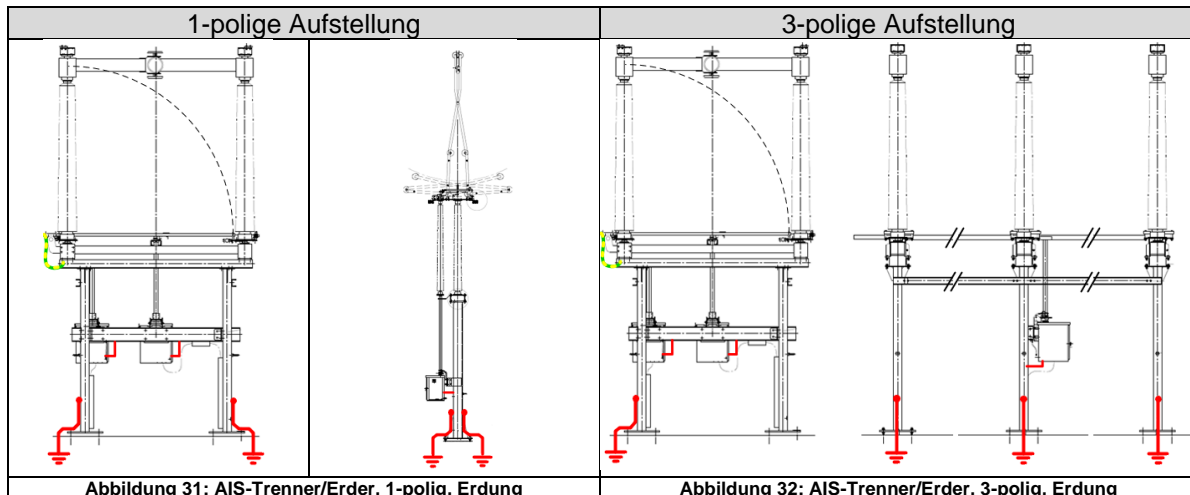


Abbildung 30: AIS-Schalter, 1-polig, Erdung

4.6.5 Erdung von Trenner / Erder

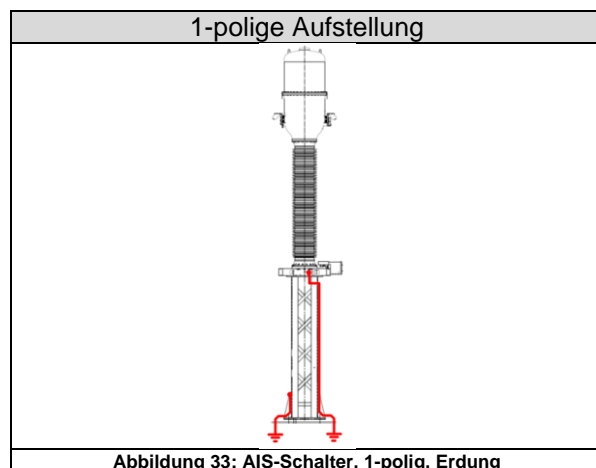
Die folgenden Abbildungen zeigen die Erdungen von Trenner und Erdern auf Stahlgerüsten. Abhängig vom Trenner-/ Erdertyp ist es notwendig den Erder mit einer flexiblen Erdungsbrücke mit dem Trennergerüst zu verbinden (grün/gelb eingezeichnet). Die Antriebskästen von Trennern müssen geerdet werden. Hierfür wird der Erdungsanschluss am Antriebskasten mit einem Erdungsleiter an das Gerüst bzw. die Anlagenerdung verbunden.



4.6.6 Erdung Messwandler

Bei Messwandler fließt im Betrieb immer ein Strom gegen Erde. Um möglichst kleine Übergangswiderstände an den Wandlern zu erzielen sind Messwandler immer direkt am Erdpunkt zu erden.

Die korrekte Erdung der Spannungs- bzw. Stromwandlerkreise auf der Sekundärseite der Wandler ist dem SAS-Standard zu entnehmen.



4.6.7 Erdung von Kabelendverschlüssen

Ist der Kabelendverschluss auf ein Apparategerüst gestellt, ist dieses mit zwei Erdungsleiter an die Anlagenerdung anzuschliessen.

Wird der Endverschluss mittels Unterkonstruktion z.B. an die Brandschutzmauer installiert ist diese Unterkonstruktion mit zwei Erdungsleitern an die Anlagenerdung anzubinden. Weiter sind die metallische Kabeltragsysteme (Schienen zur Befestigung der Kabelbriden) für den Potentialausgleich anzubinden.

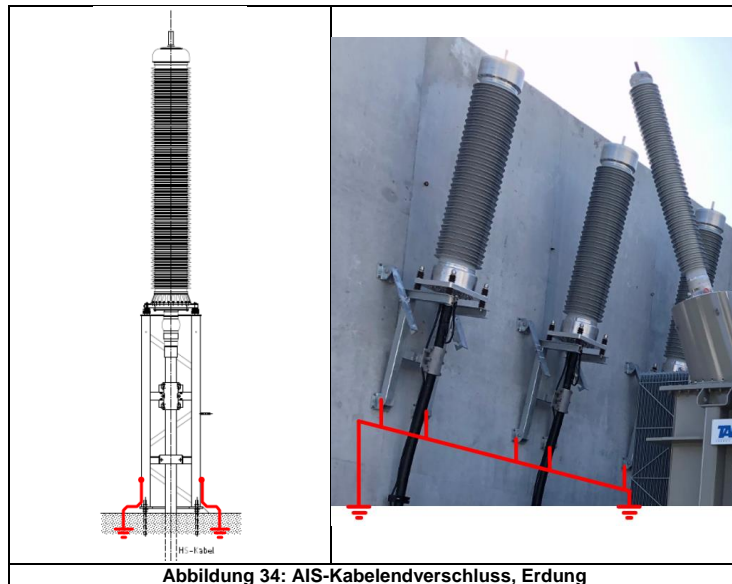


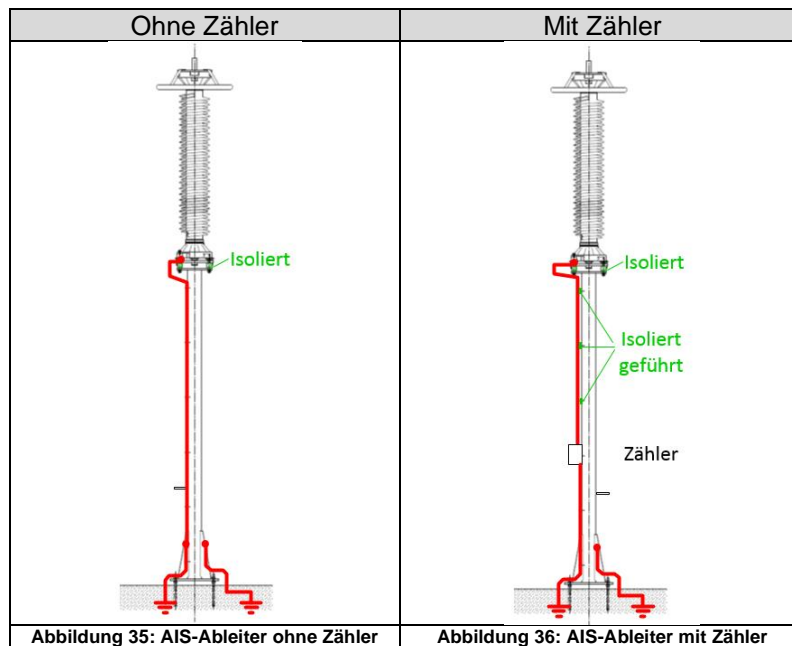
Abbildung 34: AIS-Kabelendverschluss, Erdung

4.6.8 Erdung Überspannungsableiter

Installation auf Apparategerüste:

Die Überspannungsableiter sind auf kürzestem Wege mit der Anlagenerdung zu verbinden. Die maximale Länge des Erdungsleiters, inklusive Ableiter, darf 20 m nicht überschreiten.

- Die Aufstellung der Überspannungsableiter auf einem Apparategerüst erfolgt meistens mit Isolierfüssen. Der Erdungsleiter ist direkt am Überspannungsableiter anzuschliessen (siehe Abbildung 35). Dies gilt auch wenn der Überspannungsableiter ohne Isolierfüsse installiert wird.
- Bei Überspannungsableiter mit einem Ableitzähler ist der Erdungsleiter zwischen dem Zähler und dem Anschluss des Überspannungsableiters isoliert zu führen (siehe Abbildung 36). Der Überspannungsableiter ist auf Isolierfüsse zu stellen.



Installation an Brandschutzwänden:

Überspannungsableiter, welche z.B. an Brandschutzwänden installiert werden sind mittels folgenden beiden Varianten an die Anlagenerdung zu verbinden:

- Direkte Verbindung mittels zwei Erdungsleiter von jedem Ableiter zur Anlagenerdung (z.B. Oberflächenerder oder Erdungssammelleiter in der Trafowanne)
- Für den Fall, dass die drei Phasenableiter relativ nahe zusammen liegen, können die drei Erdanschlusspunkte der Überspannungsableiter mittels Kupferschiene verbunden und diese Verbindungsschiene dann mittels 2 Erdungsleiter an der Anlagenerdung angeschlossen werden

Die Tragkonstruktionen der Überspannungsableiter sind ebenfalls zu erden.

Installation auf Hochgerüsten:

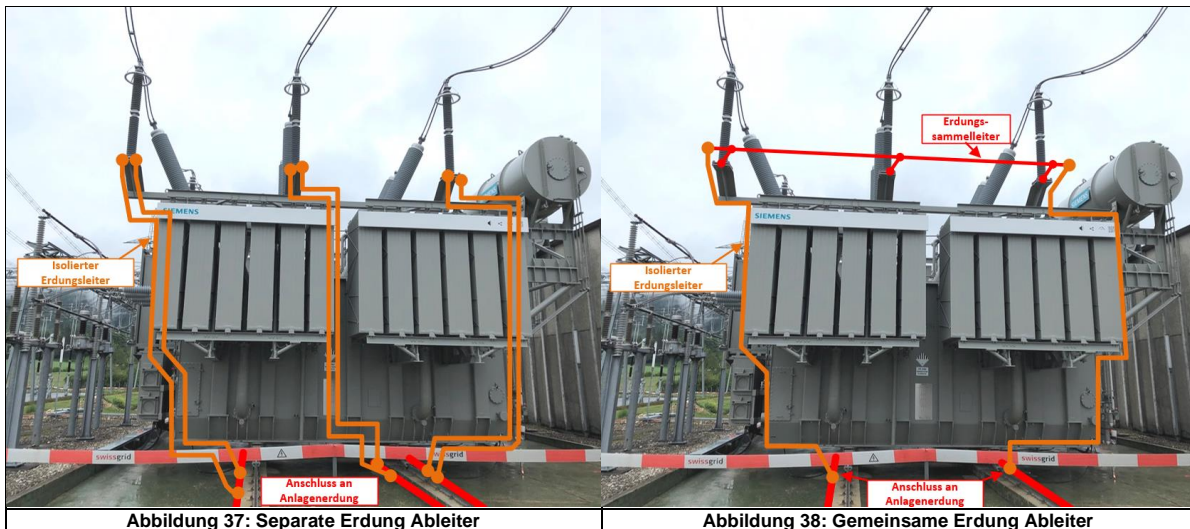
Überspannungsableiter, welche auf einem Hochgerüst montiert sind werden jeweils durch einen Erdungsleiter mit dem Hochgerüst verbunden. Die Übergänge der Hochgerüstelemente sind beidseitig der Überspannungsableiter mit zusätzlichen Erdungsleitern zu überbrücken (siehe Abbildung 39).

Installation auf Transformatoren:

Werden Überspannungsableiter auf der Transformatorkonstruktion respektive am Expansionsgefäss montiert, sind diese isoliert aufzustellen. Es soll verhindert werden, dass mögliche Ableitströme über das Kesselgehäuse gegen Erde fließen. Es sind projektspezifische Abstimmungen mit dem Lieferanten des Transformators vorzunehmen.

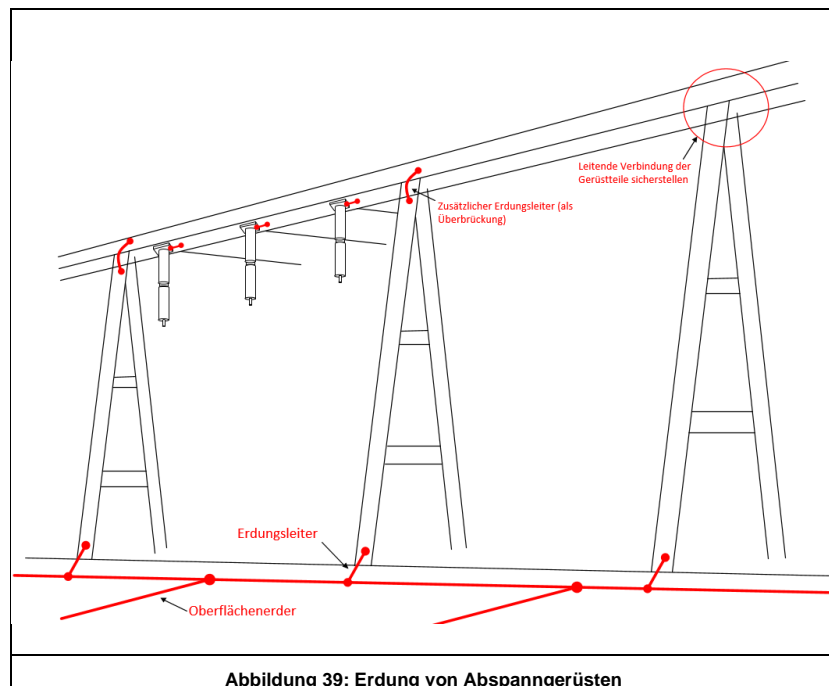
Jeder einzelne Überspannungsableiter ist mit zwei isolierten Erdungsleiter mit der Anlagenerdung zu verbinden (siehe Abbildung 37). Es besteht auch die Möglichkeit die Überspannungsableiter mittels Erdungssammelleiter zu verbinden und diesen an beiden Enden via isolierten Erdungsleiter mit der Anlagenerdung zu verbinden (siehe Abbildung 38).

Der isolierte Erdungsleiter ist gemäss Kap. 2.5 auszuführen und mit UV-beständigen Kabelbindern, an die für die Befestigung vorgesehenen Stellen fest zu machen oder in isolierten Rohren zu verlegen. Die Kreuzung mit Kabelwegen zu Steuer- und Überwachungsgeräten sind zu verhindern.



4.6.9 Erdung von Abspanngerüsten

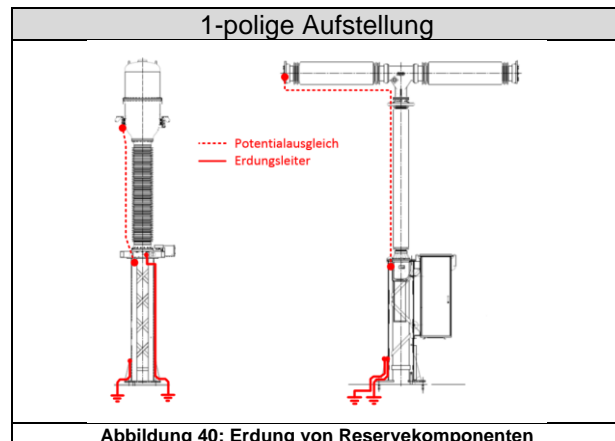
Für die Erdung von Abspanngerüsten bzw. Abspannportalen ist gemäss Starkstromverordnung [1, Art. 59] zu jedem Stützenpaar jeweils ein Erdungsleiter zu führen und mit der Anlagenerdung (Oberflächenerder) zu verbinden (siehe Abbildung 39). Falls Gerüstteile untereinander durch Anstriche isoliert sind, ist eine leitende Verbindung sicherzustellen.



4.6.10 Erdung von Reservegerüste

Die Reservegerüste sind gemäss vorangegangenen Kapitel an der Anlagenerdung anzuschliessen.

Alle HS-Apparate auf Reservegerüsten sind durch einen Potentialausgleichsleiter mit der Anlagenerdung zu verbinden.



4.7 Erdung von Transformatoren

4.7.1 Transformator-Standplatz

Das Transformator-Fundament ist gemäss Kapitel 4.3 als bewehrtes Element (Fundamenterder) auszuführen. In das Fundament eingelegte Stahlplatten für die Anbringung von Erdbebenbefestigungen sind mit dem Fundamenterder zu verbinden.

Innerhalb der Transformatorwanne werden ringförmig Erdungssammelleiter mit Kupferbänder unterhalb der Brandschutzgitter installiert. Über im Beton eingelegte Wanddurchführungen (siehe Kap. 6.2.3) oder entsprechende Durchgangsöffnungen sind die Erdungssammelleiter der einzelnen Zellen untereinander und die Erdsammelleiter mit der Anlagenerdung zu verbinden. Dies hat an mindestens zwei Stellen oder pro 20 m Umfang der Transformatorwanne einmal zu erfolgen. Weiter ist der Erdsammelleiter pro Zelle an mindestens zwei Stellen oder pro 20 m Umfang der Transformatorwanne einmal mit dem Fundamenterder zu verbinden (gem. Kap. 6.2.2).



Abbildung 41: Erdung Transformatorwanne

Die Brandschutzgitter (Abdeckbleche) von Transformatorwannen sind auf eine geerdete und elektrisch leitende Abstützung aufzulegen. Jedes Abstützungselement (z.B. L-Winkel oder Auflagen aus Flachstahl) ist am Potentialausgleich anzuschliessen.

Die Abstützungen sind zu verzinken und dürfen nicht gestrichen werden. Es ist nicht notwendig, jedes einzelne Brandschutzgitter der Transformatorwanne separat mit einem Leiter zu erden, da die mechanische Verbindung zwischen den aufgelegten Abdeckblechen und ihren geerdeten Abstützungen für den elektrischen Personen- und Sachenschutz ausreicht (gemäss Regel [15, Abs. 7.1.1]).

4.7.2 Transformatorkessel

Der Transformatorkessel ist an mindestens zwei unabhängigen und diagonal versetzten Stellen über Erdungsleiter mit dem Erdungssammelleiter zu verbinden. Die entsprechenden Erdungsvorgaben des Lieferanten vom Transformator sind zu berücksichtigen.

Jedes separate Teil vom Kessel, der durch Schrauben am Kessel befestigt ist (z.B. Rohrleitungen, Stahlstützen, Sekundärschränke, Steigsystem) ist zusätzlich mit dem Kessel zu verbinden. Diese „internen“ Erdungsverbindungen sind normalerweise in der Verantwortung vom Lieferanten des Transformators.

4.7.3 Sternpunkt

Allgemein und Dreiphasentransformatoren:

Die Erdung der Sternpunkte erfolgt über einen separaten Leiter auf einen Anschlusspunkt der Anlagenerdung. Der Querschnitt des Leiters hat sich nach dem Strom des US-Systems (typisch 220 kV) und dem Kurzschlussstrom zu richten, hat jedoch einen Mindestquerschnitt von 240 mm² Cu / 400 mm² Al (Kabel nach IEC 60228 class 2) aufzuweisen.

Stahlbau- und Kesselstruktur ist als Leiter nicht gestattet. Es dürfen keine lösbaren Verbindungen im Bereich von 0m bis 3.5 m über Boden vorhanden sein.

Der Anschluss des Sternpunkts an das Erdungssystem hat unter der Quote von 0m zu erfolgen. Der Anschlusspunkt ist mit begehbarem Gitter-Rost abzudecken und darf nicht im Bereich des Rückhaltevolumens der Ölauffangwanne liegen.

Die Sternpunktverbindung von Einphasentransformatoren:

Die Sternpunktverbindung von Einphasentransformatoren untereinander trägt einen Betriebsstrom. Diese Verbindung hat isoliert (BIL \geq 60 kV) zu erfolgen. Verläuft diese Verbindung unterhalb der Quote von 3.5 m über Boden (auch Schwellen), so hat sie berührungssicher ausgeführt zu werden. Der Querschnitt beträgt mindestens 600 mm² Cu / 800 mm² Al und hat sich nach dem Strom des US-Systems (typisch 220 kV) und dem Kurzschlussstrom zu richten.

Die einzelnen Tragkonstruktionen der Sternpunktverbindung sind durch Potentialausgleichsleiter mit der Anlagenerdung (Erdungssammelleiter in Trafazelle) zu verbinden.

4.7.4 Brandlöschanlage

Betonierte Löschwasserbecken sind als Fundamente der auszuführen und an die Anlagenerdung anzuschliessen. Mögliche Stahltanks und Rohranlagen von Brandlöschanlagen, sowie die Tragkonstruktionen des Löschkäfigs in der Trafazelle sind durch Potentialausgleichsleiter mit der Anlagenerdung zu verbinden.

4.7.5 Geleise

Die Geleise innerhalb der Anlage (Anlagengeleise) sind mittels Potentialausgleichsleiter in regelmässigen Abständen (Anfang, Ende und mindestens alle 20 m) zu erden. Jedes Teilstück (z.B. im Bereich von Kreuzstellen) ist zu erden. Im Zusammenhang mit Gleisanlagen sind Entwässerungssysteme und eingelassene Stahlrohre für die Verschiebung der Transformatoren ebenfalls zu erden.

Einbetonierte Gleise sind an den Fundamente der anzuschliessen.

Nicht einbetonierte Gleise sind mit Potentialausgleichsleitern an dem Oberflächenerder oder Erdungssammelleiter innerhalb der Transformatorzelle zu verbinden. Dazu kann im nicht befahrenen Gleisbereich eine Schraubverbindung im Steg erstellt werden. Das Anbringen von Anschlusslaschen durch Schweißen im befahrenen Gleisbereich ist nicht zugelassen (Gefahr von Verzug der Geleise).

Mögliche Anschlussgeleise zu Bahnen sind durch zwei Isolier-Schienenstösse, d.h. durch einen isolierten Schienenabschnitt, von den Anlagegeleisen zu trennen. Die Lösung ist von Fall zu Fall mit der Bahngesellschaft zu bestimmen.

4.8 Erdung von Kabelschirm

4.8.1 Hochspannungskabel

Kabeltragsystem sind gemäss Kap. 4.4.4 zu erden. Die Erdung der Kabelendverschlüsse ist gemäss Kap. 4.6.7 auszuführen.

Innerhalb des Unterwerkgeländes (Kabellänge bis wenige hundert Meter) werden die Kabelschirme der Hochspannungskabel im Regelfall einseitig geerdet. Bei längeren Kabelleitungen ist die Kabelmantelbehandlung (z.B. Cross-Bonding) projektspezifisch zu definieren.

Im Normalfall erfolgt das Erden des Schirms auf der Seite der Schaltanlage (insbesondere bei GIS-Anlagen). Am anderen Ende des Kabels (z.B. Anschluss Freileitung) wird der Schirm über Mantel-Überspannungsableiter (SVL) mit einer parallelen Kurzschlussvorrichtung (z.B. Trennmesser) isoliert angeschlossen. Die isolierte Stelle muss berührungssicher ausgeführt werden, entweder durch ausreichenden Bodenabstand (Abbildung 42) oder Einbau einer Linkbox (Abbildung 43) und ggf. mit zusätzlichen Abdeckungen.

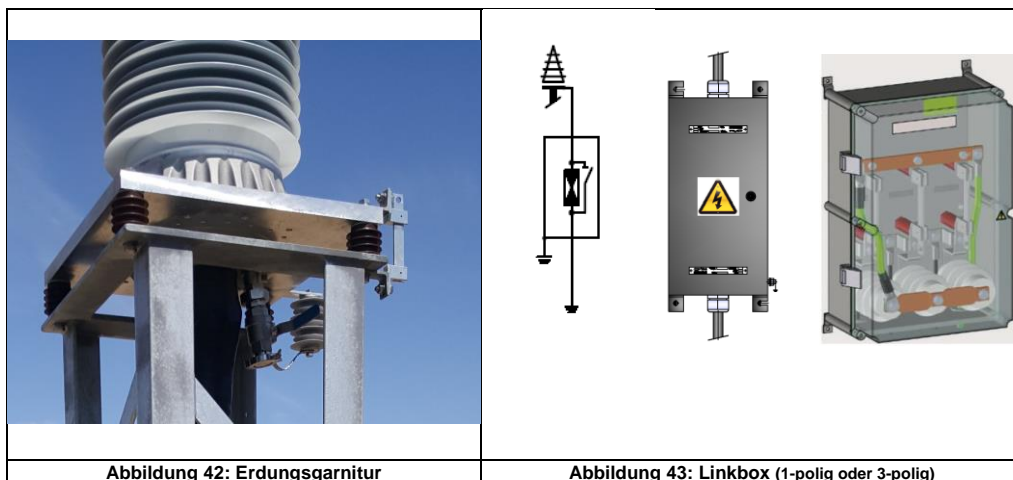


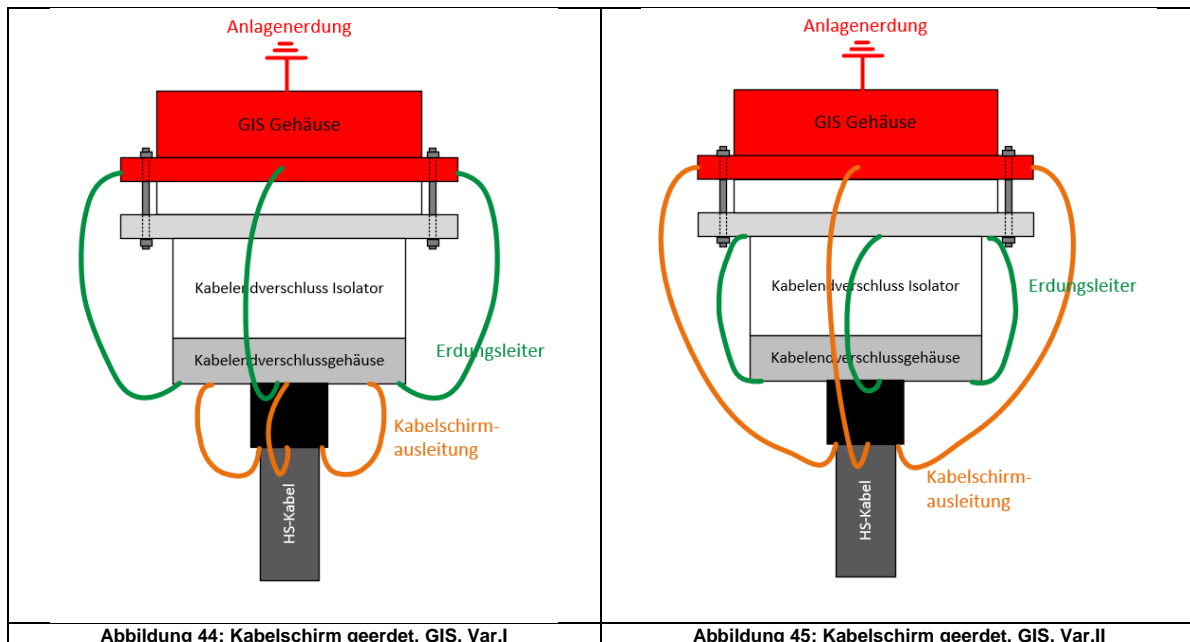
Abbildung 42: Erdungsgarnitur

Abbildung 43: Linkbox (1-polig oder 3-polig)

Die Kabelmantel-Überspannungsableiter sind auf die maximale bei einem Kurzschluss (ein- und dreiphasig) im Kabelschirm induzierte Spannung auszulegen. Sämtliche Kabel und Verbindungen für die Schirmerdung müssen mindestens den gleichen Leiterquerschnitt wie der Kabelschirm aufweisen und möglichst kurze Längen aufweisen.

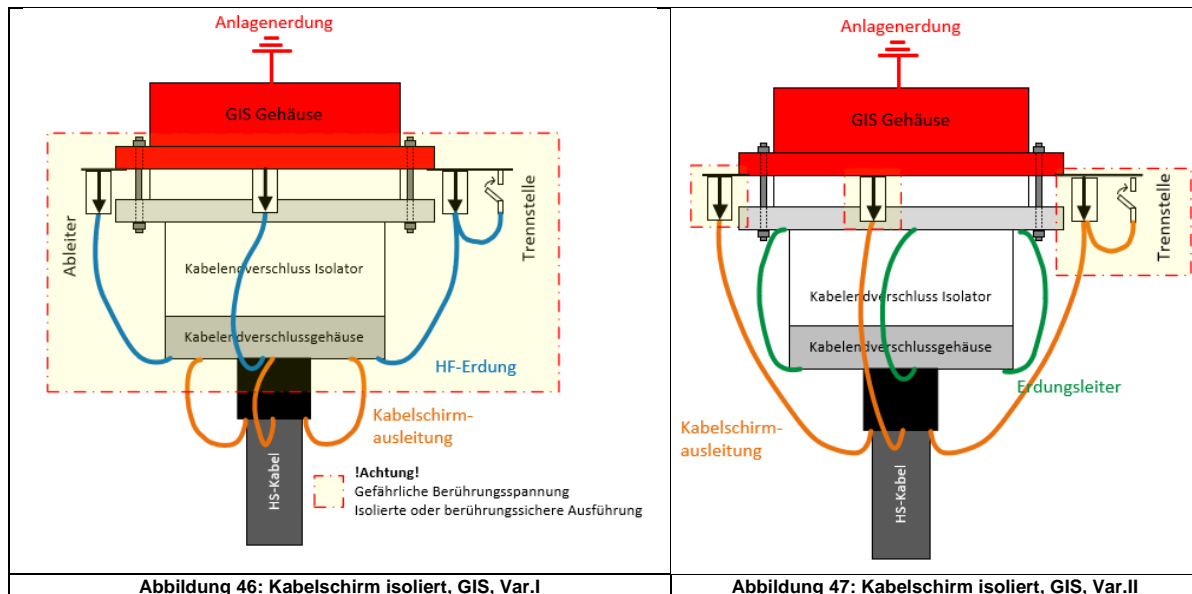
Bei der Kabelschirmerdung ist auf die korrekte Farbwahl der Leiter zu achten. Kabelverbindungen auf Schirmpotential sind berührungssicher mit schwarzer Isolierung auszuführen (isolierte Aufstellung, z.B. bei Kabelschirmzuleitung zu den Linkboxen mit Trennmesser). Dabei ist darauf zu achten, dass die Isolation der Kabelschirmausleitung für die maximal auftretende Kabelmantelspannung ausgelegt wird. Verbindungen mit Erdpotential sind entweder blank oder als Kabel mit gelb/grüner Isolation auszuführen.

Für den Fall, dass der Kabelschirm auf der Seite der GIS-Anlage geerdet wird sind die nachfolgenden Abbildungen zu beachten. Die Kabelschirmausleitung als auch die Leiter für die Erdung des Kabelendverschlussgehäuses sind koaxial angeordnet auf das geerdete GIS-Gehäuse zu verbinden. Die Abbildung 44 ist anzuwenden für Kabelstecker, bei welchen der Kabelschirm zwingend mit Steckergehäuse verbunden werden muss. Für den Fall, dass das Steckergehäuse fest mit der Anlagen- bzw. GIS-Erdung verbunden werden muss ist die Ausführung gemäss Abbildung 45 zu errichten. Bezüglich Anschlussstelle an der GIS-Anlage ist an dieser Stelle auf die Norm [21, Abs. 6.101.2] verwiesen.



Die Erdungsleiter als auch die Kabelschirmausleitungen sollen jeweils mit vier Verbindungen coaxial angeordnet werden. Die Querschnittsfläche der vier Leiter soll mindestens dem Querschnitt des Kabelschirms entsprechen. Die Leiter können entweder als blanke Flachlitzen oder isolierte Kabel ausgeführt werden. Die projektspezifische Ausführung ist frühzeitig mit dem Kabelendverschluss-Lieferanten und dem GIS-Lieferanten zu prüfen und festzulegen.

Für den seltenen Fall, dass der Kabelschirm auf der Seite der GIS-Anlage isoliert ausgeführt wird sind die nachfolgenden schematischen Abbildungen zu beachten. Die Kabelschirmausleitung als auch die Leiter für die Anbindung des Kabelendverschlussgehäuses sind mit je vier coaxial angeordnet Leitern auszuführen. Die Abbildung 46 ist anzuwenden für Kabelstecker, bei welchen der Kabelschirm zwingend mit Steckergehäuse verbunden werden muss. Für den Fall, dass das Steckergehäuse fest mit der Anlagen- bzw. GIS-Erdung verbunden werden muss ist die Ausführung gemäss Abbildung 47 errichten. Es gilt zu beachten, dass in den markierten Bereichen gefährliche Berührungsspannungen auftreten können. Entsprechend sind die Ausführungen zwingend isoliert oder blanke Teile mit zusätzlichen Abdeckungen berührungssicher auszuführen. Mit entsprechender Vorrichtung (z.B. Trennstelle) ist zu gewährleisten, dass die Ableiter für mögliche Instandhaltungsarbeiten überbrückt und der Kabelschirm geerdet werden kann. Die projektspezifische Ausführung (Anordnung der Ableiter und Trennstelle) ist frühzeitig mit dem Kabelendverschluss-Lieferanten und dem GIS-Lieferanten zu prüfen und festzulegen.



Die Auslegung und Installation sämtlicher erforderlichen Komponenten für Erdung der Kabelschirme von Hochspannungskabeln befindet sich normalerweise im Lieferumfang des Kabellieferanten.

Die blauen Warntafeln bezüglich Kabelmantelbehandlung ist gut sichtbar im Bereich der Endverschlüsse zu montieren. Hierfür sind die Vorgaben vom VSE-Sicherheitshandbuch [22, Teil E, Abs. 7] zu beachten.

4.8.2 Sekundärkabel

Sekundärkabel (Niederspannungskabel) von Hochspannungsanlagen zu Sekundäranlagen sind immer abgeschirmt auszuführen. Metallumhüllung (Schirm) von Sekundärkabel sind an beiden Enden zu erden. Die Erdung der Kabelschirme erfolgt mittels geeigneter, metallisch geschirmter Stecker (besonders an den Primäranlagen) oder über metallische, mit dem Erdungssammelleiter verbundene Schienen, an welchen die abgemantelten Kabel geklemmt werden. Für den Fall, dass der Kabelschirm für die induzierten Ströme nicht ausreichend ist, muss parallel zu den Sekundärkabel ein separater Erdleiter verlegt werden.

4.9 Erdungsleiter von Kabel- und Freileitungen

Da sie im Fehlerfall einen grossen Anteil des Fehlerstromes aufnehmen können, sind sämtliche Erdungsleiter bzw. Erdseile bei ihrer Einführung in die Hochspannungsanlage an die Anlagenerdung anzuschliessen.

4.9.1 Erdseil der Freileitung

Die Erdseile der Freileitungen sind am Abspannportal bzw. Abspannmast abzufangen und an der Abspannkonstruktion anzuschliessen. Die Erdseile sind auch Teil des äusseren Blitzschutzes (siehe Kap. 3.2) und müssen gemäss Richtlinie [17] entsprechend dimensioniert sein, dass ein adäquater Blitzschutz der Anlagen gewährleistet ist.

Eine direkte Verbindung des Erdseils mit dem Erdungskabel einer möglichen nachfolgenden Hochspannungskabelanlage ist im Bereich der Übergangsbauwerks sicherzustellen (z.B. über Erdschienen).

4.9.2 Erdausgleichsleiter der Kabelleitungen

Bei einem Hochspannungskabel mit einseitiger Kabelmantelerdung ist ein separater Erdausgleichsleiter pro Kabelsystem parallel zur Leitung mitzuführen. Er dient dem Fehlerstrom bei einem einpoligen Erdkurzschluss teilweise als Rückleiter. Der Erdausgleichsleiter ist beidseitig zu erden und es soll möglichst nahe an den Kabeln liegen, um den Spannungsanstieg im Schirm während eines einphasigen Fehlers auf ein akzeptables Niveau zu begrenzen. Die Grösse dieses Leiters muss ausreichen, um den vollen erwarteten Fehlerstrom für das Kabelsystem zu führen.

Der Erdausgleichsleiter kann als Erdungskabel ausgeführt werden, welcher in einem separaten Schutzrohr parallel zu Kabelleitungen mitgeführt wird. Nach der Einführung der Erdungsleiter in das Unterwerksareal ist dieser mit der Anlagenerdung (z.B. Erdungssammelring im Kabelkeller) zu verbinden.

Innerhalb der Anlagenerdung kann der Erdausgleichsleiter auch als Kupferband ausgeführt werden, welches oberhalb des betonierten Rohrblocks mitgeführt wird. Dieser Erdausgleichsleiter ist an allen Kreuzungspunkten mit dem Oberflächenerder zu verbinden.

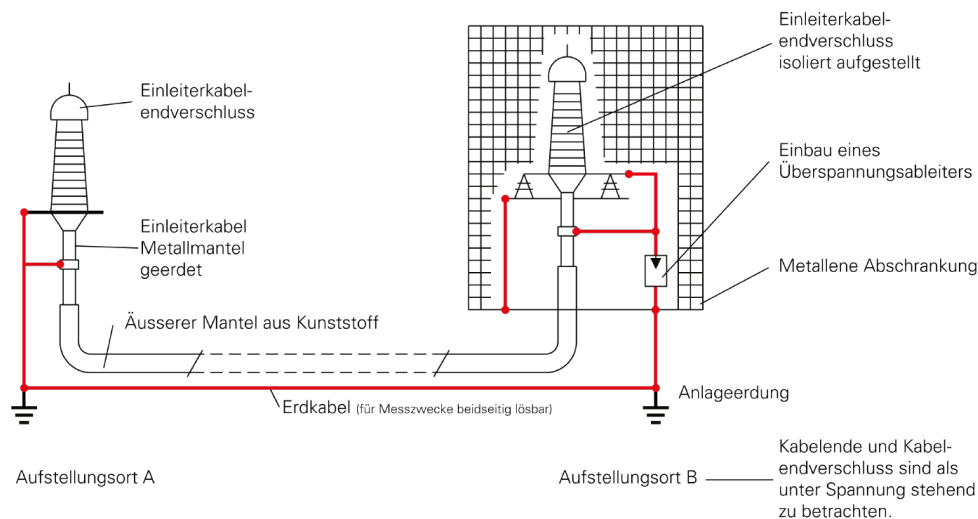


Abbildung 48: Mitführen von Erdausgleichsleiter; gemäss Richtlinie [15; Figur 26]

Bei längeren Kabelleitungen ist ebenfalls ein Erdausgleichsleiter vom Anfangs- bis zum Endpunkt der Leitung parallel mitzuführen. Es gilt zu beachten, dass im Erdausgleichsleiter Spannungen induziert werden (v.a. in unsymmetrischen Cross-Bonding-Systemen). Dies führt zu einer Erwärmung dieser Rückleiter was sogar die Belastbarkeit der Kabel beeinträchtigen kann. Um diese Verluste zu vermeiden ist der Erdausgleichsleiter transponiert zu verlegen werden sofern nicht die Hochspannungskabel schon transponiert sind.

Wenn der Kabelanlage in einem Rohrblock geführt ist der Erdausgleichsleiter als isoliertes Erdkabel in einem separaten Schutzrohr mitzuführen.

Im Bereich von zugänglichen Kabelstollen oder Muffenschächten ist der Erdausgleichsleiter als Kupferband (Aufputz) zu verlegen. Daran anzuschliessen sind alle Anschlusspunkte des Fundamenterders und die Kabeltragsysteme. Abhängig von der Schirmbehandlung der Kabelanlagen (z.B. Sektioniertes Cross-Bonding) werden die Kabelschirme im Bereich der Verbindungsmuffen ausgekreuzt und an den Verbindungsstellen der Hauptabschnitte lokal geerdet. Hierzu ist eine Verbindung vom Kabelschirm (Connection Box) zum mitgeführten Erdausgleichsleiter zu erstellen.

An beiden Enden der Kabelanlage ist der mitgeführte Erdausgleichsleiter entweder an die Anlagenerdung (bei Unterwerken) oder an das Erdseil der Freileitung (bei Übergangsbauwerk) anzubinden.

4.10 Erdung Anlagenumzäunung

Elektrisch leitende Anlagenumzäunungen sind gemäss Richtlinie [15, Abs. 7.1.3] zu erden, um gefährliche Potentialdifferenzen zu verhindern. Hierbei sind folgende Vorgaben einzuhalten:

- Es ist ein Kupferband (gemäss Kap. 2.5) als Potentialsteuerungsring in einem Abstand von 0.8 m ausserhalb des Anlagenzauns zu verlegen
- Die Kupferbänder sind 10 m vor und nach einer Ecke doppelt zu führen; in diesem Bereich beträgt der Abstand zum Zaun 0.5m und 1 m
Die Kupferbänder dürfen nicht tiefer als 0.3 m vergraben werden, da sie nicht als Erder sondern als Potentialsteuerung dienen
- Umzäunung ist in regelmässigen Abständen ca. alle 10 m (jeder 3. bis 4. Zaunpfosten) mit der Potentialsteuerung zu verbinden; dazu ist ein Kupferband an den Anschlusspunkt des Zaunpfosten (ca. 10-20 cm ab Oberkannte Betonriegel) mittels Schraubverbindung (alternativ rostfreie Rohrschelle) anzubringen

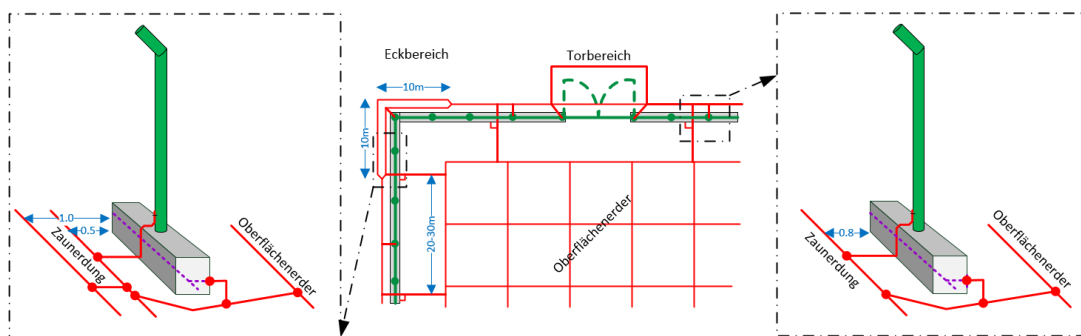


Abbildung 49: Zaunerdung

- Bei Anlagen- und Servicetoren die sich nach aussen öffnen ist der Abstand von 0.8 m bei geöffneten und geschlossenen Toren einzuhalten; die beidseitigen Tor- bzw. Türpfosten sind an die Potentialsteuerung anzuschliessen; zusätzlich ist der Tor- bzw. Türflügel mit einer hochflexiblen Flachlitze mit dem Rahmen zu verbinden (Scharnierüberbrückung)
- Bei einem durchgängigen Beton-Streifenfundament ist dieser als Fundamenterder auszuführen. Alle 20-30 m ist der Fundamenterder mit einem Anschlusspunkt (gem. Kap. 6.2.2) mit der Anlagenerdung zu verbinden.
- Im Normalfall wird der Zaun mit der Anlagenerdung verbunden, es gibt aber auch Anlagen in denen der Zaun nicht an die Anlagenerdung angeschlossen, sondern lokal geerdet ist. Bei einem Umbau solcher Anlagen ist situativ zu entscheiden, ob ein neuer Zaun an die Anlagenerdung angeschlossen werden soll oder nicht. Wird der Zaun mit der Anlagenerdung verbunden genügt es alle 20-30m eine Verbindung von Anlagenerdung zur Zaun-Potentialsteuerung herzustellen.
- Bei besonderen Begebenheiten z.B. Fremdanlagen, Fremdzäune, EW-Kandelaber, EW-Verteilkabinen, Leitplanken im Nahbereich der Anlagenumzäunung oder grossen Distanz zwischen Umzäunung und Anlagenerde ist besondere Beurteilung erforderlich; hierzu ist die Fachstelle seitens Swissgrid beizuziehen
- Kandelaber oder andere metallische leitende Konstruktionen direkt im Zaun oder innerhalb des Zauns müssen immer mit der Anlagenerdung verbunden werden.
Die Erdungsmassnahmen von metallisch leitenden Konstruktionen ausserhalb der Anlagenumzäunung sind projektspezifisch zu definieren und mit der Fachabteilung abzusprechen.

5 Erdungsmassnahmen bei Leitungen

5.1 Freileitungen

Gemäss StV [1, Art.54] und den Ausführungen in der Richtlinie [15, Abs. 4.2] müssen bei Tragwerken von Hochspannungsfreileitungen aus leitenden Materialien bei Erdschlüssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

- In Gebieten (*Gebiet a*), in denen grössere Menschenansammlungen zu erwarten sind oder in denen sich Personen periodisch für längere Zeit aufhalten, sind für die Berührungsspannungen die Werte gemäss Kap. 2.4.3 einzuhalten. Z.B. Hausgärten, Grillplätze, Schrebergärten, Clubhäuser.
- In besiedelten Gebieten (*Gebiet b*), in der näheren Umgebung von Einzelbauten und an Verkehrswegen, wo sich Personen regelmässig für kurze Zeit aufhalten, dürfen die Werte für Berührungsspannungen während höchstens zwei Sekunden überschritten werden. Z.B. Strassen, Radwege, Pausenplätze, Antennenstandorte.
- Im übrigen Gebiet (*Gebiet c*) dürfen die Berührungsspannungen die Werte überschreiten. Die Werte über 50 V Wechselspannung, bzw. 120 V Gleichspannung sollen jedoch nicht länger als wenige Stunden bestehen bleiben. Z.B. landwirtschaftliches Gelände, Wald, Gebirge.

Da alle Erdfehler in den Netzen der Swissgrid innerhalb von zwei Sekunden abgeschaltet werden, ist nur die Unterscheidung zwischen Gebiet a) und dem Rest (Gebiet b) und c)) relevant. Für die Gebietszuordnung ist immer eine fallweise Beurteilung notwendig. Kriterien sind Abgrenzungen, wie z.B. Umzäunungen, Mauern und dichte Dornenhecken.

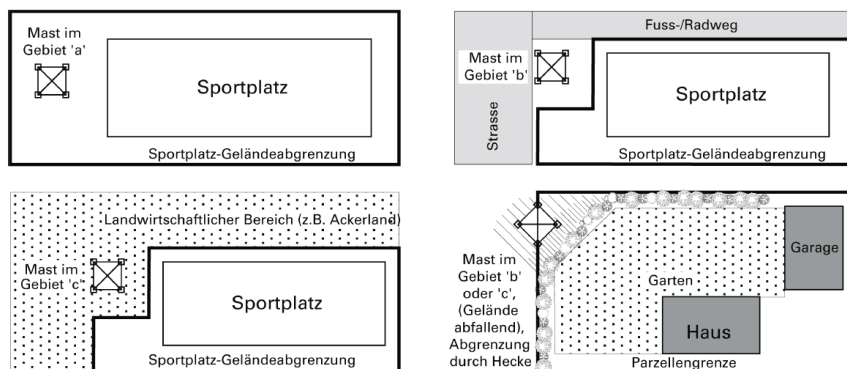


Abbildung 50: Beispiel Gebietszuordnung gemäss Richtlinie [15, Figur 13]

Um diese Anforderungen zu erfüllen sind die Leitungsbestandteile von Hochspannungsleitungen gemäss StV 1, Art. 59] und den Ausführungen in der Richtlinie [15, Abs. 9] zu erden.

- Aus leitenden Materialien bestehende Tragwerke von Hochspannungsfreileitungen sind direkt oder über Erdungsleiter zu erden
- Die Erdungsleiter der Freileitungen sind an ihren Enden mit der Anlageerdung zu verbinden, um eine Senkung der Erdungsimpedanz zu bewirken
- Bei Stahlbetontragwerken sind die Befestigungsarmaturen von Isolatoren auf leitfähigen Traversen leitend mit den zu erdenden Armierungseisen der Masten zu verbinden

Die Erdung der Mastfundamente ist abhängig von ihrem Standort (Gebiet a, b, c) und Fundamenttyp gemäss folgenden Prinzipien auszuführen. Abbildung 51 zeigt das Erdungsprinzip von Masten im Gebiet a und Abbildung 52 zeigt Erdungsprinzip von Masten im Gebiet b oder c.

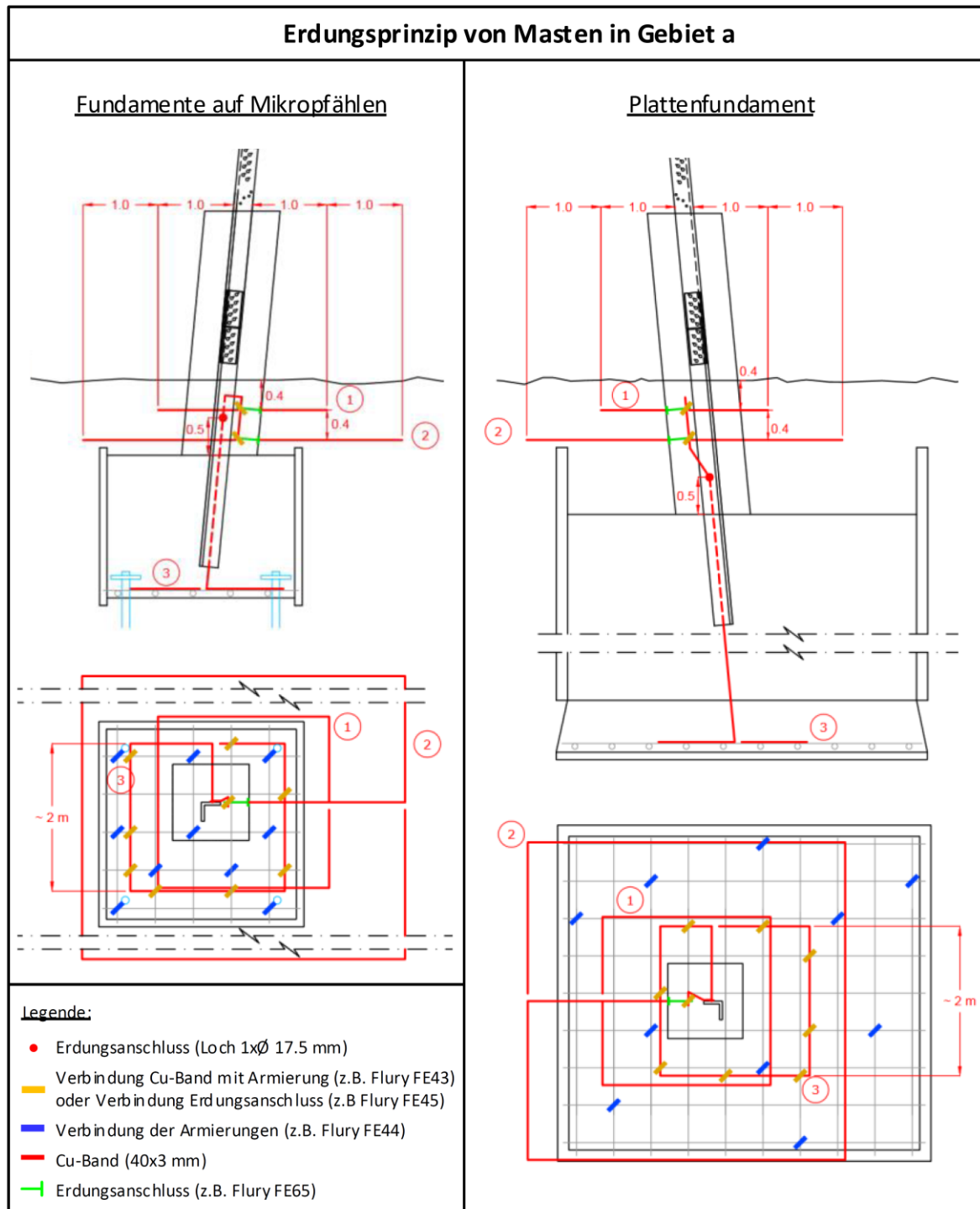


Abbildung 51: Erdungsprinzip Masten in Gebiet a

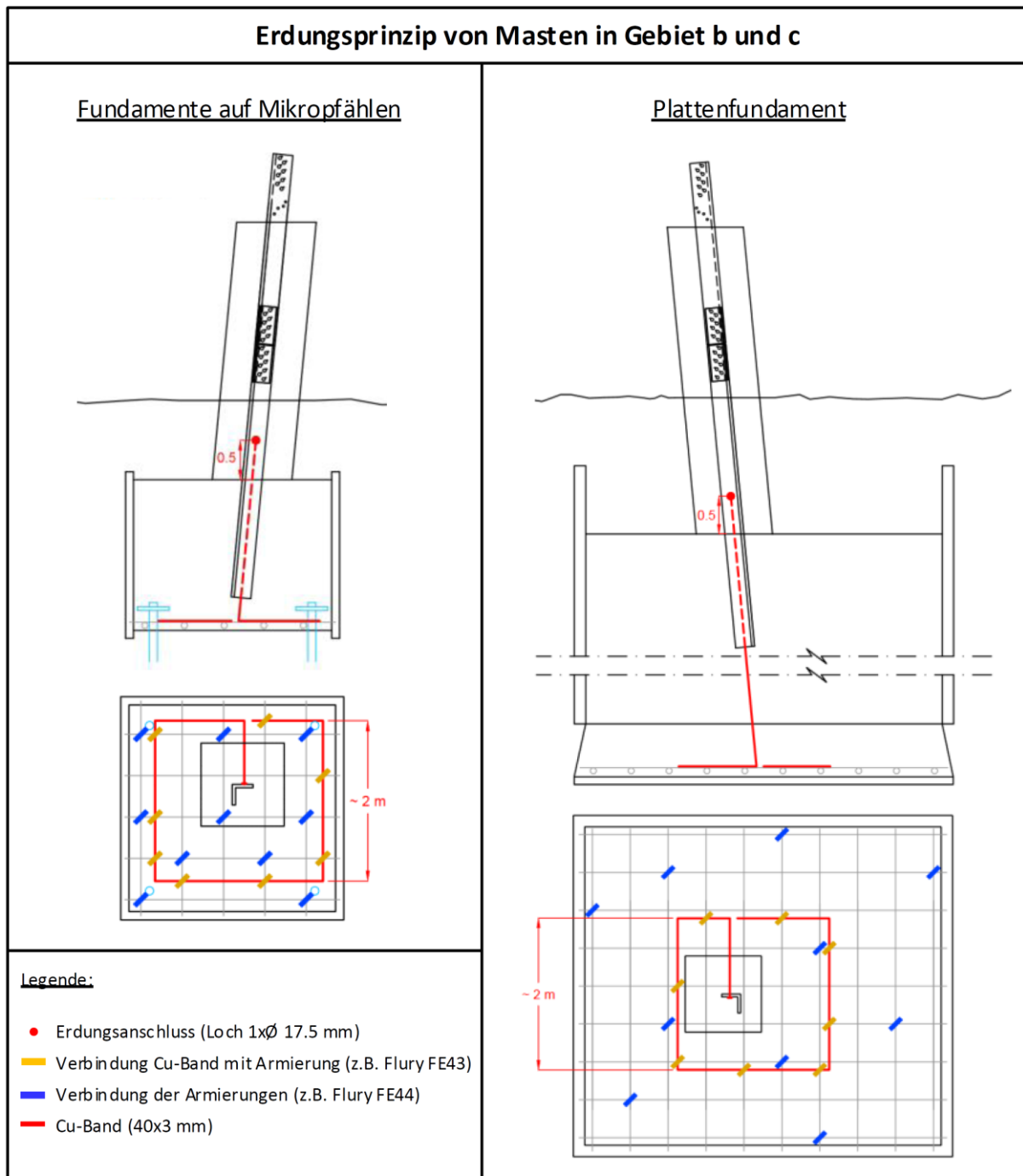


Abbildung 52: Erdungsprinzip Masten in Gebiet b und c

5.2 Kabelleitungen

Siehe Kap. 4.9.

6 Vorgaben für Erdungsverbindungen

Alle Erdungsleiter und Erdverbindungen sind nach den Anforderungen der Starkstromverordnung [1] und Erdungsnorm [10] auszuführen. Die Dimension der Erdungsleiter ist im Kap. 2.5 definiert.

Besonders Beachtung ist der Kontrollierbarkeit einer Erdverbindung zu schenken. Jede Verbindung, mit Ausnahme sämtlicher im Erdreich vergrabenen, ist so auszuführen, dass ihre Funktion auch zu einem späteren Zeitpunkt eindeutig, messtechnisch oder visuell kontrolliert werden kann. Um dies sicherzustellen gelten folgende Vorgaben:

- Erdungsleiter sind so auszuführen, dass jede Verbindung gelöst (mittels Werkzeug) und einzeln überprüft werden kann. Ausnahme sind die im Boden verlegten Erdungsleiter.
- An schwer zugänglichen Stellen (z. B. Mauerdurchgänge usw.) sind Erdungsleiter in Rohre mit genügend lichtem Raum zu verlegen, so dass der Zustand des Leiters kontrolliert werden kann.
- Bei Verbindungen mit dem Oberflächenerder muss der entsprechende Erdungsleiter beim zu erdenden Element mit einer Schraubverbindung lösbar montiert werden.

Erdungsleiter und Erdverbindungen sollen nie eine elektrische Schutzfunktion und eine mechanische Stütz- und Tragfunktion gleichzeitig übernehmen. Mechanische Befestigungsfunktion und elektrische Erdungsfunktion sind zu trennen. Beispiele hierfür sind:

- Befestigungsschrauben an Fusspunkten von Isolatoren und Komponenten dürfen nicht gleichzeitig als Erdleiterbefestigung dienen; der Erdleiter muss separat mit einer eigenen Schraubverbindung befestigt werden
- Halterungen und Scharniere von Türen dürfen nicht als Erdverbindung dienen, sondern müssen durch einen separaten Erdleiter überbrückt werden (Scharnierüberbrückung)

Erdungsleitungen von Apparaten oder Konstruktionen, die spannungsführende Teile tragen, dürfen nicht unterbrochen werden. Bei Arbeiten an Konstruktionen mit aktiven Apparaten ist vor dem Trennen der Erdungsleitung immer eine provisorische Erdverbindung zu erstellen.

Wie die gesamte Anlagenerdung müssen auch ihre Verbindungen so erstellt werden, dass ihre Funktion nicht durch chemische, mechanische oder thermische Einflüsse beeinträchtigt wird.

6.1 Erdverbindungen im Hinblick auf Korrosion

Um elektrolytische Korrosion zu verhindern, müssen bei Aufeinandertreffen von unterschiedlichen Werkstoffen (Stahl, Aluminium oder Kupfer) Massnahmen getroffen werden. Abbildung 53 zeigt, mögliche Werkstoffkombinationen in unterschiedlichen Umgebungen.

Umgebungsbedingung (wirkt als Elektrolyt)	Werkstoff Leiter- oder Konstruktionsmaterial	Werkstoff für Verbindungs- und Befestigungselemente						
		Kupfer blank	Kupfer verzinkt	nicht rostender Stahl Inox A2	nicht rostender Stahl Inox A4	Stahl feuerverzinkt	Stahl blank	Aluminium
In Luft (Fassadenbleche, Fangleiter, Ableiter)	Kupfer blank	☑	✓	✓	✓	☒	☒	☒
	Kupfer verzinkt	✓	☑	✓	✓	✓	☒	✓
	Kupfer-Titan-Zink (Zinkblech)	☒	✓	✓	✓	☑	☒	✓
	Stahl verzinkt	☒	✓	✓	✓	☑	☒	✓
	nicht rostender Stahl (Inox A2) ²⁾	✓	✓	☑	☑	✓	☒	☑
	Aluminium	☒	✓	☑	☑	✓	☒	☑
Im Erdreich ³⁾ (Ring-, Strahlen- und Tiefenerder)	Kupfer blank	☑	☒	☒	✓	☒	☒	☒
	nicht rostender Stahl (Inox A4) ²⁾	✓	☒	☒	☑	☒	☒	☒
Im Beton ⁴⁾ (Fundamenterder)	Stahl blank oder verzinkt	✓	☒	✓	✓	☑	☑	☒
	Kupfer blank	☑	☒	✓	✓	✓	✓	☒
<p>1. Kontaktkorrosion tritt an der Kontaktfläche zwischen unterschiedlichen Metallen und unter Einfluss von Feuchtigkeit (Elektrolyt) auf. Durch die Beachtung der Empfehlung zur Verträglichkeit, kann die Kontaktkorrosion weitgehend vermieden werden.</p> <p>2. Nicht rostender Stahl (Inox) hat gegenüber Kupfer eine um ca. 40fach schlechtere Leitfähigkeit.</p> <p>3. Im Erdboden ist vorzugsweise Kupfer als Erdermaterial zu verwenden (SEV 4022:2008 Tabelle 5.1.2.1)</p> <p>4. Erdleiter aus Stahl blank und Stahl verzinkt müssen vollständig im Beton eingegossen sein (minimale Betonüberdeckung 50 mm). Anschlüsse an die Fundamenterdung müssen aus korrosionsfestem Material (z.B. nicht rostender Stahl / Inox A4) ausgeführt werden.</p>								

☑ = optimal ✓ = anwendbar ☒ = unzulässig

Abbildung 53: Materialverträglichkeit (Quelle: SNG 483755:2019, Tabelle 10.2.6)

Bei Materialunverträglichkeiten ist beim Einsatz in Luft (nicht im Boden oder Beton) ein Bimetall oder anderes Übergangsmaterial einzusetzen.
Die Abbildung 54 zeigt, welche Vorkehrungen getroffen werden können, falls verschiedene Metalle verbunden werden.

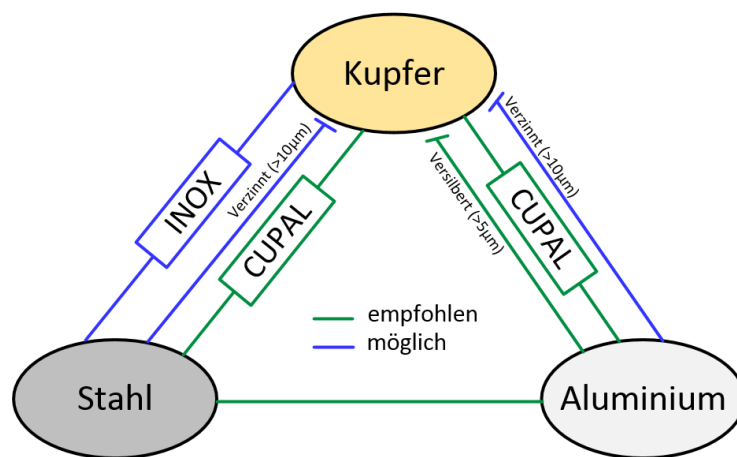


Abbildung 54: Verbindungsmöglichkeiten verschiedener Metalle

Falls beispielsweise ein blankes Kupferband an eine verzinkte Stahlkonstruktion angeschlossen werden soll, ist zwischen dem Kupfer und dem Stahl eine CUPAL-Platte einzuschieben. Falls keine Platte zur Verfügung steht, kann auch eine Inox-A2-Unterlagsscheibe verwendet werden oder der Kupferleiter ist verzinkt auszuführen.

6.2 Verbindungen im Beton

Bei allen Verbindungen im Beton ist darauf zu achten, dass alle Verbindungsflächen sauber und frei von Korrosion sind. Rostige Armierungseisen müssen an den Verbindungsstellen vorher mit Schmirgelpapier oder einer Drahtbürste blank gemacht werden.

6.2.1 Kreuzverbindungen im Beton

Für Verbindungen im Beton können beispielsweise die unten dargestellten Schraubklemmen verwendet werden. Material ist nur für Potentialausgleich und nicht zur Leitung des Kurzschlussstroms ausgelegt.

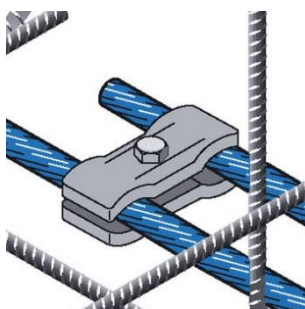


Abbildung 55: Parallelklemmen

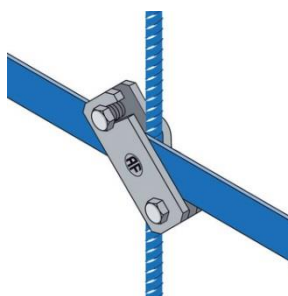


Abbildung 56: Klemme 2-teilig



Abbildung 57: Klemme 3-teilig

6.2.2 Anschlüsse für Potentialausgleich

Anschlüsse sind aus korrosionsbeständigen Erdungsfestpunkten M10 aus nichtrostendem Stahl (V4A) zu realisieren. Material ist nur für Potentialausgleich und nicht zur Leitung des

Kurzschlussstroms ausgelegt. Beispiele von entsprechende Erdungsfestpunkte sind in folgenden Abbildungen ersichtlich.

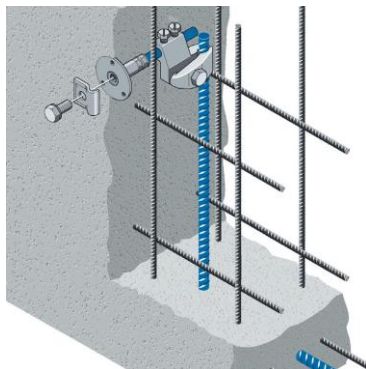


Abbildung 58: Anschlussgarnitur

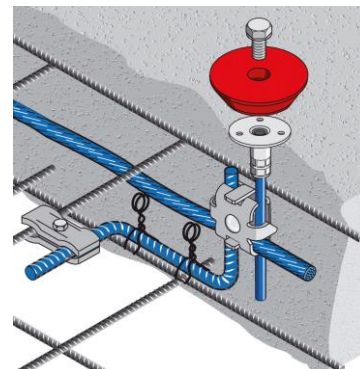


Abbildung 59: Anschlussgarnitur nach oben

6.2.3 Wanddurchführung für hohe Ströme

Um im Erdfehlerfall die hohen Ströme durch die Aussenwände abzuleiten, ohne diese Verbindung zu überlasten, sind spezielle Durchführungen anzubringen, welche für hohe Ströme ausgelegt sind. Hierfür sind beispielsweise die in Abbildung 60 gezeigten Erdungsfestpunkte zu verwenden. Diese Verbindung ist für maximal $I_k = 11 \text{ kA}$ ausgelegt (zulässige Erwärmung auf 150°C , $t = 1 \text{ s}$).



Abbildung 60: Erdungsfestpunkt

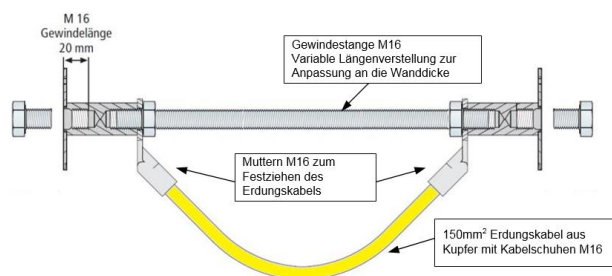


Abbildung 61: Durchführung

Abbildung 61 zeigt mögliche Ausführung der fertig montierten Durchführung zwischen der Aussen- und der Innenerdung. Rechts und links befindet sich je ein M16 Schraubanschluss. Die elektrische Verbindung zwischen den Anschlusspunkten wird über ein 150 mm^2 Erdungskabel aus Kupfer sichergestellt, da die Gewindestange allein den Kurzschlussstrom nicht tragen kann. Das Erdungskabel ist an beiden Enden mit M16 Kabelschuhen konfektioniert. Über eine Gewindestange wird der Abstand zwischen den Anschlusspunkten auf die Wanddicke eingestellt. Mit den M16 Muttern auf den Gewindestangen werden die Kabelschuhe festgezogen.

6.3 Schraubverbindungen

Alle Schraubverbindungen von Erdungsleitern dürfen nur mit Werkzeugen geöffnet werden können und müssen gegen Selbstlockern gesichert werden gemäss Richtlinie [15, Abs. 10.2.6]. Hierfür sind bei sämtlichen Schraubverbindungen Federringe zu verwenden. Der Gewindeüberstand bei Schraubverbindungen hat gemäss DIN EN 1090-2 mindestens 1 Gewindegang betragen.

Das Anschrauben mehrerer Erdungsleiter an einer Erdungsschraube ist nicht zulässig. Müssen

mehrere Erdungsleiter mit einem Punkt verbunden werden ist eine Erdungsschiene (siehe Abbildung 62) zu installieren oder am Erdband eine entsprechende Anschlussmöglichkeit (siehe Abbildung 63) geschaffen werden. Die Dimension der Erdungsschiene ist auf den maximalen Kurzschlussstrom auszulegen.



Abbildung 62: Erdungsschiene



Abbildung 63: Anschlusslasche Kupferband

6.4 Klemmverbindungen

Bei Erdungsverbindungen für Potentialausgleich sind Klemmverbindungen ebenfalls zulässig. Dies können beispielsweise Klemmplatten für den Anschluss auf Kupferbänder oder Rohrbriden für den Anschluss auf Rundprofile sein.



Abbildung 64: Klemmverbindung



Abbildung 65: Rohrbriden

6.5 Kupferband – Verbindungen

Abhängig vom Ort (innerhalb oder ausserhalb des Erdreichs) ist die Kontaktierung der Kupferbänder unterschiedlich auszuführen.

- Für Verbindungen im Erdreich sind Lötverbindungen (Hartlöten) oder Pressverbindungen zugelassen; nicht zugelassen sind Klemm- und Schraubverbindungen
- Für Verbindungen ausserhalb vom Erdreich (im Aussenbereich) sind Lötverbindungen (z.B. Hartlöten), Pressverbindungen und Schraubverbindungen zugelassen; nicht zugelassen sind Klemmverbindungen
- Für Verbindungen im Innenbereich sind Lötverbindungen (z.B. Hartlöten), Pressverbindungen, Schraubverbindungen und Klemmverbindungen zugelassen

6.5.1 Hartlöt-Verbindung

Bei sichtbarer Verlegung beispielsweise in Freiluft und Innenraumanlagen oder auch Verlegung im Erdreich können die Kupferbänder durch Hartlötung miteinander verbunden werden. Die Hartlötung wird mit einer phosphorhaltigen Hartlotfolie im Temperaturbereich von ca. 700 °C durchgeführt.

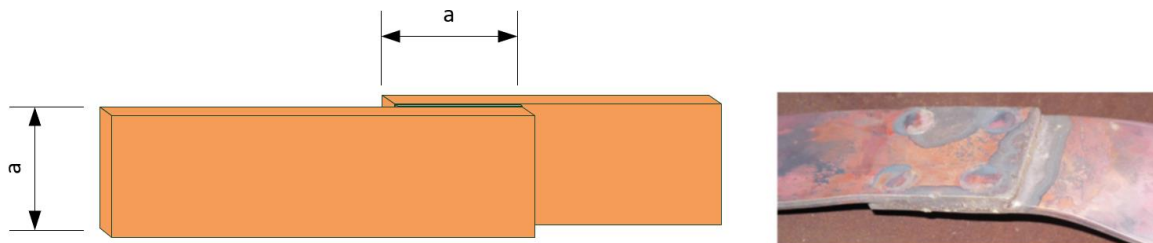


Abbildung 66: Hartlöt-Verbindung Kupferband

6.5.2 Pressverbindung

Bei Verlegung im Erdreich oder auch sichtbarer Verlegung beispielsweise in Freiluft und Innenraumanlagen können die Kupferbänder durch Pressverbindungen miteinander befestigt werden. Pro Kontaktstelle ist eine Presshülse anzubringen. Die Pressung ist mit einer Hydraulikpumpe zu erstellen. Die Überlappungs-Länge der Kupferbänder an der Pressstelle sollte etwa der dreifachen Breite einer Presshülse entsprechen.

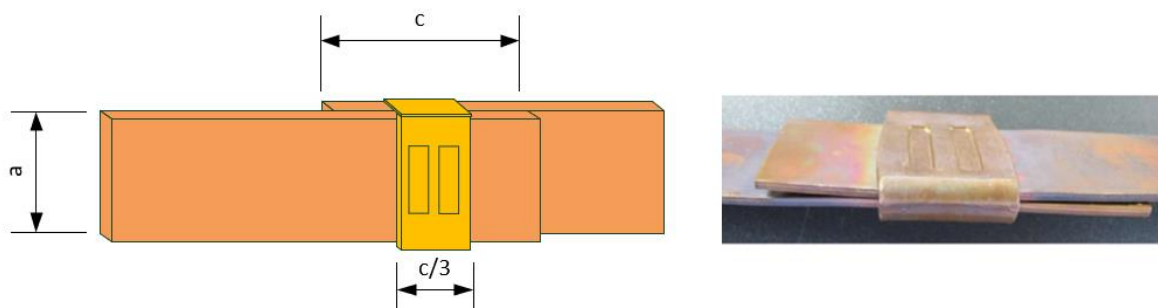


Abbildung 67: Pressverbindung Kupferband

6.5.3 Schraubverbindung

Bei Verlegung in Freiluft und Innenraumanlagen können die Kupferbänder durch Schraubverbindungen verbunden werden. Die Kontaktflächen müssen auf der Länge der Überlappung (Schienenbreite) von der Oxydschicht befreit, gereinigt und mit Kontaktfett behandelt sein. Die Verbindung wird mittels Schraube M12 erstellt und für eine bessere Flächenpressung sind beidseitig Karosserie-Unterlagscheiben anzubringen. Die Schraubverbindungen sind mittels Federringescheiben gegen Selbstlockerung zu sichern.

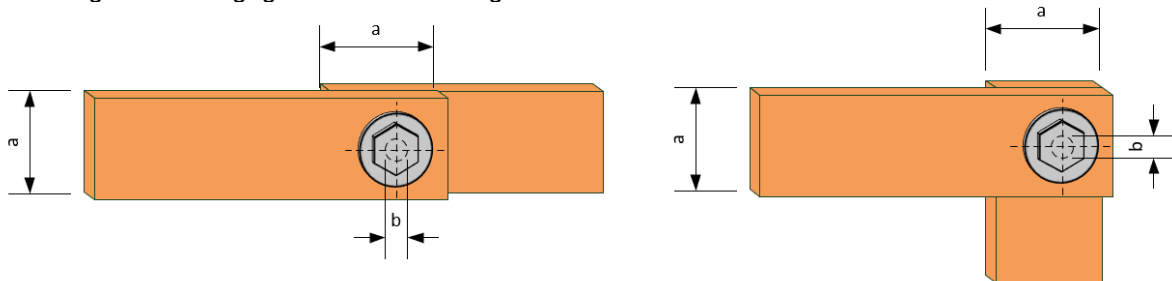


Abbildung 68: Schraubverbindung Kupferband

Die Verschraubung mit nur einer Schraube setzt voraus, dass die Erdungsschiene entsprechend mechanisch abgestützt ist, damit ein Lösen dieser Verschraubungen verhindert wird. Verschraubungen dürfen nie in Kombination mit Wandbefestigungen kombiniert werden, da diese die Spannkraft verlieren können.

6.5.4 Klemmverbindung

Bei Verlegung in Innenraumanlagen können die Kupferbänder durch Klemmverbindungen verbunden werden. Die Kontaktflächen müssen auf der Länge der Überlappung von der Oxydschicht befreit, gereinigt und mit Kontaktfett behandelt sein. Die Schraubverbindungen sind mittels Federringescheiben gegen Selbstlockerung zu sichern. Im Aussenbereich sind keine Klemmverbindungen zugelassen.

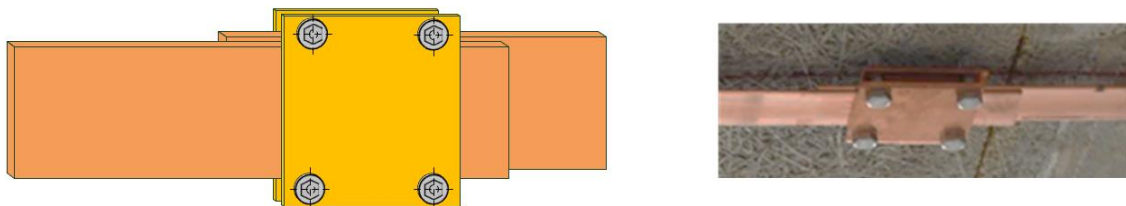


Abbildung 69: Klemmverbindung Kupferband

6.6 Verlegung von Erdungsleitungen

Bei der Verlegung von Erdungsleitungen sind gewisse Grundsätze zu beachten, welche in den folgenden Kapiteln erläutert werden.

Generell muss folgendes berücksichtigt werden:

- Die Erdungsleiter sind so anzuordnen, dass sie keine Stolperfalle darstellen
- Beim Abwickeln von Erdbändern sind generell 90°-Winkel zu vermeiden; es sind zwei 45°-Winkel zu biegen

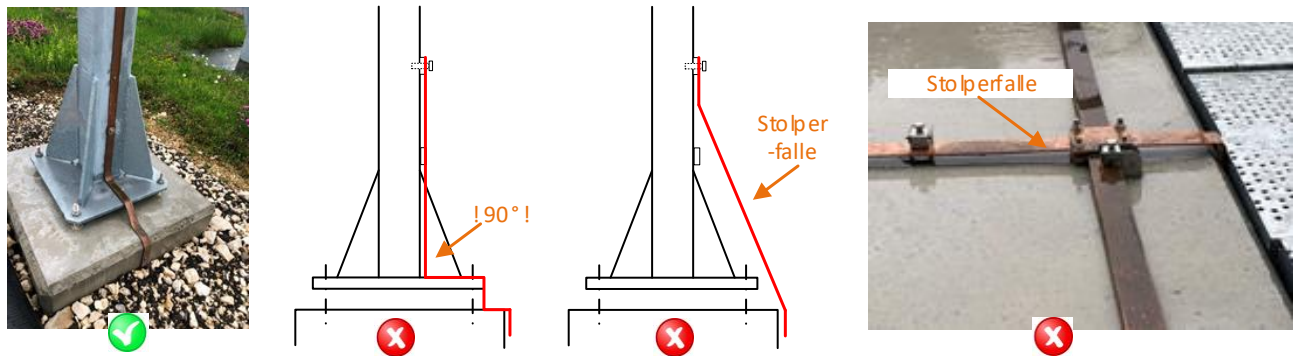


Abbildung 70: Verlegung von Erdungsleiter

6.6.1 Verlegung auf Beton

Die Kupferbänder sind auf Betonoberflächen mit Wandhaltern zu befestigen. Für die Wandmontage werden aufgrund der einfachen Handhabung offene Erdband-Wandhalter empfohlen. Für die Montage an der Decke sind geschlossenen Wandhalter zu benutzen. Es sind Wandhalter aus Kupfer oder Edelstahl zu verwenden.



Abbildung 71: Flachbandhalter

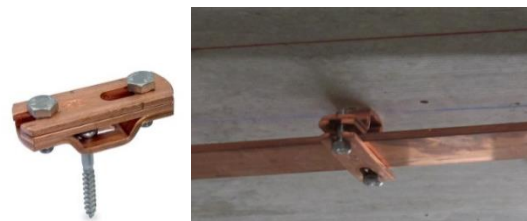


Abbildung 72: Leitungshalter Band

Die Verlegung von Kupferband auf dem Betonboden ist zulässig, wenn dieser Bereich kein expliziter Durchgangsweg ist und das Kupferband keine Stolperfalle darstellt. Das Kupferband ist mindestens alle 1.5m mit einer Flachkopf-Betonschraube zu befestigen.



Abbildung 73: Verlegung auf Boden

6.6.2 Verlegung auf Stahl

Die Kupferbänder sind auf Eisen- resp. Stahlträgern durch rostfreie Stahlschrauben zu befestigt. Zwischen dem Kupferband und dem Stahlträger ist als Korrosionsschutz eine Karosseriescheibe (Edelstahl) zwischen den Werkstoffen zu platzieren. Die Gewinde für die Befestigung sind in der Herstellung der Apparategerüste vorzusehen. Falls nachträglich (nach Verzink-Prozess) Gewinde in die Stahlkonstruktionen eingeschnitten werden ist eine Behandlung mit Zinkspray zur Verhinderung der Korrosion sicherzustellen.

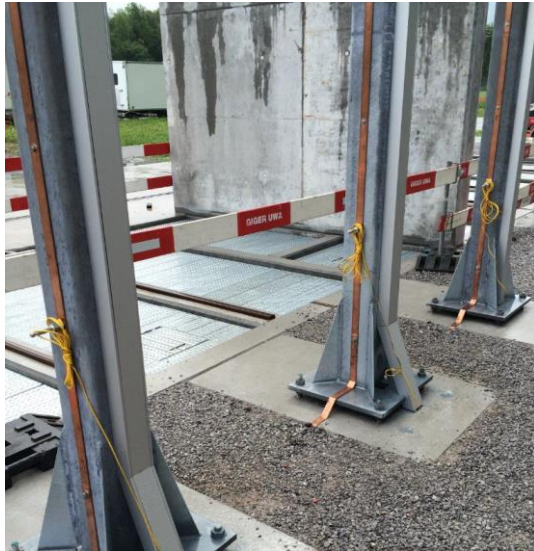


Abbildung 74: Verlegung Kupferband auf Stahl

6.6.3 Erdungskabelverlegung

Erdungskabel, welche den Raum verlassen, sind immer an beiden Kabelenden zu beschriften (Abbildung 75). Dies gilt sowohl für interne als auch für externe Verbindungen. Können Erdungskabel mit dem Finger verfolgt werden, ist eine Beschriftung nicht erforderlich. Auf dem Beschriftungsschild sollten immer Anfangs- und Endpunkt sowie der Erdungskabelquerschnitt vermerkt sein.

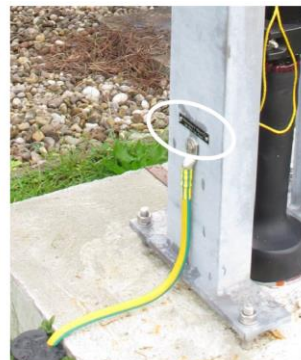
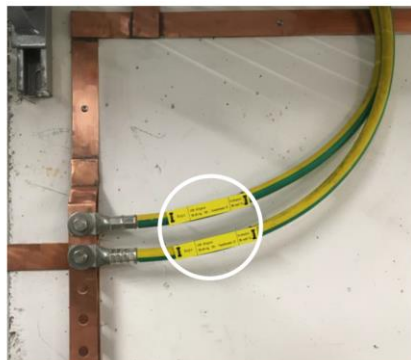


Abbildung 75: Beschriftung Erdungskabel

6.6.4 Übergang Beton – Luft

Im Grundsatz sind in den Beton eingelegte Erdungsfestpunkte als Schnittstelle zwischen Beton und Luft zu verwenden (siehe Kap. 6.2).

Beim Übertritt von Beton zu Luft ist es zulässig, das Kupferband nicht isoliert aus dem Beton zu führen. Dies gilt jedoch nicht für Stahlseile und kleinere Kupferleiter, diese müssen am Übertritt mit Schrumpfschlauch isoliert werden.

7 Baustellenerdung

Die Baustellen können sich innerhalb, ausserhalb oder teilweise ausserhalb des UW Geländes befinden.

Liegt die Baustelle ganz oder teilweise im Einflussbereich des Unterwerks, wird die Erdung der Baustelle mit der Anlagenerdung des Unterwerks verbunden. Der Erdleiter muss dabei einen Mindestquerschnitt von 120mm^2 haben. Für die Baustellenbereiche ausserhalb der Anlagenerdung ist ein gleichmässiger Potentialausgleich herzustellen. Hierfür wird um den vorgesehenen Baustellenbereich in 0.8 m Tiefe ein Oberflächenerder verlegt. Metallische Baustellenumzäunungen sind an die Anlagenerdung anzuschliessen. Das gleiche gilt für metallische Zaunprovisorien, welche den Zutritt zur Annäherungszone verhindern (z.B. wenn eine neue Umzäunung erstellt wird). Nicht zu elektrischen Stromkreisen gehörende metallische Teile müssen an das Erdungssystem angeschlossen werden (Potentialausgleich).

Alle Container oder Containergruppen sind nach Möglichkeit an zwei gegenüberliegenden Punkten an die Erdung anzuschliessen und untereinander leitend zu verbinden (Potentialausgleich).

Liegt der Baustellenbereich weit ausserhalb des Unterwerkes muss eine Sondererdung für die Baustelle getrennt vom Unterwerk ausgeführt werden. Der Erdwiderstand der Anlagenerdung muss gemäss Richtlinie [15] kleiner 20Ω betragen. Liegt die Baustelle in Leitungsbereich oder besteht die Gefahr das bei den Bauarbeiten eine Hochspannungsleitung berührt wird, muss die Erdung so ausgelegt sein, dass bei einem Überschlag eine unmittelbare Schutzauslösung erfolgt. Solche Installationen sollen daher einen Erdwiderstand $<10\Omega$ aufweisen. Der Erdleiter muss dabei einen Mindestquerschnitt von 120mm^2 haben.

Die Konstruktion eines Kranes wird an zwei Punkten mit je einem Erdungsleiter an die Baustellenerdung angeschlossen. Der Gesamterdungswiderstand darf 20Ω nicht überschreiten. Falls ein Kran neben einem Leitungsmast steht, kann eine Erdungsverbindung über eine Trennfunkstrecke zur Masterdung angebracht werden. Die Funkstrecke ist so zu bemessen, dass sie einerseits bei einer Leitungsberührung des Krans den maximalen Erdschlussstrom ableiten kann, aber andererseits bei einem Erdschluss direkt am Mast (z.B. Isolatorenbruch) sperrt und eine Potentialverschleppung verhindert.

Die Erde der Baustromverteilung wird mit mindestens einem Erdungsleiter 120mm^2 mit der Baustellenerdung verbunden. Wird die Baustelle über eine Sondererdung geerdet (Erdung vom Unterwerk getrennt), muss die Baustromversorgung über einen Trenntransformator erfolgen. Der Transformatorsternpunkt wird baustellenseitig mit der Baustellenerdung verbunden.

8 Grundlagen für Planung

Für die Auslegung von Anlagenerdungen gelten die Vorgaben gemäss Kap. 2. Die Auslegung des Erdungssystems soll Erweiterungen die im Anlagenlayout selbst berücksichtigt wurden ebenfalls berücksichtigen (Vollausbau):

- ohne Eingriffe die das ursprüngliche Erdungssystem gefährden
- unter Beibehaltung des ursprünglichen Systemaufbaus

Die Massnahmen für den Vollausbau sind zu dokumentieren und die künftigen Übergangs- bzw. Verbundstellen mit einfachen aber eindeutigen Massnahmen sicherzustellen.

8.1 Auslegung für neue Standorte

Für Neuanlagen erfolgt die Auslegung anhand folgender Kriterien:

- Bodeneigenschaften (Aufbau, Leitfähigkeit und Langzeitstabilität) des gesamten zukünftigen Werkbereiches inkl. angrenzende Landreserven sowie des möglichen Übergangsbereiches
- Erdschlussverhältnisse im Zielnetz inkl. Reserve
- Geplante Anlagentechnologie und –layout inkl. zugehörigen Leitungseinführungen inkl. strategischer Reserven
- Werkvorschriften des Anschlussgebers für die Versorgung der Nebenanlagen.
- Beeinflussung durch angrenzende Fremdanlagen

Für jede Neuanlage ist parallel zur Baugrunduntersuchung ein Erdungskonzept zu erstellen welche die notwendigen Massnahmen aufzeigt. Der spez. Erdwiderstand ist durch Erdungsmessungen zu ermitteln.

Die Wirkung der geplanten Erdungsmassnahmen sind durch rechnergestützte Simulationen über den gesamten Hochspannungsbereich (Werk- und Übergangsbereich) aufzuzeigen.

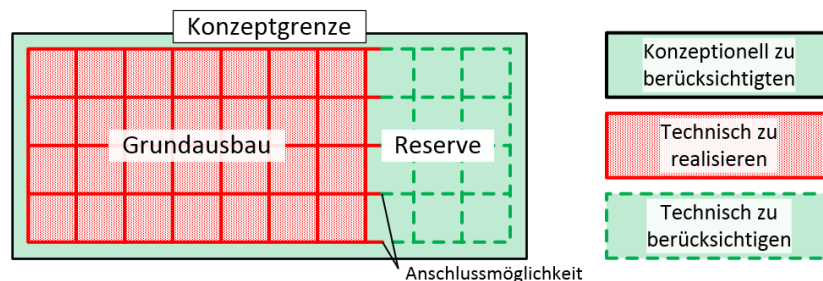


Abbildung 76: Auslegung neue Standorte

8.2 Auslegung für Erweiterungen

Erweiterungen sind gemäss dem aktuellen gültigen Erdungs-Standard auszuführen. Falls möglich soll die Anlagenerdung identisch wie der Grundausbau (Verbindungstechnik, Material) ausgeführt werden.

Zu prüfen ist insbesondere, ob zusätzliche Massnahmen an der bestehenden Anlagenerdung (Grundausbau) notwendig sind (z.B. Aufgrund von höherem Kurzschlussstrom).

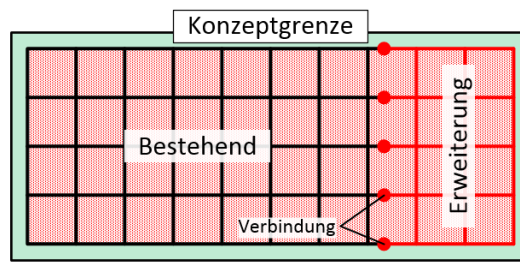


Abbildung 77: Auslegung für Erweiterungen

8.3 Auslegung für bestehende Standorte

Erneuerung und Ersatz von Systemen dürfen während der gesamten Umbaudauer die Anlagesicherheit nicht gefährden.

Für Erneuerungen an bestehenden Standorten erfolgt die Auslegung anhand derselben Kriterien wie bei neuen Standorten. Zu berücksichtigen ist dabei insbesondere:

- Zustand des bestehenden Erdungssystems insbesondere der Erder hinsichtlich dessen Weiterverwendung und Beeinträchtigung durch bauliche Eingriffe während der Erneuerung
- Beeinflussung der Bodeneigenschaften durch bauliche Eingriffe
- Erdschlussverhältnisse während der Erneuerung durch temporäre Netzzustände

Grundlage für jede Erneuerungs- bzw. Erweiterungsmassnahme ist die messtechnische Überprüfung des bestehenden Erdungssystems (in den meisten Fällen gibt es Erdungsmessberichte). Bei komplexen Umbauten mit baulichen Eingriffen in das bestehende Erdungssystem sind das bestehende wie die temporären Erdungssysteme bzw. -zustände ebenfalls durch rechnergestützte Simulationen zu dokumentieren.

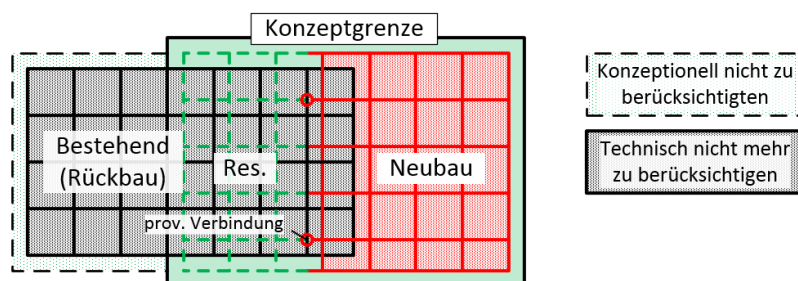


Abbildung 78: Auslegung für bestehende Standorte

Werden Anlagenteile oder Gebäude zurückgebaut ist deren Funktion im Erdungssystem der Gesamtanlage vorgängig abzuklären. Insbesondere Fundamente der von zurückgebauten Gebäuden sind nicht mehr zu berücksichtigen auch wenn diese im Boden verbleiben.

9 Kontrolle / Abnahme der Anlagenerdung

9.1 Kontrolle der Fundamenterdung

Während der Erstellung einer Anlagenerdung ist vor Eindeckung der Erdungen bzw. vor Einbetonieren von Bauwerks- und Fundamenterdern die richtige Ausführung zu kontrollieren. Die Kontrolle muss mit Bildern in einem Abnahmeprotokoll dokumentiert werden. Die Kontrolle wird durch den Baumeister durchgeführt und durch den Fachplaner abgenommen.

Vor der Montage der Aufputzerdung wird eine Abnahmemessung ($m\Omega$ -Messung) der Erdungseinlagen vom Fachplaner durchgeführt und dokumentiert. Als Richtwert sollte der Widerstandswert $\leq 50 m\Omega$ betragen.

9.2 Kontrolle Erdungsleiter

Der Fachplaner überprüft und dokumentiert die Ausführung der Aufputzerdungen und Erdungsleitungen auf die korrekte Ausführung. Insbesondere zu beachten ist die korrekte Dimensionierung des Erdungsmaterials und Erstellung der Erdungsverbindungen gemäss vorliegendem Standard.

Strichprobenartig sind Kontrollmessungen ($m\Omega$ -Messung) durchzuführen. Als Richtwert sollte der Widerstandswert von Anschlüssen der HS-Komponenten $\leq 10 m\Omega$ und von Potentialausgleichen $\leq 100 m\Omega$ betragen.

9.3 Kontrolle Blitzschutz

Nach Fertigstellung des Blitzschutzes muss die Funktion und Anordnung des äusseren Blitzschutzes kontrolliert und dokumentiert werden. Zusätzlich muss eine Abnahmemessung des gesamten Blitzschutzsystems (Fang- und Ableiteinrichtungen) entsprechend Blitzschutznorm [11, Teil 3] durchgeführt werden. Ggf. muss die Blitzschutzanlage zusätzlich von der Kantonalen Blitzschutzbehörde abgenommen werden. Dies ist durch den Flachplaner zu koordinieren.

9.4 Abnahme vor Inbetriebnahme

Bevor Teile des Erdungssystems betrieblich wirksam genutzt werden dürfen sind diese durch den Fachplaner zu überprüfen und abzunehmen. Mängel deren Behebung die Wirksamkeit des Erdungssystems oder die Personensicherheit beeinträchtigt sind vor der Inbetriebnahme zu beheben. Temporäre Erdungsleiter, die durch etappenweise Erneuerung notwendig werden sind vor der Inbetriebnahme optimal zu schützen und deutlich und dauerhaft zu kennzeichnen.

Abnahme erfolgt durch Kontrolle der Prüfprotokolle / Fotodokumentation und einer visuellen Kontrolle vor Ort.

9.5 Erdungsmessung

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme sind eine abschliessende Erdungskontrolle und eine Erdungsmessung durchgeführt. Die Erdungsmessung wird im Auftrag von Swissgrid durch einen neutralen Fachexperten durchgeführt (ist nicht zwingend der Fachplaner).

Erdungsmessungen dienen im Allgemeinen dem Nachweis der Personensicherheit bezüglich Berührungs- und Schrittspannungen im Falle von Erdfehlern.

Laut StV [1, Art. 61] sind messtechnische Kontrollen von Anlagenerdungen unter Anwendung der anerkannten Regeln der Technik durchzuführen.

Einer messtechnischen Kontrolle unterliegen

- Neu erstellte Anlagen
- Erweiterte Anlagen, wenn dadurch höhere maximale Erdfehlerströme zu erwarten sind
- Bei bestehenden Anlagenerdung ist der experimentelle Nachweis ihrer Wirksamkeit mindestens alle zehn Jahre zu wiederholen.

-
Die Vorgaben der Richtlinie [15, Abs. 12] sind für die Erdungsmessung zu berücksichtigen.

Erdungsmessungen in Unterwerken hat gemäss der Verfahrensanweisung und Checkliste *SG_CL_ZE_FE00.0001* zu erfolgen.

Erdungsmessungen von HS-Masten auf Leitungen hat gemäss der Verfahrensanweisung und Checkliste *SG_BL_ZE_UZ00.0002* zu erfolgen.

10 Dokumentation

In der Planungsphase (Bauprojekt) ist ein Erdungskonzept zu erstellen, welche folgendes beinhaltet:

- Beschreibung der Erdungsausführung (Auslegung, Dimensionierung, Berechnungen, Simulationen)
- Schematische Darstellung der Anlagenerdung und Verbindungen der einzelnen Anlagenteile (z.B. Oberflächenerder, Fundamenterder, Zaunerdung, Blitzschutz, eingehende Erdungsseile).

In der Ausführungsphase (Realisierung) sind folgende Detailpläne/Dokumente zu erstellen:

- Erdungskonzept (Überarbeitung der Grundlage von Bauprojekt)
- Anlagenerdungsplan (Übersichtsplan)
- Gebäudeerdungsplan (Fundamenterdung, Innere Erdung)
- Blitzschutz- und Fassadenerdungsplan
- Erdungsplan von Anlagenteilen (z.B. Transformatorzelle)
- Sämtliche Protokolle der Kontroll- und Abnahmemessungen gemäss Kap. 9