

Inhalt

1. Allgemeines	7
1.1 Zweck	7
1.2 Geltungsbereich	7
1.3 Support	7
2. Mitgeltende Unterlagen	9
3. Begriffe und Abkürzungen	11
4. Elektrische Sicherheit	13
5. Grundlegende Aspekte der EMV	15
5.1 Einführung	15
5.2 Kopplungsarten	15
5.2.1 Galvanische Kopplung	15
5.2.2 Kapazitive Kopplung	15
5.2.3 Induktive Kopplung	16
5.2.4 Beeinflussung durch Strahlung	16
5.3 Geschirmte Kabel	16
5.3.1 Allgemeines	16
5.3.2 Wirkung eines Schirms	17
5.3.3 Kabelschirmung für die symmetrische Übertragung von 2 Mbit/s (ITU-T G.703)	17
5.4 Impedanzarme Verbindungen	17
5.4.1 Impedanzarme Verbindung zwischen dem ZE und dem Potentialausgleich (PA)	18
5.4.2 Impedanzarmer Anschluss eines Kabelschirms	18
5.5 Emissionsgrenzwerte	18
6. Erdungsprinzip	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Grundsätze des gewählten Erdungsprinzips	19
6.3 Zentraler Erdungspunkt ZE	20
6.4 Potentialausgleich	20
6.5 Erdung der Plusleiter	20
6.6 Eigenschaften der Erdungsleitungen	20
6.7 Leitungsführung	20
6.8 Erdung der Ausrüstungen	20
6.9 Isolation gegenüber der Gebäudestruktur	21
6.10 Galvanische Trennung	21

7.	Gebäudeverkabelung	23
7.1	Verträglichkeit verschiedener Übertragungsarten im gleichen Kabel	23
7.2	Kabeltypen	23
7.3	Erdung der Kabelmäntel, Abschirmungen und Aussenleiter	24
7.3.1	Kabel innerhalb der Gebäude	24
7.3.2	Kabel die das Gebäude verlassen	25
7.4	Verkabelungsarten	25
7.4.1	Installation mit ungeschirmten Kabeln	25
7.4.2	Installation mit geschirmten Kabeln in Gebäuden ohne Stockwerk-Potentialausgleich	25
7.4.3	Installation mit geschirmten Kabeln in Gebäuden mit Stockwerk-Potentialausgleich	25
7.5	Verteiler und Durchschaltekasten	26
7.6	Verbindungs- und Anschlussstecker für Geräte	26
8.	Installationsbeispiele und Montageprinzipien	27
8.1	Installation in Verwaltungs- und Geschäftsgebäuden	27
8.1.1	Gebäude ohne Stockwerk-Potentialausgleich	27
8.1.2	Gebäude mit Stockwerk-Potentialausgleich	28
8.2	Montageprinzip für ZVUe	29
9.	Stromversorgung 230 VAC und 400 VAC	31
9.1	Anschluss von Fernmeldegeräten der Schutzklasse I im Bereich des ZE ohne Trenntransformator	31
9.2	Anschluss von Fernmeldegeräten der Schutzklasse I über einen Trenntransformator	31
10.	Überspannungsschutz	33
10.1	Überspannungsschutz auf der Seite Fernmeldenetz	33
10.2	Geräteseitiger Schutz	33
10.3	Überspannungsschutzelemente	33
10.4	Überspannungsschutz für Speisegeräte	33
10.5	Überspannungsschutz von DC-Speiseleitungen	33
11.	Elektrostatische Entladungen	35
	Anhang	37

Anhang

A1	Legende	38
A2	Erdungsprinzip einer Hauseinführung mit Grobschutz gegen Überspannungen	39
A3	Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten	40
A4	Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten mit zusätzlicher Schnittstelle	41
A5	Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten mit geschirmtem Signalkabelanschluss	42
A6	Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten mit Koaxialkabelanschluss	43
A7	Zentraler Erdungspunkt: ZVUe und HV	44
A8	Installation in Gebäuden ohne Stockwerk-Potentialausgleich mit einem Teilnehmer und Kabeln mit Bündelschirm	45
A9	Installation in Gebäuden ohne Stockwerk-Potentialausgleich mit mehreren Teilnehmern und Kabeln mit Bündelschirm	46
A10	Installation in Gebäuden mit Stockwerk-Potentialausgleich mit einem Teilnehmer und Kabeln mit Bündelschirm	47
A11	Installation in Gebäuden mit Stockwerk-Potentialausgleich mit mehreren Teilnehmern und Kabeln mit Bündelschirm	48
A12	Montageprinzip für eine ZVUe in Räumen der Klasse B	49
A13	Montageprinzip für eine ZVUe in Räumen der Klasse C	50
A14	Anschluss von Fernmeldegeräten der Schutzklasse I im Bereich des ZE ohne Trenntransformator	51
A15	Aufbau eines IT- Netzes gemäss Niederspannungs-Installationen [14]	52
A16	Beeinflussungsarten (Kopplung)	53
A17	Erdungssysteme	54

1. Allgemeines

1.1 Zweck

Die vorliegenden Richtlinien bezwecken die Gewährleistung

- der elektrischen Sicherheit beim Berühren der Geräte bzw. der Ausrüstungen,
- des Sachschutzes für Anlagen im Zusammenhang mit der Inhouse-Installation.
- der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) der Ausrüstungen durch eine geeignete Installation.

1.2 Geltungsbereich

Diese Richtlinien gelten für alle Swisscom-Ausrüstungen im Bereich der Inhouse-Installation, die mit dem öffentlichen Telekom-Netz in Verbindung stehen.

Sie bilden die Grundlage für ein einheitliches Erdungsverfahren bei allen in einem Gebäude installierten Ausrüstungen.

Das vorliegende Dokument behandelt insbesondere die Erdung und den Überspannungsschutz, damit die EMV der Ausrüstungen gewährleistet ist.

Die elektrische Sicherheit hat Vorrang vor den EMV-Massnahmen; es ist jedoch aus den möglichen Vorkehrungen diejenige zu wählen, die nicht im Widerspruch steht zu den EMV-Anforderungen.

Die Hauseinführung und der Überspannungsschutz sind gemäss [17] auszuführen.

Für Fernmeldeanlagen im Hochspannungsbereich von Starkstromanlagen gilt [17].

Direkte Blitzeinschläge in Gebäuden und Anlagen werden mit diesen Richtlinien nicht berücksichtigt. Für Anlagen, wo das Schadenrisiko auch bei Direkteinschlägen klein sein soll, ist zusätzlich [15] anzuwenden.

Zur Verbesserung der EMV der Ausrüstungen werden optimale Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Die gerätespezifischen EMV-Anforderungen und Erdungsrichtlinien sind in den entsprechenden Pflichtenheften und Installationsanweisungen (System-Handbücher, Projektierungshandbücher usw.) festgelegt.

1.3 Support

Bei Fragen oder Problemen über elektrische Sicherheit, EMV oder Installation steht der Fachbereich «Environment and Electromagnetic compatibility» (CIT-CT-EEC) zu Verfügung.

Hinweis: Bei dem vorliegenden Dokument handelt es sich um Empfehlungen für die Installation von Teilnehmeranlagen der Swisscom AG. Sie sind für den Kunden also nicht verbindlich. Treten in den Anlagen jedoch Störungen auf, die auf das Nichtbeachten der Richtlinien zurückzuführen sind, so ist der Aufwand für das Beheben dieser Störungen ausserhalb des üblichen Wartungsvertrags und somit für den Kunden kostenpflichtig. Zudem lehnt die Swisscom AG in diesen Fällen jegliche Verpflichtung für ein einwandfreies Funktionieren ihrer Anlagen ab.

2. Mitgeltende Unterlagen

[1]	EN 50173 Informationstechnik Anwendungsneutrale Verkabelungssysteme	[15]	SN 414022, Kapitel 7 Leitsätze des SEV Blitzschutzanlagen
[2]	Sicherheits- und EMV-gerechte Installation in Objekten und Anlagen Teil 1: Grundlagen	[16]	SN 414113 Fundamenterder
[3]	Sicherheits- und EMV-gerechte Installation in Objekten und Anlagen Teil 2: Objekte	[17]	566.617.7 Technische Vorschriften A191 und VorGB komplett
[4]	Sicherheits- und EMV-gerechte Installation in Objekten und Anlagen Teil 3: Anlagen	[18]	Swiscom 718.20 Überspannungsschutz in Fernmeldeanlagen
[5]	ITU-T G.703 Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interface	[19]	Swisscom 844.13 Pflichtenheft für die Fabrikation und Lieferung von Einheitskabeln
[6]	ITU-T K.21 Resistibility of subscribers terminals to overvoltages and overcurrents	[20]	Swisscom 844.24 Pflichtenheft für Überspannungsableiter
[7]	EN 41003 Sicherheitsanforderungen an Geräte zum Anschluss an Fernmelde-netze	[21]	Swisscom 892.01 Massnahmen gegen elektrostatische Ladungen
[8]	EN 50081-1 Electromagnetic compatibility – generic emission standard – residential, commercial and light industry	[22]	prEN 50272-2 Safety requirements for secondary batteries and installations
[9]	EN 55022 + A2 Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von Einrichtungen der Informationstechnik		
[10]	EN 55102-1 und EN 55102-2 Equipment with ISDN user network interface at basic and primary rate – EMC requirements		
[11]	EN 60950 Sicherheit von Einrichtungen der Informationstechnik		
[12]	ETSI ETS 300 046 ISDN primary rate access - safety and protection		
[13]	ETSI ETS 300 047 ISDN basic access - safety and protection		
[14]	SN 1000-1 bis 3 Niederspannungs-Installationen (NIN)		

3. Begriffe und Abkürzungen

Amtskabel:

Die Verbindung zwischen der Trennstelle und dem Hauptverteiler bzw. der Anschlussdose bei Einzelanschlüssen (nicht zu verwechseln mit dem Begriff «Amtsleitung» gemäss [17]).

Anschluss:

Schnittstelle zum Verbinden einer Ausrüstung mit Leitern (Signalleiter, Schirm).

Betriebserde:

Die für den Betrieb einer Anlage notwendige Erdung. Sie dient nicht dem Personenschutz.

Einpunkterde:

Eine Betriebserde, die beim ZE mit der Gebäudestruktur verbunden bzw. geerdet ist.

Elektrische Sicherheit

Der Begriff umfasst:

- die Sicherheit der Benutzer der Geräte vor Gefahren im Gerät,
- die Sicherheit der Instandhalter, die am Fernmeldenetz arbeiten, und anderer Benutzer des Fernmeldenetzes vor gefährlichen Zuständen im Fernmeldenetz, verursacht durch den Anschluss der Geräte,
- die Sicherheit der Benutzer der Geräte vor Spannungen im Fernmeldenetz.

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV):

Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung bestimmungsgemäss zu arbeiten, ohne diese unzulässig zu beeinflussen.

Endgerät (TE: Terminal Equipment):

Eine Teilnehmeranlage, die eine Umsetzung von elektrischen Signalen in eine menschengerechte Form durchführt (und umgekehrt). Endgeräte sind in der Regel dienst- oder applikationsorientiert. Beispiele: Sprachendgerät (Telefonapparat), Datenendgerät (Fax).

Erdung:

Verbinden eines Leiters oder Schirms mit dem Erdpotential.

HDSL (High bit-rate Digital Subscriber Line):

Normiertes Übertragungsverfahren für digitale Signale bis 2,048 Mbit/s auf metallischen Leitern.

IT-Netz:

Isoliertes, erdfreies Stromversorgungsnetz [14].

Potentialausgleich (PA):

Eine besondere elektrische Verbindung, um Masse und fremde leitfähige Teile auf gleiches oder annähernd gleiches Potential zu bringen.

Stockwerk-Potentialausgleich:

Zusätzlicher Potentialausgleich gemäss [14].

Störemission (Störvermögen):

Die Eigenschaft einer elektrischen Einrichtung, elektromagnetische Störenergie an die Umgebung abzugeben.

Störimmunität (Störfestigkeit):

Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, gegenüber einer spezifizierten Störgrösse möglichst immun bzw. unempfindlich zu sein und weiterhin möglichst bestimmungsgemäss zu arbeiten.

Trennstelle:

Die Trennstelle bildet den physikalischen Abschluss der Anschlussleitung bei der Einführung und ist immer mit der Möglichkeit versehen, die Amtsleitungen zu trennen. Hinter der Trennstelle beginnt die Hausinstallation.

Verteilkabel:

Die Verbindung zwischen dem Zwischenverteiler und der Anschlussdose.

Zentrale Vermittlungs- und Übertragungsausrüstung (ZVUe):

Fernmeldeausrüstungen beim Teilnehmer, die örtlich zusammengefasst sind und vermittlungs- und übertragungstechnische Funktionen ausführen. Sie besteht in der Regel aus den Übertragungs- und Vermittlungsausrüstungen (DMX, TVA, Gleichrichter usw.). Sie kann nebst der Teilnehmeranlage auch Netzbestandteile enthalten.

Zentraler Erdungspunkt (ZE):

Der Ort für das Erstellen der Einpunkterdung. Er ist mit der Gebäudeerde (Potentialausgleich) verbunden. Beim zentralen Erdungspunkt müssen alle jene Leiter eingeführt und geerdet werden, die auch ausserhalb des Teilnehmerbereichs geerdet sind. In der Praxis kann sich der ZE über mehrere Meter ausdehnen.

Zweigkabel:

Die Verbindung zwischen dem Hauptverteiler und dem Zwischenverteiler (nicht zu verwechseln mit dem Begriff Zweigleitung gemäss [17]).

Al	Aluminium	ZE	Zentraler Erdungspunkt
AV	Amtsverteiler	ZV	Zwischenverteiler
BE	Betriebserde	ZVUe	Zentrale Vermittlungs- und Übertragungs-ausrüstung
DMX	Digitaler Multiplexer		
DOV	Data Over Voice (Datenübertragung oberhalb des Sprachbandes)		
E	Erdverbindung		
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit		
EN	Europäische Norm		
ESE	Elektrostatische Entladung		
HDSL	High bit-rate Digital Subscriber Line		
HF	Hochfrequenz		
HV	Hauptverteiler		
ITU-T	International Telecommunication Union, Telecommunication-Standardisation		
LAN	Local Area Network (Lokales Netzwerk)		
L	Phasenleiter Niederspannung		
N	Neutralleiter Niederspannung		
NAG	Netzanschlussgerät		
NT	Network Termination (Netzabschlussgerät)		
PA	Potentialausgleich		
PE	Schutzleiter Niederspannung		
SEV	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein		
SK	Schaltkasten		
TE	Terminal Equipment (Endgerät)		
TVA	Teilnehmervermittlungsanlage		

4. Elektrische Sicherheit

Die elektrische Sicherheit bezüglich Teilnehmerausrüstungen ist generell durch die Norm EN60950 abgedeckt.

Hinweis für Teilnehmervermittlungsanlagen:
Teilnehmervermittlungsanlagen haben in der Regel eine gemeinsame, galvanisch nicht getrennte Speisung für die Ausgänge (a/b, S-Bus, evtl. RS232). Pro Ausgangsanschluss wird mit 0,25mA Ableitstrom von den angeschlossenen Endgeräten gerechnet. Wenn die Summe der Ableitströme 3,5mA übersteigt, muss ein zusätzlicher ortsfester Erdungsanschluss installiert werden. Der Mindestquerschnitt für einen ortsfesten Erdungsanschluss beträgt bei mechanisch geschütztem Erdleiter 2,5mm², bei ungeschütztem Erdleiter 4mm². Zusätzlich muss eine Aufschrift mit der Warnung angebracht werden: Hoher Ableitstrom, vor Anschluss der Telekommunikationsstellen Erdungsanschluss herstellen.

5. Grundlegende Aspekte der EMV

5.1 Einführung

Die technische Grundlagen sind ausführlich in [2], [3] und [4] beschrieben

5.2 Kopplungsarten (Anhang 16)

Grundsätzlich unterscheidet man die folgenden Kopplungsarten: galvanisch, kapazitiv, induktiv und Strahlung.

5.2.1 Galvanische Kopplung

Eine galvanische Kopplung entsteht immer dann, wenn zwei oder mehrere Stromkreise vorhanden sind, die so miteinander verbunden sind, dass in diesen Teil- oder Gesamtströme durch gemeinsame Impedanzen fließen, wie es z.B. bei schlecht verlegten Erdungssystemen der Fall sein kann. In jedem Stromkreis fließt dann der eigene Strom und ein Teil des Fremdstromes der übrigen Stromkreise. Treten nun in einem Stromkreis Störungen auf, so werden sie dadurch ganz oder teilweise auf den anderen Kreis galvanisch gekoppelt.

Zur Abschätzung von Störbeeinflussungen müssen die Koppelimpedanzen über den gesamten Arbeitsfrequenzbereich, bzw. den spezifizierten Störfrequenzbereich betrachtet werden.

Verringerung von galvanischen Kopplungen:

- Geringe galvanische Kopplung zwischen den Modulen und Systemen erreicht man durch eine Verringerung der Anzahl von galvanischen Verbindungen zwischen den einzelnen Teilen auf ein Mindestmass.
- Mit minimalen Werten gemeinsamer Koppelimpedanzen wird die galvanische Kopplung verkleinert. Da häufig Leitungsimpedanzen als Koppelimpedanzen wirken, ist es sinnvoll, bereits bei der Projektierung von Anlagen auf eine gute Leitungsführung zu achten. Dabei sind kurze Verbindungen, grosse Leiterquerschnitte bzw. -Oberflächen

und eine impedanzarme Ausführung anzustreben.

- Galvanische Entkopplung zwischen den Modulen und Systemen, die signalmäßig nicht zusammenarbeiten. Eine vollkommene galvanische Entkopplung wird dann erreicht, wenn alle Stromkreise nur in einem gemeinsamen Punkt verbunden sind und über diese Verbindung keine Ausgleichströme fließen.
- Galvanische Trennung von Signalleitungen zwischen den Stromkreisen. Eine galvanische Trennung von Systemen ist die beste Methode zur Reduktion galvanischer Störbeeinflussungen (z.B. Optokoppler). Sie ist unbedingt dort erforderlich, wo Systeme zusammengeschaltet sind, die mit stark unterschiedlichem Strom- und Spannungsniveau arbeiten.

5.2.2

Kapazitive Kopplung

Zwei oder mehrere Stromkreise beeinflussen sich kapazitiv, wenn sie über eine Kopplungskapazität C (parasitäre Kapazität) verbunden sind. Als Anhaltspunkt für die Größenordnung der Koppelkapazität kann man bei parallel verlegten Leitungen, je nach Durchmesser und Abstand der Leitungen, Kapazitäten zwischen 5 pF und 100 pF pro Meter annehmen.

Verringerung von kapazitiven Kopplungen:

- Die Teile der Systeme, die eine kapazitive Kopplung untereinander verursachen, sind so aufzubauen, dass die entstehenden Koppelkapazitäten möglichst klein gehalten werden. Insbesondere bei den Leitungen und bei der Verkabelung ist darauf zu achten, dass Kabel vom störenden und gestörten System möglichst weit voneinander entfernt liegen und innerhalb der Systeme eine möglichst kurze Parallelführung entsteht.

- Die Wirkung des erzeugten elektrischen Störfeldes kann am Störer oder am Gestörten durch eine ausreichende Schirmung gedämpft werden. Der Sinn der Abschirmung ist es, den Feldverlauf zwischen dem Störer und dem Gestörten auf das gewünschte Mindestmass zu reduzieren. Muss eine besonders gute Entkopplung realisiert werden, sind an beiden Systemen Abschirmungen anzubringen.

Da die kapazitiven Störströme in den Abschirmungen gut abgeleitet werden müssen, ist darauf zu achten, dass die Schirmimpedanzen möglichst klein gehalten werden, d.h. es ist auf einen ausreichenden Querschnitt, eine gute Leitfähigkeit und eine geringe Länge der Anschlussleitungen zum Bezugsleiter zu achten. Alle Abschirmungen müssen gut gerundet werden.

5.2.3

Induktive Kopplung

Zwei oder mehrere Stromkreise beeinflussen sich durch das vom Strom I_1 aufgebaute magnetische Wechselfeld. Dadurch wird in einer benachbarten Leiterschleife eine Spannung U_k induziert.

$$U_k = M_k \cdot \frac{dI_1}{dt}$$

Die Gegeninduktivität M_k ist abhängig von der geometrischen Anordnung der beiden Schleifen zueinander.

Verringerung von induktiven Kopplungen:

- Die Teile der Systeme, die zu einer Verkopplung beitragen - es zählen hauptsächlich die Leitungen und die Verkabelung dazu - sind so aufzubauen, dass zwischen den verschiedenen Stromkreisen möglichst grosse Abstände mit kurzen Leitungen entstehen. Parallel geführte Leitungen sind zu vermeiden und kleine von Leitern umfasste Flächen anzustreben. Kleine von Leitern umschlossene Flächen erreicht man

z.B. durch ein Verdrillen der Leiterpaare.

- Die Wirkung eines erzeugten Störfeldes kann sowohl beim Störer als auch beim Gestörten durch eine besonders gute Abschirmung gedämpft werden. Eine magnetische Schirmung lässt sich mit ferromagnetischem Material (magnetischer Schirm) erreichen.

5.2.4

Beeinflussung durch Strahlung

Bei der Strahlungsbeeinflussung betrachtet man als Störquelle eine sich frei im Raum ausbreitende elektromagnetische Welle mit den Feldstärken E und H . Der Störer wirkt als Sendeantenne und es gelten die allgemeinen Zusammenhänge der elektrischen Wellenausbreitung.

Verringerung der Beeinflussung durch elektromagnetische Wellen:

- Der Störer und Gestörte sind räumlich zu trennen, Leitungs- und Signalkabel getrennt zu führen.
- Die elektromagnetische Welle kann durch geeignete Schirmmassnahmen an der Ausbreitung gehindert bzw. so geführt werden, dass sie stöempfindliche Anlagenteile nicht erfasst. Eine entsprechende Dämpfung lässt sich mit guten Schirmen erreichen. Eine Wellenschirmung ist nur möglich, wenn beide Enden angeschlossen sind.
- Eine andere Art der Verringerung der Wellenbeeinflussung lässt sich durch eine Symmetrierung erreichen. Die technische Lösungsmöglichkeit bietet wiederum ein verdrilltes Aderpaar oder ein Sternvierer.

5.3

Geschirmte Kabel

5.3.1

Allgemeines

Kabelschirme erlauben eine Entkopplung verschiedener elektrischer Systeme, deren Leitungen bei geringen Abständen parallel geführt werden müssen, oder von

Signalleitern verschiedener Systeme, die im selben Kabel geführt werden. Nebstdem schützen die Schirme die Signalleitungen vor einer unzulässigen Beeinflussung durch die Umwelt, wie z.B. von atmosphärischen Überspannungen. Der Entkopplung durch die Schirmung sind Grenzen gesetzt, d.h. die Emission der Signalleiter darf bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, ansonst kann die Schirmung eine Beeinflussung nicht verhindern. Die gleiche Bemerkung gilt für äussere Einwirkungen, wie z.B. bei induktiven Kopplungen durch Blitzschläge. Ob ein abgeschirmtes Kabel verwendet werden muss, wird u.a. bestimmt durch:

- Die EMV der verschiedenen Telekommunikationssysteme im Objekt.
- Die EMV der Telekommunikationssysteme mit den übrigen elektrischen Installationen und der Umwelt.
- Die Verwendungsmöglichkeit der Verkabelung für zukünftige Systeme, wie z.B. digitale TVA, Datenübertragung.
- Den Aufbau einer auf lange Sicht flexiblen und systemunabhängigen Verkabelungsstruktur.

Nebst der Entkopplung von in getrennten Kabeln geführten Systemen muss der Kompatibilität verschiedener, im gleichen Signalleiterbündel geführter Systeme Rechnung getragen werden. Allgemein gültige Regeln können deshalb nicht aufgestellt werden, d.h. in bestimmten Fällen müssen anlagespezifische Lösungen getroffen werden.

5.3.2

Wirkung eines Schirms

Die Schirmwirkung ist abhängig von der Schirmqualität (möglichst kleine Transferimpedanz), vom Schirmanschluss und von der Schirmerdung. Es ist wichtig zwischen Schirmanschluss und Schirmerdung zu unterscheiden. Die untenstehenden Punkte geben eine Übersicht:

- Schirm nicht angeschlossen: keine Wirkung
- Schirm an beiden Enden angeschlossen (d.h. mit dem Electronicground des Geräts verbunden): Verringerung der Emission und Verbesserung der Immunität gegen elektromagnetische Felder (Prinzip eine Faraday-Käfigs)
- Schirm einseitig geerdet: Schutz gegen elektrische Felder
- Schirm beidseitig geerdet: Schutz gegen elektrische Felder und Teilkompensation der magnetischen Felder (Eventuell Probleme mit analogen Signalen, wenn hohe Ströme im Schirm fliessen). Es ist nicht direkt der Schirm, der schützt, sondern des in der Schlaufe erzeugte Gegenfeld.
- Der Schirm darf nirgends unterbrochen sein.

5.3.3

Kabelschirmung für die symmetrische Übertragung von 2 Mbit/s (ITU-T G.703)

Ausrüstungen für die Übertragung von 2 Mbit/s nach G.703 [5] erzeugen Signale bis in den Bereich von 150 MHz. Die hohe Nutzamplitude und zusätzliche asymmetrische Störsignale machen eine Schirmung (Paar, Vierer oder Bündel) unerlässlich. Andernfalls werden in den Euronormen [8], [9], [10] festgelegten Emissionsgrenzwerte überschritten.

5.4

Impedanzarme Verbindungen

Impedanzarm ist ein relativer Begriff, es kann kein universeller Grenzwert festgelegt werden. In erster Linie ist der betreffende Frequenzbereich zu beachten. In zweiter Linie bestimmt die Grösse des Stromes bzw. die Stromänderung pro Zeiteinheit den Spannungsabfall über der impedanzarmen Verbindung. Bei der fol-

genden Betrachtung werden direkte Blitzschläge ausgeschlossen.

5.4.1

Impedanzarme Verbindung zwischen dem ZE und dem Potentialausgleich (PA)

Störungen im niederfrequenten Bereich verursachen vor allem Ausgleichströme bei der Netzfrequenz, indirekte Blitzschläge, das Schalten von induktiven Lasten und Erdschlüsse in Hochspannungsanlagen. Das entsprechende Frequenzspektrum der energiereichen Anteile reicht von $16^{2/3}$ Hz bis ca. 200 kHz.

Bei Leitern überwiegt für Frequenzen oberhalb ca. 2 kHz der induktive Anteil der Impedanz. Die Induktivität beträgt dabei ungefähr $1\mu\text{H/m}$. Für die höchste Frequenz von 200 kHz ergibt dies bereits eine Impedanz von 1,25 Ohm/m. Die Anschlusslänge vom PA zum ZE sollte demnach höchstens 5 m betragen. Bei längeren Verbindungen kann die Impedanz z.B. mit einem durchgehenden metallenen Kanal möglichst gering gehalten werden.

5.4.2

Impedanzarmer Anschluss eines Kabelschirms

In diesem Fall müssen die hohen Störfrequenzen ebenfalls in die Berechnung einbezogen werden. Die Schirme sind durch möglichst grossflächige Verbindungen anzuschliessen und die freigelegte Aderlänge an Verteilern, Anschlussdosen usw. muss möglichst kurz sein. Andernfalls wird die Verwendung des Schirmes für die hohen Frequenzen nutzlos. Für die Frequenz von 100 MHz muss bei einer Anschlusslänge von 2 cm über einen Beilaufricht bereits mit einer Impedanz von 12 Ohm gerechnet werden.

5.5

Emissionsgrenzwerte

Anschlusskabel zu den Ausrüstungen leiten und strahlen einerseits Nutzsignale der Übertragung und andererseits Störsignale, die in den Ausrüstungen erzeugt werden. [8], [9], [10] enthalten Grenzwerte für die Emission.

6. Erdungsprinzip

6.1 Allgemeines

In der Praxis findet man verschiedene Erdungsprinzipien, so kann man z.B. unterscheiden zwischen einer «Maschenerdung» und einer «Einpunkterdung» [2] (Anhang 17). Beide bieten sowohl Vor- als auch Nachteile. Eine Maschenerdung ist dort sinnvoll, wo eine äusserst dichte metallische Vermaschung mit vielen Ausrüstungen, Geräten und Kabeln in Form von Gestellen mit Flächenrost sowie eine genügende Anzahl von Erdanschlusspunkten als Verbindungsmöglichkeit zum PA vorhanden sind. Die baulichen Voraussetzungen bei Haus- und Anlageninstallationen im Teilnehmerbereich verhindern oft eine enge Vermaschung und damit ein sinnvolles Erstellen dieses Erdungsprinzips. Bei der überwiegenden Anzahl der Anlagen bietet die Einpunkterdung mehr Vorteile, d.h. es entstehen insbesondere keine störenden niederfrequenten Querströme über die Kabelschirme. Werden die Anlagen in Gebäude mit Stockwerk-Potentialausgleich installiert, wird das Prinzip der Maschenerdung als gleichwertig betrachtet, sofern eine genügend impedanzarme Vermaschung gewährleistet ist.

Beim gewählten Erdungsprinzip handelt es sich um ein Einpunkterdungssystem nach dem Prinzip der Baumstruktur, d. h. ab dem mit der Gebäudestruktur verbundenen ZE wird das Erdpotential isoliert via «Stamm», «Ast» und «Zweig» zu den Endgeräten geführt. Befinden sich mehrere ZVUe im Gebäude, so werden die einzelnen, gegeneinander isolierten Erdungssysteme via ZE impedanzarm über die Gebäudestruktur miteinander verbunden.

6.2 Grundsätze des gewählten Erdungsprinzips

Mit den folgenden Grundsätzen soll der störende Einfluss von niederfrequenten, systemfremden Erd- und Fehlerströmen verhindert werden:

- Alle vorhandenen metallischen Einführungen ins Gebäude, wie Fernmeldekabel, Wasserleitung, Starkstromerde, Heizungleitung, Fundamenterde, metallische Konstruktionsteile und Armierung des Gebäudes sind möglichst impedanzarm über den Potentialausgleich zu verbinden.
- Für die Erdung der Kabeleinführung gilt [17].
- Bei allen ZVUe in Schränken oder Gestellen (z.B. Übertragungsausrüstungen und TVA) ist neben der normalen Schutzerde (im Fall der Schutzklasse I) ein zusätzlicher Erdungsleiter zu verlegen, der die leitenden Teile mit dem nächst gelegenen Potentialausgleich möglichst impedanzarm verbindet.
- Damit keine niederfrequenten, systemfremden Erd- und Fehlerströme durch die elektronischen Ausrüstungen fließen, sind die Teilnehmerausrüstungen innerhalb eines Gebäudes nach dem Prinzip der Einpunkterdung über den ZE zu erden.
- Die leitenden Gehäuse, Gestelle und die Kabelkanäle bilden Bestandteile des im Bereich des ZE in sich vermaschten Erdungssystems, das mit der Gebäudestruktur verbunden ist.
- Signalkabel und alle Erdungsleiter sind möglichst im gleichen Trasse in geerdeten leitenden Kanälen oder Rohren zu verlegen bzw. in unmittelbarer Umgebung von geerdeten metallischen Konstruktionsteilen. Damit wird die Störbeeinflussung wesentlich verringert.
- Die Bildung von Erdschleifen ist zu vermeiden.
- Als Betriebserde zwischen der ZVUe und dem Endgerät dient eine Signalleiter. Die Betriebserde wird sternförmig ab dem zugehörigen HV zu den Endgeräten geführt. Verbindungen von ei-

nem Endgerät zu einer Erde einer anderen ZVUe oder einer fremden Erde sind nicht zulässig.

- Alle geerdeten Elemente (Gehäuse, Erdungsleitungen, Verteiler, Schirmungen usw.), die nicht Bestandteil der ZVUe sind, sind gegenüber der Gebäudestruktur zu isolieren. Sie sind mit dem ZE der eigenen ZVUe zu verbinden.

6.3 Zentraler Erdungspunkt ZE (Anhang 7)

Der ZE umfasst die ZVUe und den HV. Grundsätzlich sind alle Betriebserden, geschirmten Telekomkabel sowie die Schutzerde der Starkstromkabel, die zu einer Anlage gehören, beim ZE zu erden.

6.4 Potentialausgleich (PA)

Die Installation des Potentialausgleichs richtet sich nach [14].

Die ZVUe und der HV sind untereinander zu verbinden. Eine zusätzliche Verbindung zwischen dem ZE und der Trennstelle oder zwischen den verschiedenen ZE im Gebäude ist zulässig.

6.5 Erdung der Plusleiter

Der Plusleiter der Gleichstromversorgung ist mit dem ZE zu verbinden. Die Plusleiter von Speiseleitungen, die den Bereich der ZVUe verlassen, müssen am ZE geerdet werden.

6.6 Eigenschaften der Erdungsleitungen

Betriebserde:
Ø 0,8 mm oder 1 mm², T-isoliert rot

Da bei einem Erdschluss der Speiseausrüstung (z.B. Batterie) erhebliche Fehler-

ströme auftreten können, müssen die Erdungsleitungen zwischen der ZVUe und dem Hauptverteiler bzw. zwischen der ZVUe und dem Potentialausgleich entsprechend dimensioniert werden.

Die Batteriesicherung der Speiseausrüstung bestimmt die Erdleiterquerschnitte:

Batteriesicherung [A]:
≤40 ≤60 ≤150 ≤250 ≤500

Erdleiterquerschnitt [mm²]:
2,5 4 6 10 16
T-isoliert gelb/grün

Der höchste Strom fließt in der Erdungsleitung, wenn die TVA ein Schutzklasse II-Gerät ist und ein Kurzschluss zwischen dem Minus-Leiter der Gleichstrom-Speisung und der Gebäudeerde stattfindet. Im Falle eines Schutzklasse I-Gerätes fließt ein Teilstrom im PE.

Bei einer kleinen TVA ist die Batterie direkt im TVA-Gehäuse installiert und es ist ausgeschlossen, dass ein Kurzschluss zwischen dem Minus-Leiter der Gleichstrom-Speisung und der Gebäudeerde stattfindet.

Bei einer grösseren TVA sind die Batterien ausserhalb der TVA installiert. Gemäss [22] müssen alle Teile (Klemmen, Kabel) zwischen den Batterieklammern und der Batteriesicherung so ausgeführt sein, dass ein Kurzschluss in allen vorhersehbaren Situationen nicht stattfinden kann. Die Batteriesicherung und die Verteilung sind im gleichen Schrank. So ist der Strom durch Sicherungen, die im Verteiltableau montiert sind, begrenzt.

6.7 Leitungsführung

Niederspannungsleitungen für die Speisung von Teilnehmeranlagen sind möglichst ordnungsgemäss [3], [17] im gleichen Trasse wie die zugehörigen Schwachstromleitungen zu verlegen.

Die Ausrüstungen und Endgeräte sind E-förmig resp. in einer Baumstruktur untereinander zu verbinden.

Es ist darauf zu achten, dass zwischen den Erdungs- und Signalleitungen keine grossflächigen Leiterschlaufen entstehen. Mit dieser Massnahme können induktive Kopplungen und Überspannungen wesentlich verringert werden.

6.8 Erdung der Ausrüstungen

Die Ausrüstungen sind grundsätzlich über den ZE zu erden. Einfachere Geräte ohne HV, also Installationen ohne ZE (Apparate, Swissnet-Endgeräte), werden an der Trennstelle oder bei einer Installation mit ungeschirmten Kabeln über die Schutz-erde des Gerätes geerdet. Dabei ist jedoch bei Geräten der Schutzklasse I darauf zu achten, dass via Schutzleiter und Verbindung von der Ausrüstung zur Trennstelle keine Erdschlaufen entstehen. Der Elektronikground ist normalerweise aus EMV- und insbesondere aus ESE-Gründen am Erdpotential fixiert. Nicht zu erdende Geräte werden in den geräte-spezifischen Installationsanweisungen bezeichnet (z.B. Telefonapparat).

6.9 Isolation gegenüber der Gebäudestruktur

Weisen Teilnehmorausrüstungen einen Erdanschluss auf (z.B. Betriebserde BE und/oder Schutzleiter PE bei Schutzklasse I-Geräten), sind zufällige Kontakte zur Gebäudestruktur zu vermeiden. Metallische Gehäuse von Geräten müssen eine Distanz von ≥ 5 mm (z.B. Gummifüsse) gegenüber der Gebäudestruktur aufweisen. Bei mehreren verschiedenen Erdanschlüssen sind Massnahmen zu treffen, damit keine Erdschlaufen entstehen. Die Isolation der verschiedenen Erden richtet sich grundsätzlich nach [7] und [11].

Der HV und die ZV sind in der Regel konstruktionsbedingt isoliert. Beim HV als Bestandteil des ZE sowie bei den ZV in Gebäuden mit Stockwerk-Potentialausgleich wird diese Isolation durch den PA überbrückt.

Um zufällige, unkontrollierbare Verbindungen zur Gebäudestruktur zu vermeiden, empfiehlt es sich, die ZVUE isoliert zu montieren. In den Beispielen im Anhang ist die isolierte Montage jedoch nur eingezeichnet, wenn sie zwingend erforderlich ist.

6.10 Galvanische Trennung

Stromkreise, die durch eine elektrische Isolation getrennt sind und dadurch keine leitende Verbindung zueinander haben, sind «per Definition» galvanisch getrennt (Anhang 3 bis 6).

Soll - unter Beibehaltung der galvanischen Trennung - elektrische Energie oder Information von einem Stromkreis zum anderen übertragen werden, so kann das wie folgt geschehen:

- mit einem elektrischen Feld
- mit einem magnetischen Feld
- mit Lichtwellen

Wichtigste Komponenten, die dazu eingesetzt werden, sind:

- der Kondensator
- der Transformator
- der Optokoppler

Aus folgenden Gründen kann eine galvanische Trennung erforderlich sein:

- aus Gründen der elektrischen Sicherheit [11] und des Sachschutzes,
- zur Verhinderung von Erdschlaufen bzw. zur Abwehr entsprechender EMV-Störeinstreuungen.

In welchen Fällen eine galvanische Trennung vorzusehen ist, ist den anlagespezifischen Installationsanweisungen zu entnehmen.

Aus EMV-Gründen (ESE, HF-Beeinflussung) kann es sich als notwendig erweisen, die galvanische Trennung mit genau definierten Elementen zu überbrücken:

- ein hochohmiger Widerstand ($\geq 10 \text{ M}\Omega$) zur Verhinderung gefährlicher Potentiale (Aufladungen); zur Unterstützung können zudem Gasableiter, Varistoren usw. eingesetzt werden
- ein Kondensator ($\leq 1 \text{ nF}$) um geräteinterne höherfrequente EMV-Störkomponenten abzuleiten oder HF-mässig zu erden

Im Prinzip sind diese Schutzmassnahmen nur vom Hersteller anzuwenden.

Bedingung ist, dass der Sinn und Zweck der galvanischen Trennung dadurch nicht in Frage gestellt werden und insbesondere keine Sach- und Personengefährdung eintritt. Die maximalen zulässigen Ströme bezüglich elektrische Sicherheit (z.B. Berührungsströme an den Telekommunikationsschnittstellen) dürfen nicht überschritten werden. Die Bedingungen an die Überbrückungselemente sind den entsprechenden Normen und Empfehlungen zu entnehmen ([7], [11], [12], [13]).

7. Gebäudeverkabelung

7.1 **Verträglichkeit verschiedener Übertragungsarten im gleichen Kabel**

Dieser Abschnitt bezieht sich ausschliesslich auf symmetrische Kabel.

Die Symmetriedämpfung der Kabel und Ausrüstungen sowie die Nebensprechdämpfung der Kabel bestimmen, ob verschiedene Übertragungsarten gleichzeitig im gleichen Kabel fehlerlos übertragen werden können. Massgebend für die gegenseitige Beeinflussung sind ferner die Signalpegel, die Flankensteilheiten und die Frequenzspektren. Es kann zwischen analoger und digitaler Übertragung unterschieden werden.

Bei der analogen Übertragung ist zu berücksichtigen, dass infolge Impulswahl und Ruf Störungen auf benachbarte Übertragungen nicht ausgeschlossen sind. Digitale Signale mit hohen Spannungsamplituden (z.B. V.24/V.28) oder grossen Strömen (z.B. 20mA Einfachstrom) sind andere mögliche Störer. Andererseits können die kurzzeitigen Beeinflussungen mit einem gesicherten Übertragungsprotokoll mit kurzen Rahmen abgefangen werden.

In der Regel können sämtliche digitale Übertragungsarten mit Bitraten < 1 Mbit/s incl. ISDN Basisrate (S/T) sowie die analoge Sprachbandübertragung gemeinsam im gleichen Kabel übertragen werden. Zusätzlich sind sämtliche Übertragungsarten erlaubt, die im Anschlussnetz der Swisscom verwendet werden, u.a. HDSL, DOV und Basisband. Für die Übertragung von 2 Mbit/s nach G.703 wird empfohlen, vierergeschirmte bzw. separate bündelgeschirmte Kabel gemäss [19] zu verwenden.

Bei der analogen Bildübertragung (bis ca. 5 MHz) ist nicht auszuschliessen, dass diese beeinflusst werden. Deshalb wird dafür ein separater Schirm empfohlen.

Für die Übertragung nach V.24/V.28 wird ein separates Kabel mit Schirm empfohlen.

Gemischte Gebäudeverkabelungen für Telecom- und Privatdienste (z.B. LAN) sind erlaubt, sofern die Dienste sich nicht gegenseitig beeinflussen. Von einer unsymmetrischen Übertragung mit hohen Amplituden (z.B. V.24/V.28 und Gegensprechanlage) mit Telekomdiensten wird abgeraten. Bedingung für eine gemischte Übertragung ist ferner, dass 5.5 eingehalten wird.

7.2 **Kabeltypen**

Die Übertragungsparameter sind generell in [19] festgehalten, z.B. beträgt die Abschlussimpedanz beim NT/NAG für symmetrische Kabel 120 Ohm, für ISDN-Basisanschlüsse 100 Ohm und diejenige für koaxiale Kabel 75 Ohm. Die Kabelimpedanz soll der Abschlussimpedanz der angeschlossenen Ausrüstung entsprechen. Bei einer Fehlanpassung können Übertragungsfehler entstehen.

Die Ausführung der Kabelschirmanschlüsse und die Qualität der Schirmung spielen einen wesentlichen Einfluss sowohl bezüglich Emission als auch bezüglich Immunität der Übertragung. Die Transferimpedanz bestimmt die Güte des Kabelschirms. Es sind nur Kabel einzusetzen, die [19] oder Kat. 5 [1] entsprechen.

- Bündelgeschirmte Kabel sind nur zulässig, wenn die ab dem geschlossenen Schirm freigelegte Aderlänge an den Verteilern, Anschlussdosen, etc. kurz gehalten werden kann und wenn keine Emissionsgefahr besteht ([8], [9], [10]).
- Die Swisscom AG verwendet für die Übertragung nach G.703 für die Bitrate 2,048 Mbit/s geschirmte, symmetrische und für Bitraten oberhalb 2,048 Mbit/s koaxiale Kabel. Bei einer symmetrischen Übertragung ab ca. 1 Mbit/s kön-

nen ohne Kabelschirm EMV-Probleme auftreten.

- Bei Kabeln mit Bündelschirm und Paar- oder Viererschirmung müssen alle Schirme gegeneinander isoliert sein, andernfalls verschlechtert sich die Beeinflussung bei den tiefen Frequenzen und/oder die Erdungstrennung zwischen den Ausrüstungen von verschiedenen Teilnehmern ist nicht mehr gewährleistet.

7.3 Erdung der Kabelmäntel, Abschirmungen und Aussenleiter

7.3.1 *Kabel innerhalb der Gebäude*

Aus technischen Gründen müssen die Kabelschirme grundsätzlich beidseitig angeschlossen (kontaktiert) werden. Folgende Regeln sind zu beachten:

- Die Schirme sind durchgehend zu verlegen, bei Abzweigungen an den Schirm des Zweigkabels anzuschliessen und bei Anschlussdosen durchzuverbinden.
- Bündelgeschirmte Kabel sind grundsätzlich über den ZE bzw. die Trennstelle zu erden, an Verteilern durchzuschalten und impedanzarm mit den Metallkanälen bzw. der Metallkonstruktion von Verteilern oder bei Apparateanschlüssen mit dem Elektronikground zu verbinden.
- Die Schirme sind durch kurze und grossflächige Verbindungen an den Elektronikground (Geräteabschirmung) der Ausrüstungen anzuschliessen.
- Wird parallel zur Schirmerdung noch eine Betriebs Erde geführt, so sind diese Leitungen eng beieinander zu verlegen.
- Im Fall der Verwendung von geschirmten symmetrischen Kabeln wird die Schirmung bei metallisch offenen Verteilerelementen und Anschlussdosen

durchbrochen. Dadurch können asymmetrische Störsignale, die in den angeschlossenen Ausrüstungen erzeugt werden, im Verteiler abgestrahlt werden. Die freigelegte ungeschirmte Aderlänge ist möglichst kurz zu halten. Im Fall von Bündelkabeln mit gemeinsamem Schirm wird für die Erdverbindung am besten eine metallene Klemmbride verwendet. Mitlaufdrähte sind dafür nicht geeignet.

- Bei flexiblen Apparateanschlüssen ist der Schirm via Anschlussdose und geschirmtes Anschlusskabel mit dem Elektronikground des Apparates zu verbinden.
- Die Aussenleiter der Koaxialkabel sind an beiden Enden durchzuverbinden und über den ZE zu erden.

Bündelkabel mit Bündelschirm und Paar- oder Viererschirm:

- Der Bündelschirm ist grundsätzlich impedanzarm beidseitig an die Metallkonstruktion von Verteilern anzuschliessen (anschliessen bedeutet das Durchschalten des Erdpotentials). Die Erdung des Schirms erfolgt impedanzarm über den ZE bzw. die Trennstelle. In Spezialfällen wird der Bündelschirm mehrfach mit dem Erdpotential verbunden.
- Die Paar- oder Viererschirme werden entsprechend ihrer Funktion verwendet. Sie sind grundsätzlich über den ZE bzw. die Trennstelle zu erden, bei Verteilern und Apparateanschlüssen isoliert durchzuschalten und am andern Ende mit dem Elektronikground der angeschlossenen Ausrüstung zu verbinden.

Schirme von symmetrischen Kabeln dürfen aus EMV-Gründen nicht als Signalleitung (z.B. für Steuertaste, Türsignal und Alarmer) verwendet werden.

7.3.2

Kabel die das Gebäude verlassen

Symmetrische und koaxiale Leitungen, die das Gebäude verlassen, sind über den ZE bzw. die Trennstelle zu führen und zu erden. Der Aussenleiter (z.B. metallischer Mantel oder Al-Dampfsperre) muss auf der ganzen Kabellänge elektrisch durchgehend sein. In Werkleitungsstollen und Kanälen sind die Endpunkte des Kabelmantels bei Spleissungen an Erde zu legen.

7.4

Verkabelungsarten

Die Art der Verkabelung richtet sich nach dem geplanten Einsatz der verschiedenen Dienste, ausserdem hängt sie von der Gebäudestruktur ab. Bei komplexen Anlagen ist die Verkabelung so zu erstellen, dass die längerfristige Entwicklung nicht verhindert wird. Die Installation ist baumstrukturformig anzuordnen.

Der CEN/IEC-Standard [1] kennt die Primär- (Areal), Sekundär- (Steigzonen) und Tertiär-(Horizontal) Verkabelung. Wenn im vorliegenden Dokument diese Terminologie nicht verwendet wird, so liegt der Grund darin, dass diese in erster Linie auf die örtliche Situation hinweist, nicht aber auf die Funktion des einzelnen Kabels. So kann beispielsweise die Sekundär-Verkabelung die Funktion eines Amts- oder Zweigkabels übernehmen.

7.4.1

Installation mit ungeschirmten Kabeln

Diese Installationsart kann angewendet werden, wenn die Emissionswerte eingehalten und ausschliesslich Übertragungsarten im tieferen Frequenzbereich bis ca. 300 kHz eingesetzt werden. Dies trifft z.B. zu im Fall der ISDN-Basisrate und der Übertragung nach dem HDSL-Verfahren.

7.4.2

Installation mit geschirmten Kabeln in Gebäuden ohne Stockwerk-Potentialausgleich

Die Schirme werden beim ZE geerdet und ab dieser Stelle isoliert gegenüber der Gebäudestruktur zu den Geräten geführt.

Bei mehreren ZVUe im gleichen Gebäude dürfen die Erdpotentiale der Anlagenetze nur beim PA miteinander verbunden und nicht untereinander vermascht werden. Bei Kabeln mit Bündelschirm und Paar- oder Viererschirm müssen die Schirme deshalb gegeneinander isoliert sein.

Ist bei der Installation mit mehreren ZVUe eine Betriebserde für den Betrieb eines Endgerätes (z.B. Erdtaste) notwendig, so ist diese als Signalader vom zugehörigen HV isoliert über den ZV zum Endgerät zu führen.

7.4.3

Installation mit geschirmten Kabeln in Gebäuden mit Stockwerk-Potentialausgleich

In den Steigzonen sind in jedem Stockwerk Potentialausgleichsschienen vorhanden (Verbindungen zwischen Starkstrom, Wasser, Gebäudestruktur, etc.), welche eine genügend impedanzarme Vermaschung der Installationen und der Gebäudestruktur gewährleisten. Zwischen den ZV sind metallene Kabeltrassen oder Kabelpritschen installiert, die mit der Gebäudestruktur impedanzarm verbunden sind. Die SEV- Leitsätze bezüglich Blitzschutzanlagen [15] und Fundament-erdung [16] sind zu berücksichtigen.

Bei den Zweigkabeln ist der Bündelschirm beidseitig, also beim HV und ZV, mit dem Potentialausgleich zu verbinden, unabhängig davon, ob sich eine oder mehrere ZVUe im gleichen Gebäude befinden. Die Bündelschirme der Verteilkabel werden beim nächstgelegenen Stockwerk-Potentialausgleich geerdet und ab dieser Stelle isoliert von der Gebäudestruktur zu den Endgeräten geführt.

Es wird empfohlen, allfällig vorhandene Paar- oder Viererschirme beidseitig anzuschliessen und einseitig beim ZE zu erden. Die Schirme der Verteilkabel sind in diesem Fall isoliert mit dem Schirm des zugehörigen Paares oder Vierers zu verbinden. Die Schirme sind beidseitig anzuschliessen.

7.5 Verteiler und Durchschaltkasten

Die Euronormen [8], [9], [10] sind zu berücksichtigen. Es sind nur Verteiler und Durchschaltkasten zu verwenden, die eine impedanzarme Verbindung der angeschlossenen Bündelschirme gewährleisten.

7.6 Verbindungs- und Anschlussstecker für Geräte

Im Fall von geschirmten Kabeln soll die Transferimpedanz des Steckerübergangs die Werte gemäss [1] nicht überschreiten. In den Anhängen 3 bis 6 findet man diverse Beispiele der Erdungstrennung.

Im folgenden sind Beispiele mit geschirmten Kabeln aufgeführt. Unter Vorbehalt, dass die Emission (5.5) und gegenseitige Beeinflussung (7.1) eingehalten werden, können anstelle der geschirmten Kabel auch ungeschirmte verwendet werden. Dies gilt beispielsweise für das Anschlusskabel von Ausrüstungen ab Anschlussdose bei einer Übertragung im Frequenzbereich bis circa 300 kHz. Die Massnahmen bezüglich Erdung vereinfachen sich dadurch.

8. Installationsbeispiele und Montageprinzipien

8.1 Installation in Verwaltungs- und Geschäftsgebäuden

Bei den Überlegungen über die Anwendung der aufgeführten Erdungsprinzipien ist im praktischen Fall zu beachten, ob sich einer oder mehrere Teilnehmer im Gebäude befinden, ob das Gebäude mit einem Stockwerk-Potentialausgleich versehen ist und ob ungeschirmte, bündelgeschirmte oder Kabel mit Bündelschirm und Paar- oder Viererschirm verwendet werden. Die Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der im folgenden beschriebenen Prinzipien.

8.1.1 Gebäude ohne Stockwerk-Potentialausgleich

Ein Teilnehmer im Gebäude (Anhang 8)

Bei einer ungeschirmten Installation ist die Metallkonstruktion der ZV mit einer Betriebserde mit dem ZE (HV, TVA) zu verbinden. Die für die Funktion eines Endgerätes notwendige Betriebserde darf am ZV abgenommen werden. Zur Vereinheitlichung der Installationsprinzipien empfiehlt es sich jedoch, diese Betriebserde mit einer freien Ader beim HV abzunehmen und isoliert über den ZV zu führen.

Bei einer Installation mit bündelgeschirmten Kabeln übernimmt der Schirm die Funktion der Erdverbindung zwischen den ZV und dem ZE, d. h. die Schirme der Zweigkabel werden beim ZE an Erde gelegt und über die Metallteile der ZV mit den Schirmen der Verteilkabel verbunden.

Werden Kabel mit Bündelschirm und Paar- oder Viererschirm eingesetzt, so wird der Bündelschirm der Zweigkabel beim ZE angeschlossen und geerdet. Das andere Ende des Bündelschirms wird mit der metallenen Verteilerkonstruktion der ZV verbunden. Die Paar- oder Viererschirme sind über den ZE zu erden. Bei den ZV werden diese Schirme mit den Schirmen der Verteilkabel, gegenüber der Verteilerkonstruktion isoliert, durchverbunden.

Die für die Funktion eines Endgerätes notwendige Betriebserde ist bei einer Installation mit geschirmten Kabeln mit einer freien Ader beim zugehörigen HV abzunehmen. Würde sie am ZV mit der Erde verbunden, so würde ein Strom über den Schirm des Zweigkabels fließen, was zu Störungen führen kann.

Mehrere Teilnehmer im Gebäude (Anhang 9)

Es wird davon ausgegangen, dass die Ausrüstungen der einzelnen Teilnehmer über einen SK oder AV an das Telekommunikationsnetz angeschlossen sind. Sind die Amtskabel direkt auf den HV einer einzelnen ZVUe geführt, so gelten die folgenden Prinzipien sinngemäss.

Bei einer ungeschirmten Installation ist die Metallkonstruktion der ZV mit einer Betriebserde von der Trennstelle aus zu erden. Notwendige Betriebserden für den Betrieb eines Endgerätes sind mit einer freien Ader ab dem zugehörigen HV isoliert über den ZV zu führen.

Bei einer Installation mit bündelgeschirmten Kabeln sind die Schirme der Amts- bzw. der Zweigkabel bei der Trennstelle bzw. beim ZE an Erde zu legen. Auf der anderen Seite der Kabel werden die Bündelschirme auf die Schirme der Verteilkabel, gegenüber der Metallkonstruktion des ZV isoliert, durchverbunden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Kabelschirme von verschiedenen ZVUe nicht miteinander vermascht werden. Eine für die Funktion eines Endgerätes (z.B. Erdtaste) notwendige Betriebserde ist mit einer freien Ader ab dem zugehörigen HV isoliert über den ZV zu führen.

Bei der Installation mit Kabeln mit Bündel- und Paar- oder Viererschirm werden die Bündelschirme der Amts- bzw. Zweigkabel eines Teilnehmers miteinander vermascht und die Paar- oder Viererschirme nach dem Prinzip der Einpunkterdung nur am ZE oder der Trennstelle geerdet. Der Bündelschirm ist deshalb immer mit der

Tabelle 1: Erdungsprinzipien in Verwaltungs- und Geschäftsgebäuden

Installationsart	Gebäude ohne Stockwerk-Potentialausgleich		Gebäude mit Stockwerk-Potentialausgleich	
	Ein Teilnehmer	Mehrere Teilnehmer	Ein Teilnehmer	Mehrere Teilnehmer
nicht geschirmte Kabel	ZV mit dem HV verbinden	ZV mit der Trennstelle verbinden	ZV mit dem Potentialausgleich verbinden	ZV mit dem Potentialausgleich verbinden
	Betriebserde mit einer freien Ader ab dem HV auf dem ZV isoliert durchverbinden	Betriebserde mit einer freien Ader ab dem zugehörigen HV auf dem ZV isoliert durchverbinden	Betriebserde mit einer freien Ader des Verteilkabels ab dem ZV	Betriebserde mit einer freien Ader des Verteilkabels ab dem ZV
Kabel mit Bündelschirm ¹⁾ siehe Anhang A8 bis A11	Schirm der Zweigkabel auf HV und ZV	Schirm der Amtskabel auf Trennstelle Schirm der Zweigkabel auf HV	Schirm der Zweigkabel auf HV und ZV	Schirm der Amtskabel auf Trennstelle und ZV Schirm der Zweigkabel auf HV und ZV
	Schirm der Verteilkabel auf ZV	Schirm der Verteilkabel isoliert auf den Schirm der Amts- oder Zweigkabel durchverbinden	Schirm der Verteilkabel auf ZV	Schirm der Verteilkabel auf ZV
	Betriebserde mit einer freien Ader ab dem HV auf dem ZV isoliert durchverbinden	Betriebserde mit einer freien Ader ab dem zugehörigen HV auf dem ZV isoliert durchverbinden	Betriebserde mit einer freien Ader des Verteilkabels ab dem ZV	Betriebserde mit einer freien Ader des Verteilkabels ab dem ZV
Kabel mit Bündelschirm und Paar- oder Viererschirm	Bündelschirm der Zweigkabel auf HV und ZV	Bündelschirm der Amtskabel auf Trennstelle und ZV Bündelschirm der Zweigkabel auf HV und ZV	Bündelschirm der Zweigkabel auf HV und ZV	Bündelschirm der Amtskabel auf Trennstelle und ZV Bündelschirm der Zweigkabel auf HV und ZV
	Paar- oder Viererschirm der Zweigkabel auf HV	Paar- oder Viererschirm der Amts- und Zweigkabel auf Trennstelle bzw. HV	Paar- oder Viererschirm der Zweigkabel auf HV	Paar- oder Viererschirm der Amts- und Zweigkabel auf Trennstelle bzw. HV
	Schirm der Verteilkabel isoliert auf den Schirm des zugehörigen Paares oder Vierers im Zweigkabel durchverbinden	Schirm der Verteilkabel isoliert auf den Schirm des zugehörigen Paares oder Vierers im Amts- oder Zweigkabel durchverbinden	Schirm der Verteilkabel isoliert auf den Schirm des zugehörigen Paares oder Vierers im Zweigkabel durchverbinden	Schirm der Verteilkabel isoliert auf den Schirm des zugehörigen Paares oder Vierers im Amts- oder Zweigkabel durchverbinden
	Betriebserde mit einer freien Ader ab dem HV auf dem ZV isoliert durchverbinden	Betriebserde mit einer freien Ader ab dem HV auf dem ZV isoliert durchverbinden	Betriebserde mit einer freien Ader des Verteilkabels ab dem ZV	Betriebserde mit einer freien Ader des Verteilkabels ab dem ZV

Bem.¹⁾ Im Extremfall besteht ein Bündelkabel nur aus einem Paar oder Vierer

metallenen Konstruktion der Verteiler (AV, ZV, HV) zu verbinden. Die Paar- oder Viererschirme werden an der Trennstelle bzw. am HV geerdet. Beim ZV werden diese Schirme auf die Schirme der Verteilkabel, isoliert von der Metallkonstruktion und von andern Schirmen oder Betriebs-erden, durchverbinden. Eine für die Funktion eines Endgerätes (z.B. Erdtaste)

8.1.2

notwendige Betriebserde ist mit einer freien Ader ab dem zugehörigen HV isoliert über den ZV zu führen.

Gebäude mit Stockwerk-Potentialausgleich

(Anhänge 10 und 11)

Die Metallkonstruktion der ZV ist mit dem nächsten Stockwerk-Potentialausgleich zu

verbinden. Da der AV (Trennstelle), die ZV und der (die) HV impedanzarm mit dem Potentialausgleich verbunden sind und somit praktisch dasselbe Potential aufweisen, bilden sie zusammen einen erweiterten, vermaschten ZE.

Sind die Installationskabel nicht geschirmt, so ist eine für die Funktion eines Endgerätes notwendige Betriebs Erde beim ZV abzunehmen. Sind mehrere ZVUe im Gebäude, so dürfen die Betriebs Erden der verschiedenen ZVUe auf dem ZV miteinander verbunden und geerdet werden.

Die Schirme von bündelgeschirmten Kabeln (Amts- oder Zweigkabel) sind immer beidseitig am AV, HV und ZV mit der Metallkonstruktion der Verteiler zu verbinden. Die Schirme der Verteilkabel sind beim ZV an die Metallkonstruktion anzuschließen. Eine für die Funktion eines Endgerätes notwendige Betriebs Erde ist mit einer freien Ader des Verteilkabels am ZV abzunehmen.

Der Schirm von Kabeln mit Bündelschirm und Paar- oder Viererschirm ist beidseitig zu erden, bzw. mit der Metallkonstruktion der Verteiler zu verbinden. Die Paar- oder Viererschirme sind am HV bzw. der Trennstelle zu erden und beim ZV, isoliert gegenüber der Metallkonstruktion sowie andern Schirmen und Betriebs Erden, mit den Schirmen der Verteilkabel zu verbinden. Würden die Paar- oder Viererschirme beim ZV ebenfalls geerdet, was vom Prinzip her zulässig wäre, so verlöre damit der Einsatz von doppelgeschirmten Kabeln seinen Sinn, d. h. bündelgeschirmte Kabel würden genügen. Eine Betriebs Erde für ein Endgerät wird am ZV abgenommen.

8.2

Montageprinzip für ZVUe

In den Anhängen 12 und 13 ist das Prinzip der Montage elektronischer Ausrüstungen je nach Raumklasse aufgeführt. Dabei ist das Kapitel 11 zu beachten.

9. Stromversorgung 230 VAC und 400 VAC

9.1 Anschluss von Fernmeldegeräten der Schutzklasse I im Bereich des ZE ohne Trenntransformator

Diese Geräte sind gemäss Anhang 14 zu installieren. Dabei ist zu beachten, dass der Schutzleiter impedanzarm mit dem ZE verbunden wird. Die Installation ist nur im gleichen Stockwerk zulässig.

Bei Ausrüstungen in Schutzklasse I muss der Schutzleiter gemäss [11] Bestandteil des Netzanschlusskabels sein.

9.2 Anschluss von Fernmeldegeräten der Schutzklasse I über einen Trenntransformator

Der Trenntransformator bezweckt die Vermeidung der Erdschlaufenbildung über die Schutz Erde für die tieffrequenten Signale. Er dient also der EMV und nicht dem Personenschutz. Werden mehrere Geräte an den gleichen Trenntransformator angeschlossen, so ist ein IT-Netz zu erstellen (Anhang 15).

Aus der Zeichnung ist ersichtlich, dass die stromführenden Leiter des IT-Netzes von Erde isoliert sind und bei einem Erdschluss dadurch praktisch kein Fehlerstrom fliesst. Als Schutzmassnahme beim gleichzeitigen Auftreten von zwei Fehlern müssen die angeschlossenen leitenden Teile der Geräte geerdet sein. In der Figur ist der Ausgleichsleiter ersichtlich, der den Schutzleiterkontakt der Steckdose mit dem ZE verbindet und somit vom PA geerdet wird (Querschnitt gemäss [14]). Alle Starkstromleiter müssen sekundärseitig abgesichert werden. Grosse Erdschlaufen sind zu vermeiden. Dies erreicht man, indem die Betriebserde und die Signalkabel ordnungsgemäss von den Netzzuleitungen auf dem gleichen Trasse geführt werden.

10. Überspannungsschutz

10.1 Überspannungsschutz auf der Seite Telekomnetz

Alle Leitungen, die das Gebäude verlassen, müssen bei der Trennstelle mit Überspannungsableitern ausgerüstet werden (Anhang 2). Verbindungskabel zwischen zwei Gebäuden, die weniger als 50 m voneinander entfernt sind, müssen auf der Trennstelle, Seite ZVUe, geschützt werden; bei einer grösseren Distanz sind beidseitig Überspannungsableiter einzusetzen. Diese Elemente dienen als Grobschutz sowohl für die Teilnehmerinstallation als auch als Schutz der angeschlossenen Ausrüstungen bzw. Geräte. Die Spezifikationen sind in [20] festgehalten.

Beim ISDN müssen die Überspannungsableiter (UA) eine geeignete Löscharakteristik aufweisen. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die UA nach dem Ansprechen infolge der Fernspeisung im leitenden Zustand verharren.

Trotz des netzseitigen Überspannungsschutzes können geräteseitig kurzzeitige Restspannungen bis 1 kV auftreten.

10.2 Geräteseitiger Schutz

Gemäss [7] dürfen Ausrüstungen, die an das öffentliche Telefonnetz angeschlossen werden, ebenfalls einen Schutz enthalten. Die Nenn-Ansprechgleichspannung richtet sich nach [7] und [11].

Der Einbau ist Sache des Geräteherstellers. Es ist darauf zu achten, dass der geräteseitige Schutz das Ansprechen der netzseitigen Überspannungsableiter sowohl statisch als auch dynamisch nicht verhindert.

Zusatz- bzw. Vorfeldeinrichtungen sollen die beim Ansprechen des geräteseitigen Schutzes auftretenden Ströme aushalten.

An Ausrüstungen, die keinen geräteseitigen Schutz enthalten (Stossspannungs-

festigkeit gemäss [6]), z.B. Ausrüstungen mit Signalschnittstellen gemäss ITU-T G.703 [5] sowie die Schnittstellen S und T beim ISDN, dürfen nur Kabel angeschlossen werden, die das Gebäude nicht verlassen. Andernfalls sind spezielle Schutzmassnahmen (z.B. Schutzübertrager) zu ergreifen.

10.3 Überspannungsschutzelemente

Angaben über das Bestücken von Verteilern, Schaltkasten, Löt-/Schraubstrips und Trennleisten mit Überspannungs- oder Anschlusselementen sind dem Heft [18] zu entnehmen.

10.4 Überspannungsschutz für Speisegeräte

Für Speisegeräte der Schutzklasse II wird kein Überspannungsschutz auf der Niederspannungsseite verlangt.

Bei Speisegeräten der Schutzklasse I wird auf der Niederspannungsseite in gefährdeten Gegenden ein Überspannungsschutz empfohlen. Es ist darauf zu achten, dass beim Ansprechen des Überspannungsableiters kein Kurzschluss auf dem Niederspannungsnetz entsteht, der ein Auslösen der vorgeschalteten Sicherungen bewirkt.

10.5 Überspannungsschutz für DC-Speiseleitungen

Speiseleitungen, die das Gebäude verlassen, sind durch spezielle Überspannungsschutzeinrichtungen (z.B. für 48 VDC $I < 1$ A: Varistor Typ SIOV-S20K50) zu schützen. Die Sicherungen der Speiseleitungen dürfen beim Ansprechen der Schutzeinrichtung nicht unterbrechen.

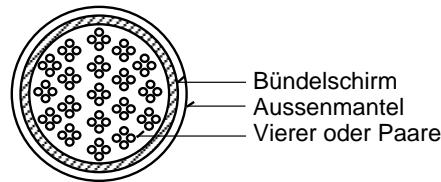
Die Erdung der Plusleiter erfolgt gemäss Abschnitt 6.5.

11. Elektrostatische Entladungen

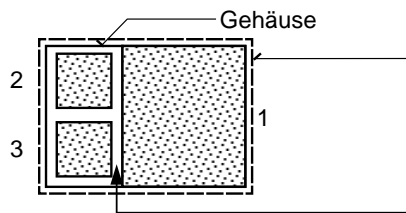
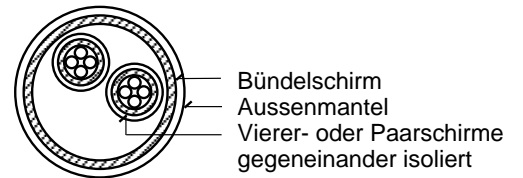
Es gelten die Massnahmen gegen elektrostatische Ladungen [21].

Die Raumbedingung (Klasse B oder C, siehe auch Anhänge 12 und 13) für die Ausrüstungen bezüglich elektrostatischer Entladung wird mit dem Kunden vertraglich vereinbart.

Anhang



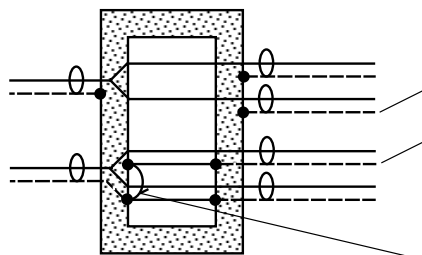
Bündelkabel



Isolation gegenüber der Gebäudestruktur

3 verschiedene Elektronikgrounds

Galvanische Trennung

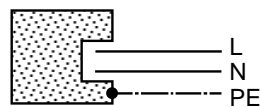


Verteiler

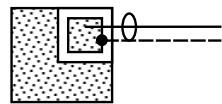
Schirm ablegen auf Metallkonstruktion

Schirm isoliert überführt

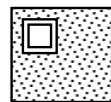
Schirm-Multipel



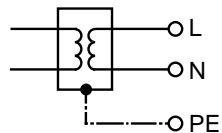
Ausrüstung mit Niederspannungsanschluss



weitere Erdverbindung von zusätzlichen Schnittstellen



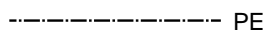
Gerät mit Schutzklasse II



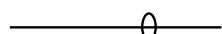
Trenntrafo



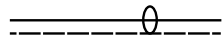
Betriebserde



Schutzerde



Koaxialkabel, Schirm als Signallrückleiter



Symmetrisches Kabel geschirmt (1 bis n) · 2 (4) Leiter + S



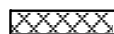
Symmetrisches Kabel (1 bis n) · 2 (4) Leiter



Anschlussdosen



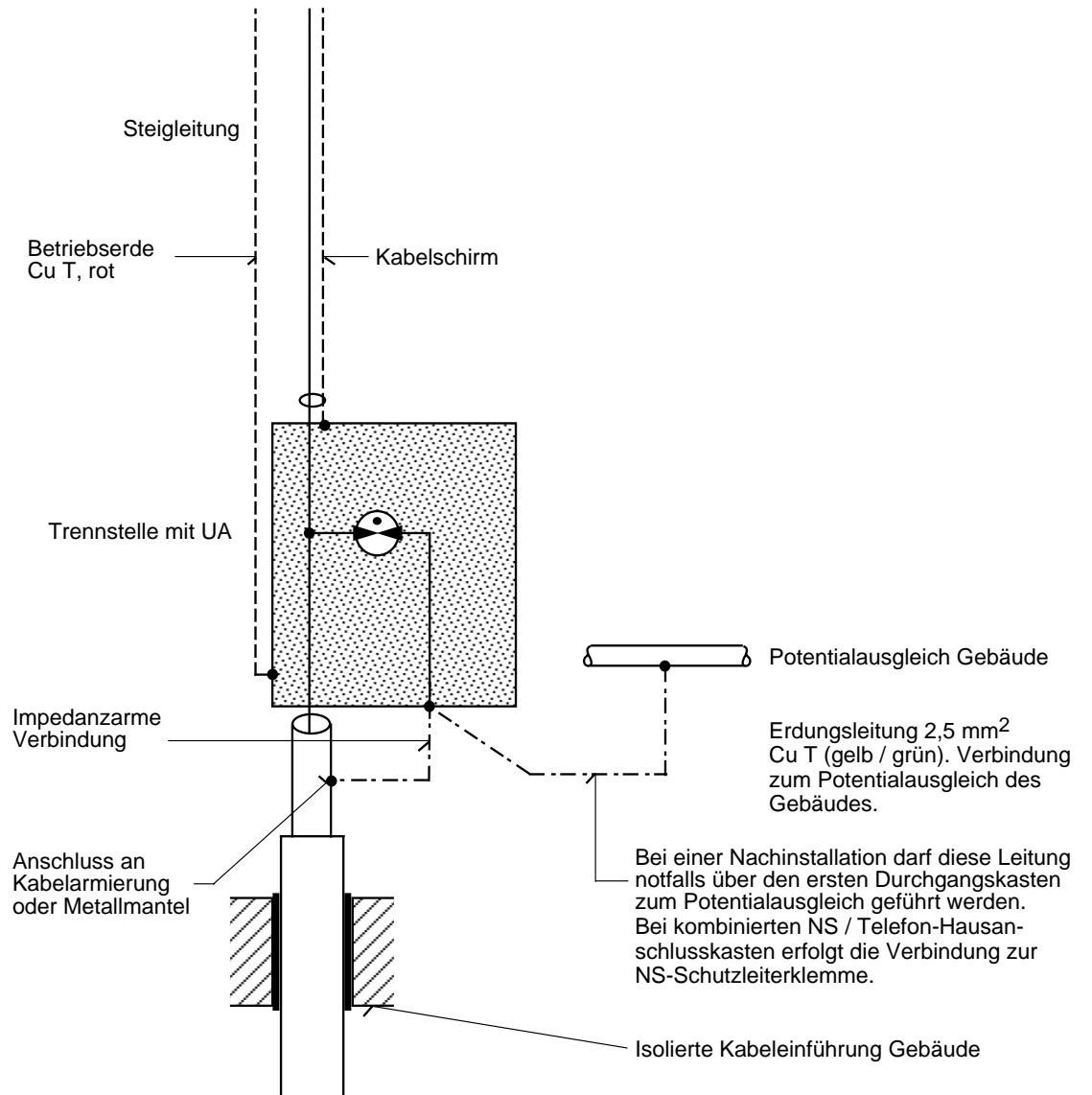
Schutzleiter Niederspannung nicht weiter verbunden



Gebäudestruktur

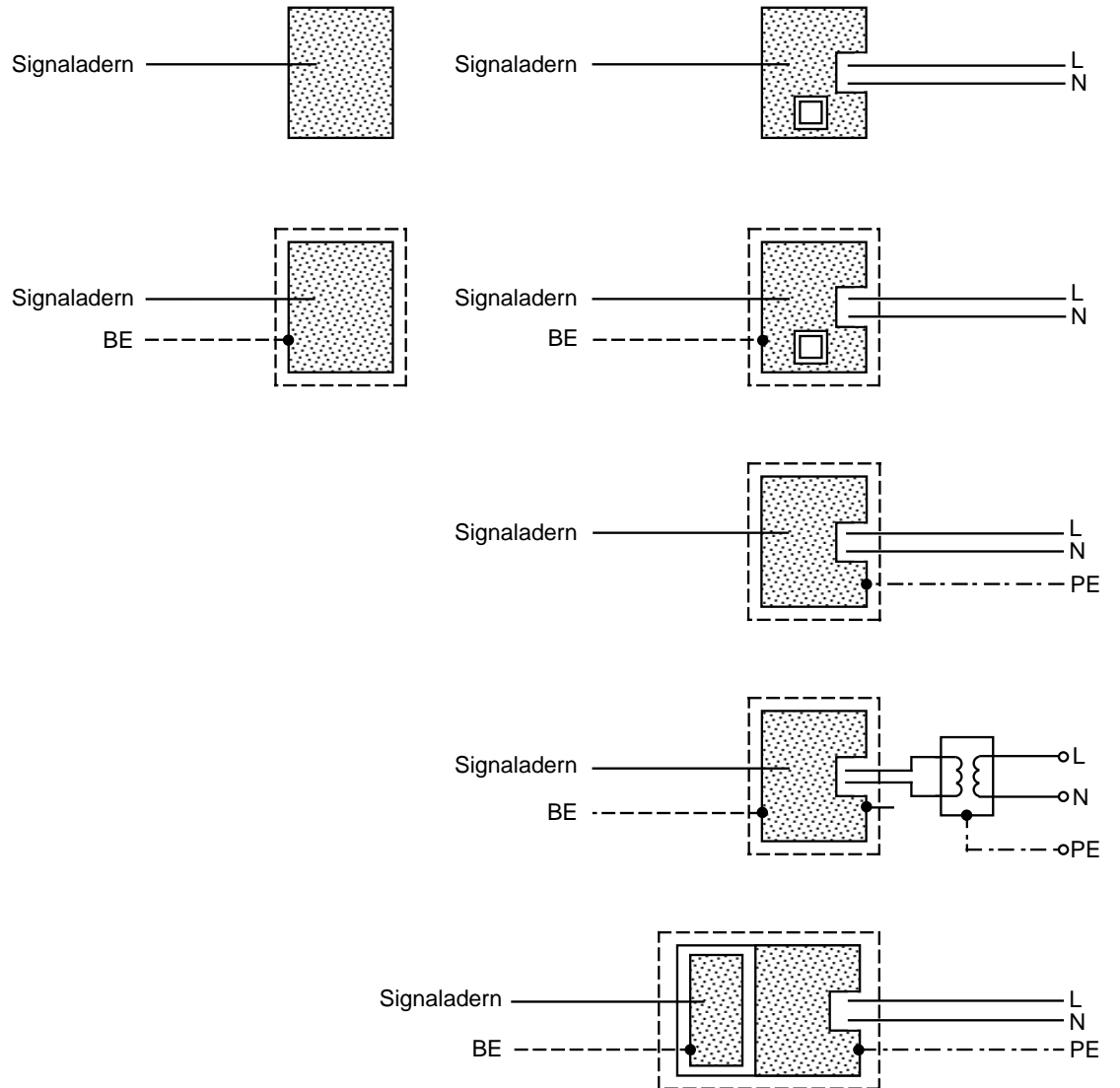
A2

Erdungsprinzip einer Hauseinführung mit Grobschutz gegen Überspannungen



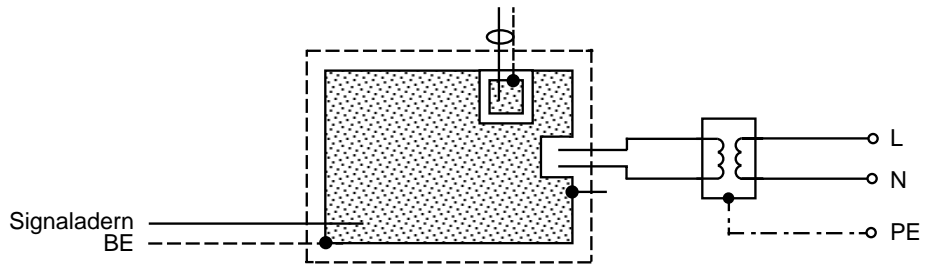
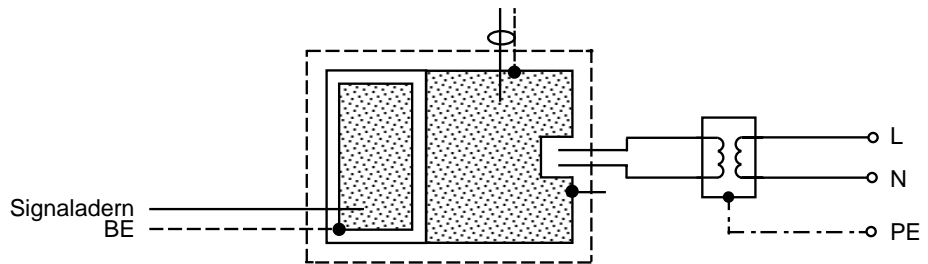
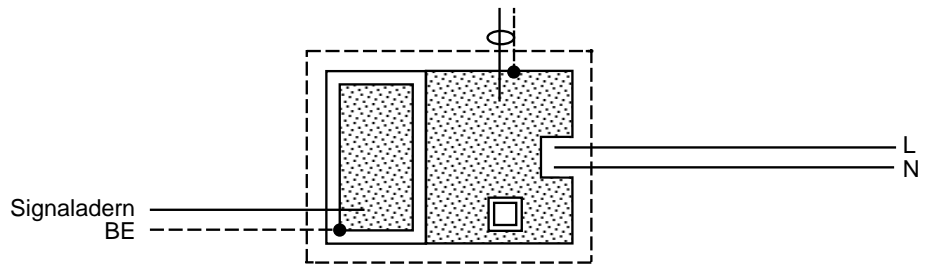
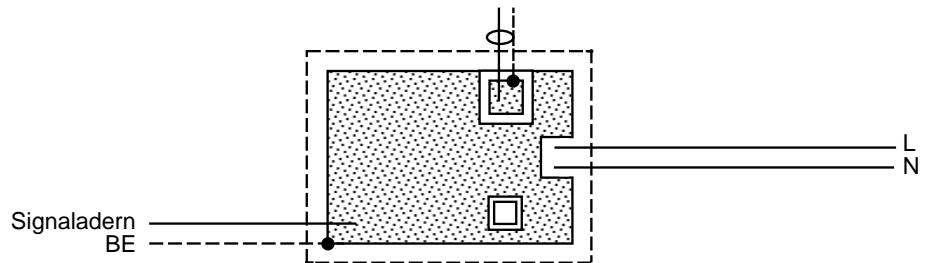
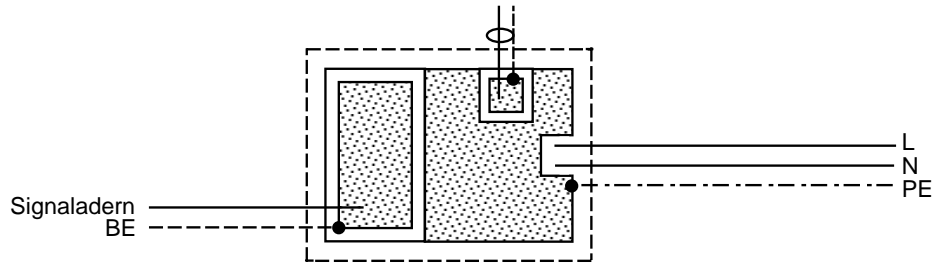
A3

Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten



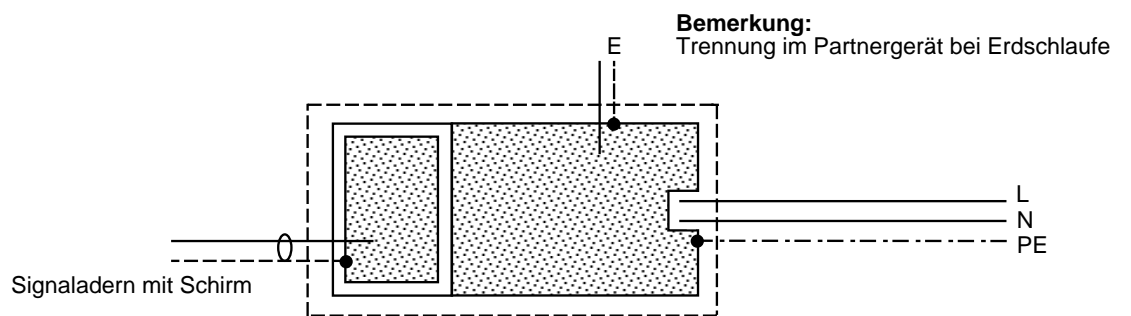
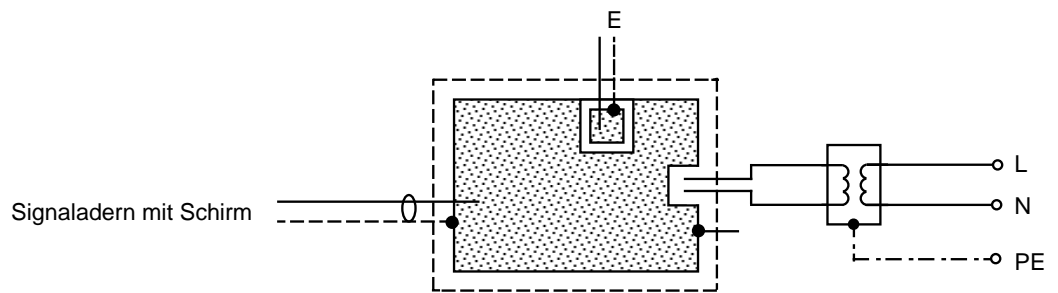
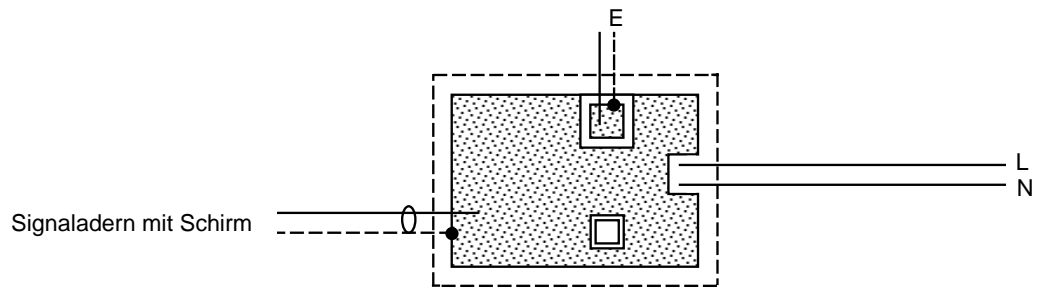
A4

Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten mit zusätzlicher Schnittstelle



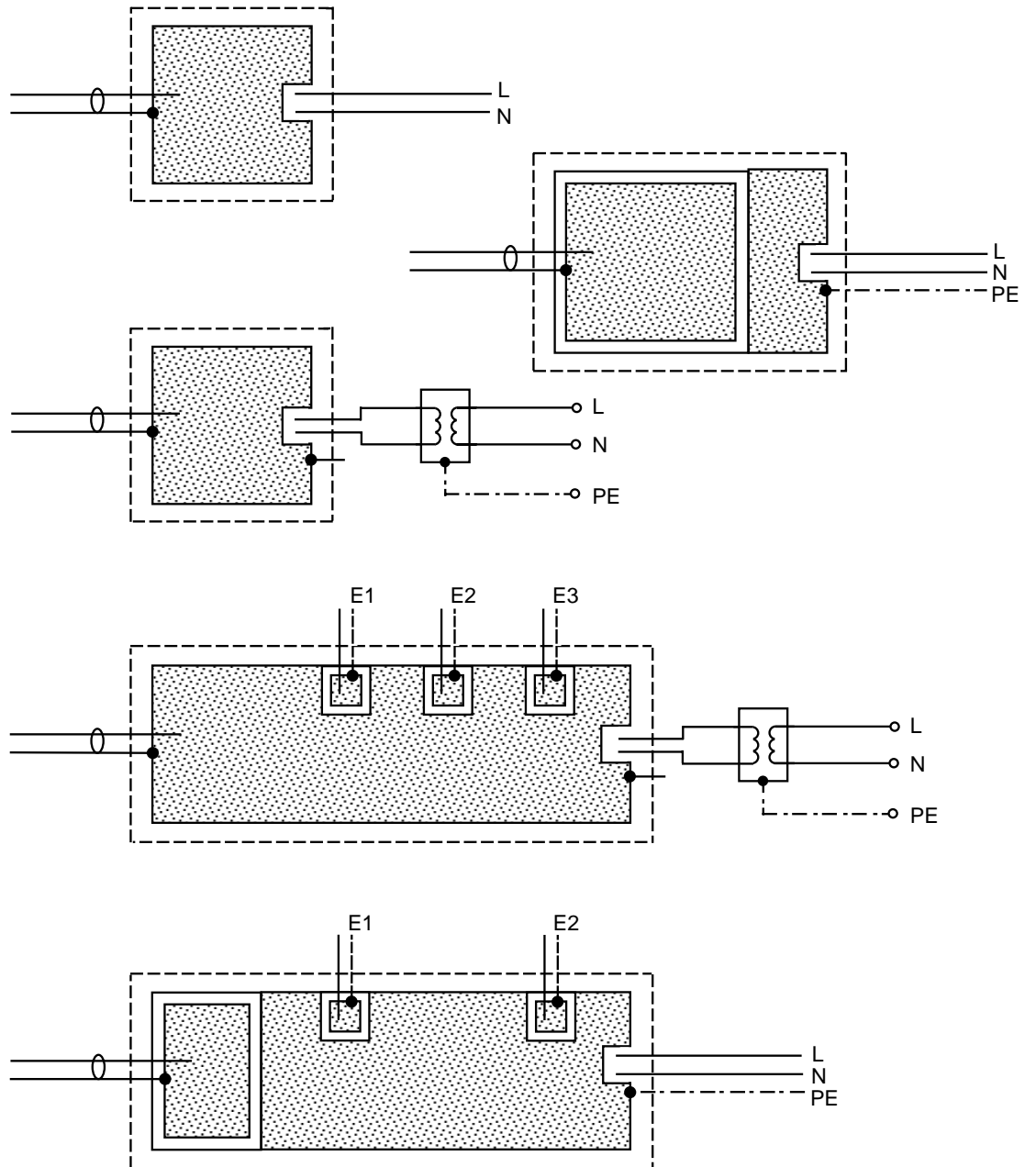
A5

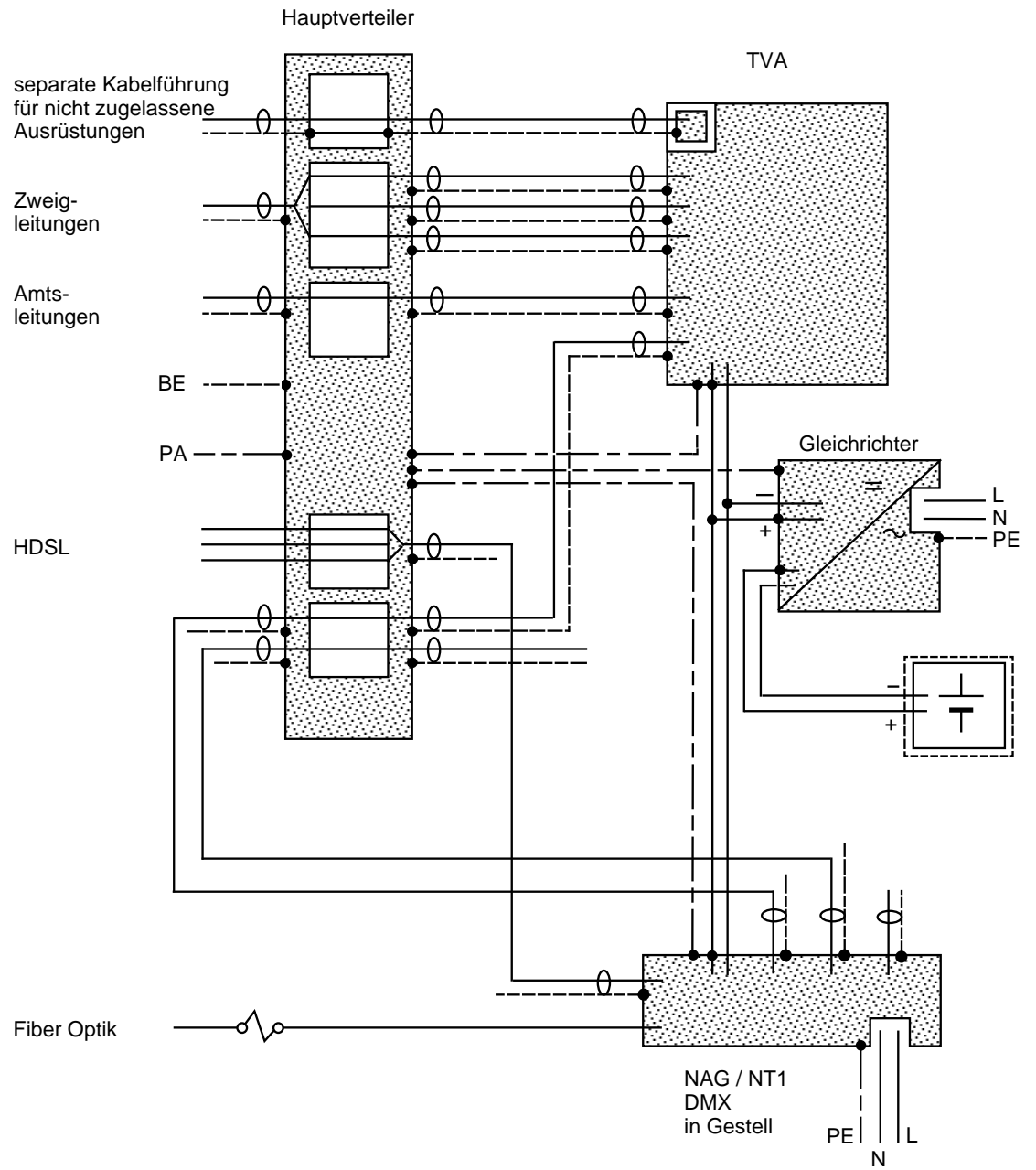
Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten mit geschirmtem Signalkabelanschluss



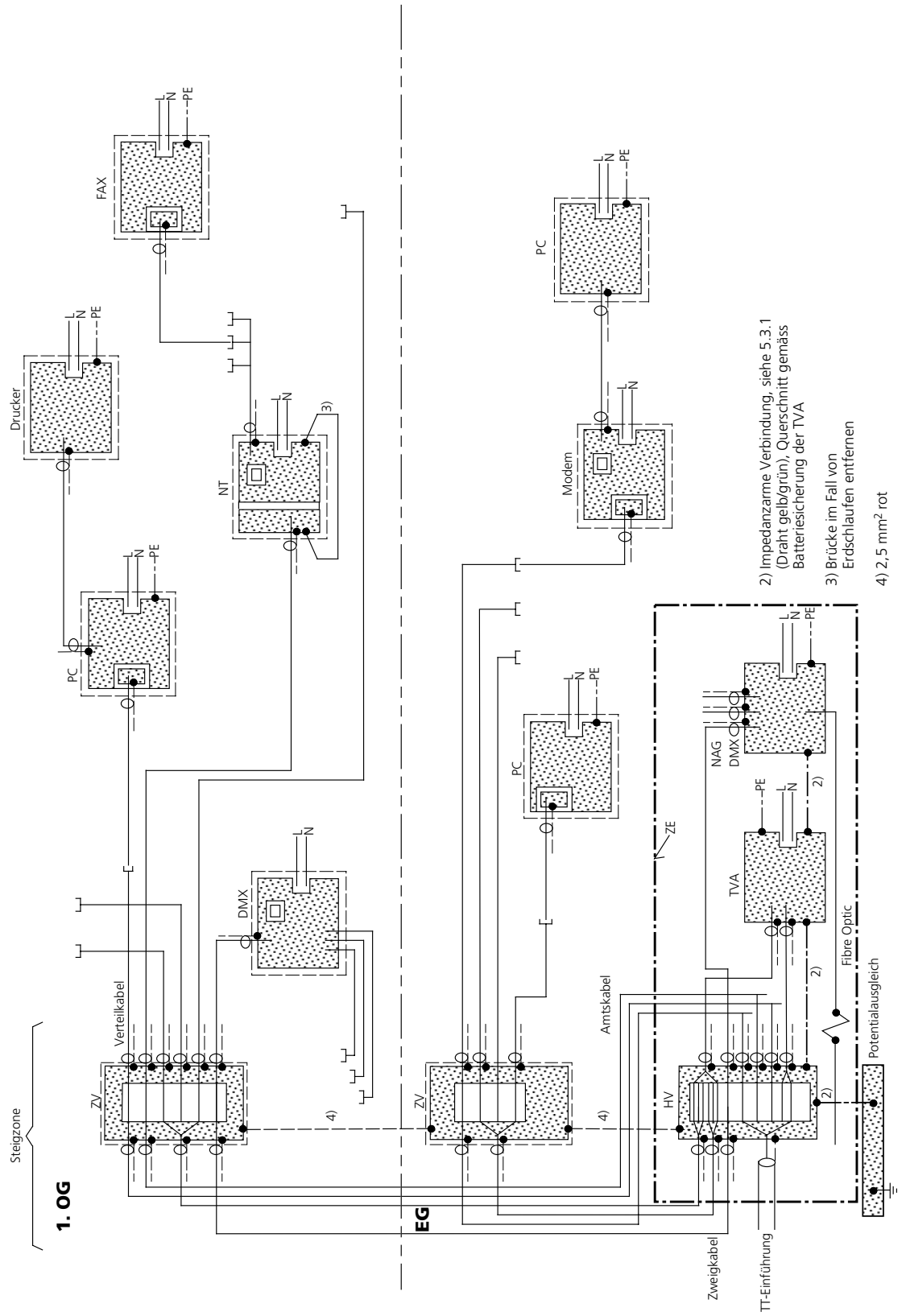
A6

Prinzip der Erdungstrennung bei Endgeräten mit Koaxialkabelanschluss



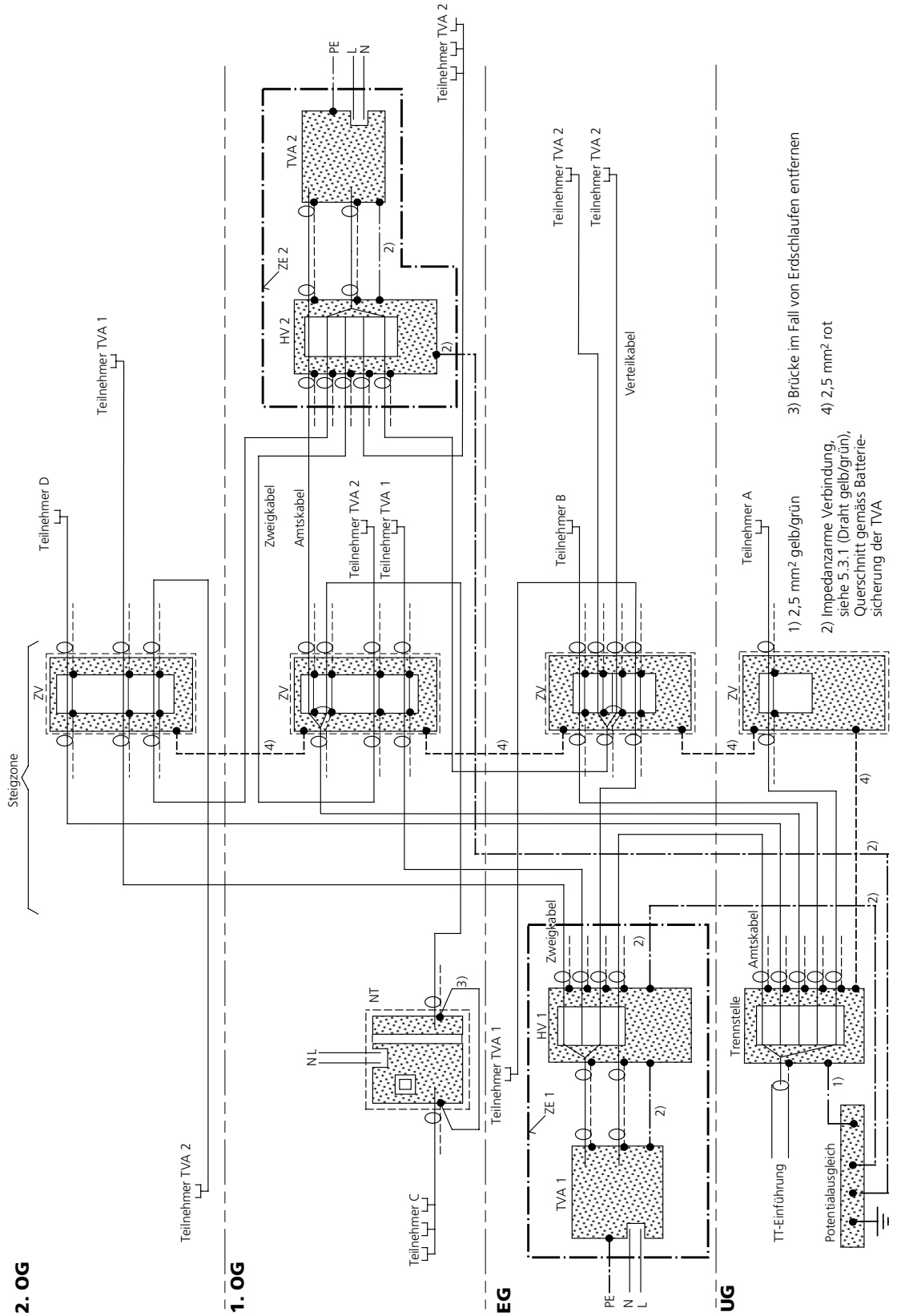


Installation in Gebäuden ohne Stockwerk-Potentialausgleich mit einem Teilnehmer und Kabeln mit Bündelschirm



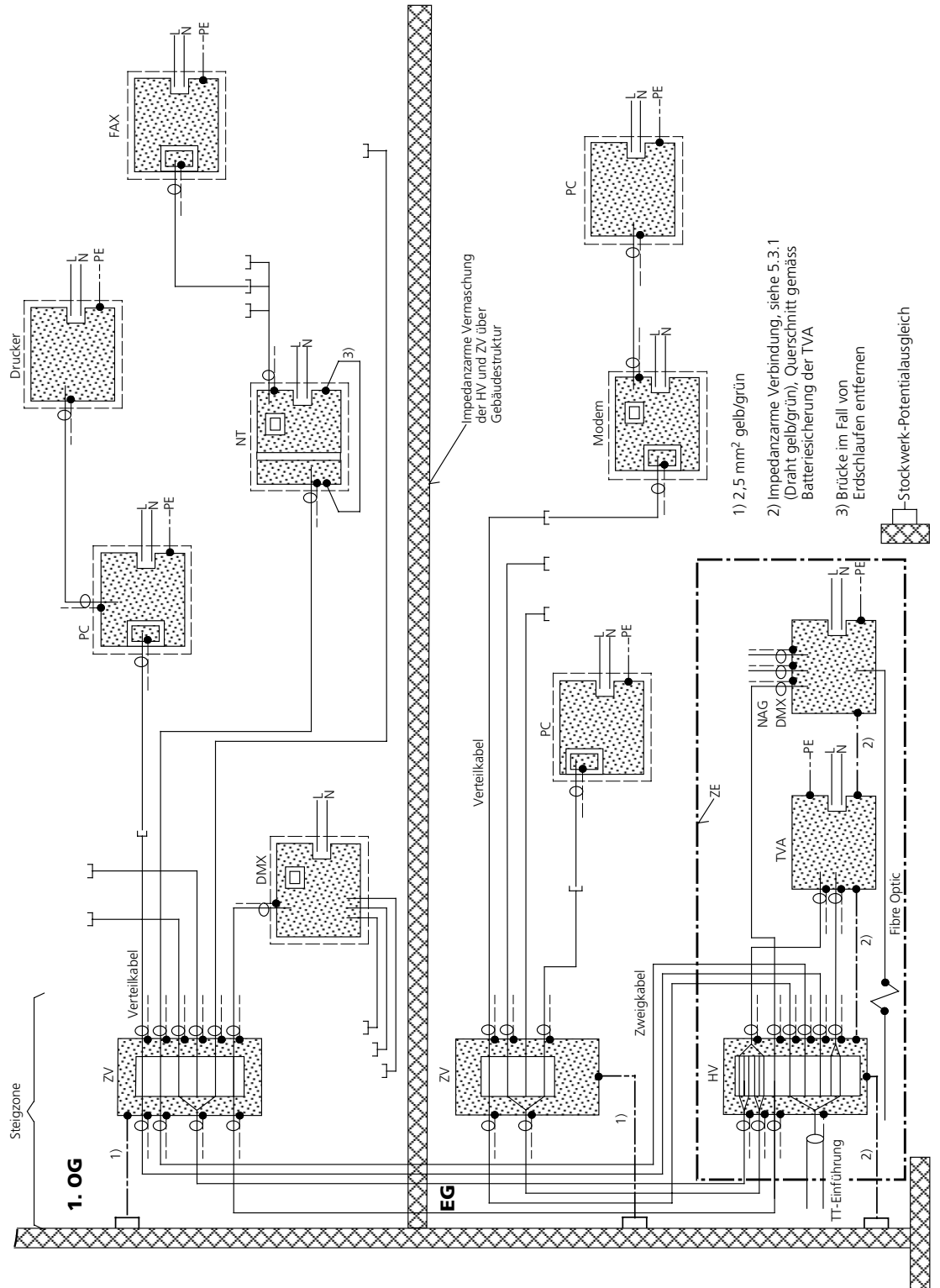
- 2) Impedanzarme Verbindung, siehe 5.3.1 (Draht gelb/grün), Querschnitt gemäss Batteriesicherung der TVA
- 3) Brücke im Fall von Erdschlaufen entfernen
- 4) 2,5 mm² rot

Installation in Gebäuden ohne Stockwerk-Potentialausgleich mit mehreren Teilnehmern und Kabeln mit Bündelschirm



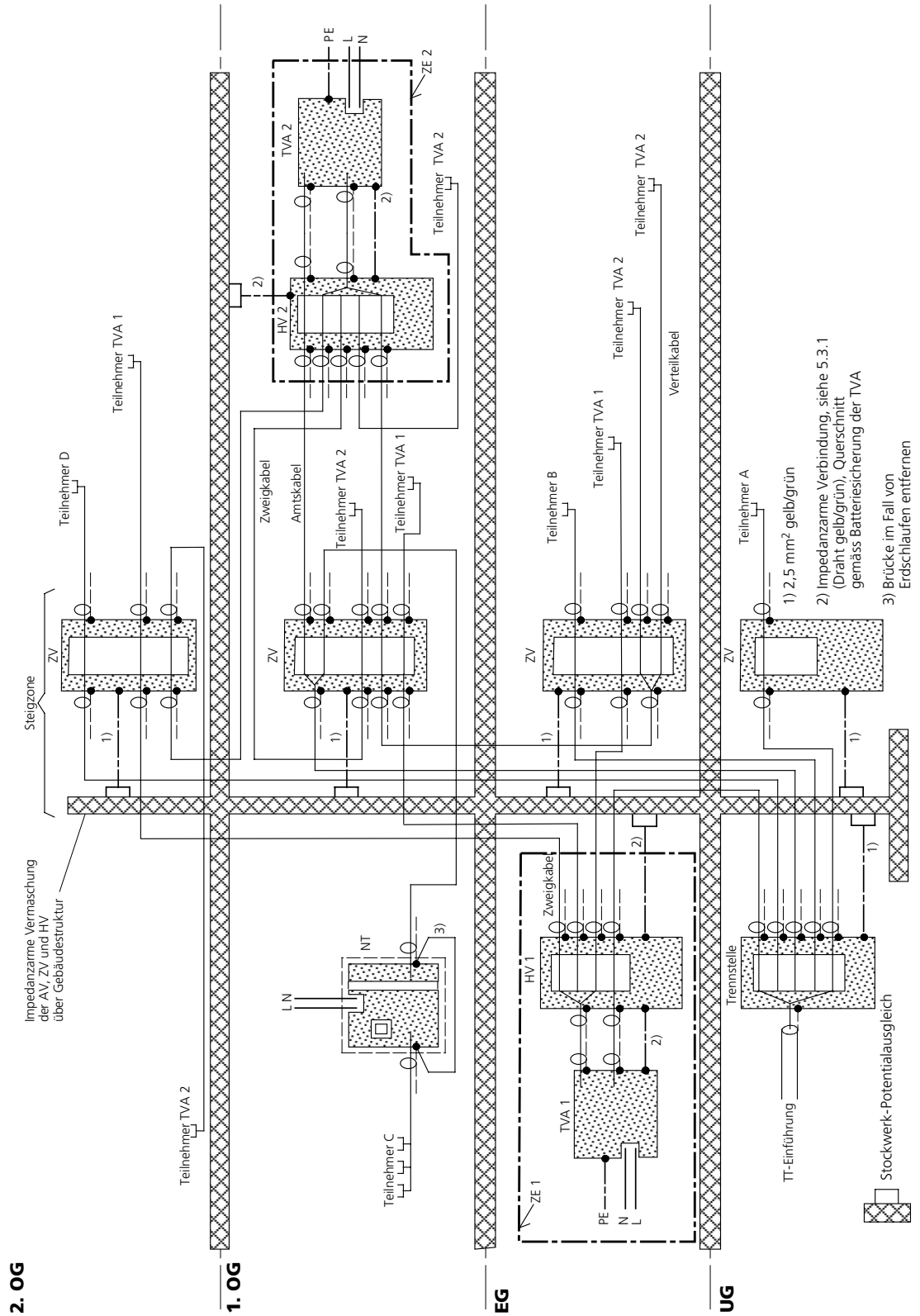
A10

Installation in Gebäuden mit Stockwerk-Potentialausgleich mit einem Teilnehmer und Kabeln mit Bündelschirm



A11

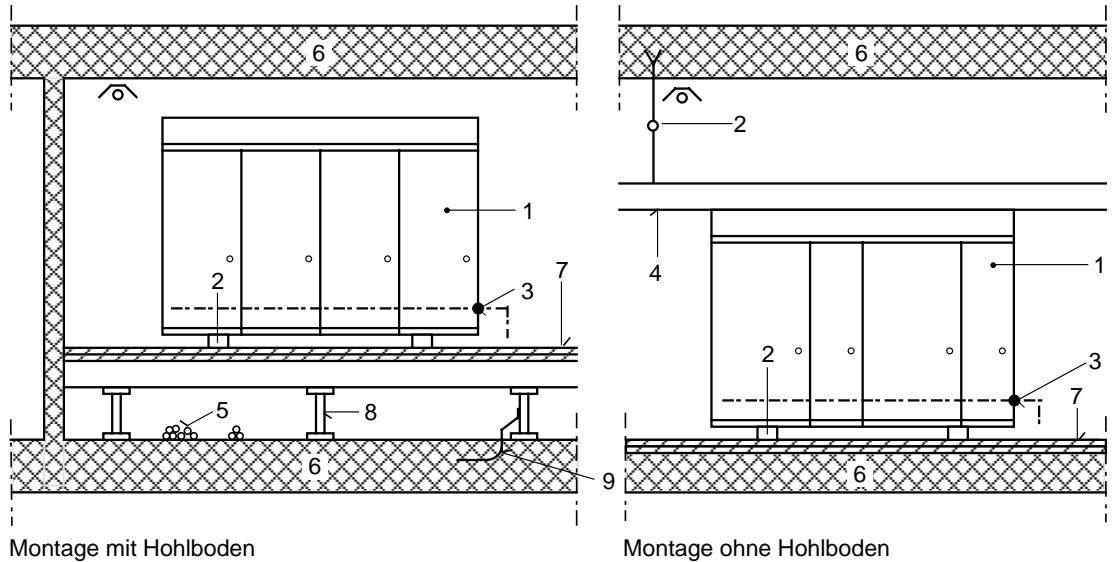
Installation in Gebäuden mit Stockwerk-Potentialausgleich mit mehreren Teilnehmern und Kabeln mit Bündelschirm



2. OG

A12

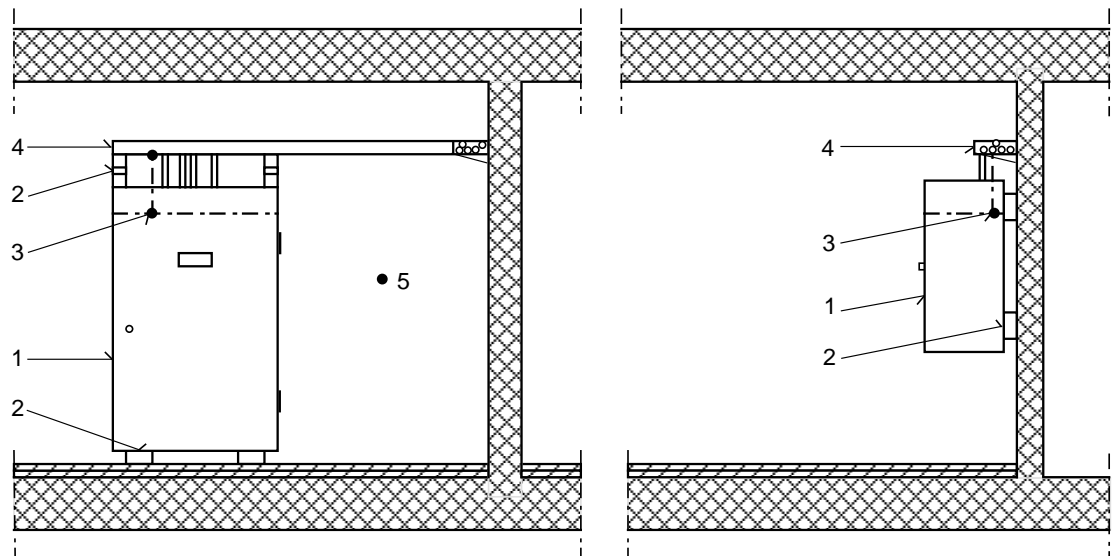
Montageprinzip für eine ZVUe in Räumen der Klasse B



Legende:

- 1 Bestandteil der ZVUe.
- 2 Empfohlene Isolation gegenüber der Gebäudestruktur bei Metallkonstruktion.
- 3 Anschluss des metallischen Gehäuses an den PA.
- 4 Kabelkanal oder Flächenrost aus Metall oder Kunststoff.
- 5 Kabel im Hohlboden (Ordnungstrennung beachten). Wenn Kabelkanäle verwendet werden, dann möglichst Metallkanäle mit Metalltrennwänden.
- 6 Gebäudestruktur.
- 7 Raumbedingungen [21]:
 - Klima: Relative Luftfeuchtigkeit 40...70 %; Raumtemperatur 15...28° C.
 - Antistatischer Bodenbelag: Klasse A, $7,5 \cdot 10^5 \leq R_E \leq 10^8$ Ohm.Der Bodenbelag und eine eventuelle Hohlbodenkonstruktion müssen nach den Vorschriften der Lieferfirma verlegt werden.
- 8 Stützen ohne jede Zwischenisolation direkt auf dem Boden aufliegend (Fixation mit Kleber).
- 9 Anschluss der Hohlbodenstützen an Gebäudeerde. (1 Anschluss 2,5 mm² Cu auf 10 m² Bodenfläche)

A13 Montageprinzip für eine ZVUe in Räumen der Klasse C

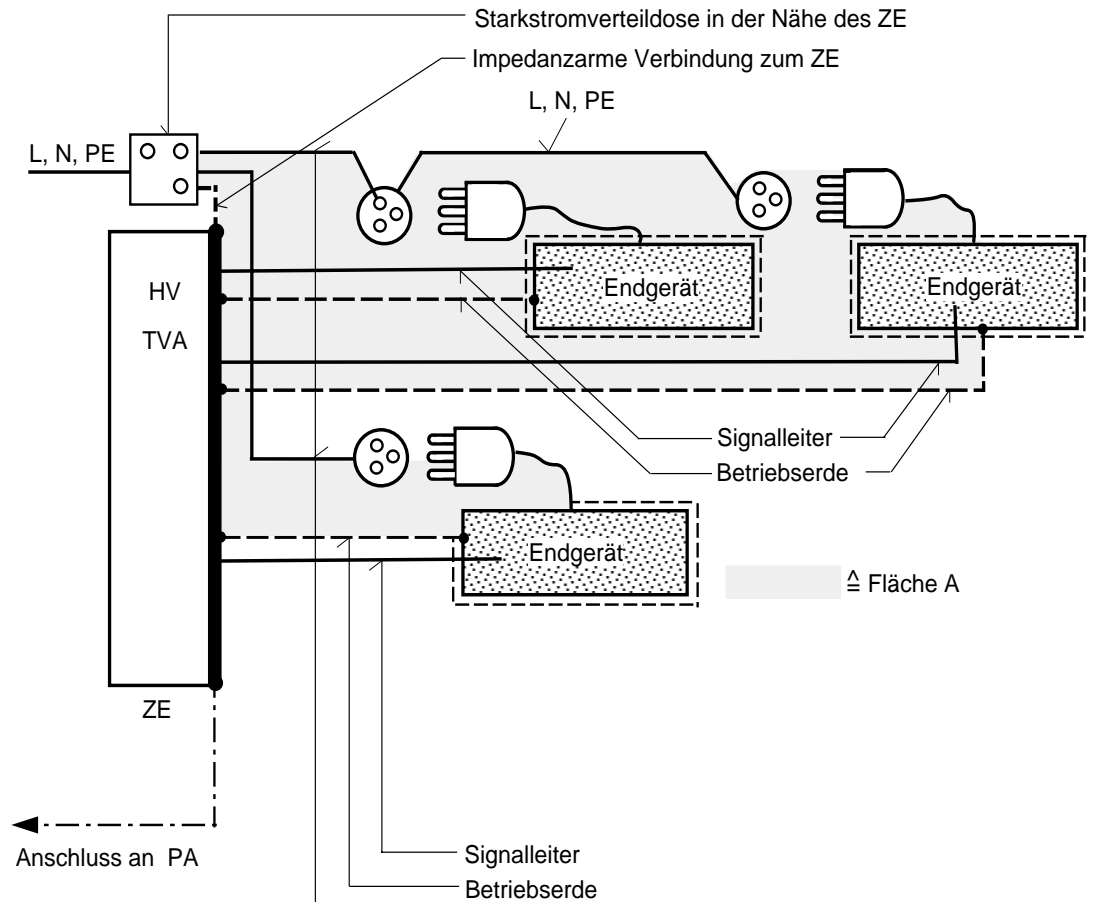


Legende:

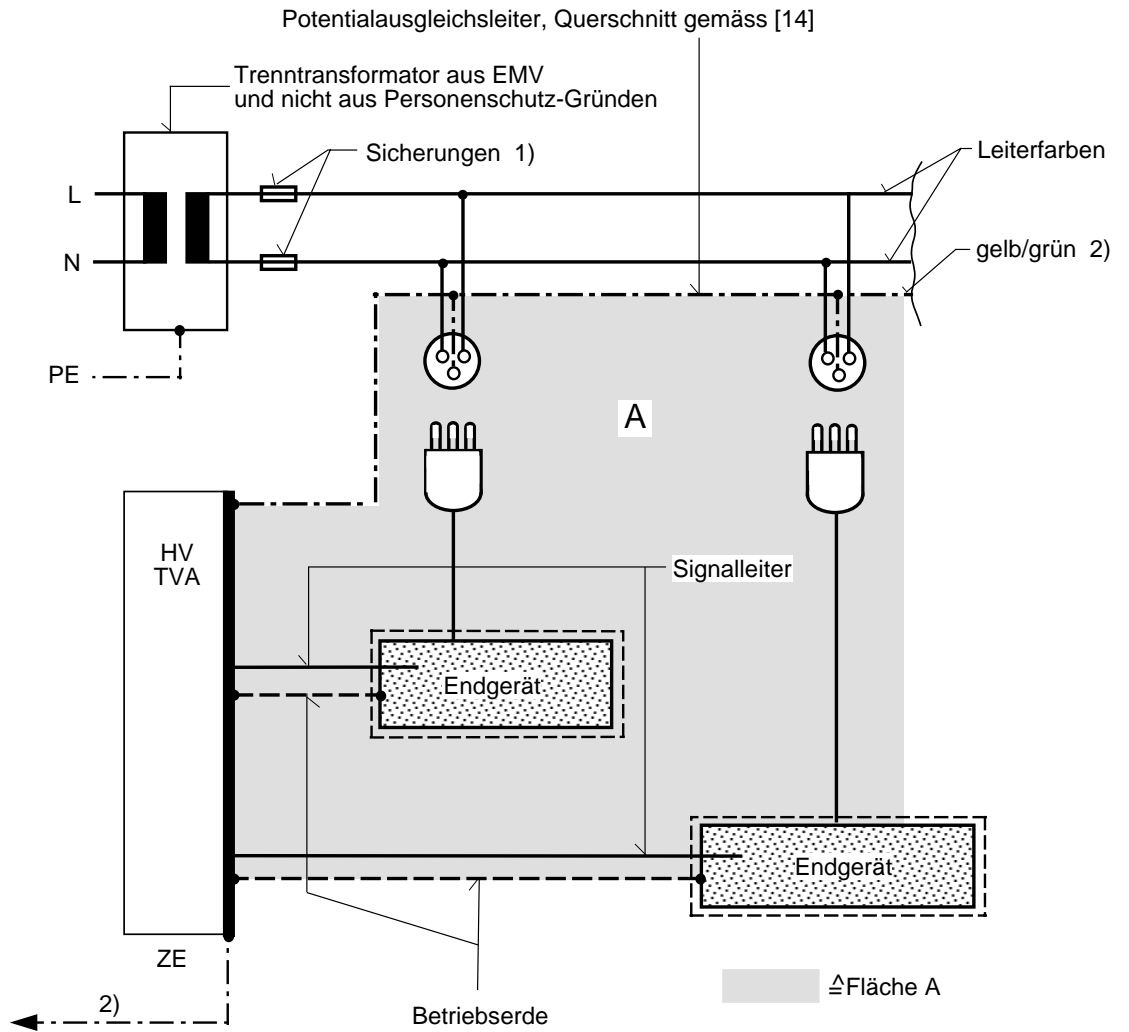
- 1 Bestandteil der ZVUe.
- 2 Empfohlene Isolation gegenüber der Gebäudestruktur bei Metallkonstruktion.
- 3 Anschluss des metallischen Gehäuses an den PA.
- 4 Kabelkanal oder Flächenrost aus Metal oder Kunststoff. Nur einseitige Kabeleinführung von oben oder unten.
- 5 Von der Norm abweichende Raumbedingungen [21]:
 - Klima: Relative Luftfeuchtigkeit 30...80 %; Raumtemperatur 5...35° C.

A14

Anschluss von Fernmeldegeräten der Schutzklasse I im Bereich des ZE ohne Trenntransformator

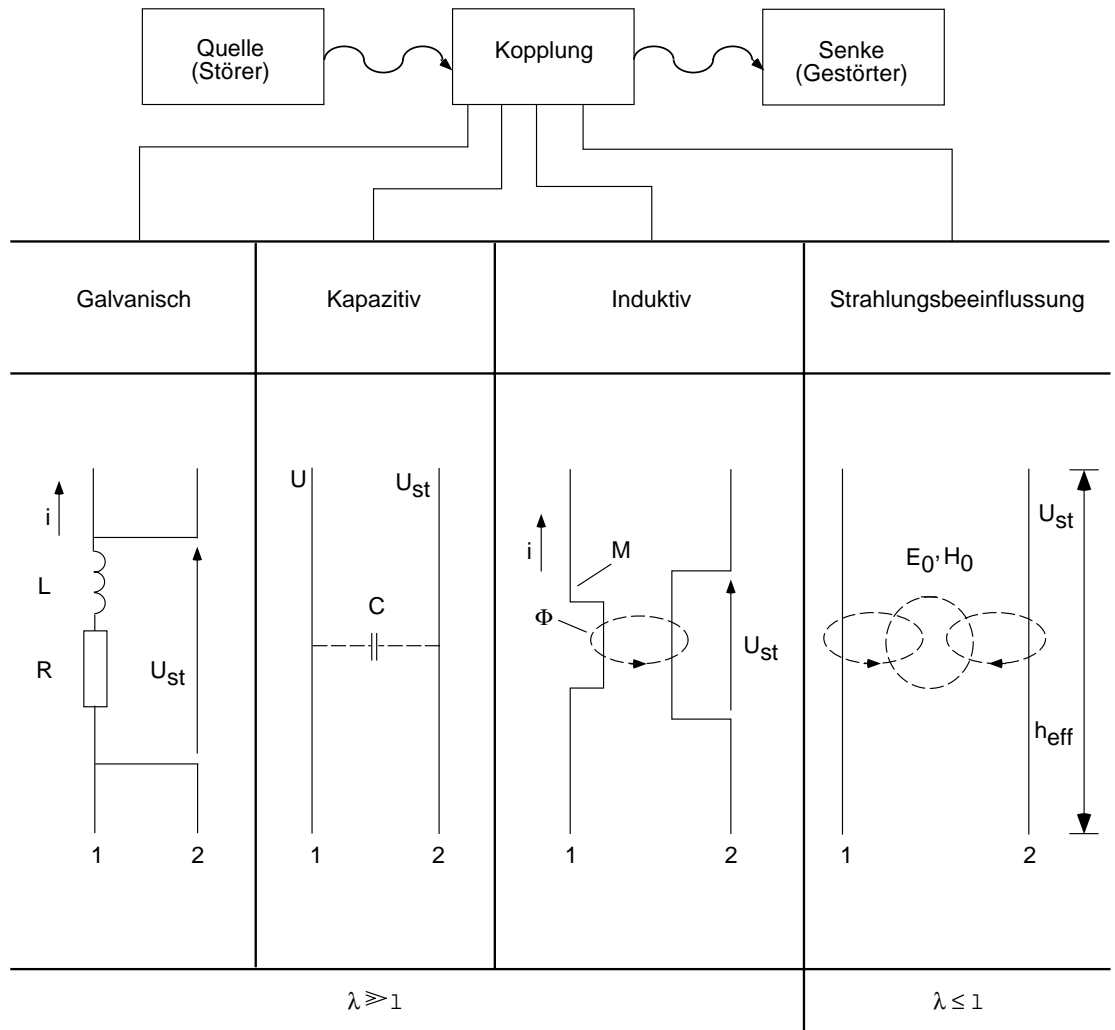


Starkstromkabelführung unter Beachtung einer Ordnungstrennung parallel zu den Telekomleitungen. Die Starkstromkabel sind so zu bezeichnen, dass keine Verwechslung möglich ist. Aus EMV-Gründen ist die von der Betriebs Erde und dem PE umspannte Fläche A möglichst klein zu halten.



- Anschluss an PA
- 2) Querschnitt gemäss [14]
- 1) Sicherungen des Trenntrafos

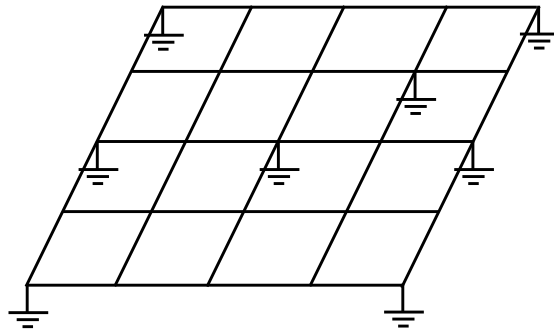
Damit die von Erdungsleitern umspannte Fläche A klein wird, sind die Fernmeldekabel zum Anschluss der Endgeräte und die Netzspeisung möglichst auf den gleichen Trassen zu führen.



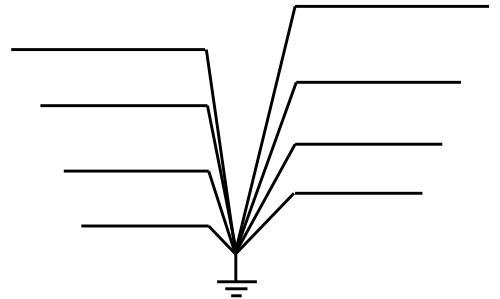
Koppelmechanismen zwischen Stromkreisen

- 1 beeinflussender Stromkreis
- 2 beeinflusster Stromkreis
- C Kopplungskapazität Stromkreis 1/2
- E_0 Elektrisches Feld
- H_0 Magnetisches Feld
- h_{eff} Effektive Strahlungshöhe
- i Störstrom
- L Induktivität im Stromkreis 1 und 2
- M Gegeninduktivität von Stromkreis 1/2
- R Widerstand im Stromkreis 1 und 2
- U Spannung
- U_{st} Störspannung
- λ Wellenlänge
- l Leitungslänge
- Φ Magnetischer Fluss

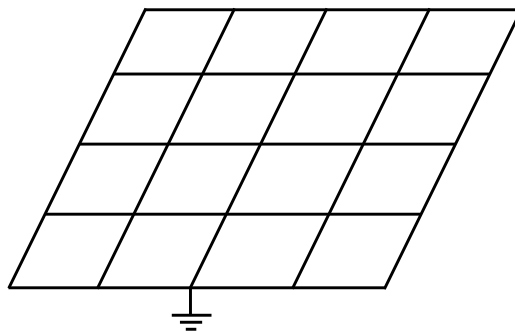
A17 Erdungssysteme



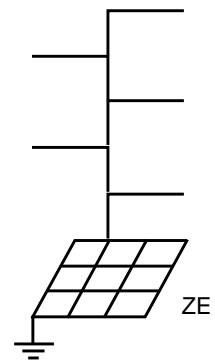
Maschenerdung



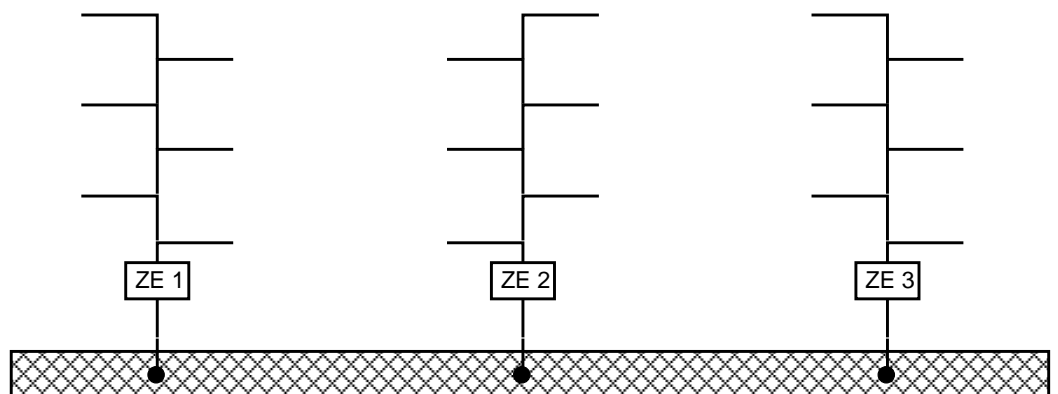
Sternerdung



Hybriderdung



Baumstrukturerdung



Baumstrukturerdung mit mehreren ZE im Gebäude

