



**Baudirektion
Kanton Zürich**

**Tiefbauamt
Verkehrsmanagement**

Hochleistungsstrassennetz

Richtlinie
EMV Erdung Blitzschutz

Teil 2: Planungsrichtlinien: EMV Erdung Blitzschutz

Version: 1.0

Postfach
CH-8037 Zürich

CH-8320 Fehraltorf

Postfach
CH-5626 Hermetschwil

Inhaltsverzeichnis		Seite
2	Planungsrichtlinien: EMV Erdung Blitzschutz	1
2.1	Blitz- und Überspannungsschutz	1
2.1.1	Blitzschutz und EMV-Konzept / Vernetzung	1
2.1.2	Schutzzonen-Konzept	4
2.1.2.1	Blitzschutzzonen 0 bis 3	4
2.1.2.2	Schutzelemente für Blitz- und Überspannungsschutz	7
2.1.2.3	Selektivität des Blitz- und Überspannungsschutzes	7
2.1.2.4	Entkopplung des Blitz- und Überspannungsschutzes	8
2.1.2.5	Folgestrombegrenzung	8
2.1.2.6	Überwachung der Blitzstrom- und Überspannungsschutzelemente	9
2.1.3	Innerer Blitzschutz	9
2.1.3.1	Single Point Entry in Gebäude und Erdung der Gas-/Wasserversorgung	9
2.1.3.2	Überspannungsschutz elektrischer Leitungen bei Zonenschnittstellen	10
2.1.3.3	Potenzialausgleich	13
2.1.3.4	Kabelführungskonzept	14
2.1.3.5	Steigzonenanordnung	15
2.1.4	Äusserer Blitzschutz	17
2.2	Erdung und Potenzialausgleich	17
2.2.1	Konzept Erdung und Potenzialausgleich	17
2.2.2	Netzformen und Erdungssysteme	20
2.2.3	Potenzialausgleich im TN-S- und TN-C-Netz	22
2.2.4	Besondere Erdungsanlagen	22
2.2.5	Anbindung externer Anlagen	23
2.3	Verkabelung	23
2.3.1	Konzept Verkabelung	23
2.3.2	Reduktion der Einkopplung von Störgrössen auf Kabel	23
2.3.3	Anordnung, Installationen und Ordnungstrennung der Kabel	24
2.3.4	Übertragung analoger Signale	25
2.3.5	Erdung der Abschirmung	25
2.3.6	Kabelspezifikationen	25
2.3.7	Kabelabschirmung	26
2.3.7.1	Prinzip der Abschirmung	26
2.3.7.2	Schirmwirkung von Kabeln, Kopplungsimpedanz	26
2.3.7.3	Massnahmen bei ausgewählten Verbindungstypen	27
2.3.7.4	Anschluss der Abschirmung	29
2.3.7.5	1-seitiger oder 2-seitiger Anschluss der Abschirmung	29
2.3.8	Verdrillte Kabel (twisted pair)	30
2.4	Schaltgerätekombinationen SK	31
2.4.1	Trennung von Störsenken und Störquellen	31
2.4.2	Anschluss der Komponenten in der SK an den Potenzialausgleich	32

2.4.3	Verkabelung der Schaltgerätekombinationen, Ordnungstrennung	32
2.4.4	Anschluss der Kabelabschirmungen	33
2.5	USV-Anlagen	34
2.5.1	Konzepte von USV-Anlagen	34
2.5.2	USV-Konzept des TBA Kanton Zürich	37
2.5.3	Anschluss an den Potenzialausgleich	37
2.5.4	Überspannungsschutz bei USV	37
2.6	Filterung	38
2.6.1	Filterwahl	38
2.6.2	Einbauort, Filtermontage und -Verdrahtung	38
2.6.3	Kompensation von Spannungsversorgungssystemen	39
2.7	Elektrostatische Entladung (ESD)	40
2.7.1	Vermeidung von elektrostatischen Aufladungen	40
2.7.2	Klassifizierung und Ausstattung von Räumen gemäss SN 429001	40
2.7.3	Ableitfähigkeit von Bodenbelägen und Bodenplatten	41
2.7.4	Antistatische Doppelböden	42
2.8	Schutz vor andern Störgrössen	43
2.8.1	Nicht-ionisierende Strahlung	43
2.8.2	Drahtlose Kommunikation	45
2.8.3	Elektrische Schweissarbeiten	45
2.8.4	Eisenbahnen	45

Revisionen:

Status:	Datum:	Änderungsveranlassung
Version 1.0	26.06.2006	Erstausgabe

Copyright © Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt Verkehrsmanagement

Alle Rechte vorbehalten. Die Richtlinie darf weder gesamthaft noch teilweise ohne die schriftliche Genehmigung der Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt Verkehrsmanagement vervielfältigt werden.

2 PLANUNGSRICHTLINIEN: EMV ERDUNG BLITZSCHUTZ

2.1 Blitz- und Überspannungsschutz

2.1.1 Blitzschutz und EMV-Konzept / Vernetzung

Für die Sicherstellung der Elektromagnetischen Verträglichkeit der umfangreichen Elektromechanik im Umfeld von Hochleistungsstrassen ist ein integrales Schutzkonzept erforderlich. Dieses umfasst Massnahmen für

- Überspannungsschutz
- Inneren und Äusseren Blitzschutz und
- Elektromagnetische Verträglichkeit EMV.

Die starke Vernetzung der Schutzmassnahmen ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt. Dabei wird deutlich, dass der

- Erdung und dem Potenzialausgleich

bei der Mehrheit aller Massnahmen zentrale Bedeutung zukommt.

Jede elektrische Installation, Anlage oder jedes Gerät wird vorbeugend gegen Kurzschluss, Überlast und Fehlerströme geschützt. Mit diesen Richtlinien wird erreicht, dass auch der Schutz gegen Überspannungen sichergestellt wird.

Überspannungen entstehen nicht nur durch atmosphärische Entladungen, sondern auch durch Schaltvorgänge in Starkstromanlagen (galvanische, induktive, kapazitive Einkopplungen). In Folge solcher ‚transienter Überspannungen‘*, können Störungen und Schäden sowohl an elektronischen und Informationstechnischen Systemen aber auch bei elektromechanischen Installationen auftreten. Blitzschutz-, Überspannungsschutz- und EMV-Massnahmen erlauben einen wirksamen Schutz von Personen und Gütern vor den Auswirkungen von atmosphärischen Einwirkungen und Überspannungen.

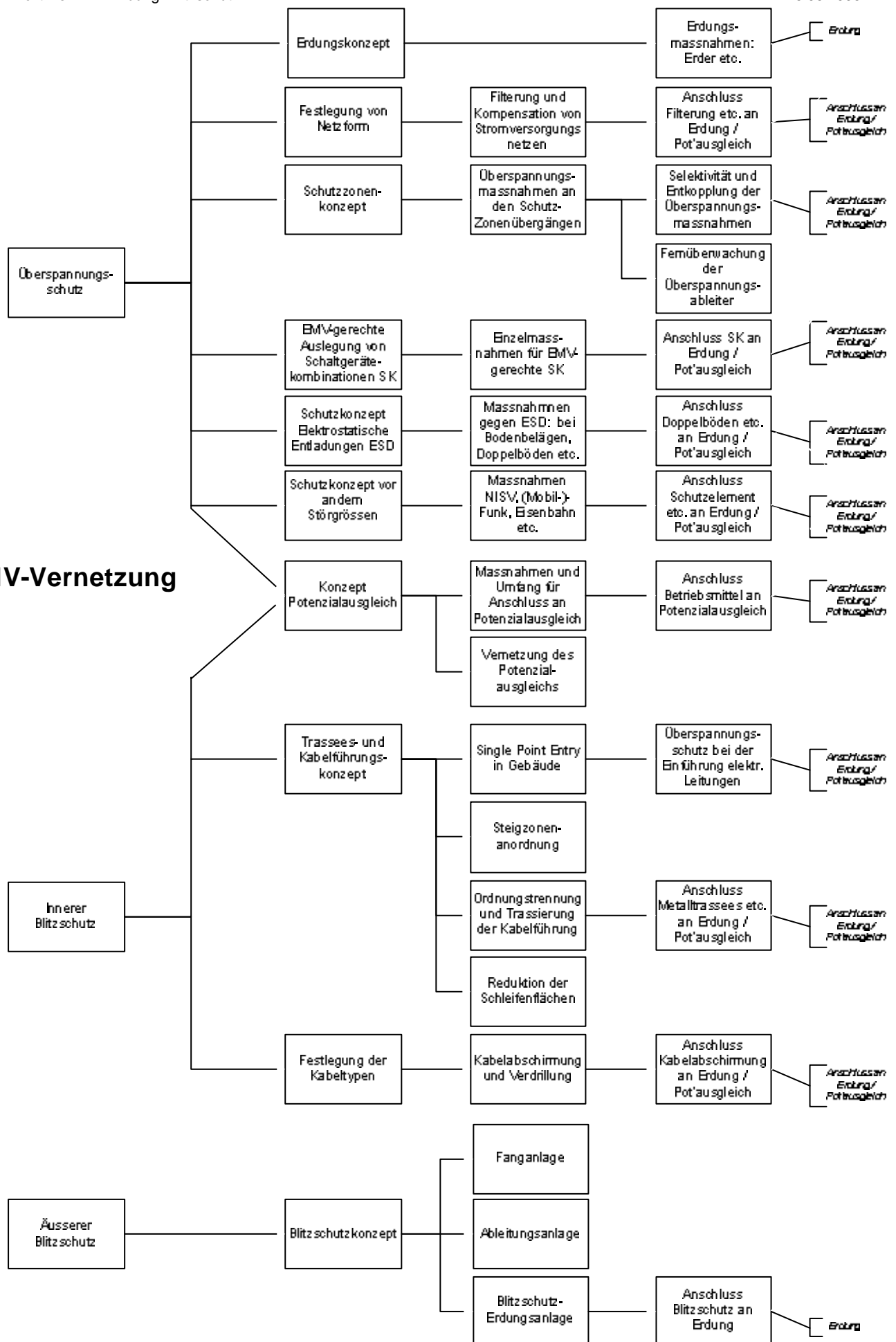
* Transiente Überspannungen (kurz Transiente) sind Spannungsspitzen, die durch Schalthandlungen in elektrischen Stromkreisen, bei Blitzeinwirkungen während Gewittern oder durch elektrostatische Entladungen hervorgerufen werden und für einen Zeitraum von Mikro- und Nanosekunden anstehen.

Die Schutzwirkung ist nur sichergestellt, wenn die Massnahmen integral und auf einander abgestimmt umgesetzt werden. Dazu gehören neben Erdung und Potenzialausgleich

- die Festlegung der Netzform und des Erdungssystems,
- das Blitzschutzzonenkonzept,
- die EMV-gerechte Auslegung von Schaltgerätekombinationen,
- der Schutz vor Elektrostatischen Entladungen,
- der Schutz vor andern Störgrössen,
- die Wahl der geeigneten Kabel, die EMV-konforme Trassees- und Kabelführung

- der Innere und Äussere Blitzschutz usw.
- der Überspannungsschutz

EMV-Vernetzung



2.1.2 Schutzzonen-Konzept

2.1.2.1 Blitzschutzzonen 0 bis 3

Ein ordnungsgemässes Überspannungs- und Blitzschutzkonzept basiert auf der Überlegung, dass die durch Blitzschlag entstehenden starken elektromagnetischen Felder und deren Wirkungen, durch definierte Schutzzonen stufenweise abgebaut werden:

- Äusserer Blitzschutz Zone 0
- Gebäude- und Raumschirmungen (Armierung) Zone 1/2
- Geräteschirmung (Metallgehäuse) Zone 3

Aufgabe des äusseren Blitzschutzes ist es, den Funkenkanal des Blitzes von brennbaren oder verletzbaren Strukturen fernzuhalten.

An den Schnittstellen zwischen den Schutzzonen 0 und 1 sind alle in das Gebäude eintretenden Leitungen in den Blitzschutz und Potenzialausgleich einzubeziehen.

Aktive Leiter von energie- und informationstechnischen Netzen werden über spezielle Blitzstromableiter in den Potenzialausgleich einbezogen.

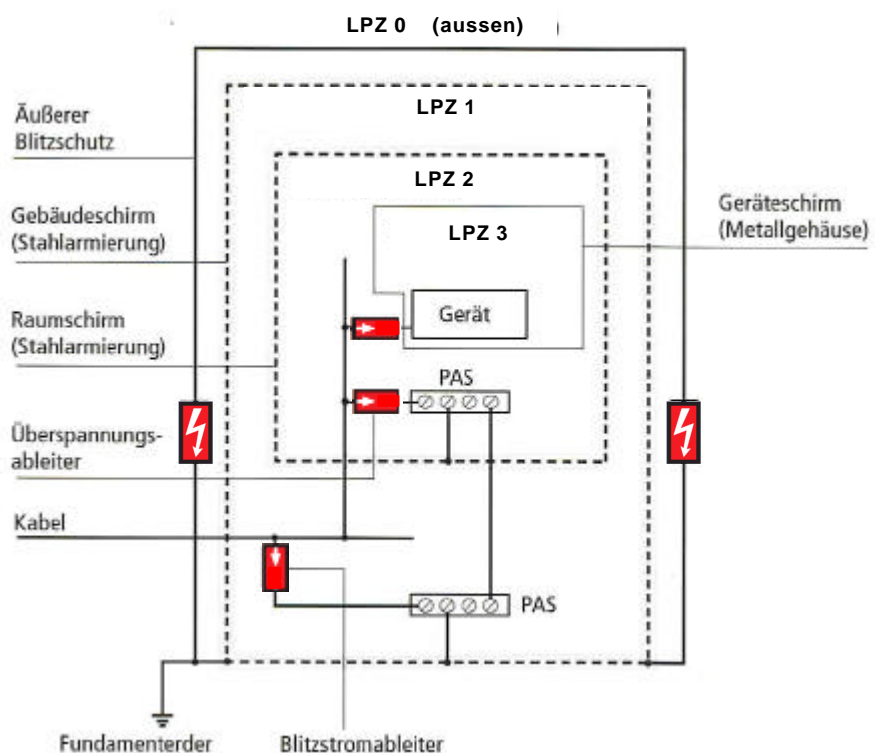
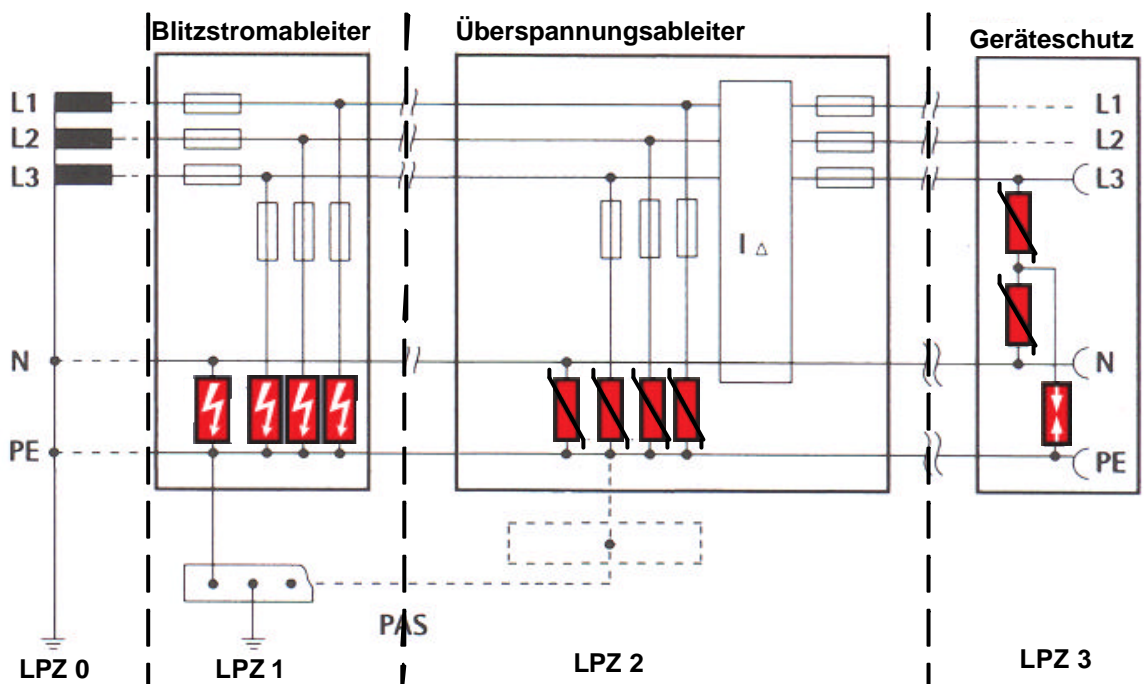
Zone		Beschrieb
LPZ 0/A	Blitzschutz	ausserhalb des Gebäudes; direkte Blitzeinwirkung; keine Abschirmung gegen LEMP (Blitzschutzzone), keine Abschirmung gegen das elektromagnetische Feld
LPZ 0/B	Blitzschutz	ausserhalb des Gebäudes; durch Fangeinrichtung gegen direkte Blitzeinwirkung geschützte Bereiche, keine Abschirmung gegen das elektromagnetische Feld
LPZ 0/C	Blitzschutz	ausserhalb des Gebäudes; gefährdet durch Impulsströme bis zum vollen Blitzstrom und durch das volle elektromagnetische Feld des Blitzes, Gefahr von Berührungs- und Schrittspannungen für Lebewesen. Definiert auf Erdniveau innerhalb einer Höhe von 3 m und einem Abstand von 3 m ausserhalb einer baulichen Anlage
LPZ 1	Blitzschutz	innerhalb des Gebäudes; energiereiche Transienten durch Schalthandlungen (SEMP) und Blitzteilströme, Abschirmung gegen das elektromagnetische Feld durch Gebäudeabschirmung
LPZ 2	Überspannungsschutz	innerhalb des Raumes; energieärmere Transienten durch Schalthandlungen (SEMP) und elektrostatische Entladungen (ESD), Abschirmung gegen das elektromagnetische Feld durch Raumschirmung
LPZ 3	Geräteschutz	innerhalb des Gerätes; kein Generieren von transienten Strömen oder Spannungen über die Störgrenzen hinaus, Abschirmung gegen das elektromagnetische Feld durch Geräteschirmung

Legende: siehe nächste Seite

Legende:

- | | | |
|-------|-----------------------------------|------------------------------|
| LPZ: | Lightning Protection Zone | = Blitzschutzzone |
| SEMP: | (switching electromagnetic pulse) | = Schalthandlung |
| ESD: | (electrostatic discharge) | = elektrostatische Entladung |
| LEMP: | (lightning electromagnetic pulse) | = Blitzentladung |

Prinzipschemata Blitzschutzzonen



2.1.2.2 Schutzelemente für Blitz- und Überspannungsschutz

Der Schutz vor den energiereichen Blitzströmen erfolgt durch Blitzstromableiter.

Technisch ausgereifte Überspannungsbegrenzer und -ableiter schützen Elektroinstallationen und elektrische Geräte zuverlässig vor direkten und indirekten Schäden.

Bei den Geräten, Gerätegruppen und Anlagen müssen alle ein- und ausgehenden Leitungen geschützt werden. Die Ausfallsignalisation von defekten Schutzelementen ist im Kapitel 2.1.2.6 „Überwachung von Blitzstrom- und Überspannungsschutzelementen“ beschrieben.

Besondere Aufmerksamkeit verlangt in diesen Anlagen der Schutz vor induzierten Schaltüberspannungen. Im Umfeld von Hochleistungstrassen müssen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten sehr lange Strecken überwunden werden. Obwohl die Versorgungsleitungen im Werkleitungskanal oder in Rohrblöcken ordnungsgemäss getrennt geführt werden, sind induzierte Überspannungen nicht zu vermeiden. Der umfassende Schutz der Geräte muss mit entsprechenden Massnahmen sichergestellt werden.

Es sind nur Schutzgeräte der Blitzschutzklasse 1 und 2 zugelassen.

2.1.2.3 Selektivität des Blitz- und Überspannungsschutzes

Die Erfahrung zeigt, dass sich ein **mehrstufiger, selektiv aufgebauter Netzschutz** bewährt. Die erforderlichen Massnahmen zum Schutz der Stromversorgung von Anlagen und Geräten gegen Überspannungen gliedern sich in folgende Stufen:

- Zone 0/A,B,C: Blitzstromableiter SPD Typ 1 (alt B-Ableiter)
- Zone 1 und 2: Überspannungsableiter SPD Typ 2 (alt C-Ableiter)
- Zone 3: Überspannungsschutz für Geräteschutz SPD Typ 3 (alt D-Ableiter)

Diese unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Höhe ihres Ableitvermögens und durch die Konzeption für verschiedene Einbauorte innerhalb der zu schützenden Anlage. Das Ableitvermögen sowie die erforderliche Spannungsbegrenzung werden von der Überspannungskategorie des Anlageteils bestimmt, in welchem der Ableiter eingesetzt wird.

Als Einbauorte für Überspannungsableiter gelten innerhalb der zu schützenden Anlage:

- die zentrale Netzeinspeisung bzw. Hauptverteilung
- Unterverteilung
- Geräteanschluss

Die erste Stufe des selektiven Netzüberspannungsschutzes erfordert den Einsatz von Blitzstromableitern (SPD Typ 1), die die sehr energiereichen Stromstösse beherrschen können.

Als zweite Stufe sind Überspannungsableiter in den Verteilungen (SPD Typ 2) einzusetzen.

Der Feinschutz ist als dritte Stufe (SPD Typ 3) unmittelbar vor den zu schützenden Geräten zu installieren. Ableiter mit verschiedenen Bauformen als Steckdose, Steckdosenadapter, Steckdosenleiste oder auf Schienen montierbare Module stehen handelsüblich von verschiedenen Firmen zur Verfügung. Die Notwendigkeit eines Feinschutzes wird durch den Systemlieferanten vorgegeben.

2.1.2.4 Entkopplung des Blitz- und Überspannungsschutzes

Bei der Installation des Netzüberspannungsschutzes ist darauf zu achten, dass die **Ableiter der verschiedenen Stufen voneinander entkoppelt** anzuordnen sind. Die Entkopplung lässt sich mit zwischengeschalteten Induktivitäten erreichen.

Dies wird erreicht durch:

- ausreichende Leitungslängen zwischen den verschiedenen Stufen. Als ausreichend gelten 10 m Leitungslänge zwischen erster und zweiter, 5 m Leitungslänge zwischen zweiter und dritter Schutzstufe.
- Sollte dies räumlich nicht möglich sein sind entsprechende Spulen als Entkopplungsmodule zwischen die Schutzstufen zu schalten.

Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von Kombiableitern, die keine Entkopplung mehr benötigen.

2.1.2.5 Folgestrombegrenzung

Über den reinen Schutz der Anlagen hinaus, ist die „Anlagenverfügbarkeit“ ein weiterer zu beachtender Faktor. Diese wird erreicht, wenn der Ableiter nach seinem Wirksamwerden wieder in den Originalzustand zurückkehrt und weiterhin funktionsfähig bleibt.

Die folgenden Bedingungen sind dazu gleichzeitig gefordert:

- Der Überspannungsschutz muss den Überspannungsschlag abfangen und unschädlich machen, ohne dass ein Schaden an der Anlage auftritt.
- Die Anlage muss ohne Unterbrechung in Betrieb bleiben.
- Der Überspannungsschutz muss aufrecht erhalten bleiben und auch den Folgestromschlag (die Folgestromschläge) sicher ableiten können. Dies muss gewährleistet sein, auch ohne dass das Montagepersonal einen Austausch der Bauteile vornimmt, was aufgrund der schnellen Folge oft nicht möglich wäre.
- Die Ableiter müssen ein Folgestromlöschvermögen von 50 kA aufweisen. Nach Möglichkeit sollte man Ableiter einbauen, die keinen vorgeschalteten Überstromunterbrecher mit Schmelzeinsatz benötigen.

Eine Möglichkeit diese Vorgaben zu erfüllen ist z.B. die Radax-Flow-Technologie*.

- Eine von der Firma DEHN entwickelte Technologie zur Aufrechterhaltung der Versorgung und des Überspannungsschutzes im Falle einer Auslösung.

2.1.2.6 Überwachung der Blitzstrom- und Überspannungsschutzelemente

Die Funktion von Schutzelementen wird zentral überwacht. Dazu werden alle nicht reversiblen Blitzstrom- und Überspannungsschutzelemente mit Meldekontakten ausgerüstet und über das Kommunikationsnetz auf den Bereichsrechner und weiter auf das ÜLS (Übergeordnetes Leitsystem des TBA Kanton Zürich) aufgeschaltet.

Es ist darauf zu achten, dass die Adern des Leitsystems oder der Steuerung nie parallel zu den Adern der zu schützenden Niederspannungsversorgung geführt werden.

Der Ausfall von Schutzelementen muss sowohl in der Schaltgerätekombination wie auch auf dem ÜLS signalisiert werden.

2.1.3 Innerer Blitzschutz

Der innere Blitzschutz soll die elektrischen und magnetischen Auswirkungen von Blitzströmen und Überspannungen innerhalb der Anlage reduzieren.

Der Innere Blitzschutz umfasst folgende Massnahmen:

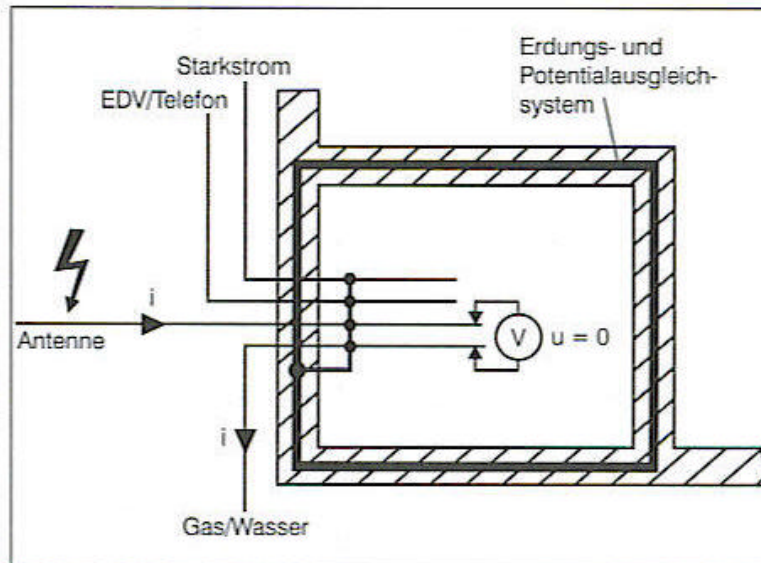
- Single Point Entry in Gebäude und Erdung der Gas- /Wasserversorgung
Siehe 2.1.3.1.
- Überspannungsschutz elektrischer Leitungen bei Zonenschnittstellen
Siehe 2.1.3.2. sowie Teil 3 Kapitel 3.7 und Teil 4 Kapitel 4.7
- Potenzialausgleich
Siehe 2.1.3.3 sowie Teil 3 Kapitel 3.1.5 und Teil 4 Kapitel 4.1.5 „Ausführung Erdung / Potenzialausgleich“
- Kabelführungskonzept
Siehe 2.1.3.4.
- Steigzonenanordnung
Siehe 2.1.3.5.

2.1.3.1 Single Point Entry in Gebäude und Erdung der Gas-/Wasserversorgung

Alle leitenden Verbindungen (Metallrohre, Kabelabschirmungen, elektrische Leitungen) müssen möglichst an der gleichen Stelle in das Gebäude eingeführt werden, um das Fliessen externer Blitzströme durch die Struktur und die elektrische Installation des Gebäudes zu verhindern.

Abweichungen von diesem Konzept des Single Point Entry müssen mit dem TBA-VM besprochen und vereinbart werden.

Prinzipskizze nächste Seite



So nahe wie möglich beim Eintrittspunkt wird die Hauptpotenzialausgleichschiene installiert, welche auf dem kürzestmöglichen Weg mit dem Fundamenteerde des Gebäudes verbunden wird. Alle in das Gebäude eingeführten leitenden Strukturen müssen mit der Hauptpotenzialausgleichschiene verbunden werden. Die Hauptpotenzialschiene ist aus messtechnischen Gründen isoliert zu montieren.

Sind metallene Rohrleitungen aus Korrosionsschutzgründen im Bereich der Gebäudeeinführung mit Isolierstücken oder Isolierrohren versehen, so ist nur ihre gebäudeinterne Seite mit der Erdung zu verbinden. Um Überschläge zu vermeiden, soll parallel zum Isolierstück eine Trennfunkstrecke eingebaut werden.

Zuständigkeit für Planung/Realisierung der Erdung der Wasserversorgung

Der Elektrofachplaner ist für Planung und Realisation des Potenzialausgleich-Anschlusses der Wasserversorgung zuständig. Er instruiert den zuständigen Planer der Wasserversorgung über die elektrischen Anforderungen an die isolierte Wasserrohreinführung.

2.1.3.2 Überspannungsschutz elektrischer Leitungen bei Zonenschnittstellen

Der Überspannungsschutz beginnt dort, wo alle Kabel von aussen in das Bauwerk (z.B. den Werkleitungskanal oder die Zentrale) eingeführt werden. Es sind Blitzstromableiter Typ 1 einzubauen.

Der örtliche Potenzialausgleich ist zudem an jeder Zonenschnittstelle innerhalb des Gebäudes durchzuführen. An diesen Stellen werden Überspannungsableiter eingebaut.

Spannungsführende Leiter wie Polleiter und nicht der Erdung dienende Sternpunktverbindungen, sollen über Überspannungsableiter an die Erdung angeschlossen werden.

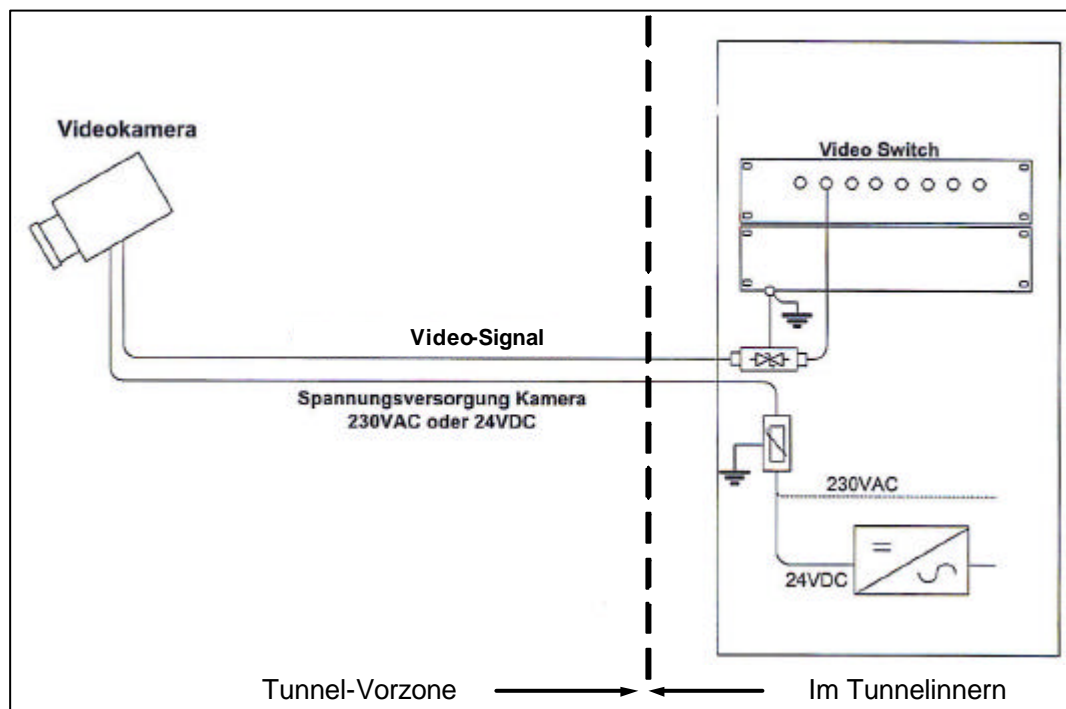
./.

- **Lichtwellenleiter**

- Lichtwellenleiter sind gegen elektromagnetische Einwirkungen unempfindlich, jedoch sind für die Schnittstellenwandler entsprechende Überspannungsschutzeinrichtungen vorzusehen.
Bei der Einführung von Lichtwellenleitern mit metallischer Zugarmierung oder metallischem Nagetierschutz sind diese ebenfalls so kurz wie möglich mit dem Potenzialausgleich zu verbinden.

- **Signal- und Datenkabel**

- Die Kabelschirme müssen beim Eintritt in das Gebäude mit der Potenzialausgleichsschiene verbunden werden. Der Schirmanschluss muss über Schirmanschlussklemme erfolgen.
- Ungeschirmte Kabel sind am Eintrittspunkt des Gebäudes mit Blitzstromableitern Typ 1 zu versehen.



- **Telekommunikationsleitungen**

Kupferleitungen:

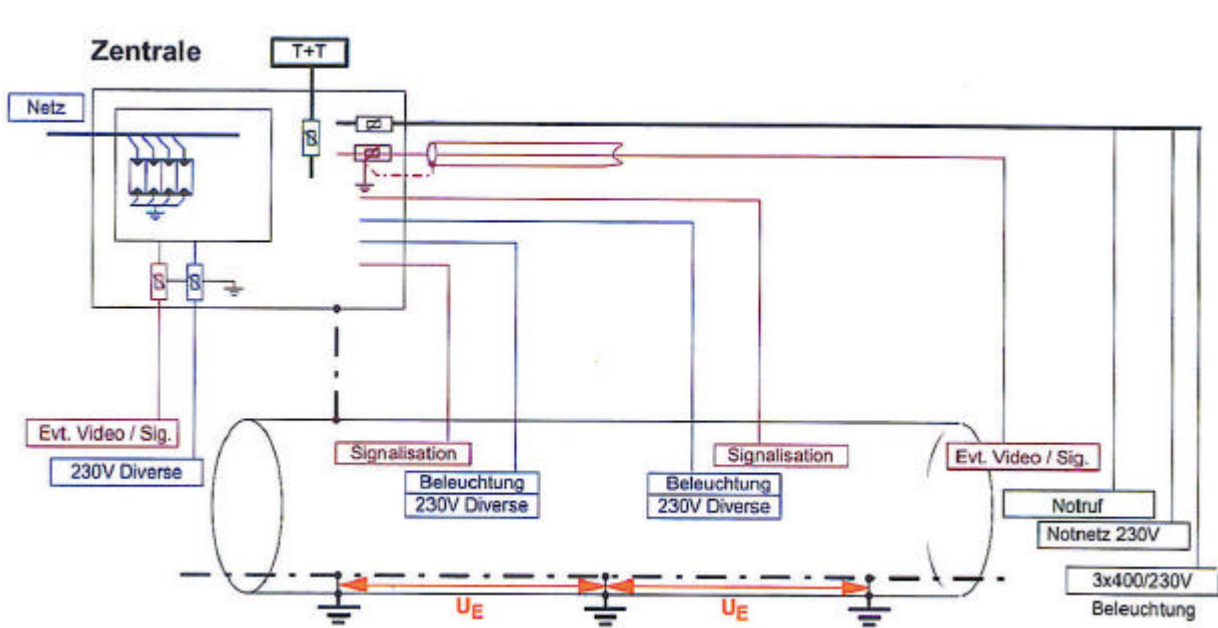
- Telekommunikationsleitungen sind üblicherweise mit Gasableitern zu schützen.
- Der Überspannungsschutz bei der Einführung von Telekommunikationsleitungen richtet sich nach den Richtlinien / Vorschriften der Netzbetreiber / Provider. Diese führen diese Massnahmen bei ihren Kunden in Eigenverantwortung selbst aus.

Lichtwellenleiter:

- siehe oben

- **Energiekabel**

- Die Armierung unterirdisch verlegter Kabel muss beim Eintritt ins Gebäude mit der Potenzialausgleichsschiene verbunden werden.
- Energiekabel die zur Versorgung externer Verbraucher aus dem Gebäude herausgeführt werden (z.B. Aussenbeleuchtung), sind mit Blitzstromableitern Typ 1 zu versehen.

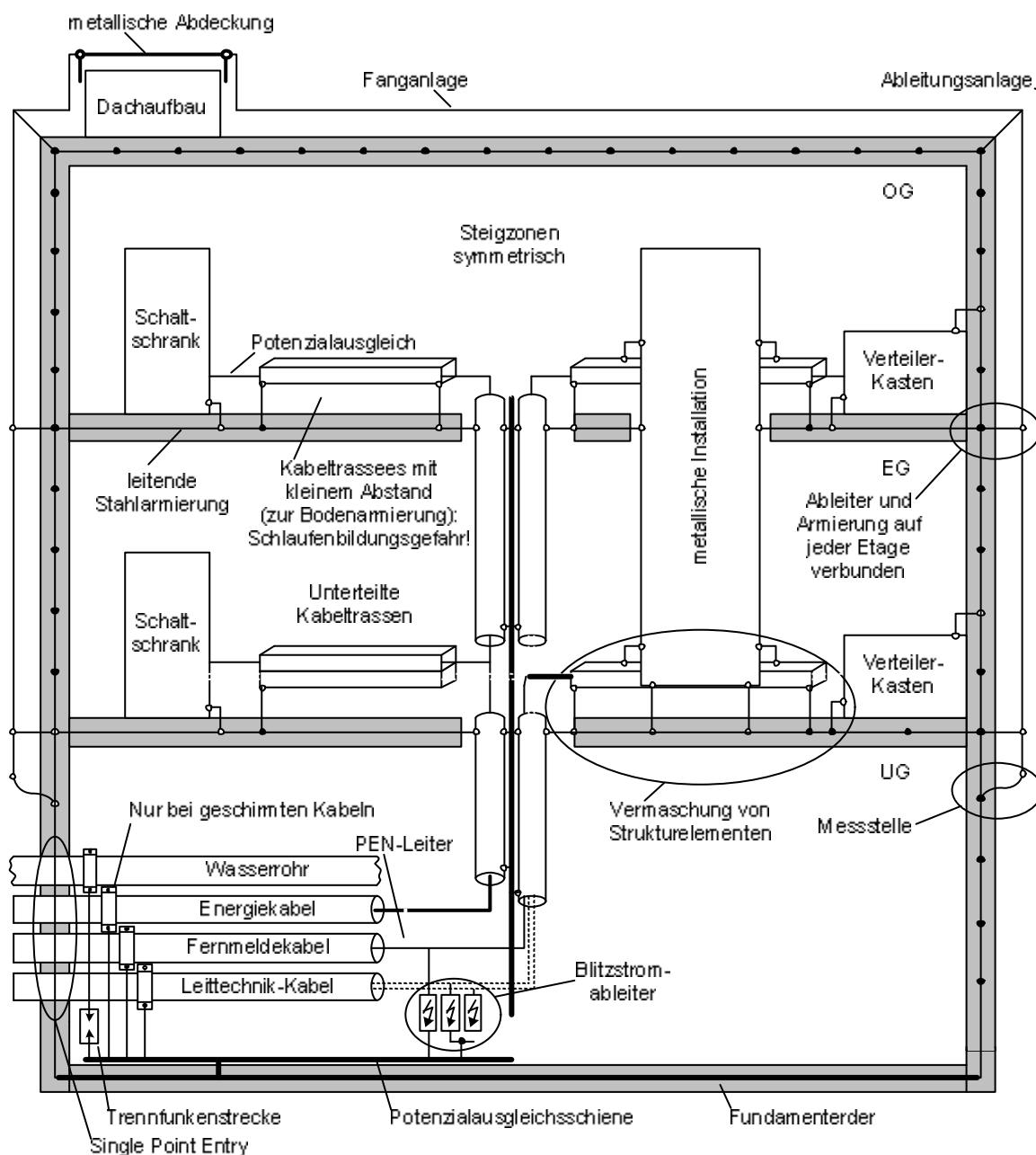


2.1.3.3 Potenzialausgleich

Der Potenzialausgleich wird durch die leitende Verbindung aller metallischen Teile innerhalb des Gebäudes gebildet (Rohrleitungen, metallische Strukturen, Potenzialausgleichsnetz usw.). Auf jedem Geschoss müssen Verbindungen zum Äusseren Blitzschutz (Ableitungsanlage) und zur Gebäudearmierung hergestellt werden.

Der Schutzleiter der Energieversorgung wird auf jeder Etage mit dem Potenzialausgleich und der Gebäudebewehrung verbunden.

Die Abbildung unten fasst alle Massnahmen zur Ausführung des Potenzialausgleichs zusammen:



- Ausführungsdetails siehe Teil 3 Kapitel 3.1.5 und Teil 4 Kapitel 4.1.5 „Ausführung Erdung / Potenzialausgleich“

2.1.3.4 Kabelführungskonzept

Die Struktur der Energieversorgungs- und Signalkabel ist baumförmig anzulegen. Schleifen müssen vermieden werden, um die Einkopplung von Blitzströmen zu reduzieren.

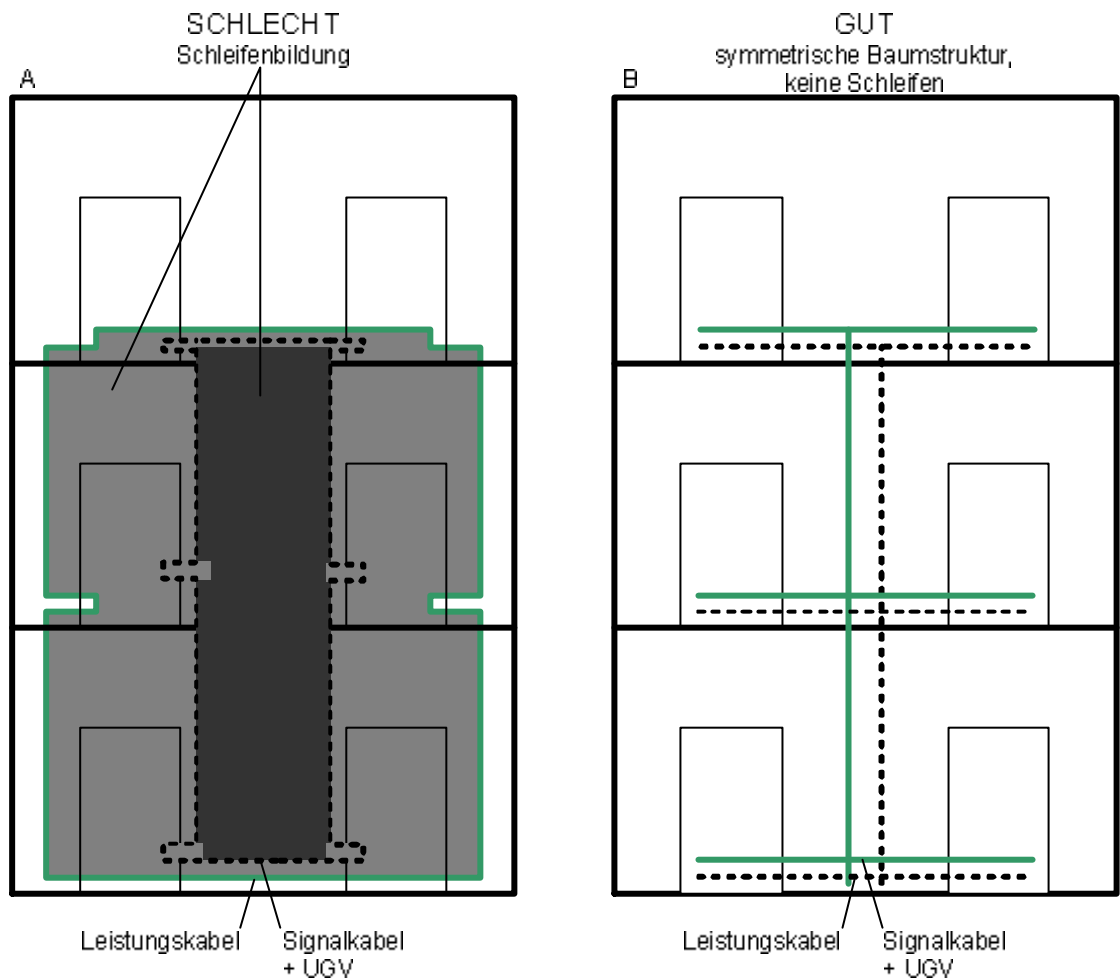


Abbildung: baumförmige Kabelführung innerhalb von Gebäuden

Signal- und Energiekabel, die über mehr als eine Etage steigen, müssen in metallischen Kabelkanälen oder Rohren geführt werden. Diese sind auf jeder Etage mit dem Potenzialausgleichssystem zu verbinden.

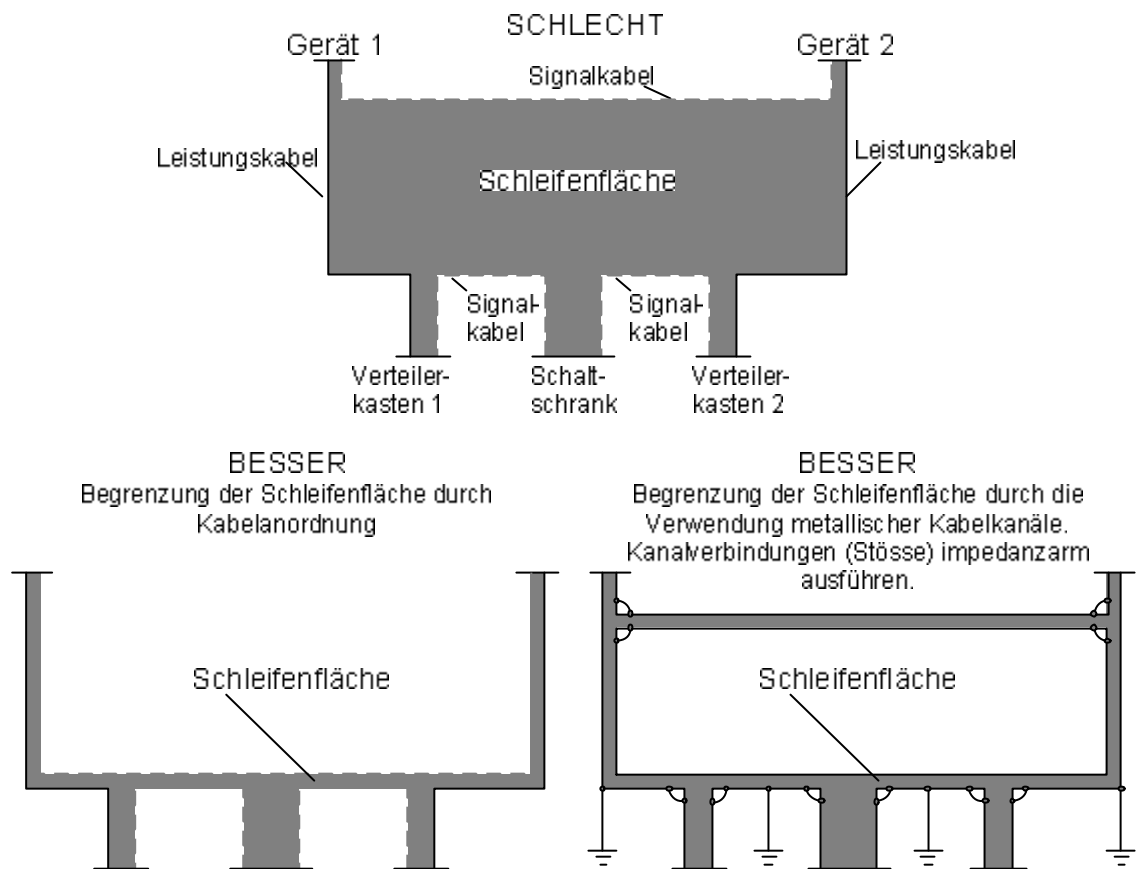


Abbildung: Reduzierung der Schleifenflächen

2.1.3.5 Steigzonenanordnung

Steigzonen nicht an Aussenwänden anordnen.

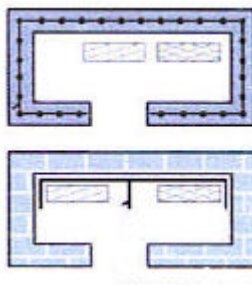
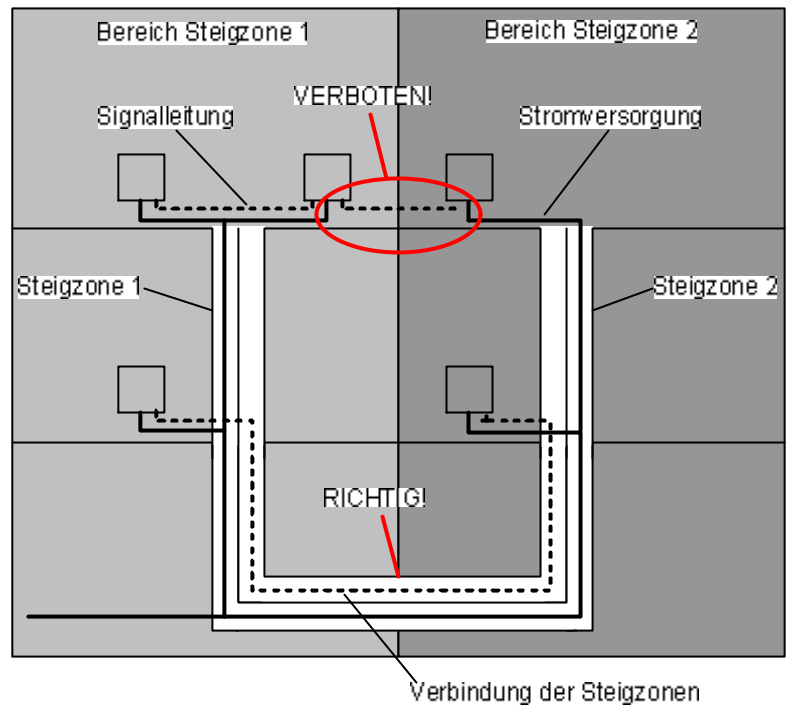
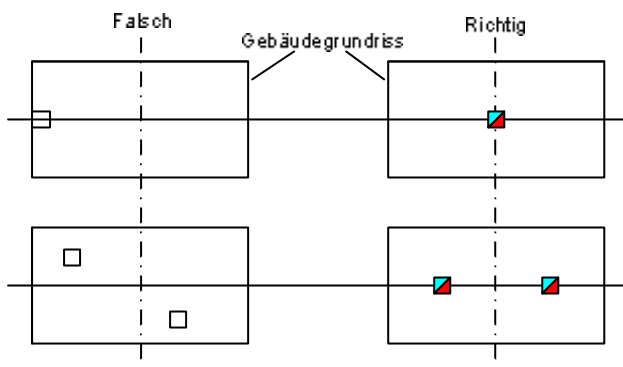
Die Anordnung der Steigzonen muss im Gebäudegrundriss symmetrisch gewählt werden. Dadurch ergibt sich, aufgrund der ebenfalls symmetrisch angeordneten Ableitungsanlage, eine maximale Kompensation der durch die Blitzströme induzierten Felder und die grösstmögliche Entfernung zur Ableitungsanlage.

Die Massnahmen zum Potenzialausgleich gemäss Kapitel 2.1.3.3 „Potenzialausgleich“ ist einzuhalten.

Die Kabelführung gemäss Kapitel 2.1.3.4 „Kabelführungskonzept“ ist einzuhalten.

Die Ordnungstrennung gemäss Kapitel 2.3.3 „Anordnung, Installation und Ordnungstrennung der Kabel“ ist einzuhalten.

Abbildung siehe nächste Seite.



Armierter Baukörper

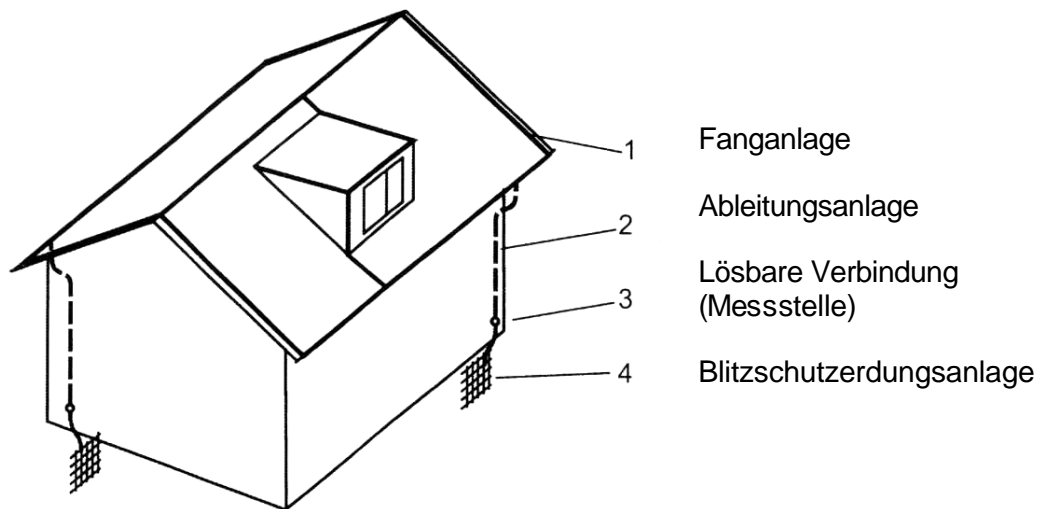
Baukörper ohne Armierung:
grossflächiger metallischer Kabelkanal

Gibt es mehr als eine Steigzone, so muss auf jeder Etage genau abgegrenzt werden, welcher Bereich durch welche Steigzone versorgt wird. Dies geschieht am besten durch natürliche Grenzen, wie Wände etc.

Weitere Ausführungsdetails siehe Teil 3 und Teil 4 dieser Richtlinie.

2.1.4 Äusserer Blitzschutz

Die Hauptelemente des Äusseren Blitzschutzes sind



Die Planung der Blitzschutzanlagen gehört zum Mandat des Elektrofachplaners. Abnahmen und periodische Prüfungen werden im Kanton Zürich durch die Feuerpolizei respektive durch die Gebäudeversicherung und deren Blitzschutzaufseher vorgenommen. Gebietsaufteilung der Blitzschutzaufseher: siehe Teil 5 „Beilagen“.

Die Planung und Ausführung des Äusseren Blitzschutzes müssen konform zu den Leitsätzen des SEV 4022 "Blitzschutzanlagen" sein.

2.2 Erdung und Potenzialausgleich

2.2.1 Konzept Erdung und Potenzialausgleich

Um das Schutzziel mit maximal wirksamen und trotzdem praktikablen Massnahmen zu erreichen, sieht das hier beschriebene Konzept eine durchgängige Lösung für grossflächige Bereiche von Hochleistungsstrassen vor. Dabei werden die offenen Strassenabschnitte zusammen mit Bauwerken wie Brücken und Tunnel bezüglich Erdung und Potenzialausgleich als eine Einheit betrachtet.

Einbezogen werden auch alle umbauten Räume, insbesondere die Lüftungs- bzw. Steuerzentralen im Portal- und im Untertagbereich von Tunnels, die Tunnelröhren mit ihren Querverbindungen für Flucht- und Rettungszwecke, die SOS- und Hydrantennischen, die Werkleitungskanäle wie auch die Brückenkasten. Auf offenen Strassenabschnitten wird der Potenzialausgleich weitergeführt und verbindet sämtliche grossen Schächte und erschliesst mit den die Fahrbahn querenden Rohrblocksystemen Anlageteile wie Hauptschächte, Verteilkabinen, Signalbrücken, Lichtmasten usw. auf allen Fahrbahnseiten.

In der Regel sind alle Objekte des Untertagebaus wegen ihrer Wasser-Abdichtungs-
vorkehrungen gegenüber dem Erdreich als galvanisch isoliert zu betrachten.
Die effektiven Erdverbindungen erfolgen in den Tunnel-Portalzonen in Form von
Fundamenterdern und zwar bei den jeweiligen Zentralengebäuden. Entlang der
Trassees wird eine erdungsorientierte Längsverbinding mittels je einem Kupfer-
erdseil pro Fahrbahn verlegt.

Bei den offenen Strassenabschnitten bilden die im Erdreich eingebetteten Bänder-
der bei den Hauptrohrblöcken zusammen mit den parallel dazu verlegten Erdleitern
in den Rohrblöcken die Erdverbinding.

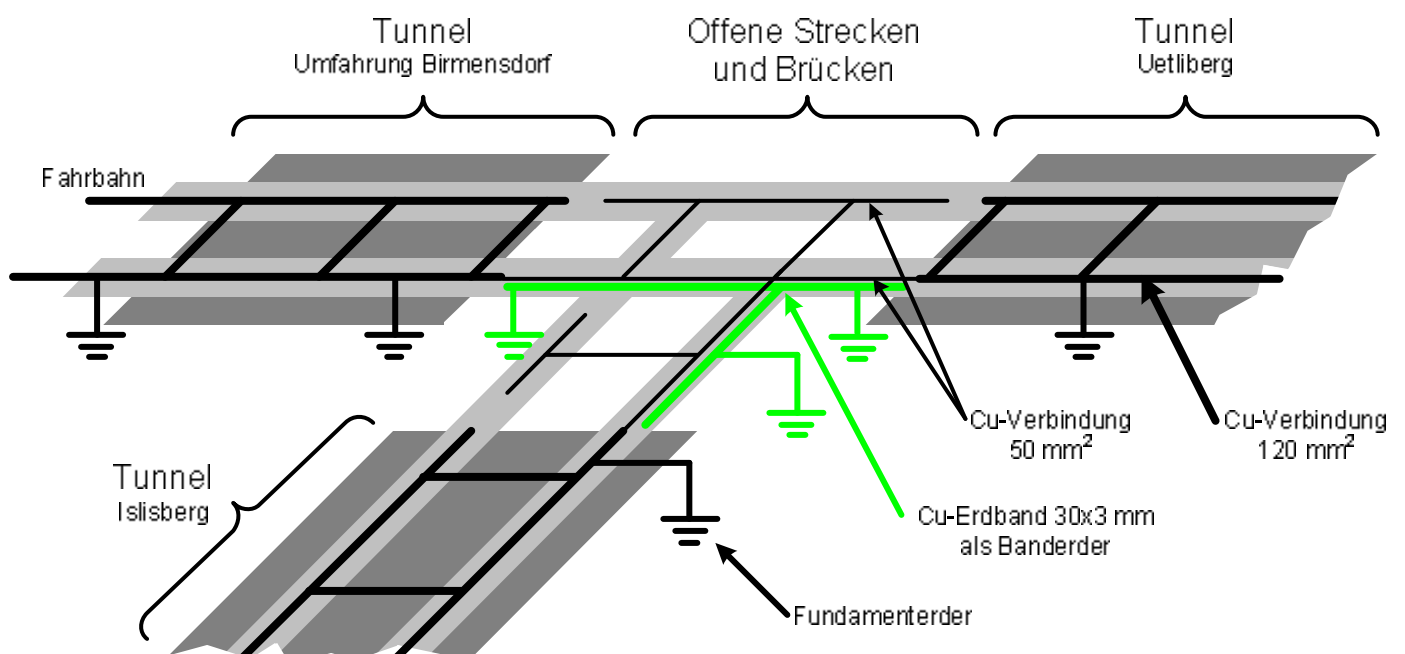
Die Vernetzung des Potenzialausgleichs wird durch den Elektrofachplaner konzi-
piert. Das Konzept und die Ausführungspläne sind dem TBA-VM zur Genehmi-
gung vorzulegen. Es muss eine möglichst hohe Vermaschungsdichte erreicht
werden.

Jeder Querschlag zwischen den Tunnelröhren ist zur Vernetzung der Hauptpoten-
zialausgleichsleiter in den Werkleitungskanälen der beiden Fahrrichtungen zu
verwenden. Dies gilt ebenso bei Rohrblöcken, die in Tunnels und auf der offenen
Strecke die Fahrbahn unterqueren.

Ca. alle 140 m ist gemäss SIA-Tunnelnormen zudem ein Rundschlag vorzusehen,
bei dem der Potenzialausgleich ausgehend vom Hauptpotenzialausgleichsleiter im
Werkleitungskanal rund um das Tunnelgewölbe und wieder zurück in den Werklei-
tungskanal geführt wird. Dadurch wird der Anschluss aller Appara-
te/Ausrüstungen/Armaturen im Tunnelgewölbe an den Potenzialausgleich sicher-
gestellt.

Zur korrekten Umsetzung des Konzepts für Erdung und Potenzialausgleich sind
bereits während der Bauphase die entsprechenden Massnahmen zu treffen und
auch laufend zu kontrollieren.

Prinzip-Darstellung des Erdungskonzepts am Beispiel der Westumfahrung Zürich
N4/N20:



Für Messzwecke werden an bestimmten Stellen in Bauwerken, Tunnels und Brücken lösbare Verbindungen zwischen der Erdung und dem Potentialausgleich vorgesehen. Auf offenen Strassenabschnitten sind in den Hauptschächten des Haupt- und Nebenrohrblockes lösbare Verbindungen vorzusehen. Dadurch wird eine vollständige Trennung ermöglicht, womit die Voraussetzungen für eine Kontrollmessung des Erdwiderstandes oder einer Messung eventueller Erdausgleichsströme erfüllt sind. Diese Messpunkte sind auch auf den Ausführungsplänen anzugeben.

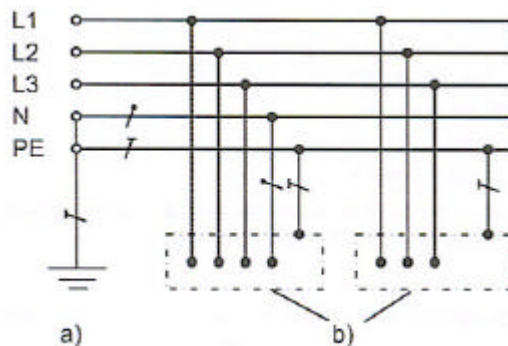
2.2.2 Netzformen und Erdungssysteme

Übersicht aller definierten Erdungssysteme / Netzformen

(Aufstellung über alte und neue Erdungssymbole: Siehe Teil 5 „Beilagen“)

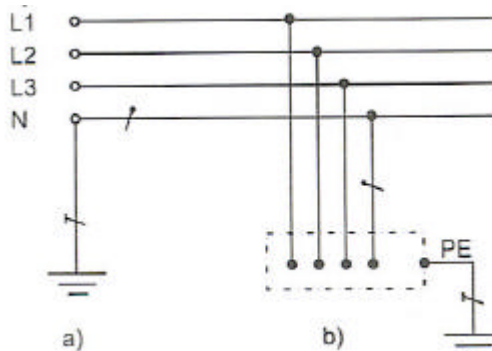
TN – System

In TN-Systemen ist *ein* Punkt direkt geerdet, die Körper der elektrischen Anlage sind über Schutzleiter mit diesem Punkt verbunden.



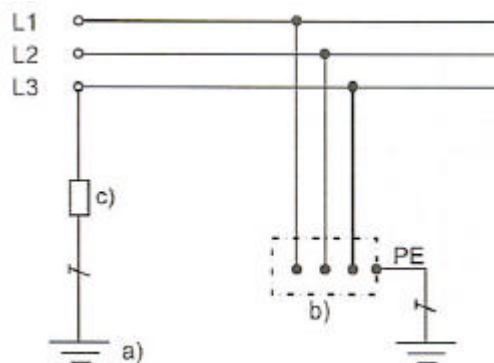
TT – System

In TT-Systemen ist *ein* Punkt direkt geerdet. Die Körper der elektrischen Anlage sind mit Erden verbunden, die elektrisch vom Erder für die Erdung des Systems unabhängig sind.



IT – System

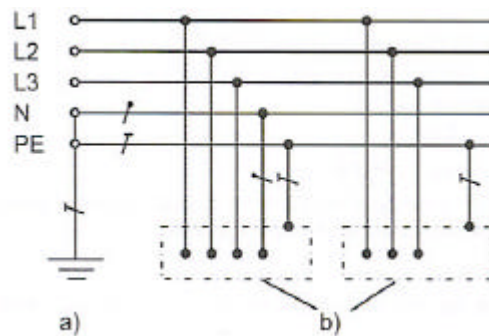
In IT-Systemen sind alle aktiven Teile von Erde getrennt oder ein Punkt ist über eine Impedanz mit Erde verbunden. Die Körper der elektrischen Anlage sind einzeln oder gemeinsam geerdet oder mit der Erdung des Systems verbunden.



Legende: a: Erder b: Körper

TN - S

TN-S-System: Im gesamten System existiert ein getrennter Schutzleiter

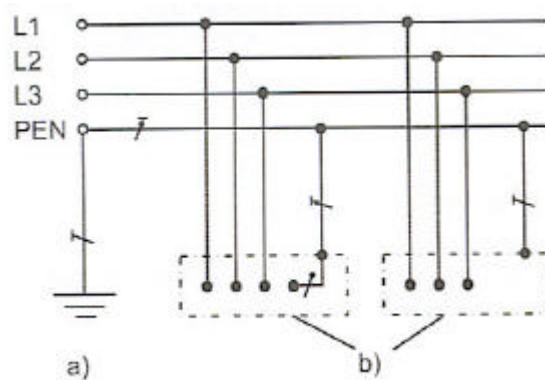


Für Neuinstallationen ist ein TN-S Netz vorzusehen.

Schutz und Neutraleiter sind getrennt zu führen, so dass auch bei beidseitig angeschlossenen Kabelschirmen keine Ausgleichsströme fließen.

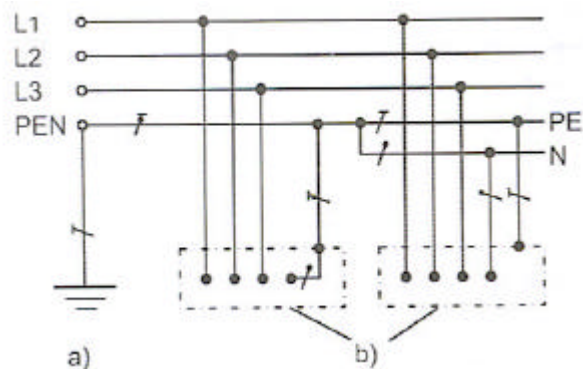
TN - C

TN-C-System: Im gesamten System sind die Funktionen des Neutral- und Schutzleiters in einem einzigen Leiter kombiniert



TN - C - S

TN-C-S System: In einem Teil des Systems sind die Funktionen des Neutral- und Schutzleiters in einem einzigen Leiter kombiniert



Legende: a: Erder b: Körper c: Impedanz

2.2.3 Potenzialausgleich im TN-S- und TN-C-Netz

Zur Gewährleistung des Potenzialausgleichs sind innerhalb eines Gebäudes alle leitfähigen Teile elektrisch leitend miteinander und mit der Erde zu verbinden.

Beim TN-S Netz kann die Verbindung der metallischen Kabelkanäle problemlos vorgenommen werden. Ausgleichströme über metallische Installationen sind nicht möglich.

Im TN-C Netz können Ausgleichströme über den PEN-Leiter und damit auch über die Kabelkanäle fließen.

2.2.4 Besondere Erdungsanlagen

- Sondererdung Niederspannungsanlagen: Die Sondererdung ist eine Erdung deren Erder von denjenigen anderer Erdungen so weit entfernt sind, dass sie von diesen nur unwesentlich beeinflusst werden. Es ist dabei zu beachten, dass diese Sondererdungen von der Gebäudeerde isoliert aufgebaut werden (siehe StV Art. 57 Abs.2).
Ist der Abstand zwischen Anlageteilen, besonderen Erdungsanlagen und Normalerde kleiner als 1.75 m, sind Massnahmen zu ergreifen damit die beiden Potentiale nicht gleichzeitig berührt werden können.
- Anlagenerdung Hochspannungsanlagen:
Die Anlagenerdung richtet sich nach den Regeln des SEV „Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen“
- Systemerdung Fernmeldeanlagen:
Die Richtlinien der SWISSCOM sind dem aktuellen Stand der Technik angepasst. Die Richtlinien der SWISSCOM und anderer Netzbetreiber sind vorbehaltlos für die Projektierung der Fernmeldeanlagen zu verwenden. Entsprechend den Richtlinien wird für die Fernmeldeeinrichtungen eine separate Systemerde aufgebaut. Die Systemerde ist von der Gebäudeerde isoliert aufgebaut und nur an einem einzigen Punkt, dem zentralen Erdungspunkt (ZE), mit der Potenzialausgleichsschiene des Gebäudes verbunden.
- Systemerdung Mess-, Steuer-, Regelsysteme (MSR):
In den VDI/VDE-Richtlinien 3551 ist der Aufbau des Erdungssystems dargestellt. Der Vorschlag in den Richtlinien beruht auf einer konsequenten Trennung der folgenden drei gegeneinander isolierten Erdsysteme:
 1. Schutzerde
 2. Schirmerde
 3. Elektronikerde

Die Elektronikerde (Systemerde) wird dabei nur an einer einzigen Stelle (Potentialausgleichsschiene Gebäude) mit dem Gebäude-Potentialausgleich verbunden. Die Elektronikerde wird ab diesem Punkt komplett isoliert zur Schutzerde aufgebaut.
- Erdung von EDV- und Spezialanlagen: Die Erdung von EDV- und Spezialanlagen muss durch die betreffenden Systemlieferanten definiert werden.

2.2.5 Anbindung externer Anlagen

Installationen und Anlagen von Systemlieferanten sind in das vorhandene Blitz- und Überspannungskonzept zu integrieren. Für die Anbindung steht der bauseitige Potenzialausgleich zur Verfügung. Für die eventuell erforderliche Errichtung einer Systemerde ist der System- resp. Anlagenlieferant zuständig.

Die Anbindung von Antennenanlagen ist im Teil 3 Kapitel 3.8.1 beschrieben.

2.3 Verkabelung

2.3.1 Konzept Verkabelung

Die wichtigsten Aspekte für das Konzept der Verkabelung sind:

- Trennung verschiedener Verbindungstypen (Leistungskabel, MSR-Kabel).
Siehe Kapitel 2.3.3 „Anordnung, Installation und Ordnungstrennung der Kabel“
- Symmetrische Steigzonenanordnung und Signalverkabelung.
Siehe Kapitel 2.1.3.5 „Steigzonenanordnung“.
- Reduktion der Schleifenflächen (Verlegungswege, metallische Kabelkanäle).
Siehe Kapitel 2.1.3.4 „Kabelführungskonzept“.
- Aufschaltung der Einrichtungen und Geräte sowie der Schaltgerätekombinationen auf den Potenzialausgleich.
Siehe Kapitel 2.1.3.3 „Potenzialausgleich“.
- Richtiger Anschluss der Kabelabschirmungen.
Siehe Kapitel 2.3.7 „Kabelabschirmung“.
- Richtiger Anschluss der Filter.
Siehe Kapitel 2.6 „Filterung“

2.3.2 Reduktion der Einkopplung von Störgrössen auf Kabel

Die Einkoppelung von Störgrössen kann durch folgende Massnahmen reduziert werden:

- Trennung von störungsbehafteten und störungsempfindlichen Kabeln d.h. Führung der Kabel in getrennten Kabelkanälen.
Siehe Kapitel 2.3.3 „Anordnung, Installationen und Ordnungstrennung der Kabel“
- Bei empfindlichen Signalen symmetrische Signalübertragung wählen.
Siehe Kapitel 2.3.7.3 „Massnahmen bei ausgewählten Verbindungstypen“
- Abschirmung empfindlicher Signale sowie derjenigen, die mit einem hohen Störpegel behaftet sind.
Siehe Kapitel 2.3.7 „Kabelabschirmung“
- Kreuzung unterschiedlicher Verbindungstypen im rechten Winkel (90°)
- Reduktion der Schleifenflächen.
Siehe Kapitel 2.1.3.4 „Kabelführungskonzept“.

2.3.3 Anordnung, Installationen und Ordnungstrennung der Kabel

Anordnung und Installation der Kabel

Es sind metallische Kabelkanäle zu verwenden. Die besten Eigenschaften haben Kabelpritschen, die auf drei Seiten mit einem Blech abgeschlossen sind. Die Kabelkanäle sind mit dem Potenzialausgleich zu verbinden. Die Ausführung der Kabeltrassees und deren Einbezug in den Potenzialausgleich sind im Detail im Teil 3 „Ausführungsrichtlinien Tunnel“ und Teil 4 „Ausführungsrichtlinien offene Strecken und Brücken“ beschrieben.

Die ausnahmsweise Verwendung von Glasfaserkanälen muss durch das TBA genehmigt werden. Bei diesen Kanälen muss für eine wirksame Abschirmung im Minimum ein Metallband oder ein Bandgeflecht von mindestens 75 mm² auf dem Boden der Kanäle mitgeführt werden. Der Einbezug dieses Erdungsleiters in den Potenzialausgleich ist sinngemäss gleich auszuführen, wie dies bei den metallischen Kabelkanälen in den Ausführungsrichtlinien Teil 3 und 4 definiert ist.

Ordnungstrennung

Die Kabel von Hochleistungsstrassen sind in nachstehende Spannungsebenen einzuteilen und, wenn immer möglich, auf separaten Kabelpritschen und bei Rohrbündeln oder -Blöcken in separaten Rohren zu verlegen:

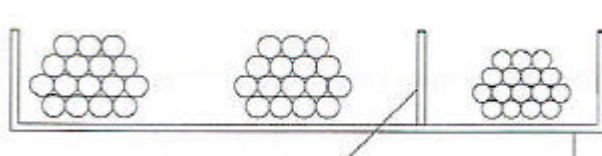
- Lichtwellenleiter (faseroptische / fiberoptische Kabel)
- Signal-, Steuer- und Messwertkabel 0 – 50 V (Kleinspannung)
- Niederspannungs-Kabel 50 – 1000 V
- USV- Speisekabel 50 – 1000 V
- Mittelspannungs-Kabel 1 – 50 kV
- Hochspannungs-Kabel 50 – 150 kV
- Höchstspannungs-Kabel 150 – 400 kV

Die Zuteilung der Pritschen bzw. Rohre erfolgt durch den Fachplaner.

Die Vorteile der elektrisch nicht beeinflussbaren faseroptischen Kabel sind auszunützen.

Die Ausführungsdetails für die Ordnungstrennung bei der Kabelverlegung finden sich im Teil 3 Kapitel 3.3.1 „Ordnungstrennung“.

Für Leistungs- und Signalkabel sind separate Kabelpritschen zu verwenden.



Ist dies ausnahmsweise nicht möglich, werden Kabelpritschen mit einem ungelochten metallenen Trennsteg verwendet, der

grossflächig leitend mit dem Trassee verbunden ist.

Innerhalb jeder Steigzone müssen getrennte Bereiche für Leistungskabel und EMV-empfindliche Signalkabel (wie 0-10V-Leitungen, Pt100, digitale Signalleitungen (typ. 24VDC) etc.) geschaffen werden. Abstand Steigzone Leistungskabel zu Steigzone Signalkabel min. 0.3 m max. 2 m. Siehe auch Teil 3 Kapitel 3.3.7.

2.3.4 Übertragung analoger Signale

Grundsätzlich **bestimmt der Systemlieferant**, wie die analogen Signale „seines“ Systems zu übertragen sind. Wenn keine Angaben gemacht sind, ist von Fall zu Fall mit dem Systemlieferanten abzuklären, wie die Signalübertragung auszuführen ist. Erst wenn diese Abklärungen nicht gelingen, muss nach folgenden Grundsätzen verkabelt werden:

Wegen der höheren Störsicherheit wird 0-20 mA- resp. 4-20 mA-Stromschlaufen der Vorzug vor 0-10 V-Verbindungen gegeben.

Die Stromschlaufen werden als symmetrische Übertragung betrachtet. (Siehe dazu Kapitel 2.3.7.3. „Massnahmen bei ausgewählten Verbindungstypen“). Das bedeutet, dass Plus- und Minusleiter im gleichen Kabel geführt werden. Für jedes Signal ist ein verdrehtes Paar zu verwenden.

Bei heiklen Messsignalen sind folgende Massnahmen vorzusehen:

- Messumformer / Trennverstärker einsetzen
- Symmetrische Signalverkabelung

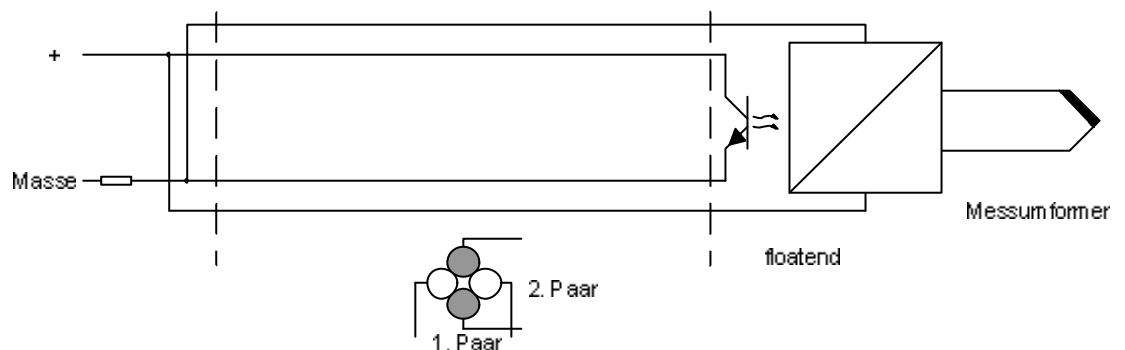


Abbildung: Symmetrische Signalübertragung mit Messumformer

2.3.5 Erdung der Abschirmung

Siehe dazu Kapitel 2.3.7 „Kabelabschirmung“ sowie die Ausführungsdetails in Teil 3 „Ausführungsrichtlinien Tunnels“ und Teil 4 „Ausführungsrichtlinien offene Strecken und Brücken“.

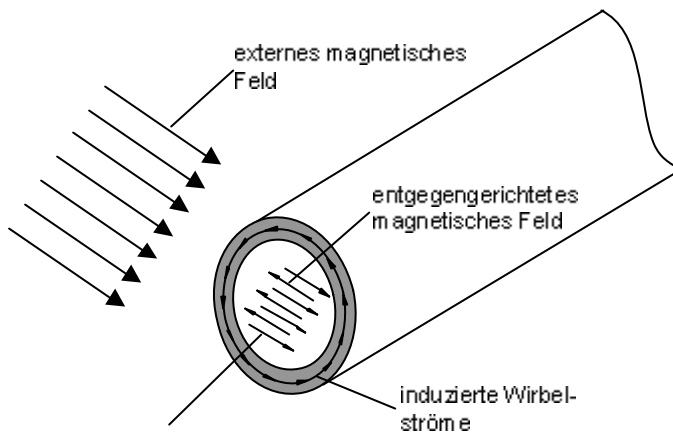
2.3.6 Kabelspezifikationen

Siehe die entsprechenden Kapitel in Teil 3 „Ausführungsrichtlinien Tunnels“.

2.3.7 Kabelabschirmung

2.3.7.1 Prinzip der Abschirmung

Eine Abschirmung ist eine Hülle aus leitfähigem Material, das eine Störquelle (Störsender) oder eine Störsenke (gestörte Anlage/Komponente) umgibt. Ist die Hülle vollkommen geschlossen, tritt ab einer bestimmten Frequenz keine elektromagnetische Strahlung aus der Hülle ein oder aus.



Die Schutzwirkung von Kabelabschirmungen (aber auch von abgeschirmten Schränken und Gehäusen) beruht darauf, dass ein externes magnetisches Feld Wirbelströme in der Abschirmung erzeugt, welche ihrerseits ein magnetisches Feld generieren, das dem externen entgegengerichtet ist. Der resultierende Feldvektor ist kleiner als das externe Feld. Störungen durch das externe Feld auf das geschirmte Kabel werden damit reduziert.

Die Erdung der Kabelabschirmung bewirkt, dass sich auf dem Kabelschirm keine Ladung und damit auch keine Spannung aufbauen kann. Der Kabelschirm ist somit wirksam gegen statische und niederfrequente elektrische Felder. Wird der Kabelschirm **beidseitig impedanzarm geerdet** (was der Regelfall sein soll), kann auf dem Kabelschirm ein Strom fließen, der das störende Magnetfeld teilweise kompensiert. Damit wird die Abschirmung auch gegen hochfrequente magnetische Felder wirksam.

Für die Abschirmung mittlerer und hoher Frequenzen (ab ca. 2 MHz) eignet sich ausschliesslich eine Mehrpunkterdung.

2.3.7.2 Schirmwirkung von Kabeln, Kopplungsimpedanz

Ein gutes abgeschirmtes Kabel hat eine niedrige Kopplungsimpedanz (bis 10 MHz ca. 10 mΩ/m, über 10 MHz mit 10 dB/Dekade ansteigend). Je niedriger die Kopplungsimpedanz, desto besser das Kabel. Diese Anforderungen werden mit wenigen Ausnahmen nur von Kabeln mit geflochtenen Cu-Abschirmungen erreicht.

Kabel mit spiralförmig gewendelttem Folienschirm weisen meistens höhere Werte auf, da die Folie einseitig isolierend ist und der Kontakt zwischen den einzelnen Wendeln nicht sichergestellt ist. Zudem kann der niederimpedante Anschluss des Folienschirms nicht gewährleistet werden. Bessere Eigenschaften haben Kabel mit längs einlaufendem Folienschirm. Diese sind jedoch auf dem Markt selten anzutreffen. **Für Neuanlagen sollen Folien-geschirmte Kabel nicht verwendet werden sondern nur Cu-geflochtene Kabelabschirmungen.**

2.3.7.3 Massnahmen bei ausgewählten Verbindungstypen

Grundsätzlich sind bei der Auslegung der Verbindungen die **Angaben der Systemlieferanten zu berücksichtigen**. Wenn keine Angaben gemacht sind, ist von Fall zu Fall mit dem Systemlieferanten abzuklären, ob und wie abgeschirmt werden muss. Erst wenn diese Abklärungen nicht gelingen, muss nach folgenden Grundsätzen verkabelt werden:

Verbindungstyp	Distanz	Massnahme
400/230 VAC-Netz		
„normales“ 400 V Netz		keine Kabelabschirmung
USV-Netz 400 V		keine Kabelabschirmung
grosse HF-Störquellen		
Lastkabel von Frequenzumrichter-Antrieben	Frequenzumrichter so nahe wie möglich am Motor platzieren	Abschirmung grossflächig beidseitig mit den Gehäusen verbinden. Hinweis: Ausgleichsströme über den Kabelschirm bei Verwendung von PEN-Leitern möglich.
Störsenken		
Analogkabel von Fühlern, Stromschlaufen (Hinweis: Stromschlaufen 4 - 20 mA etc. sind 0 -10 V - Signalen vorzuziehen)	< 10 m > 10 m	Verdrillt und möglichst nahe einer geerdeten Referenz z.B. in einem metallischen Kabelkanal führen. Bei längeren Verbindungen symmetrische Übertragungsart wählen (siehe unten).
Bussysteme, Feldbusse	< 1000 m	geschirmt (beidseitig geerdet)
RS 232 (asym.*)	< 15 m	ungeschirmt (nahe Erdungsreferenz)
RS 442, RS 485 (sym.*)	< 1300 m	geschirmt (beidseitig geerdet)
Kommunikationskabel, Nachrichten- und LAN-Kabel	< 1000 m	geschirmt (beidseitig geerdet)

* Definitionen:

Asymmetrische Übertragung: Der Sender produziert ein Ausgangssignal gegenüber der Erde. Eine Ader der Übertragungsstrecke liegt am Erdpotential. Die dadurch entstehenden Potentialdifferenzen zwischen Sender und Empfänger können Störungen verursachen.

Symmetrische Übertragung: Der Sender produziert ein positives und ein negatives Ausgangssignal. Die zwei Adern des Übertragungskabels sind symmetrisch gegenüber Erde. Der Empfänger reagiert nur auf Differenzen der zwei Signale. Störungen die auf beide Adern wirken, so genannte

Gleichtaktstörungen, werden dadurch unterdrückt.

2.3.7.4 Anschluss der Abschirmung

Ebenso wichtig wie die Verwendung von abgeschirmten Kabeln ist der Anschluss der Abschirmung an das Gehäuse respektive an den Potenzialausgleich. Wird diese Verbindung nicht richtig gemacht, so kann die Schirmwirkung eines teuren Kabels vollständig aufgehoben werden.

Um die **bestmögliche Schirmwirkung eines Kabelschirms zu erreichen, muss er konzentrisch und flächig mit dem Potenzialausgleich verbunden** werden, so dass die Impedanz auf ein Minimum reduziert wird.

Eine Methode, welche in der Praxis leider viel zu häufig für den Schirmanschluss verwendet wird, ist der so genannte „**Sauschwanz**“. Das Schirmgeflecht wird verdreht und auf einen Anschluss des Steckers geführt, oder ein Draht wird an den Schirm gelötet und irgendwo mit dem Potenzialausgleich verbunden. **Diese Methode darf nicht angewendet werden.** Die Abschirmung verliert ihre Wirkung, wenn sie so angeschlossen wird und kann genauso gut weggelassen werden. Die Impedanz (Induktivität) des „Sauschwanzes“ ist im Frequenzbereich, in dem die Abschirmung ihre Wirkung haben muss zu hoch. Die trifft auch zu, wenn die Länge nur einige cm oder weniger beträgt.

Lösungsmöglichkeiten für den richtigen Anschluss der Kabelabschirmungen sind im Teil 3 in den Kapiteln 3.5 ff im Detail dargestellt.

2.3.7.5 1-seitiger oder 2-seitiger Anschluss der Abschirmung

Generell werden die besten Ergebnisse erzielt, wenn die Abschirmung auf beiden Seiten des Kabels mit dem Potenzialausgleich verbunden wird (Regelfall). Die galvanische, induktive und die Strahlungskopplung werden dadurch reduziert.

Wenn innerhalb eines Bauwerks ein guter Potenzialausgleich besteht und die durch abgeschirmte Kabel verbundenen Geräte gut (grossflächig) an den Potenzialausgleich angeschlossen sind, fliessen keine Ausgleichsströme über die Kabelabschirmung.

Dies ist der Fall bei der Netzform (Erdungssystem) TN-S, d.h. mit getrennten Null- und Schutzleitern in der gesamten Niederspannungsverteilung. Das beidseitige Erden der Kabelschirme stellt in diesem Fall kein Problem dar.

Es gibt jedoch in der Praxis einige Fälle, wo dies nicht möglich ist. Dies kann der Fall sein bei der Übertragung von kleinen Analogsignalen, wenn ein niederfrequenter Ausgleichstrom (z.B. bei TN-C - Netzen) Messfehler hervorrufen kann. Anschliessend werden verschiedene alternative Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt, wenn ein beidseitiger Schirmanschluss nicht möglich ist.

Bei allen Fragen und Problemen mit dem Anschluss von abgeschirmten Kabeln, sind in jedem Fall die **Installationsanweisungen des Systemlieferanten** zu beachten. Die Systemhersteller übernehmen in der Regel keine Garantien, wenn die Installation nicht nach ihren Angaben erfolgt. Bei Unklarheiten ist es in jedem Fall sinnvoll mit dem Hersteller Rücksprache zu nehmen und für den konkreten Fall Lösungen zu finden, die vom Lieferanten und Betreiber akzeptiert werden können.

Es gibt einige Möglichkeiten, um eine gute HF-Schirmwirkung zu erzielen und gleichzeitig die niederfrequenten Ausgleichströme zu unterbinden: siehe dazu in Teil 3 das Kapitel 3.5.

2.3.8 Verdrillte Kabel (twisted pair)

Bei dieser Kabelart sind die beiden Adern eines Kabels miteinander verdrillt. Die Verdrillung in Verbindung mit der symmetrischen Übertragung (Definition siehe 2.3.7.3) bewirkt einen Schutz gegen Einkopplung von Störsignalen und gegen die unerwünschte Aussendung von Hochfrequenzstrahlung.

Geschirmte und geerdete Kabel bieten einen zusätzlichen Schutzmechanismus gegen statische und niederfrequente elektrische Felder.

2.4 Schaltgerätekombinationen SK

Für die EMV-gerechte Auslegung von Schaltgerätekombinationen, Verteilnkabinen und Verteilnkästen (Wandverteilern) sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Trennung von Störsenken und Störquellen: Siehe 2.4.1.
- Anschluss der Komponenten in der SK an den Potenzialausgleich: Siehe 2.4.2.
- Single Point Entry: Siehe 2.4.3
- Korrekte Anordnung und korrekter Anschluss von Filtern: Siehe 2.4.3 sowie Teil 3 Kapitel 3.6.4.4 „Schaltgerätekombinationen: Leitungsführung bei Netzfiltern“
- Trennung von störungsbehafteten und störempfindlichen Kabeln: Siehe 2.4.3.
- Genügend Platz für den korrekten Anschluss der Kabelschirme: Siehe 2.4.3 und 2.4.4.

Um den EMV-gerechten Schrankaufbau auch nach späteren Ergänzungen sicherzustellen, ist pro Schrank eine Ausbaureserve von mindestens 30% einzuhalten.

2.4.1 Trennung von Störsenken und Störquellen

Ähnlich wie bei der Verkabelung muss auch bei der Auslegung von Schaltgerätekombinationen darauf geachtet werden, dass Störquellen und Störsenken voneinander getrennt werden. Steuerungs- und Leistungsteil (Überstromunterbrecherabgänge, Schütze usw.) sind je in einer separaten Schaltgerätekombination unterzubringen. Das bedeutet, dass diese nach Möglichkeit in verschiedenen Schränken untergebracht werden.

Ausnahmen von dieser Regel müssen durch das TBA genehmigt werden.

Wenn dies z.B. aus Platzgründen nicht möglich ist, muss innerhalb des Schanks eine räumliche Trennung der kritischen Komponenten geschaffen werden, die mit einem grossflächig geerdeten Metallblech abgetrennt ist.

Potentielle Störsenken und Störquellen, die räumlich zu trennen sind:

Störquellen:	Störsenken:
Frequenzumformer	Steuerungen
Schütze, Relais, Trennelemente	SPS
Magnetventile	Regler
Überstromunterbrecherabgänge	

2.4.2 Anschluss der Komponenten in der SK an den Potenzialausgleich

Die in der Schaltgerätekombination eingebauten Komponenten/Apparate werden niederimpedant leitend d.h. grossflächig mit der metallischen Montageplatte oder mit dem metallischen Schienensystem verbunden (z.B. verschraubt).

Seiten- und Rückwände des Schaltschranks müssen mit der metallischen Grundstruktur des Schrankes grossflächig leitend verbunden sein.

Vorsicht bei Farb- und Lackschichten, die als Isolator wirken!

2.4.3 Verkabelung der Schaltgerätekombinationen, Ordnungstrennung

Ordnungstrennung in Schaltgerätekombinationen:

Schränke und Geräte mit elektronischen Einrichtungen sind konsequent in einen geschützten und einen ungeschützten Bereich zu unterteilen.

Vermaschte Erden oder Zweiterder sind im geschützten Bereich verboten.

Single Point Entry in Schaltgerätekombinationen

Leitungseinführungen sind bei jeder Geräte- oder Schrankgruppe an einem Punkt vorzunehmen (oben, unten oder auf einer der Seiten).

Durch die Installation gebildete **Schleifen, z.B. im Doppelboden**, können induktive Einkopplungen bewirken und sind zu vermeiden.

Die Ausführungsrichtlinien für die Ordnungstrennung in Schaltgerätekombinationen und Gehäusen finden sich in Teil 3 „Ausführungsrichtlinien Tunnels“ und Teil 4 „Ausführungsrichtlinien offene Strecken und Brücken“.

Die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt in vereinfachter Weise die Anordnung der Klemmleisten und Geräte in einem Steuerschrank. Die wichtigsten Aspekte sind:

- Single Point Entry: die Kabel werden entweder alle oben oder unten oder auf einer der Seiten eingeführt
- Niederimpedanter Anschluss der Komponenten an den Potenzialausgleich
- Niederimpedante Aufschaltung der Schaltgerätekombination auf den Potenzialausgleich
- Ausreichend Platz für den korrekten Anschluss der Kabelabschirmungen
- Trennung von störungsbehafteten und störempfindlichen Kabeln d.h. getrennte Kabelkanäle innerhalb des Schrankes
- Anordnung von Filtern so nahe wie möglich am betreffenden Gerät

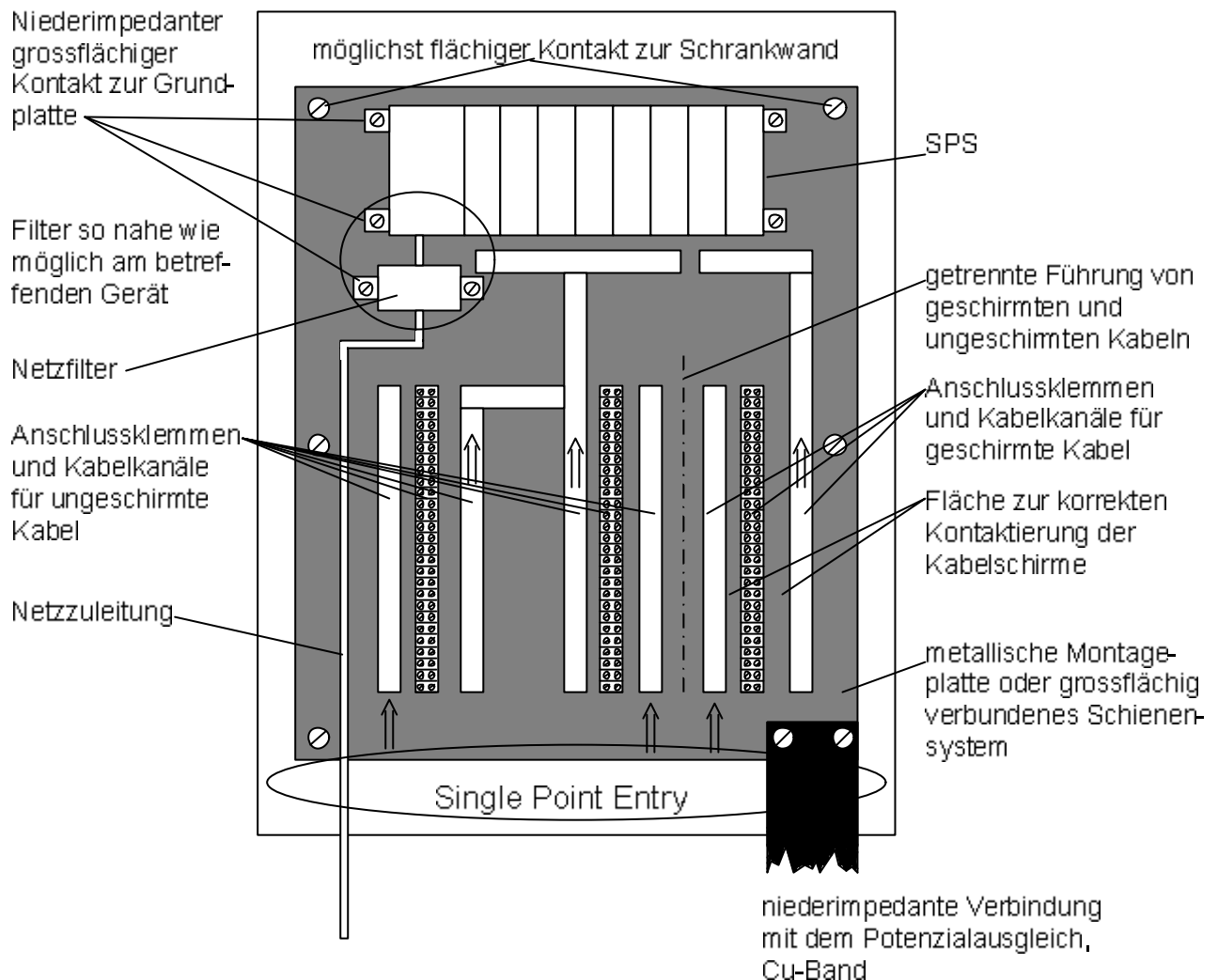


Abbildung: EMV-gerechte Verkabelung einer Schaltgerätekombination (Steuerschrank)

2.4.4 Anschluss der Kabelabschirmungen

Es muss genügend Platz für die korrekte Aufsaltung der Kabelabschirmungen vorgesehen werden.

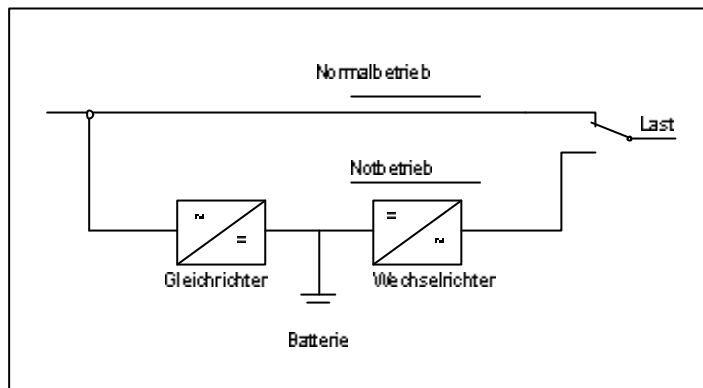
Siehe Kapitel 2.3.7 „Kabelabschirmung“ sowie die Ausführungsdetails in Teil 3 „Ausführungsrichtlinien Tunnels“.

2.5 USV-Anlagen

2.5.1 Konzepte von USV-Anlagen

Unterbrechungslose Strom-Versorgungs- (USV-) Anlagen lassen sich den folgenden vier marktüblichen Konzepten zuteilen:

Offline Systeme



Funktionsweise

Die Verbraucher werden im Normalbetrieb direkt vom Netz gespeist. (Wechselrichter abgeschaltet). Bei Netzstörungen ausserhalb der vorgegebenen Toleranzen, muss das System auf Notbetrieb umschalten.

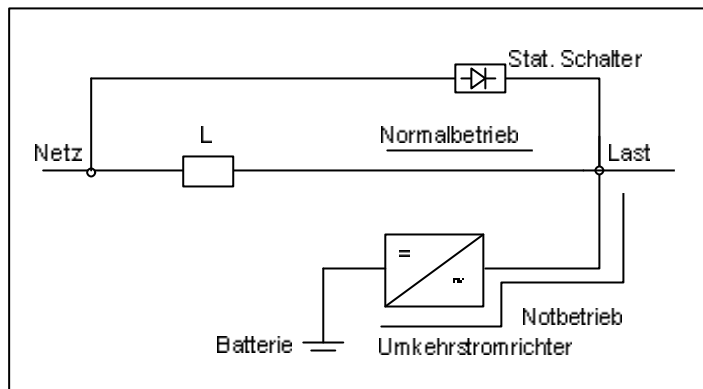
Vorteile:

- kostengünstige Bauweise
- kleine Dimensionen
- geringe Verluste

Nachteile:

- bei Umschaltung von Normal- auf Notbetrieb Einbruch der Ausgangsspannung während 2 – 10 ms (keine echte USV)
- keine Dämpfung von Störspannungen
- U- und f-Schwankungen werden nicht ausgegletzt, daher häufige Umschaltung auf Batteriebetrieb (Reduktion der Batteriekapazität)
- hohe Netzzrückwirkungen durch nachgeschaltete nichtlineare Verbraucher
- die Wechselrichterspannung ist häufig trapez- oder rechteckförmig; thermische Überlastung der nachgeschalteten Verbraucher
- keine Detektion von Wechselrichter-Störungen; eine Wechselrichter-Störung kann erst dann erkannt werden, wenn es schon zu spät ist.

Reversible Systeme



Funktionsweise

Die Verbraucher werden im Normalbetrieb parallel vom Netz über die Drossel L und vom Wechselrichter gespeist. Bei Netzstörungen ausserhalb der vorgegebenen Toleranzen schaltet das System auf Notbetrieb um.

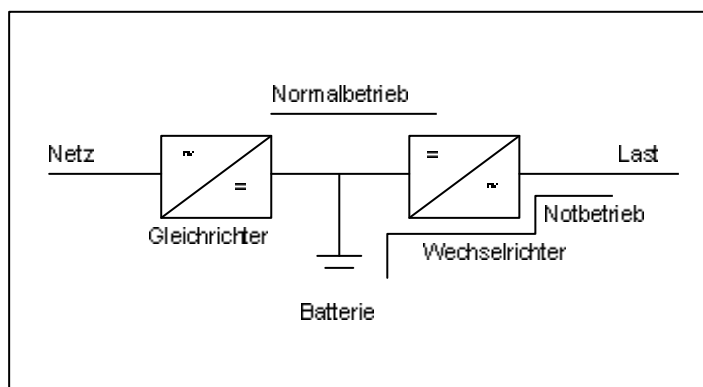
Vorteile:

- keine Unterbrechung der Ausgangsspannung bei Umschaltung von Normal- auf Notbetrieb
- relativ kleine Dimensionen
- geringe Verluste nur bei Nenn-Netzspannung. Bei Unterspannung muss der Wechselrichter Zusatzleistung abgeben; Wirkungsgrad wird geringer.

Nachteile:

- keine vollständige Dämpfung von Störspannungen
- Frequenz-Schwankungen (z.B. bei Dieselbetrieb) werden nicht ausgeregelt, daher häufige Umschaltung auf Batteriebetrieb (Reduktion der Batteriekapazität)
- hohe Netzurückwirkungen durch nachgeschaltete nichtlineare Verbraucher
- Phasenverschiebung (bis 30° el.) bei Umschaltung von Normalbetrieb auf statische Schalter
- Der Wirkungsgrad variiert in Funktion der Betriebsbedingungen (Spannungsamplitude, $\cos f$).

Online USV



Funktionsweise

Die Verbraucher werden im Normalbetrieb von Gleich- und Wechselrichter gespeist. Bei Netzstörungen ausserhalb der vorgegebenen Toleranzen schaltet das System auf Notbetrieb um.

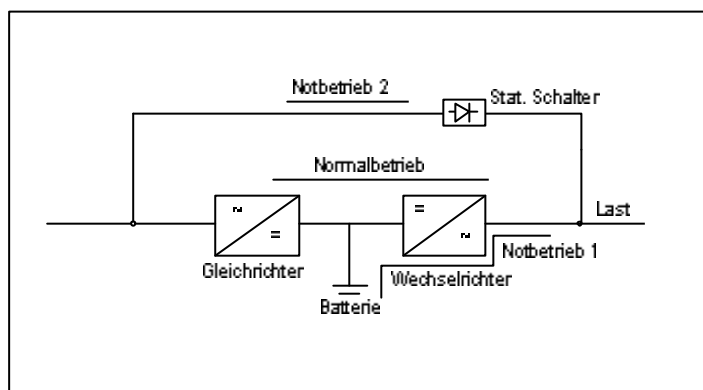
Vorteile:

- keine Unterbrechung der Ausgangsspannung
- hohe Qualität der Ausgangsspannung
- **volle Filterung von Netzstörungen**

Nachteile:

- Unterbrechung der Lastspeisung bei Überlastung, lastseitigem Kurzschluss oder bei Wechselrichterstörung. Reduzierte Zuverlässigkeit
- höhere Verluste im unteren Leistungsbereich (bis ca. 3 kVA)
- aufwändige Technik
- Lärm (Lüftungsventilator, Wechselrichter)
- grosses Gewicht
- benötigen eine grosse Kühlluftmenge

Online USV mit Bypass



Funktionsweise

Die Verbraucher werden im Normalbetrieb von Gleich- und Wechselrichter gespeist. Bei Netzstörungen ausserhalb der vorgegebenen Toleranzen schaltet das System auf Notbetrieb 1 um. Bei Überlastung, lastseitigem Kurzschluss

oder Wechselrichterstörung werden die Verbraucher auf Netz 2 (Bypass) geschaltet.

Vorteile:

- vollständiger Schutz der Verbraucher
- keine Ausgangsspannungsunterbrechung
- hohe Qualität der Ausgangsspannung
- **volle Filterung von Netzstörungen**

Nachteile:

- höhere Verluste im unteren Leistungsbereich (bis ca. 3 kVA)
- aufwändige Technik
- Lärm (Lüftungsventilator, Wechselrichter)
- grosses Gewicht
- benötigen eine grosse Kühlluftmenge

2.5.2 USV-Konzept des TBA Kanton Zürich

Im Umfeld von Hochleistungsstrassen kommen **ausschliesslich Online USV** zur Anwendung.

2.5.3 Anschluss an den Potenzialausgleich

USV-Anlagen sind an den Potenzialausgleich anzuschliessen.

Weil der Aufbau der USV-Anlagen je nach Lieferant unterschiedlich ist, wird die Anschlussart an den Potenzialausgleich von Fall zu Fall vom Fachplaner gemeinsam mit dem Lieferanten festgelegt.

2.5.4 Überspannungsschutz bei USV

Einige Hersteller haben in die Eingangsschaltungen ihrer USV bereits Bauelemente für den Überspannungsschutz oder für die Dämpfung von Störimpulsen eingebaut. Diese Überspannungsschutzelemente (Varistoren) sind aber normalerweise nicht so ausgelegt, dass sie - im Sinne einer Koordination - mit andern vorgelagerten Schutzstufen (Grob-, Mittel- Feinschutz) zusammen arbeiten. Im Extremfall kann es sogar sein, dass durch die Varistoren innerhalb einer USV der vorgelagerte Grob-, Mittel oder Feinschutz unwirksam wird und die USV durch einen Blitzschlag oder ein Überspannungseignis beschädigt oder zerstört wird.

Für die Auslegung eines wirksamen Überspannungs- und Blitzschutzes für USV sollten folgende Daten bekannt sein:

- Ansprechkenlinie des Überspannungsschutzelements innerhalb der USV
- Ansprechkenlinie des nächsten vor der USV vorgelagerten Schutzelements (Grob-, Mittel-, Geräteschutz)

2.6 Filterung

Die Anforderungen an die Versorgungsspannung sind gemäss EN 50160 „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen“ genormt. Um diese Norm einhalten zu können, dürfen die Rückwirkungen jeder einzelnen Anlage auf das Netz ein zulässiges Mass nicht überschreiten. Der Einsatz von Filtern ist eine der Möglichkeiten, um dies zu erreichen.

2.6.1 Filterwahl

Eine Reduzierung des Störsignals durch einen Filter ist nur möglich, wenn das Störsignalspektrum ausserhalb des Spektrums des Nutzsignals liegt.

Insgesamt sollten bei der Betrachtung der Störgrösse folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Art der erzeugten Störgrösse
- Frequenzbereich und Intensität
- Filterschaltung mit der Abschätzung des Impedanzverhaltens der Störquelle und der Störsenke
- Beeinflussbarkeit des Gerätes

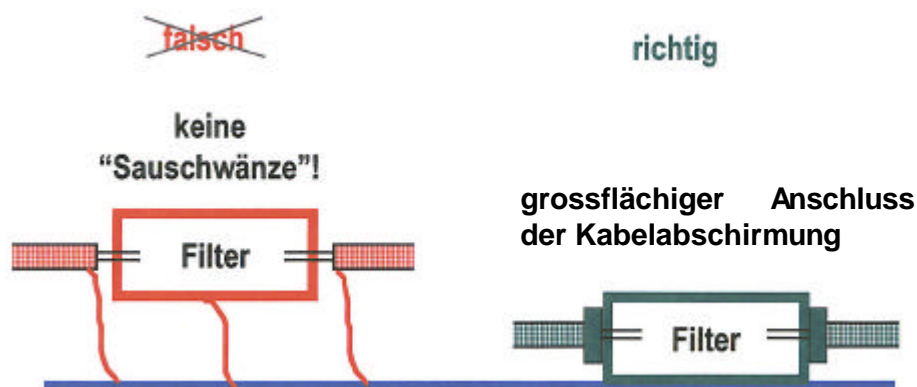
Wenn ein Systemlieferant für „seine“ Anlage oder „sein“ System den Einsatz von Filtern verlangt, so ist er verantwortlich für deren Auslegung und Lieferung.

2.6.2 Einbauort, Filtermontage und -Verdrahtung

Wichtig ist die niederimpedante Verbindung zwischen Filtergehäuse und der Masse des zu schützenden Gerätes. Im Allgemeinen ist das Gehäuse des Filters aus Metall und wird mit der Masse des Gerätes durch Schrauben verbunden.

Der Filter muss direkt in die Leiter des Betriebsstromes am Eingang des zu schützenden Gerätes eingebaut werden.

Die Verdrahtung des Filters muss so geschehen, dass die Leitungen zum Eingang des Filters nicht parallel mit denen des Ausganges verlaufen.



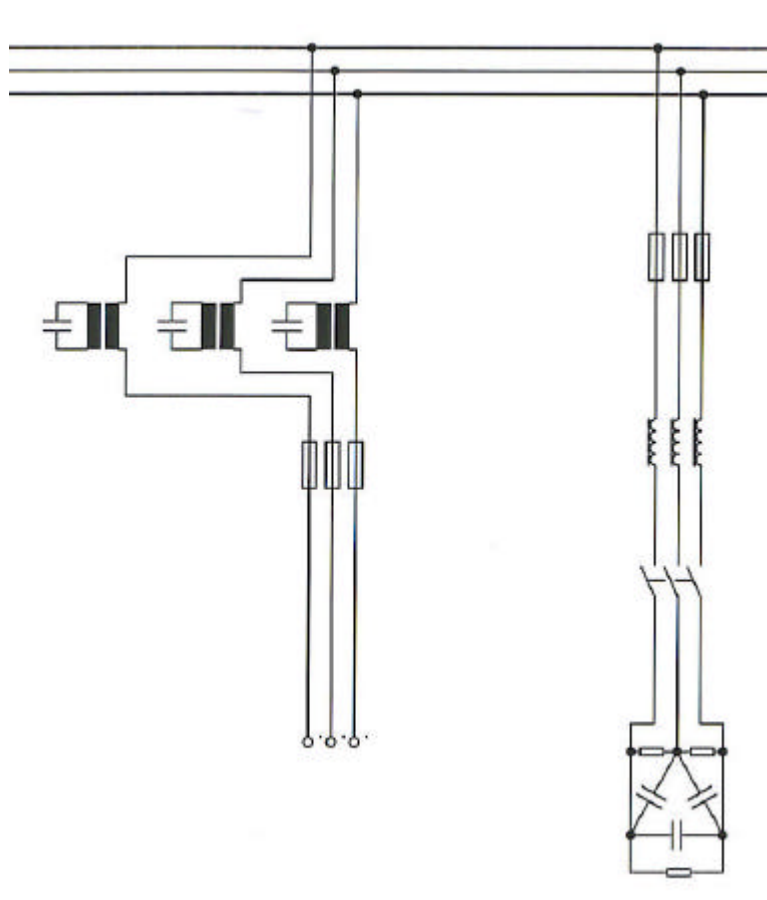
Siehe 2.4.3 sowie Teil 3 Kapitel 3.6.4.4 „Schaltgerätekombinationen: Leitungsführung bei Netzfiltern“

2.6.3 Kompensation von Spannungsversorgungssystemen

Zur Kompensation der Blindleistung werden normalerweise Kondensatoren verwendet. Die Kondensatoren dürfen nicht direkt an die Sekundärseite des Transformators angeschlossen werden, da sonst Schwingkreise entstehen können.

Zur Vermeidung von Resonanzerscheinungen durch Oberschwingungen sind Kompensationsanlagen > 25 kvar zu verdrosseln.

Zur Vermeidung von Rückwirkungen auf die Tonfrequenz-Rundsteueranlagen des Energieliefernden Werks sind die Kompensationsanlagen auf die entsprechenden Rundsteuerfrequenzen zu verdrosseln. Die Frequenz ist beim zuständigen EVU nachzufragen.



2.7 Elektrostatische Entladung (ESD)

2.7.1 Vermeidung von elektrostatischen Aufladungen

Elektrostatische Aufladung können bei der Entladung unkontrollierbare Reflexe der betroffenen Personen und Schäden an heiklen Geräten auslösen. Abhilfemassnahmen sind leitfähige bzw. antistatische Bodenbeläge, Arbeitsmatten, leitfähige Stühle usw.

Wenn es mit den Betriebsbedingungen der Anlagen vereinbar ist, führt auch eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit oder eine lokale Ionisierung der Luft zur Verminderung des ESD-Risikos.

Die zu ergreifenden ESD-Schutzmassnahmen richten sich nach der Klassifizierung und Ausstattung der Räume.

2.7.2 Klassifizierung und Ausstattung von Räumen gemäss SN 429001

- Klasse A: Räume mit erhöhtem Schutz
- Klasse B: Räume mit geringem Schutz
- Klasse C: Räume ohne wirksamen Schutz

Klasse A - Räume:

Ausstattung

nach betrieblichen Gesichtspunkten unter besonderer Berücksichtigung der Handhabung und des Betriebes von elektronischen Geräten.

Anforderungen:

In Räumen der Klasse A müssen Personenaufladungen innerhalb 0.3 s auf eine Spannung von weniger als 100 V abgebaut werden.

Beispiele von Klasse A - Räumen:

Betriebsräume mit erhöhten Anforderungen z.B. Werkstatträume für Herstellung elektronischer Geräte

Für TBA gilt: Solche Räume sind im Umfeld von Hochleistungsstrassen kaum vorhanden.

Klasse B - Räume:

Ausstattung

nach betrieblichen Gesichtspunkten

Anforderungen:

In Räumen der Klasse B müssen Personenaufladungen innerhalb 0.5 s auf eine Spannung von weniger als 4 kV abgebaut werden.

Beispiele von Klasse B - Räumen:

Allgemeine Betriebsräume, Büroräume mit besonderer Ausstattung

Für TBA gilt: alle elektrischen Betriebsräume sowie Reserveräume, die für den späteren Ausbau zu Elektro- und MSR-Räume vorgesehen sind.

Klasse C - Räume:

Ausstattung

vorwiegend nach ästhetischen oder betrieblichen Gesichtspunkten

Anforderungen:

Für Räume der Klasse C können keine verbindlichen Anforderungen zum Schutz gegen elektrostatische Aufladungen gestellt werden.

Beispiele von Klasse C - Räumen:

Büroräume üblicher Ausstattung

Für TBA gilt: Büro-, Lager- und Nebenräume.

2.7.3 Ableitfähigkeit von Bodenbelägen und Bodenplatten

Definitionen:

- **Elektrostatisch leitender Fussboden** (ECF electrostatic conductive floor)

Fussboden, der einen ausreichend niedrigen Widerstand hat, um Ladungen schnell abzuleiten, wenn er geerdet oder mit einem beliebig niedrigen Potenzial verbunden wird.

Ein elektrostatischer Fussboden ist durch einen Widerstand von $= 1 \cdot 10^6 \text{ } \Omega$ gekennzeichnet.

Anwendung: in Klasse A – Räumen (siehe oben)

- **Ableitfähiger Fussboden** (DIF dissipative floor)

Fussboden, der eine Ladungsableitung ermöglicht, wenn er geerdet oder mit einem beliebig niedrigen Potential verbunden wird.

Ein ableitfähiger Fussboden ist durch einen Widerstand zwischen $1 \cdot 10^6 \text{ } \Omega$ und $1 \cdot 10^9 \text{ } \Omega$ gekennzeichnet.

Anwendung: in Klasse B – Räumen (siehe oben)

- **Astatischer Fussboden (ASF)**

Fussboden, der eine Ladungserzeugung durch Kontakttrennung oder Reiben mit einem anderen Werkstoff (z.B. Schuhsohlen) herabsetzt. Ein solcher Fussboden ist nicht unbedingt elektrisch leitend oder ableitfähig.

Dabei darf ein minimaler Wert von 50 k Ω aus Gründen des Personenschutzes nicht unterschritten werden.

Anwendung: in Klasse C - Räumen (siehe oben)

Diese Werte sind nach der Installation zu prüfen.

2.7.4 Antistatische Doppelböden

Hohlböden in Klasse A und B-Räumen sind mit ableitfähigen Bodenplatten gemäss Kapitel 2.7.3 „Ableitfähigkeit von Bodenbelägen und Bodenplatten“ auszurüsten. Die Stützen von antistatischen Doppelböden müssen in den Potenzialausgleich eingebunden werden.

Die Anschlusskästen für die Energieversorgung, die MRS- und die Kommunikationsnetze werden über ein Cu-Band 20x2 mm mit dem Potenzialausgleich verbunden.

Für die Ausführungsdetails siehe Teil 3 Kapitel 3.4 „Hohlböden“.

2.8 Schutz vor andern Störgrössen

2.8.1 Nicht-ionisierende Strahlung

Die **Verordnung über den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (NISV)** soll Personen vor schädlicher oder lästiger nicht-ionisierender Strahlung schützen.

Die Verordnung regelt:

- a) die Begrenzung der Emissionen von elektrischen und magnetischen Feldern mit Frequenzen von 0 Hz bis 300 GHz (Strahlung), die beim Betrieb ortsfester Anlagen erzeugt werden;
- b) die Ermittlung und Beurteilung der Immissionen von Strahlung;
- c) die Anforderungen an die Ausscheidung von Bauzonen.

Magnetische und elektrische Felder

In der Verordnung sind **Immissionsgrenzwerte** und zur vorsorglichen Emissionsbegrenzung **Anlagegrenzwerte** festgelegt. Die Immissionsgrenzwerte müssen überall eingehalten werden, wo sich Menschen aufhalten können. Der Anlagegrenzwert muss bei Hochspannungsanlagen wie Kabel- und Freileitungen, Transformatorstationen und Schaltanlagen sowie an **Orten mit empfindlicher Nutzung** eingehalten werden. Als Orte mit empfindlicher Nutzung gelten Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmässig während längerer Zeit (4 Std. pro Tag) aufhalten. Ebenfalls muss der Anlagegrenzwert auf den unbebauten Flächen, auf denen Orte mit empfindlicher Nutzung entstehen können, eingehalten werden

		magn. Feld *	elektr. Feld **	Frequenz
Immissionsgrenzwert	(IGW)	100 μT	5 kV/m	50 Hz
Anlagegrenzwert	(AGW)	1 μT		50 Hz

* Effektivwert der magnetischen Flussdichte in [μ T]

** elektrische Feldstärke in [V/m] resp. [kV/m]

Als massgebender Betriebszustand gilt der Betrieb mit Nennlast.

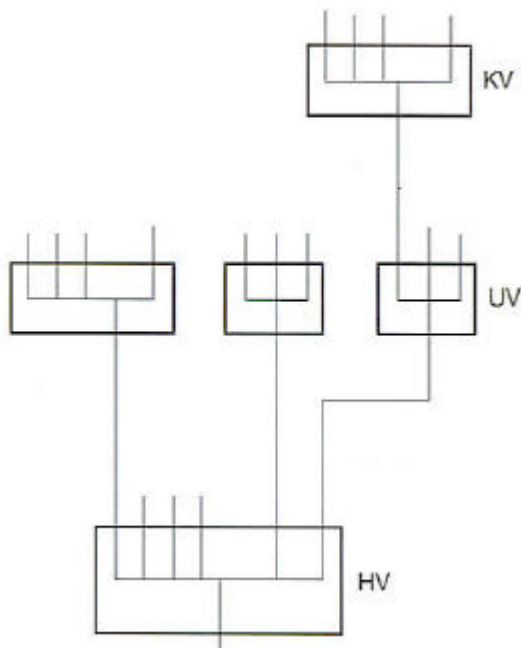
Elektromagnetische Beeinflussung

Eine minimale elektromagnetische Beeinflussung kann erreicht werden durch Vermeidung oder Verringerung von:

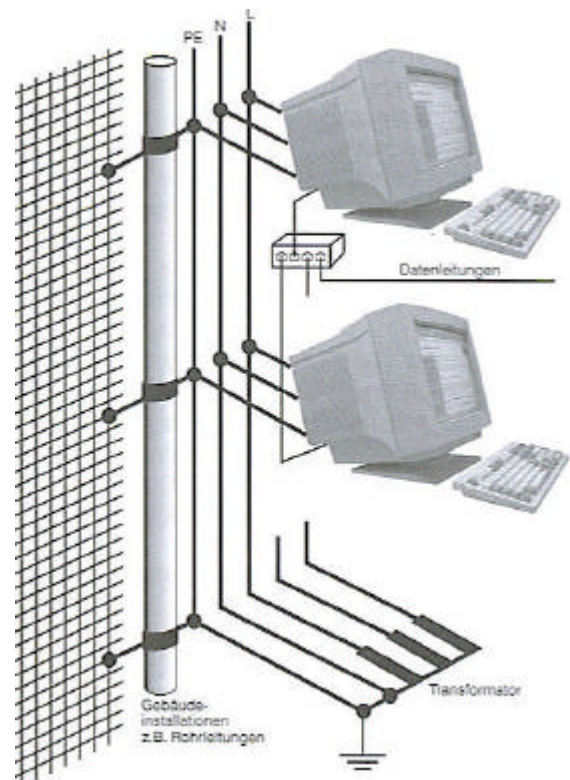
- Leiterschleifen, Induktiven Einkoppelungen, Störquellen

Weitere geeignete Massnahmen sind:

- Erstellen von TN-S Systemen
- umfassendes Potenzialausgleichssystem
- Hauptsteigleitungen und Verteilleitungen sternförmig
- gleichmässige Belastung von Aussenleitern
- Verdrillen von Einleiterkabeln
- Verteilanlagen mit metallischem Gehäuse



Beispiel für
sternförmige Haupt-
Steigleitungen und
Verteilleitungen



Beispiel für
umfassendes Potenzial-
ausgleichssystem

2.8.2 Drahtlose Kommunikation

Die Benutzung von Funkgeräten in der Nähe von elektronischen Einrichtungen kann Störungen verursachen. Um ein Gerät vollständig gegen diese Art von Störeinflüssen zu schützen, müssen HF-dichte Gehäuse und Schränke verwendet und sämtliche eingeführten Kabel entsprechend behandelt werden. Dies ist mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden und kann deshalb nicht immer integral umgesetzt werden.

Wenn auf die Verwendung von Funkgeräten nicht verzichtet werden kann, gibt es folgende Lösungen:

- Im Raum wo das Funkgerät verwendet wird, sind sämtliche Schranktüren zu schliessen.
- Das Funkgerät soll in der grösstmöglichen Entfernung von den Schränken betrieben werden. Der Mindestabstand von 2 m ist nicht zu unterschreiten.
- Betriebsfremdes Personal ist anzuweisen, ihre Geräte nicht in der Nähe von Schalt- und Steuerschränken zu benutzen.

Für Mobiltelefone sind die gleichen Regeln wie für Funkgeräte einzuhalten.

2.8.3 Elektrische Schweissarbeiten

Über das elektrische Schweissen In der direkten Nähe zu Schalt- und Steuerschränken, Sensoren und andern elektronischen Geräten siehe:

Teil 3 Kapitel 3.8.4 „Elektrisches Schweissen“.

2.8.4 Eisenbahnen

Technische Aspekte

Bei elektrischen Eisenbahnen werden die beträchtlichen Traktionsströme durch die Schienen, das Erdreich und allenfalls Erdseile, welche die Fahrleitung begleiten, rückgeführt. Die Spannung der meisten Normalspurbahnen in der Schweiz beträgt 15 kV, 16 2/3 Hz und liegt somit im Mittelspannungsbereich. Die Üetlibergbahn (als Beispiel) hingegen ist eine Gleichstrombahn, welche die gleichen Schienen wie die Sihltalbahn benützt, aber über eine separate (seitlich versetzte) Fahrleitung verfügt. Die Spannung beträgt 1'200 VDC. Auch Tram- und Trolleybusnetze sind mit Gleichstrom betrieben.

Beim Bau von elektrischen Bahnanlagen und von bahnnahe Bauten sind deshalb spezielle Massnahmen für den Personen- und Güterschutz zu treffen. Für die Sicherheit von Personen dienen vorwiegend die Erdung und der Potenzialausgleich zwischen leitfähigen Bauteilen und Apparaturen. Mit den Massnahmen für die Rückleitung des Traktionsstroms wird die Energieversorgung der Traktionsfahrzeuge und somit der eigentliche Bahnverkehr sichergestellt.

Bei bahnnahen Bauwerken sind wegen der magnetischen Felder der Bahn zusätzliche Massnahmen gegen Störungen anderer elektrischer und elektronischer Systeme zu treffen. Insbesondere bei unterirdischen Abschnitten in städtischen Gebieten mit Bauwerken direkt über der Bahn können diese Magnetfelder, erzeugt durch Traktions- und Kurzschlussströme in Fahrleitungen, bei elektronischen, messtechnischen, medizinischen und andern empfindlichen Systemen verheerende Auswirkungen haben.

Bei Bauten im Einflussbereich einer Gleichstrombahn sind Massnahmen für den Schutz dieser Bauwerke erforderlich. Die Streuströme der Gleichstrombahn können, besonders in Tunnel- und Brückenbauwerken Korrosion in den Armierungen verursachen und diese dadurch empfindlich schwächen. Siehe Richtlinien zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen, Ausgabe C3d 1995.

Die Schutzmassnahmen sind in der Verordnung über elektrische Anlagen für Eisenbahnen VEAB beschrieben. Bei Hochleistungsstrassen in Bahnnähe sind somit Spezialmassnahmen erforderlich wie:

- Massnahmen bei den Armierungen der Bauwerke (erhöhte Festigkeit, zusätzliche Vermaschung, Korrosionsschutzmassnahmen wegen Elektrokorrosion)
- elektrische Verbindung der Kabelköpfe von Vorspannkabeln; keine Spreizanker einbauen
- Zuganker gegenüber dem Erdreich isolieren
- Isolierstücke in erdverlegten Werkleitungen
- spezielle Potenzialausgleichsmassnahmen
- eventuell Trennung von Bahnerde, Bauwerkserde und Erde des Elektrizitätswerks
- Abschirmungen für sensible Systeme in Bahnnähe
- usw.

Planerische Aspekte und Vorgehen

Bei Hochleistungsstrassen im elektrischen Einflussbereich von Eisenbahnen bestimmt der Elektroplaner - in Zusammenarbeit mit entsprechenden Spezialisten - die zusätzlichen Massnahmen für den Personen- und Güterschutz bei Erdung, Potenzialausgleich und EMV-Vorkehrungen. Die Bahn und das Tiefbauamt müssen diese Spezialmassnahmen genehmigen. Sie werden von den Elektrounternehmern sowie Anlagen- und Systemlieferanten umgesetzt.