

**ÖVE/ÖNORM****E 8383**

Ausgabe: 2000-03-01

Normengruppe 330

Ident (IDT) mit HD 637 S1:1999

Ersatz für ÖVE-EH 1:1982 und
ÖVE-EH 1a:1987
siehe Nationales Vorwort

ICS 29.240.01

**Starkstromanlagen mit
Nennwechselspannung über 1 kV**

Power installations exceeding 1 kV a.c.

Installations électriques de tension nominales supérieures à 1 kV en courant alternatif

**Dieses Dokument hat sowohl den Status von ÖSTERREICHISCHEN
BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK gemäß ETG 1992 als
auch den einer ÖNORM gemäß NG 1971.****Die ÖVE/ÖNORM E 8383 besteht aus**

- diesem nationalen Deckblatt sowie
- der offiziellen deutschsprachigen Fassung des HD 637 S1:1999.

Fortsetzung
ÖVE/ÖNORM E 8383 Seiten 2 bis 4 und
HD 637 S1 Seiten 1 bis 163**Fach(normen)ausschuss
FA/FNA H
Elektrische Hochspannungsanlagen**

Alle Regelwerke für die Elektrotechnik auch:
Österreichischer Verband für Elektrotechnik (ÖVE), Eschenbachgasse 9, A-1010 Wien,
Telefon: (+43-1) 587 63 73, Telefax: (+43-1) 586 74 08, E-Mail: ove@ove.at
Verkauf von in- und ausländischen Normen und technischen Regelwerken durch:
ON Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, Postfach 130, A-1021 Wien
Tel.: (+43-1) 213 00-805, Fax: (+43-1) 213 00-818, E-Mail: sales@on-norm.at,
Internet: <http://www.on-norm.at>

Preisgruppe 42

Seite 2
ÖVE/ÖNORM E 8383

Nationales Vorwort

Dieses Harmonisierungsdokument HD 637 S1:1999 hat sowohl den Status von ÖSTERREICHISCHEN BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK gemäß ETG 1992 als auch den einer ÖNORM gemäß NG 1971. Bei ihrer Anwendung ist dieses Nationale Vorwort zu berücksichtigen.

Das vorliegende Harmonisierungsdokument ist der erste Versuch zur Angleichung der unterschiedlichen Praktiken für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannung über 1 kV in Europa. Es enthält Mindestanforderungen für ausreichende Zuverlässigkeit und sicheren Betrieb einer Starkstromanlage über 1 kV.

Obwohl im Text nicht ausdrücklich erwähnt, gelten die Festlegungen der Norm bis zu einer Nennfrequenz von 100 Hz. Bis zum Erscheinen einer entsprechenden Norm sollte der Norm-Inhalt sinngemäß auch für Gleichstromanlagen mit Nennspannungen über 1,5 kV angewendet werden.

Für den Fall einer undatierten normativen Verweisung (Verweisung auf einen Standard ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste Ausgabe dieses Standards.

Für den Fall einer datierten normativen Verweisung bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Standards.

Der Rechtsstatus dieser ÖSTERREICHISCHEN BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK/ÖNORM ist den jeweils geltenden Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz zu entnehmen.

Bei mittels Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz verbindlich erklärten ÖSTERREICHISCHEN BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK/ÖNORMEN ist zu beachten:

- Hinweise auf Veröffentlichungen beziehen sich, sofern nicht anders angegeben, auf den Stand zum Zeitpunkt der Herausgabe dieser ÖSTERREICHISCHEN BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK/ÖNORM. Zum Zeitpunkt der Anwendung dieser ÖSTERREICHISCHEN BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK/ÖNORM ist der durch die Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz oder gegebenenfalls auf andere Weise festgelegte aktuelle Stand zu berücksichtigen.
- Informative Anhänge und Fußnoten sowie normative Verweise und Hinweise auf Fundstellen in anderen, nicht verbindlichen Texten werden von der Verbindlicherklärung nicht erfaßt.

Europäische Normen (EN) werden gemäß den „Gemeinsamen Regeln“ von CEN/CENELEC durch Veröffentlichung eines identen Titels und Textes in das Gesamtwerk der ÖSTERREICHISCHEN BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK/ÖNORMEN übernommen, wobei der Nummerierung der Zusatz ÖVE/ÖNORM bzw. ÖNORM vorangestellt wird. Die nachstehende Tabelle listet jene ÖSTERREICHISCHEN BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK/ÖNORMEN auf, die in Titel, Nummerierung und/oder Inhalt (nicht ident) von den zitierten internationalen bzw. europäischen Standards abweichen.

Europäische Norm	Internationale Norm	ÖSTERREICHISCHE BESTIMMUNGEN FÜR DIE ELEKTROTECHNIK bzw. ÖNORM
HD 246.2 S1:1977	IEC 60113-2 (mod)	ersetzt durch EN 61082 Reihe
HD 384.3 S2:1995	IEC 60364-3:1993 (mod)	ÖVE-EN 1 nicht ident
HD 384.4.442 S1:1997	-	ÖVE-EN 1 nicht ident
HD 464 S1:1988	IEC 60726: 1982 (mod) + A1:1986	ÖVE-M 20 Teil 6/1989
HD 464 S1/ A2:1991 + A3:1992	-	ÖVE-M 20 Teil 6a/1992
HD 464 S1 A4:1995	-	ÖVE-M 20 Teil 6b:1996
HD 472 S1:1989	IEC 60038:1983 (mod)	ÖNORM E 1100 Teil 2:1990

Erläuterung zum Ersatzvermerk

Gemäß Vorwort zum HD wird das späteste Datum, zu dem nationale Normen oder Teile davon, die der vorliegenden Norm entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen, mit dow (date of withdrawal) festgelegt. Bis zu diesem Zurückziehungsdatum dürfen die unter „Ersatz für“ zitierten Normen noch vollinhaltlich angewandt werden.

Entsprechend den Wünschen bei CENELEC enthält das Harmonisierungsdokument auch Regelungen über die Erdung von Starkstromanlagen. Die vorliegende Norm ersetzt deshalb nicht nur ÖVE-EH 1/1982 „Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV“, sondern auch die Norm ÖVE-EH 41/1987 „Erdungen in Wechselstromanlagen mit Nennspannung über 1 kV“. Da ÖVE-EH 41/1987 zur Zeit auch für die Erdung anderer Anlagen gilt, wird für diese Bereiche die Gültigkeit aufrecht erhalten, bis eine entsprechende Normung bei CENELEC abgeschlossen ist.

Wesentliche Änderungen zur ÖVE-EH 1:1982:

- a) Aufbau und Gliederung wurden vollständig überarbeitet und neu strukturiert, wobei wesentliche bisherige nationale Inhalte beibehalten werden konnten.
- b) Die Begriffe wurden weitgehend an die Vorgaben des IEC angepasst. Die Definitionen für die Erdung wurden ergänzt. (Kapitel 2)
Durch die Verwendung der Werte aus EN 60071 ergeben sich geringe Abweichungen für die Mindestabstände in Luft bei einzelnen Nennspannungen. Bei Phasenopposition ist der 1,25-fache Tabellenwert für die Mindestabstände einzuhalten. (Kapitel 4)
- c) Die Anforderungen für den Einbau der Betriebsmittel sind umfangreicher und detaillierter festgelegt. Soweit vorhanden wird auf entsprechende internationale und Europäische Normen verwiesen. (Kapitel 5)
- d) Die minimalen Schutzvorrichtungsabstände, Mindesthöhen und anderen Abstände wurden in der Regel auf die kleinsten Werte, die in den verschiedenen nationalen Normen enthalten waren, vereinheitlicht.
Auf die in Österreich eingeführte Vorgangsweise, wonach isolierstoffgekapselte Schaltanlagen (IEC 60466) hinsichtlich Berührung wie Anlagen in offener Bauweise zu betrachten sind, wird verwiesen. (Kapitel 6)
- e) Die Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdung durch Störlichtbögen gelten als Leitfaden und enthalten keine Nachrüstpflicht. Bei schwer brennbaren Flüssigkeits-Transformatoren K2/K3 und Trockentransformatoren F0 werden 50 % der Abstandswerte der ölgefüllten Transformatoren mit Kühlmittelart 01 gefordert. Für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren sind Auffangwannen unzulässig, die nicht für die gesamte Flüssigkeitsmenge der Transformatoren bemessen sind. (Kapitel 7)
- f) Für Steuerungssysteme wurden Grundregeln zur elektromagnetischen Verträglichkeit festgelegt und Maßnahmen zur Verminderung von Störbeeinflussungen beschrieben. (Kapitel 8)
- g) Bei der Berührungsspannung wird der Begriff der Leerlaufspannung eingeführt. Dem Thema Potentialverschleppung wird mehr Raum gewidmet. Die höchste zulässige Berührungsspannung in Abhängigkeit von der Fehlerdauer wurde anhand IEC/TR2 60479-1 „Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects“ neu festgelegt. Maßnahmen bei der Ausführung von Erdungsanlagen werden nicht mehr so detailliert beschrieben. (Kapitel 9)
- h) Für Inspektionen, Prüfungen und Übernahmen der Anlage werden erstmalig Hinweise gegeben. (Kapitel 10)
- i) Normative und informative Detailangaben zur Bemessung von Erdungs- und Blitzschutzanlagen sind getrennt aufgeführt. (Anhänge A bis R)
- j) Durch gesetzliche Vorgaben sind in einzelnen europäischen Ländern abweichende Regelungen erforderlich, die in entsprechenden im HD enthaltenen A-Abweichungen festgelegt sind. (Anhang S)
- k) Besondere nationale Bedingungen, z. B. klimatische Bedingungen, und andere nationale Bestimmungen, z. B. Vorschriften und Verfahrensweisen, erfordern für einige europäische Länder zusätzliche abweichende Regelungen, die in dieser ÖVE/ÖNORM angegeben sind. (Anhang T).

- Leerseite -

HARMONISIERUNGSDOKUMENT **HD 637 S1**
HARMONIZATION DOCUMENT
DOCUMENT D'HARMONISATION **Mai 1999**

ICS 29.240.00

Deutsche Fassung

Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV

Power installations exceeding 1 kV a.c.

**Installations électriques de tensions
nominales supérieures à 1 kV en
courant alternatif**

Dieses Harmonisierungsdokument wurde von CENELEC am 1999-01-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen für die Übernahme dieses Harmonisierungsdokumentes auf nationaler Ebene festgelegt sind.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Übernahmen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Dieses Harmonisierungsdokument besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch).

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechische Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B - 1050 Brüssel

© 1999 CENELEC - Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren,
sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. HD 637 S1:1999 D

Seite 2
HD 637 S1:1999

Vorwort

Dieses Harmonisierungsdokument wurde von dem Technischen Komitee CENELEC/TC 99X "Starkstromanlagen über AC 1 kV (DC 1,5 kV)" ausgearbeitet. Der Text des Entwurfs wurde der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1999-01-01 als HD 637 S1 angenommen.

Während des Umfrageverfahrens hatte diese Norm die Bezeichnung prEN 50179, sie ist unter dieser Nummer in verschiedenen europäischen Normen zitiert worden, so z.B. in EN 50110-1.

Zweck dieses europäischen Harmonisierungsdokuments ist es, in praktischer Form allgemeine Anforderungen für die Auslegung und Errichtung von Starkstromanlagen in Systemen mit Nennspannungen über 1 kV a.c. festzulegen.

Es gibt viele nationale Gesetze, Normen und interne Regelungen, die dieses Thema im Rahmen des Anwendungsbereichs dieser Norm behandeln und diese Praktiken wurden der Ausarbeitung dieses Schriftstücks zugrunde gelegt.

Die Norm und ihre normativen und informativen Anhänge kennzeichnen Installationsmerkmale, die das Minimum darstellen, das für alle CENELEC-Mitglieder unter den angegebenen Bedingungen erreichbar ist. Diese Kennmerkmale stellen die annehmbare Zuverlässigkeit einer Anlage sowie deren sicheren Betrieb sicher.

Die Norm wird durch einen (informativen) Anhang der A-Abweichungen und einen (normativen) Anhang der Besonderen Nationalen Bedingungen und nationalen Festlegungen (Teil der nationalen Normen, Bestimmungen oder Praktiken) ergänzt. Diese Anhänge kennzeichnen, soweit zutreffend, wo derartige erreichbaren Mindestkennmerkmale Angleichungen erfordern, um die nationale Gesetzgebung und/oder örtliche Umgebung zu berücksichtigen.

Dieses Konzept wird als ein erster entscheidender Schritt zu einer allmählichen Angleichung der Praktiken im Hinblick auf die Auslegung und Errichtung von Starkstromanlagen in Europa angesehen.

Nachfolgende Daten wurden festgelegt:

- | | | | |
|---|--|-------|------------|
| - | spätestes Datum, zu dem das HD auf nationaler Ebene angekündigt sein muß | (doa) | 1999-07-01 |
| - | spätestes Datum, zu dem das HD auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer harmonisierten nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen sein muß | (dop) | 2000-01-01 |
| - | spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die dem HD entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen | (dow) | 2001-01-01 |

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zur Norm.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge A bis G und T normativ und die Anhänge H bis S und U informativ.

Inhalt	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich und normative Verweisungen	10
2 Begriffe	14
2.1 Allgemeine Begriffe	14
2.2 Anlagen.....	14
2.3 Arten von Anlagen.....	15
2.4 Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag	15
2.5 Luftstrecken	15
2.6 Steuerung und Schutz	16
2.7 Erdung	16
3 Allgemeine Anforderungen	23
3.1 Elektrische Anforderungen	23
3.1.1 Arten der Sternpunktterdung	23
3.1.2 Klassifizierung der Spannung.....	23
3.1.3 Betriebsstrom.....	23
3.1.4 Kurzschlußstrom	23
3.1.5 Bemessungsfrequenz.....	24
3.1.6 Korona	24
3.2 Mechanische Anforderungen.....	24
3.2.1 Zuglast.....	24
3.2.2 Montagelast	25
3.2.3 Eislast.....	25
3.2.4 Windlast	25
3.2.5 Schaltkräfte.....	25
3.2.6 Kurzschlußkräfte	25
3.2.7 Wegfall eines Leiterzugs	25
3.2.8 Schwingungen.....	25
3.2.9 Bemessung der Tragkonstruktionen	25
3.3 Klima- und Umweltbedingungen	25
3.3.1 Temperatur	26
3.3.2 Aufstellungshöhe und Luftdruck	26
3.3.3 Luftfeuchtigkeit.....	26
3.3.4 Niederschlag.....	26
3.3.5 Verschmutzung	26
3.3.6 Sonneneinstrahlung	27

Seite 4
HD 637 S1:1999

3.4	Besondere Anforderungen	27
3.4.1	Anlagen in großen Höhenlagen	27
3.4.2	Auswirkungen von Kleinlebewesen und Mikroorganismen	28
3.4.3	Geräuschpegel.....	28
3.4.4	Erdbebenwirkungen	28
4	Isolation	28
4.1	Wahl des Isolationspegels.....	28
4.2	Nachweis der Spannungsfestigkeit.....	29
4.3	Mindestabstände von aktiven Teilen	29
4.4	Mindestabstände zwischen Teilen unter besonderen Bedingungen	32
4.5	Geprüfte Anschlußzonen	32
5	Betriebsmittel.....	32
5.1	Gemeinsame Regeln.....	32
5.1.1	Allgemeines	32
5.1.2	Einbau	32
5.2	Spezielle Anforderungen	33
5.2.1	Leistungsschalter, Lasttrennschalter, Sicherungen, Sicherungs-Lasttrennschalter, Schütze, Trennschalter und Erdungsschalter	33
5.2.2	Transformatoren und Drosselspulen.....	33
5.2.3	Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS), metallgekapselte Schaltanlagen, isolierstoffgekapselte Schaltanlagen und andere fabrikfertige typgeprüfte Schaltanlageneinheiten	34
5.2.4	Meßwandler	34
5.2.5	Überspannungsableiter	34
5.2.6	Kondensatoren.....	34
5.2.7	TFH-Sperren.....	35
5.2.8	Isolatoren.....	35
5.2.9	Kabel/Leitungen.....	35
5.2.11	Drehende Maschinen	37
5.2.12	Stromrichter	37
6	Anlagen	37
6.1	Allgemeine Anforderungen	37
6.1.1	Schaltung.....	38
6.1.2	Dokumentation.....	38
6.1.3	Transportwege	39
6.1.4	Wege und Zufahrtsbereiche	39
6.1.5	Beleuchtung.....	39
6.1.6	Betriebssicherheit	39
6.1.7	Bezeichnungen	39

6.2	Freiluftanlagen in offener Bauweise.....	40
6.2.1	Schutzvorrichtungsabstände für Abdeckungen.....	40
6.2.2	Schutzvorrichtungsabstände für Hindernisse.....	40
6.2.3	Schutzvorrichtungsabstände an der äußeren Umzäunung.....	40
6.2.4	Mindesthöhe über begehbaren Flächen.....	40
6.2.5	Abstände zu Gebäuden.....	41
6.2.6	Äußere Umzäunungen und Zugangstüren.....	41
6.3	Innenraumanlagen in offener Bauweise.....	41
6.4	Aufstellen von fabrikfertigen, typgeprüften Schaltanlagen.....	42
6.4.1	Allgemeines.....	42
6.4.2	Zusätzliche Anforderungen an gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen.....	42
6.5	Anforderungen an Gebäude.....	43
6.5.1	Einführung.....	43
6.5.2	Baubestimmungen.....	44
6.5.3	Schaltanlagenräume.....	44
6.5.4	Betriebs- und Instandhaltungsbereiche.....	44
6.5.5	Türen.....	45
6.5.6	Ableitung von dielektrischen Flüssigkeiten.....	45
6.5.7	Klimatisierung und Lüftung.....	45
6.5.8	Gebäude, die besondere Überlegungen erfordern.....	46
6.6	Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung.....	46
6.7	Mast- und Turmstationen.....	46
7	Schutzmaßnahmen.....	52
7.1	Schutz gegen direktes Berühren.....	52
7.1.1	Allgemeines.....	52
7.1.2	Maßnahmen zum Schutz gegen direktes Berühren.....	52
7.1.3	Schutzanforderungen.....	53
7.2	Schutz bei indirektem Berühren.....	54
7.3	Schutz bei Arbeiten an elektrischen Anlagen.....	54
7.3.1	Einrichtungen zum Freischalten von Anlagen oder Geräten.....	54
7.3.2	Einrichtungen zum Sichern gegen Wiedereinschalten.....	54
7.3.3	Einrichtungen zum Feststellen der Spannungsfreiheit.....	54
7.3.4	Einrichtungen zum Erden und Kurzschließen.....	54
7.3.5	Einrichtungen zum Abdecken benachbarter, unter Spannung stehender Teile.....	55
7.3.6	Aufbewahrung von Einrichtungen zur Unfallverhütung.....	56
7.4	Schutz vor Gefährdung durch Störlichtbogen.....	56
7.5	Schutz gegen direkte Blitzeinschläge.....	56

Seite 6
HD 637 S1:1999

7.6	Brandschutz.....	56
7.6.1	Allgemeines.....	56
7.6.2	Transformatoren, Drosselspulen.....	57
7.6.3	Kabel und Leitungen.....	59
7.6.4	Sonstige Betriebsmittel mit brennbarer Flüssigkeit.....	59
7.7	Schutz gegen Leckverlust an Isolierflüssigkeit und SF ₆	60
7.7.1	Verlust von Isolierflüssigkeit und Grundwasserschutz.....	60
7.7.2	SF ₆ -Leckverlust (reines SF ₆).....	61
7.7.3	Betriebsstörung mit SF ₆ -Verlust und dessen Zersetzungsprodukte.....	61
7.8	Kennzeichnung und Beschriftung.....	61
7.8.1	Allgemeines.....	61
7.8.2	Hinweis- und Warnschilder.....	61
7.8.3	Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung.....	61
7.8.4	Anlagen mit eingebauten Kondensatoren.....	61
7.8.5	Rettungszeichen für Fluchtwege.....	61
8	Hilfseinrichtungen und Steuerungssysteme.....	66
8.1	Überwachungs- und Steuerungssysteme.....	66
8.2	Gleichstrom- und Wechselstrom-Hilfsstromkreise.....	66
8.2.1	Wechselstrom-Versorgung.....	67
8.2.2	Gleichstrom-Versorgung.....	67
8.3	Druckluftanlagen.....	67
8.4	SF ₆ -Gas-Instandhaltungsgeräte.....	68
8.5	Grundregeln zur elektromagnetischen Verträglichkeit von Steuerungssystemen.....	68
8.5.1	Störquellen in Hochspannungsanlagen.....	68
8.5.2	Maßnahmen zum Vermindern von hochfrequenten Störbeeinflussungen.....	68
8.5.3	Maßnahmen zum Vermindern von niederfrequenten Störbeeinflussungen.....	69
8.5.4	Maßnahmen zur Auswahl der Betriebsmittel.....	69
8.5.5	Andere mögliche Maßnahmen zur Verminderung der Störbeeinflussung.....	70
9	Erdungsanlagen.....	70
9.1	Zweck.....	70
9.2	Bemessung von Erdungsanlagen bei Betriebsfrequenz.....	70
9.2.1	Allgemeines.....	70
9.2.2	Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung.....	71
9.2.3	Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung.....	71
9.2.4	Bemessung im Hinblick auf Berührungs- und Schrittspannungen.....	72
9.3	Errichtung von Erdungsanlagen.....	75
9.3.1	Ausführung von Erdern und Erdungsleitern.....	75
9.3.2	Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung hochfrequenter Beeinflussungen.....	75
9.3.3	Potentialverschleppung.....	75
9.3.4	Maßnahmen zur Erdung an Betriebsmitteln und Anlagen.....	76

9.4	Gemeinsame Erdungsanlagen für Hoch- und Niederspannungsnetze	76
9.4.1	Bedingungen für gemeinsame Erdungsanlagen	76
9.4.2	Versorgung von Niederspannungsanlagen innerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage	76
9.4.3	Versorgung von Niederspannungsanlagen außerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage	76
9.4.4	Getrennte Erdungsanlagen	76
9.5	Erdungsmaßnahmen gegen Blitzeinwirkungen	78
9.6	Messungen für und an Erdungsanlagen	78
9.7	Bauüberwachung und Dokumentation von Erdungsanlagen	78
9.8	Allgemeine Bemerkungen zu Kontrolle und Überwachung von Erdungsanlagen	78
9.8.1	Kontrolle durch Besichtigung	78
9.8.2	Kontrolle durch Messung oder Berechnung	78
10	Inspektion, Prüfung und Übernahme vor Ort	81
	Anhang A (normativ) Werkstoffe und Mindestmaße für Erderwerkstoffe, die die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen	82
	Anhang B (normativ) Bestimmung der Strombelastbarkeit von Erdungsleitern oder Erdern	83
	Anhang C (normativ) Berührungsspannung und Körperstrom	87
C.1	Zusammenhang zwischen Berührungsspannung und Körperstrom	87
C.2	Berücksichtigung zusätzlicher Widerstände	88
	Anhang D (normativ) Beschreibung der anerkannten festgelegten Maßnahmen M	91
	Anhang E (normativ) Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung der Auswirkungen von Hochfrequenz-störungen	94
	Anhang F (normativ) Spezielle Maßnahmen zur Erdung von Betriebsmitteln und Anlagen	95
F.1	Anlagenumzäunungen	95
F.2	Rohrleitungen	95
F.3	Anschlußgleise	95
F.4	Maststationen und/oder Mastschalter	95
F.5	Sekundärstromkreise von Meßwandlern	96
	Anhang G (normativ) Messung von Berührungsspannungen	97
	Anhang H (informativ) Schutzmethoden gegen direkten Blitzeinschlag	98
H.1	Blitzschutzseile	98
H.2	Blitzschutzstangen	98
	Anhang J (informativ) Reduktionsfaktoren von Erdseilen bei Freileitungen und metallenen Schirmen bei Kabeln	101
J.1	Allgemeines	101
J.2	Typische Werte für Reduktionsfaktoren von Freileitungen und Kabeln (50 Hz)	101

Seite 8
HD 637 S1:1999

Anhang K (informativ) Grundlagen für die Ausführung von Erdungsanlagen	103
K.1 Spezifischer Erdwiderstand	103
K.2 Ausbreitungswiderstand	103
Anhang L (informativ) Ausführung von Erdern und Erdungsleitern.....	107
L.1 Ausführung von Erdern	107
L.1.1 Oberflächenerder	107
L.1.2 Senkrechte oder schräg eingetriebene Tiefenerder	107
L.1.3 Verbinden der Erder	107
L.2 Ausführung der Erdungsleiter	107
L.2.1 Einbau der Erdungsleiter	107
L.2.2 Verbinden der Erdungsleiter	107
Anhang M (informativ) Näherungsformeln für einfache Erdungsanlagen: Geeignete Abstände zum Vermeiden gefährlicher Spannungen	109
Anhang N (informativ) Messungen für und an Erdungsanlagen	110
N.1 Messung von spezifischen Erdwiderständen	110
N.2 Messung von Ausbreitungswiderständen und Erdungsimpedanzen	110
N.2.2 Beispiele für geeignete Meßverfahren und Arten von Meßgeräten sind:	110
N.3 Bestimmung der Erdungsspannung	112
N.4 Eliminierung von Fremd- und Störspannungen bei Erdungsmessungen.....	112
Anhang P (informativ) Einzelheiten zur Bauüberwachung und Dokumentation von Erdungsanlagen.....	115
Anhang Q (informativ) Beispiele für die Überprüfung der richtigen Planung in bezug auf die zulässige Berührungsspannung	116
Anhang R (informativ) Die Verwendung von Bewehrungsstählen in Beton für Erdungszwecke.....	117
Anhang S (informativ) A-Abweichungen	118
A-Abweichungen für Belgien	118
A-Abweichungen für die Schweiz	124
A-Abweichungen für Spanien	130
A-Abweichungen für Finnland	135
A-Abweichungen für Frankreich	136
A-Abweichungen für das Vereinigte Königreich	138
A-Abweichungen für Italien	143
A-Abweichungen für Schweden.....	144

Anhang T (normativ) Besondere Nationale Bedingungen (SNCs) und andere nationale Bestimmungen (Bestandteile nationaler Normen, Vorschriften und Verfahrensweisen)	147
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für die Tschechische Republik.....	148
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Dänemark	149
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Finnland.....	150
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Frankreich.....	151
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für das Vereinigte Königreich	152
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Italien.....	156
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für die Niederlande.....	160
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Norwegen.....	161
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Schweden	162
Anhang U (informativ) Literaturhinweise	163

Seite 10
HD 637 S1:1999

1 Anwendungsbereich und normative Verweisungen

1.1 Diese Norm enthält die Anforderungen für Projektierung und Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV, um eine sichere und störungsfreie Funktion im bestimmungsgemäßen Betrieb sicherzustellen.

Starkstromanlagen im Sinne dieser Norm sind:

a) Schalt- und Umspannanlagen

Eine abgeschlossene elektrische Betriebsstätte mit Schaltgeräten und/oder Transformatoren in einem Übertragungs- oder Verteilungsnetz. Schaltgeräte und/oder Transformatoren außerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten gehören ebenfalls dazu.

b) Eine oder mehrere Stromerzeugungsanlagen an einem räumlich begrenzten Ort.

Die Anlage enthält Generatoren und Transformatoren mit zugehörigen Schaltgeräten und elektrischen Hilfseinrichtungen. Verbindungen zwischen Stromerzeugungsanlagen an unterschiedlichen Orten sind ausgeschlossen.

c) Das elektrische Netz einer Fabrik, Industrieanlage oder anderer industrieller, landwirtschaftlicher, gewerblicher oder öffentlicher Räumlichkeiten.

Verbindungen zwischen abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten am gleichen räumlich begrenzten Ort (einschließlich Verbindungen zwischen Schaltanlagen) gelten als Teile einer Starkstromanlage, außer diese Verbindungen sind Teile eines übergeordneten Übertragungs- oder Verteilungsnetzes.

In Starkstromanlagen können unter anderem folgende Betriebsmittel vorkommen:

- Generatoren, Motoren und andere drehende Maschinen,
- Schaltgeräte,
- Transformatoren,
- Stromrichter,
- Kabel,
- Leitungen,
- Verdrahtungen,
- Batterien,
- Kondensatoren,
- Erdungsanlagen;
- Gebäude und Umzäunungen, die zu einer abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätte gehören;
- zugehörige Steuerungssysteme.

1.2 Diese Norm gilt nicht für die Projektierung und Errichtung von

- Freileitungen und Kabeln zwischen getrennten Anlagen,
- elektrische Bahnen (außer für Schaltanlagen zur Speisung von Bahnanlagen),
- Bergwerksausrüstungen und -anlagen unter Tage,
- Leuchtröhrenanlagen,
- Anlagen auf Schiffen und off-shore-Plattformen,
- elektrostatischen Einrichtungen,
- Prüffeldern,
- medizinischen Einrichtungen, z. B. medizinischen Röntgeneinrichtungen.

1.3 Diese Norm gilt nicht für die Konstruktion und Herstellung von fabrikfertigen, typgeprüften Schaltanlagen, für die es besondere IEC- oder CENELEC-Normen gibt.

1.4 Normative Verweisungen

Dieses HD enthält durch datierte und undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikation zu diesem HD nur, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 50014	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche - Allgemeine Bestimmungen
EN 50015	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche Ölkapselung "o"
EN 50016	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche Überdruckkapselung "p"
EN 50017	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche Sandkapselung "q"
EN 50018	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche Druckfeste Kapselung "d"
EN 50019	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche Erhöhte Sicherheit "e"
EN 50020	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche Eigensicherheit "i"
EN 50028	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche Vergußkapselung "m"
EN 50110-1	Betrieb von elektrischen Anlagen
EN 50110-2	Betrieb von elektrischen Anlagen (nationale Anhänge)
EN 50265-1	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall - Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader oder einem Kabel - Teil 1: Prüfgerät
EN 50265-2-1	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall - Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader oder einem Kabel - Teil 2: Prüfverfahren Hauptabschnitt 1: 1 kW-Flamme mit Gas-/Luftgemisch
EN 50265-2-2	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall - Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader oder einem Kabel - Teil 2: Prüfverfahren Hauptabschnitt 2: Leuchtende Flamme
EN 50267-2-3	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall - Prüfung der bei der Verbrennung der Werkstoffe von Kabeln und isolierten Leitungen entstehenden Gase Teil 2-3: Prüfverfahren - Bestimmung des Grades der Azidität der wesentlichen Werkstoffe von Kabeln durch die Bestimmung eines gewichtigen Mittelwertes von pH-Wert und Leitfähigkeit
EN 60060-2	Hochspannungs-Prüftechnik - Teil 2: Meßsysteme
EN 60068 (Reihe)	Umweltprüfungen
EN 60071-1	Isolationskoordination - Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen
EN 60071-2	Isolationskoordination - Teil 2: Anwendungsrichtlinie
EN 60076	Leistungstransformatoren - Teil 2: Übertemperaturen
EN 60255-6	Elektrische Relais - Teil 6: Meßrelais und Schutzeinrichtungen

Seite 12
HD 637 S1:1999

EN 60298	Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV
EN 60517	Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen für Bemessungsspannungen von 72,5 kV und darüber
EN 60617-13	Graphische Symbole für Schaltungsunterlagen - Teil 13: Analoge Elemente
EN 60622	Wiederaufladbare gasdichte prismatische Nickel-Cadmium-Einzelzellen
EN 60623	Offene prismatische wiederaufladbare Nickel-Cadmium-Einzelzellen
EN 60694	Gemeinsame Bestimmungen für Hochspannungsschaltgeräte
EN 60721	Klassifizierung von Umweltbedingungen – Teil 1: Umwelteinflußgrößen und deren Grenzwerte
EN 60721-3 (Reihe)	Klassifizierung von Umweltbedingungen – Teil 3: Klassen von Umwelteinflußgrößen und deren Grenzwerte
EN 60865-1	Kurzschlußströme - Berechnung der Wirkung - Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren
EN 60896-1	Ortsfeste Blei-Akkumulatoren; Allgemeine Anforderungen und Prüfungen Teil 1: Geschlossene Batterien
ENV 61024-1	Blitzschutz baulicher Anlagen - Teil 1: Allgemeine Grundsätze
EN 61082-1	Dokumente der Elektrotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln
EN 61100	Einteilung von Isolierflüssigkeiten nach dem Brennpunkt und dem spezifischen Heizwert
EN 61219	Arbeiten unter Spannung - Erdungs- oder Erdungs- und Kurzschließvorrichtung mit Stäben als kurzschließendes Gerät - Stäberdung
EN 61230	Arbeiten unter Spannung - Ortsveränderliche Geräte zum Erden oder Erden und Kurzschließen
EN 61330	Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung
HD 246.2	Schaltpläne, Diagramme, Tafeln Teil 2: Kennzeichnung von Betriebsmitteln (IEC 60113-2)
HD 384.3	Elektrische Anlagen von Gebäuden; Teil 3: Bestimmungen allgemeiner Merkmale (IEC 60364-3, modifiziert)
HD 384.4.442	Elektrische Anlagen von Gebäuden; Teil 4: Schutzmaßnahmen - Kapitel 44: Schutz bei Überspannungen - Hauptabschnitt 442: Schutz von Niederspannungsanlagen bei Erdschlüssen in Netzen mit höher Spannung
HD 405.3	Prüfungen an Kabeln und isolierten Leitungen unter Brandeinwirkungen Teil 3: Prüfungen an gebündelten Aderleitungen oder Kabeln (IEC 60332-3)
HD 464	Transformatoren und Drosselspulen; Trockentransformatoren (IEC 60726, modifiziert)
HD 472	Nennspannungen für öffentliche Niederspannungs-Stromverteilungssysteme (IEC 60038, modifiziert)
HD 478 (Reihe)	Klassifizierung von Umweltbedingungen (IEC 60721, Reihe)
HD 533	Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen (IEC 60909, modifiziert)
HD 606 (Reihe)	Messung der Rauchdichte elektrischer Kabel beim Brennen unter definierten Bedingungen (IEC 61034-1, modifiziert)

IEC 60044-6	Instrument transformers - Part 6: Requirements for protective current transformers for transient performance
IEC 60050 (Reihe)	International electrotechnical vocabulary (IEV)
IEC 60287-3-1	Electrical cables - Calculation of the current rating Part 3: Sections on operating conditions – Section 1: Reference operating conditions and selection of cable type
IEC 60331	Fire-resisting characteristics of electric cables
IEC 60466	A.C. insulation enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 38 kV
IEC 60478 (Reihe)	Stabilized power-supplies, d.c. output
IEC 60478-1	Stabilized power-supplies, d.c. output Part 1: Terms and definition
IEC 60478-2	Stabilized power-supplies, d.c. output Part 2: Rating and performance
IEC/TR2 60479-1	Effects of current on human beings and livestock Part 1: General aspects
IEC 60518	Dimensional standardization of terminals for high-voltage switchgear and controlgear
IEC 60724 + A1	Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage not exceeding 0,6/1,0 kV
IEC/TR 60815	Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions
IEC/TR 60826	Loading and strength of overhead transmission lines
IEC 60949	Calculation of thermally permissible short circuit currents, taking into account non adiabatic heating effects
IEC 61243	Live working - Voltage detectors
IEC/TR2 61634	High voltage switchgear and controlgear - Use and handling of sulphur hexafluoride (SF ₆) in high-voltage switchgear and controlgear
CISPR 18 (Reihe)	Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment
ISO 1996 (Reihe)	Acoustic – Description and measurement of environmental noise
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft	Nr. C 62/23 vom 28.02.1994: Grundlegendokument: "Brandschutz"

Seite 14
HD 637 S1:1999

2 Begriffe

Für den Gebrauch dieser Norm gelten folgende Begriffe:

2.1 Allgemeine Begriffe

2.1.1 Elektrisches Betriebsmittel: Alle Gegenstände, die zum Zwecke der Erzeugung, Umwandlung, Übertragung, Verteilung und Anwendung von elektrischer Energie benutzt werden, z. B. Maschinen, Transformatoren, Schaltgeräte, Meßgeräte, Schutzeinrichtungen, Kabel und Leitungen, Stromverbrauchsgeräte (IEV 826-07-01).

2.1.2 Nennwert: Ein geeigneter, gerundeter Wert einer Größe, der zur Bezeichnung oder Kennzeichnung eines Bauteils, Geräts oder Betriebsmittels verwendet wird (IEV 151-04-01).

2.1.3 Nennspannung eines Netzes: Ein geeigneter gerundeter Spannungswert zur Bezeichnung oder Identifizierung eines Netzes (IEV 601-01-21).

2.1.4 Bemessungswert: Ein für eine vorgegebene Betriebsbedingung geltender Wert einer Größe, der im allgemeinen vom Hersteller für ein Bauteil, Gerät oder Betriebsmittel festgelegt ist. (IEV 151-04-03).

2.1.5 Höchste Spannung für Betriebsmittel: Der Effektivwert der höchsten Leiter/Leiter-Spannung, für die ein Betriebsmittel im Hinblick auf seine Isolation und anderer Eigenschaften bemessen ist, auf die in den Normen für Betriebsmittel bei dieser Spannung verwiesen wird (IEV 604-03-01).

2.1.6 Geprüfte Anschlußzone: Eine Zone in der Umgebung von Betriebsmittel-Anschlüssen, welche eine dielektrische Typprüfung mit den entsprechenden Stehspannungswerten bestanden hat; die Ausführung des Anschlusses hat nach den Spezifikationen des Herstellers zu erfolgen.

2.1.7 Trennstrecke: Schaltstrecke, die die für Trennschalter festgelegten Sicherheitsanforderungen erfüllt (IEV 441-17-35).

2.1.8 Freischalten: Freischalten in Starkstromanlagen ist das allseitige Abschalten oder Abtrennen einer Anlage, eines Teils der Anlage oder eines Betriebsmittels von allen nicht geerdeten Leitern durch Herstellung von Trennstrecken.

2.1.9 Aktives Teil: Jeder Leiter oder jedes leitfähige Teil, das dazu bestimmt ist, bei ungestörtem Betrieb unter Spannung zu stehen, einschließlich des Neutralleiters, aber vereinbarungsgemäß nicht der PEN-Leiter (IEV 826-03-01).

2.2 Anlagen

2.2.1 Abgeschlossene elektrische Betriebsstätte: Raum oder Ort für den Betrieb elektrischer Anlagen und Betriebsmittel, der eindeutig durch geeignete Warnschilder gekennzeichnet ist. Zugang haben Elektrofachkräfte und elektrotechnisch unterwiesene Personen sowie Laien, letztere jedoch nur in Begleitung von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen. Der Zugang kann z. B. durch Öffnen einer Tür oder Entfernen einer Abdeckung mit Hilfe eines Schlüssels oder eines Werkzeuges erfolgen.

ANMERKUNG: Hierzu gehören z. B. abgeschlossene Schalt- und Verteilungsanlagen, Transformatorzellen, Schaltfelder oder Schaltzellen, Verteilungsanlagen in Blechgehäusen oder in anderen abgeschlossenen Anlagen.

2.2.2 Brandgefährdete Betriebsstätten: Räume, Bereiche oder Orte, im Innenraum oder im Freien, in denen die Gefahr besteht, daß sich nach den örtlichen oder betrieblichen Verhältnissen leicht entzündliche feste Stoffe in gefahrdrohender Menge den elektrischen Betriebsmitteln so nähern können, daß höhere Temperaturen an diesen Betriebsmitteln oder Lichtbögen eine Brandgefahr bilden.

2.2.3 Auffangwanne: Becken zur Aufnahme der Isolierflüssigkeit eines Transformators oder eines anderen Betriebsmittels im Falle einer Leckage (ähnlich IEV 605-02-30).

2.2.4 Sammelbehälter: Behälter für ausfließende Flüssigkeiten, Regenwasser usw. für einen oder mehrere Transformatoren oder ein anderes Betriebsmittel.

2.2.5 Sammelschiene: Anordnung mehrerer Sammelschienenleiter in einer Station zur Verbindung von Stromkreisen (IEV 605-02-02).

2.2.6 Ferroresonanz: Resonanz zwischen der Kapazität eines Betriebsmittels und der Induktivität des sättigbaren magnetischen Kreises eines benachbarten Betriebsmittels (IEV 604-01-14).

2.2.7 Gleichstrom-Zeitkonstante der Wechselstromwicklung (Primäre Zeitkonstante): Die Zeit, die die Gleichstromkomponente des Kurzschlußstromes benötigt, um bei Nenndrehzahl der Maschine nach einer abrupten Änderung der Betriebsbedingungen auf ihren 1/e-fachen Wert abzuklingen, das ist das 0,368fache (IEV 411-18-33).

2.2.8 Transiente Überspannung: Schwingende oder nicht schwingende, in der Regel stark gedämpfte Überspannung von kurzer Dauer (einige Millisekunden oder weniger) (IEV 604-03-13).

2.3 Arten von Anlagen

2.3.1 Freiluftanlagen: Elektrische Anlagen im Freien.

2.3.1.1 Freiluftanlagen in offener Bauweise: Anlagen, deren Betriebsmittel keinen vollständigen Schutz gegen direktes Berühren haben und den Witterungseinflüssen unmittelbar ausgesetzt sind.

2.3.1.2 Freiluftanlagen in gekapselter Bauweise: Anlagen, die einen vollständigen Schutz gegen direktes Berühren haben und deren Umhüllung den Schutz gegen unmittelbare Witterungseinflüsse sicherstellt.

2.3.2 Innenraumanlagen: Elektrische Anlagen innerhalb eines Gebäudes oder eines Raums, in dem die Betriebsmittel gegen Witterungseinflüsse geschützt sind.

2.3.2.1 Innenraumanlagen in offener Bauweise: Anlagen, deren Betriebsmittel keinen vollständigen Schutz gegen direktes Berühren haben.

2.3.2.2 Innenraumanlagen in gekapselter Bauweise: Anlagen, deren Betriebsmittel einen vollständigen Schutz gegen direktes Berühren haben.

2.3.3 Gasisolierte Schaltanlage: Metallgekapselte Anlage, deren innere Isolation aus einem anderen Gas als Luft bei atmosphärischem Druck besteht.

2.3.4 Schaltfeld oder Schaltzelle: Jeder Abgang von einer Sammelschiene in einer Anlage.

2.4 Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag

2.4.1 Schutz gegen direktes Berühren: Maßnahmen, die verhüten, daß Personen mit ihren Körperteilen oder Gegenständen in gefährliche Nähe von aktiven Teilen (Erreichen der Gefahrenzone) oder von solchen Teilen gelangen, die eine gefährliche Spannung führen können.

2.4.2 Schutz bei indirektem Berühren: Schutz von Personen vor Gefahren, die im Fehlerfall beim Berühren zugänglicher leitfähiger Teile elektrischer Betriebsmittel oder fremder leitfähiger Teile entstehen können.

2.4.3 Umhüllung (Kapselung): Ein Teil, das ein Betriebsmittel gegen bestimmte äußere Einflüsse schützt und durch das Schutz gegen direktes Berühren in allen Richtungen gewährt wird. (IEV 826-03-12).

2.4.4 Abdeckung: Ein Teil, durch das Schutz gegen direktes Berühren in allen üblichen Zugangs- oder Zugriffsrichtungen gewährt wird (IEV 826-03-13).

2.4.5 Hindernis: Ein Teil, das ein unbeabsichtigtes direktes Berühren verhindert, nicht aber eine beabsichtigte Handlung (IEV 826-03-14).

2.5 Luftstrecken

2.5.1 Luftstrecke: Abstand zwischen zwei leitfähigen Teilen längs eines Fadens, der auf dem kürzesten Weg zwischen diesen Teilen gespannt ist (IEV 441-17-31).

2.5.2 Mindestabstand: Kleinste zulässige Luftstrecke zwischen aktiven Teilen oder zwischen aktiven Teilen und Erde.

2.5.3 Schutzvorrichtungsabstand für Abdeckungen: Kleinste zulässige Luftstrecke zwischen Abdeckung und aktiven Teilen oder solchen Teilen, die eine gefährliche Spannung annehmen können.

2.5.4 Schutzvorrichtungsabstand für Hindernisse: Kleinste zulässige Luftstrecke zwischen dem Hindernis und aktiven Teilen oder solchen Teilen, die eine gefährliche Spannung annehmen können.

2.5.5 Gefahrenzone: Bereich ohne vollständigen Schutz gegen direktes Berühren, der durch den Mindestabstand um aktive Teile begrenzt ist. Das Erreichen der Gefahrenzone wird dem Berühren spannungführender Teile gleichgesetzt.

Seite 16
HD 637 S1:1999

2.5.6 Mindestarbeitsabstand: Der bei Arbeiten einzuhaltende Mindestabstand in Luft zwischen der arbeitenden Person - oder von ihr benutztem leitfähigen Werkzeug - und Teilen mit anderem Potential, unter Spannung stehend oder geerdet.

ANMERKUNG: Werte für Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen sind im Bild 6.3 angegeben.

2.5.7 Schutzvorrichtungsabstand an der äußeren Umzäunung: Kleinste zulässige Luftstrecke zwischen der äußeren Umzäunung und aktiven Teilen oder solchen Teilen, die eine gefährliche Spannung annehmen können.

2.5.8 Mindesthöhe: Kleinste zulässige vertikale Luftstrecke zwischen begehbaren Flächen und aktiven Teilen ohne Schutzvorrichtungen oder solchen Teilen, die eine gefährliche Spannung annehmen können.

2.6 Steuerung und Schutz

2.6.1 Verriegelungseinrichtung: Einrichtung, die das Betätigen eines Schaltgeräts von der Stellung oder der Betätigung eines oder mehrerer anderer Betriebsmittel abhängig macht (IEV 441-16-49).

2.6.2 Vor-Ort-Steuerung: Steuerung von einer Stelle innerhalb der Starkstromanlage (IEV 441-16-06, geändert).

2.6.3 Fernsteuerung: Steuerung von einer Steuerstelle außerhalb der Starkstromanlage (IEV 441-16-07, geändert).

2.6.4 Automatische Wiedereinschaltung (Kurzunterbrechung): Von einer automatischen Einrichtung gesteuerte Wiedereinschaltung des einem fehlerbehafteten Teil des Netzes zugeordneten Leistungsschalters, mit der Erwartung, daß der Fehler während der Unterbrechungszeit verschwindet (IEV 604-02-32).

2.7 Erdung

2.7.1 Erde: Benennung für die Erde als Ort sowie für Erde als einen leitfähigen Stoff, z. B. die Bodenarten Humus, Lehm, Sand, Kies und Gestein (IEV 826-04-01, geändert).

2.7.2 Bezugserde (ferne Erde): Teil der Erde, insbesondere der Erdoberfläche, der sich außerhalb des Einflußbereiches eines Erders oder einer Erdungsanlage befindet, in welchem zwischen zwei beliebigen Punkten keine merklichen, vom Erdungsstrom herrührenden Spannungen auftreten (IEV 604-04-05, geändert).

2.7.3 Erder: Nichtisolierter Leiter, der mit Erde in leitendem Kontakt steht oder ein nichtisolierter Leiter, der in Beton eingebettet ist, welcher mit der Erde großflächig in Berührung steht (z. B. Fundamenterder) (IEV 604-04-05, 826-04-02, geändert).

2.7.4 Erdungsleiter: Leiter, der den zu erdenden Anlagenteil mit einem Erder oder einen Erder mit einem anderen verbindet, soweit dieser Leiter außerhalb der Erde oder isoliert in Erde verlegt ist (IEV 826-04-07, geändert).

ANMERKUNG: Wenn die Verbindung über eine Trennlasche, einen Trennschalter, eine Zähl- oder Kontrollfunkenstrecke für Überspannungsableiter usw. vorgenommen wird, dann ist nur die Verbindung zwischen dem Erder und der Anschlußklemme auf der Erdseite des nächstliegenden vorher genannten Teiles ein Erdungsleiter.

2.7.5 Potentialausgleichsleiter: Leiter, der den Potentialausgleich herstellt (IEV 826-04-10, geändert).

2.7.6 Erdungsanlage: Örtlich begrenztes System von leitend miteinander verbundenen Erdern, Erdungsleitern und Potentialausgleichsleitern oder metallenen Teilen, die in gleicher Weise wirken (z. B. Mastfüße, Bewehrungen, metallene Kabelmäntel) (IEV 604-04-01, geändert).

2.7.7 Erden: Verbinden eines elektrisch leitenden Teiles über eine Erdungsanlage mit Erde (IEV 604-04-01, geändert).

2.7.8 Erdung: Gesamtheit aller Mittel und Maßnahmen zum Erden.

2.7.9 Erderarten

2.7.9.1 Oberflächenerder: Erder, der in geringer Tiefe im allgemeinen bis etwa 1 m verlegt ist. Er kann z. B. aus Band, Rundmaterial oder Seil bestehen und als Strahlen-, Ring- oder Maschenerder oder als eine Kombination dieser Arten ausgeführt sein.

2.7.9.2 Tiefenerder: Erder, der im allgemeinen in größeren Tiefen verlegt oder in größere Tiefe eingetrieben ist. Er kann z. B. aus einem Rohr, Rundstab oder anderem Profilmaterial bestehen (IEV 604-04-09, geändert).

2.7.9.3 Kabel mit Erderwirkung: Kabel, deren Mäntel, Schirme oder Bewehrungen die gleiche Wirkung haben wie Bänderder.

2.7.9.4 Fundamenterder: Teil eines Bauwerkes mit leitenden Eigenschaften, das in Beton eingebettet ist, welcher mit Erde großflächig in leitendem Kontakt steht.

2.7.9.5 Steuererder: Leiter, der durch Form und Anordnung mehr zur Potentialsteuerung als zum Erreichen eines bestimmten Ausbreitungswiderstandes verwendet wird.

2.7.9.6 Natürlicher Erder: Metallenes Teil, das entweder direkt oder über Beton mit der Erde oder Wasser in leitendem Kontakt steht und dessen ursprünglicher Zweck nicht die Erdung ist, welches aber alle Anforderungen eines Erders erfüllt, ohne den ursprünglichen Zweck zu beeinträchtigen.

ANMERKUNG: Das können z. B. sein metallene Rohrleitungen, Spundwände, Betonpfahlbewehrungen, Stahlteile von Bauwerken usw.

2.7.10 Widerstandsarten

2.7.10.1 Spezifischer Erdwiderstand ρ_E : Spezifischer elektrischer Widerstand der Erde

2.7.10.2 Ausbreitungswiderstand R_E : Wirkwiderstand der Erde zwischen dem Erder und der Bezugserde (siehe Bild 2.1).

2.7.10.3 Erdungsimpedanz Z_E : Impedanz zwischen der Erdungsanlage und Bezugserde.

ANMERKUNG: Die Erdungsimpedanz wird nicht nur von den unmittelbar angeschlossenen Erdern bestimmt, sondern auch durch angeschlossene Erdseile von Freileitungen sowie von Bodenseilen, durch angeschlossene Kabel mit Erderwirkung sowie durch andere Erdungsanlagen, die mit der betreffenden Erdungsanlage durch Kabelmäntel und -schirme, PEN-Leiter oder auf andere Weise leitend verbunden sind.

2.7.11 Erdungsarten

2.7.11.1 Schutzerdung: Erdung eines leitfähigen Teiles, das nicht zu den spannungsführenden Teilen gehört, um Personen vor gefährlichen Körperströmen zu schützen.

2.7.11.2 Betriebserdung: Erdung eines Punktes des Betriebsstromkreises, die für den ordnungsgemäßen Betrieb von Geräten oder Anlagen erforderlich ist.

2.7.11.3 Blitzschutzerdung: Erdung zur Ableitung eines Blitzstromes in die Erde.

2.7.12 Einteilung der Netze nach Art der Sternpunktbehandlung

2.7.12.1 Netz mit isoliertem Sternpunkt: Netz, in dem die Sternpunkte von Transformatoren und Generatoren nicht absichtlich mit Erde verbunden sind, ausgenommen Verbindungen hoher Impedanz für Signal-, Meß- oder Schutzzwecke (IEV 601-02-24, geändert).

2.7.12.2 Netz mit Erdschlußkompensation: Netz, in dem mindestens ein Sternpunkt eines Transformators oder Sternpunktbildners über eine Erdschlußlöschspule geerdet ist, wobei die resultierende Induktivität aller Erdschlußlöschspulen im wesentlichen auf die Erdkapazität des Netzes für die Betriebsfrequenz abgestimmt ist (IEV 601-02-13, geändert).

2.7.12.3 Netz mit niederohmiger Sternpunkterdung: Netz, in dem mindestens ein Sternpunkt eines Transformators, Sternpunktbildners oder Generators direkt oder über eine Impedanz geerdet ist, die so ausgelegt ist, daß ein Erdfehler an irgendeiner Stelle wegen der Höhe des Fehlerstromes zuverlässig zu einer automatischen Abschaltung führt (IEV 601-02-25, 601-02-26, geändert).

ANMERKUNG: Hierzu gehören auch Netze mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußkompensation, deren Sternpunkt bei jedem Auftreten eines Erdfehlers kurzzeitig geerdet ist.

Seite 18
HD 637 S1:1999

- 2.7.12.4 Netz mit vorübergehender niederohmiger Sternpunkt- oder Leitererdung:** Netz mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußkompensation, bei dem im Fall eines nicht von selbst erlöschenden Erdfehlers ein Sternpunkt oder Außenleiter des Betriebsstromkreises wenige Sekunden nach Auftreten des Erdfehlers direkt oder über eine niedrige Impedanz geerdet wird.
- 2.7.13 Spannungen an Erdungsanlagen**
- 2.7.13.1 Erdungsspannung U_E :** Spannung zwischen einer Erdungsanlage und Bezugserde (siehe Bild 2.1).
- 2.7.13.2 Erdoberflächenpotential φ :** Spannung zwischen einem Punkt auf der Erdoberfläche und Bezugserde (siehe Bild 2.1).
- 2.7.13.3 Berührungsspannung U_T :** Teil der Erdungsspannung bei einem Erdfehler, der vom Menschen abgegriffen werden kann. Dabei wird angenommen, daß der Strom durch den menschlichen Körper von einer Hand zu den Füßen fließt (horizontaler Abstand vom berührbaren Teil 1 m) (IEV 826-02-02, geändert).
- 2.7.13.4 Leerlaufspannung des Berührungstromkreises U_{ST} (Maximal mögliche Berührungsspannung):** Spannung, die bei einem Erdfehler zwischen leitfähigen Teilen und Erde auftritt, während diese Teile noch nicht berührt werden (Quellenspannung).
- 2.7.13.5 Schrittspannung U_S :** Teil der Erdungsspannung bei einem Erdfehler, der vom Menschen mit einem Schritt von 1 m abgegriffen werden kann. Dabei wird angenommen, daß der Strom von Fuß zu Fuß durch den menschlichen Körper fließt.
- 2.7.14 Begriffe im Zusammenhang mit Potentialunterschieden**
- 2.7.14.1 Potentialausgleich:** Elektrisch leitende Verbindung zwischen leitfähigen Teilen zur Beseitigung von Potentialunterschieden zwischen diesen Teilen (IEV 826-04-09, geändert).
- 2.7.14.2 Potentialsteuerung:** Veränderung des Erdpotentials, insbesondere an der Erdoberfläche, mit Hilfe von Erdern (siehe Bild 2.1).
- 2.7.14.3 Potentialverschleppung:** Verschleppung des Potentials einer Erdungsanlage durch einen mit dieser verbundenen Leiter (z. B. Kabelschirm, PEN-Leiter, Rohrleitung, Gleise) in Gebiete mit geringer oder keiner Potentialanhebung gegenüber Bezugserde, so daß an diesem Leiter ein Potentialunterschied gegen die Umgebung abgreifbar ist (siehe Bild 2.1). Das gilt auch für einen Leiter, der aus dem Bereich der Bezugserde kommt und in den Bereich des angehobenen Erdpotentials führt.
- 2.7.14.4 Standortisolierung:** Maßnahme zur Erhöhung des Widerstandes zwischen einer Standfläche und Erde, so daß keine unzulässigen Spannungen abgegriffen werden können.
- 2.7.14.5 Globales Erdungssystem:** Ein durch die Verbindung von örtlichen Erdungsanlagen hergestelltes Erdungssystem, das sicherstellt, daß durch den geringen gegenseitigen Abstand dieser Erdungsanlagen keine gefährlichen Berührungsspannungen auftreten. Solche Systeme bewirken eine Verteilung der Erdfehlerströme in der Weise, daß die Erdungsspannung der örtlichen Erdungsanlage reduziert wird. Solch ein System bildet eine Quasiäquipotentialfläche.
- 2.7.14.6 Körper (eines elektrischen Betriebsmittels):** Ein berührbares, leitfähiges Teil eines elektrischen Betriebsmittels, das normalerweise nicht unter Spannung steht, das jedoch im Fehlerfall unter Spannung stehen kann (IEV 826-03-02).
- 2.7.14.7 Fremdes leitfähiges Teil:** Ein leitfähiges Teil, das nicht zur elektrischen Anlage gehört, das jedoch ein elektrisches Potential einschließlich des Erdpotentials einführen kann (IEV 826-03-03).
- 2.7.14.8 PEN-Leiter:** Ein geerdeter Leiter in Niederspannungsnetzen, der zugleich die Funktionen des Schutzleiters und des Neutralleiters erfüllt (IEV 826-04-06, geändert).
- 2.7.15 Begriffe zum Erdfehler**
- 2.7.15.1 Erdfehler:** Durch einen Fehler zwischen einem Außenleiter des Betriebsstromkreises und Erde oder einem geerdeten Teil verursachte leitende Verbindung. Die leitende Verbindung kann auch über einen Lichtbogen erfolgen (abweichend von IEC 151-03-40). Erdfehler, an denen zwei oder mehrere Außenleiter desselben Netzes an unterschiedlichen Stellen beteiligt sind, werden als Doppel- oder Mehrfacherdschluß bezeichnet (siehe Bild 2.3 e).
- 2.7.15.2 Erdfehlerstrom I_F :** Strom, der vom Betriebsstromkreis zur Erde oder zu geerdeten Teilen an der Fehlerstelle (Ort des Erdfehlers) fließt (siehe Bilder 2.2 und 2.3).

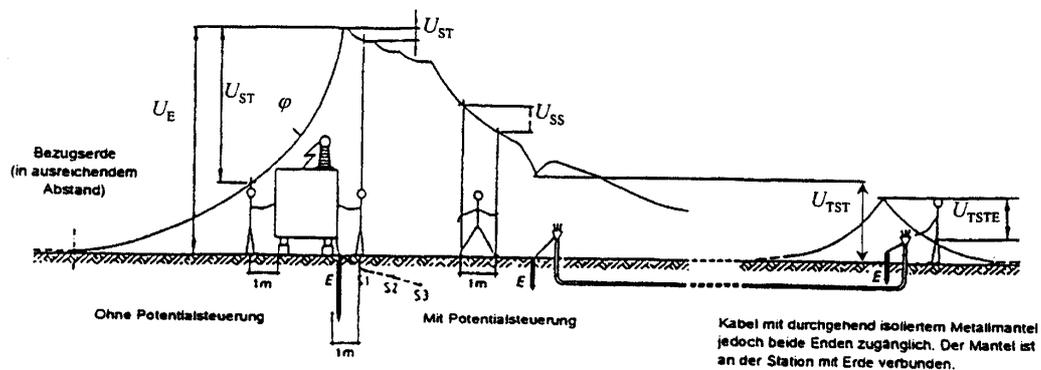
Das ist bei einpoligen Erdfehlern

- in Netzen mit isoliertem Sternpunkt der kapazitive Erdschlußstrom I_C .
- in Netzen mit Erdschlußkompensation der Erdschlußreststrom I_{Res} .
- in Netzen mit niederohmiger Sternpunktterdung der Anfangskurzschlußwechselstrom I''_{k1} .

2.7.15.3 Erdungsstrom I_E : Strom, der über die Erdungsimpedanz in die Erde fließt (siehe Bild 2.2).

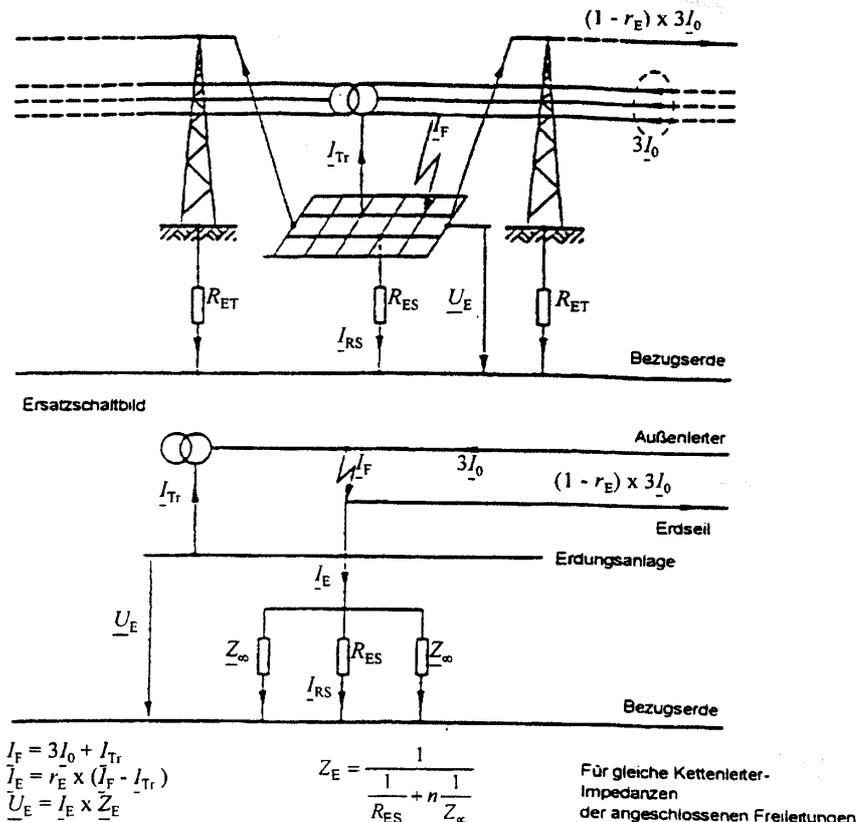
ANMERKUNG: Der Erdungsstrom ist der Teil des Erdfehlerstromes I_F , durch den die Potentialanhebung der Erdungsanlage verursacht wird. Zur Bestimmung von I_E siehe auch Anhang N (informativ).

2.7.15.4 Reduktionsfaktor r : Das Verhältnis des Erdungsstromes zur Summe der Nullströme in den Leitern des Betriebsstromkreises einer Drehstromleitung ($r = I_E / 3I_0$), bei entsprechender Entfernung vom Ort des Kurzschlusses und von der Erdungsanlage der Station.



E	Erder
S1, S2, S3	Potentialsteuererder (z. B. Ringerder), die mit dem Erder E verbunden sind
U_E	Erdungsspannung
U_{SS}	Leerlauf-Schrittspannung
U_{ST}	Leerlauf-Berührungsspannung
U_{TST}	Verschleppte Leerlauf-Berührungsspannung, wenn der Mantel am entfernten Ende nicht geerdet ist
U_{TSTE}	Verschleppte Leerlauf-Berührungsspannung, wenn der Mantel am entfernten Ende ebenfalls geerdet ist
ϕ	Erdoberflächenpotential

Bild 2.1: Beispiel für den Verlauf des Erdoberflächenpotentials und für die Spannungen bei stromdurchflossenem Erder



- $3I_0$ Dreifacher Nullstrom der Leitung
 I_{Tr} Über die Sternpunktterdung des Transformators fließender Strom
 I_F Erdfehlerstrom
 I_E Erdungsstrom (kann nicht direkt gemessen werden)
 I_{RS} Über den Ausbreitungswiderstand des Maschenerdterdungsnetzes fließender Strom
 r_E Reduktionsfaktor der Freileitung
 R_{ES} Ausbreitungswiderstand des Maschenerdterdungsnetzes
 R_{ET} Ausbreitungswiderstand des Mastes
 Z_∞ Kettenleiterimpedanz der Freileitungen
 \underline{Z}_E Erdungsimpedanz
 \underline{U}_E Erdungsspannung
 n Anzahl der aus der Anlage führenden Freileitungen (hier: $n = 2$)

Bild 2.2: Beispiel für Ströme, Spannungen und Widerstände bei einem Erdfehler in einer Umspannanlage mit niederohmiger Sternpunktterdung

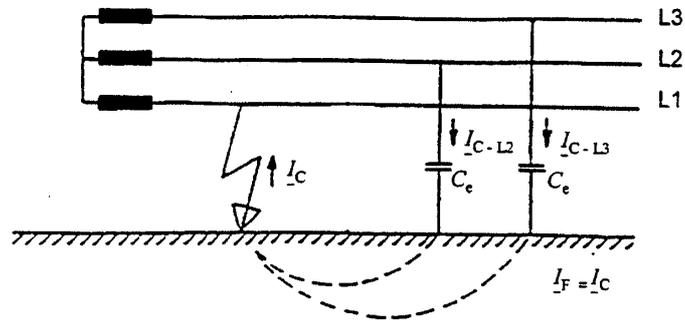


Bild 2.3a: Erdfehlerstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt

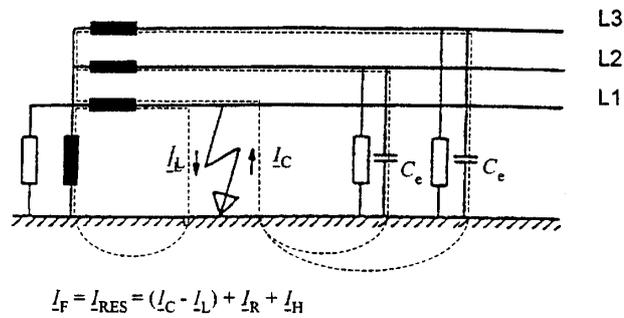


Bild 2.3b: Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlußkompensation

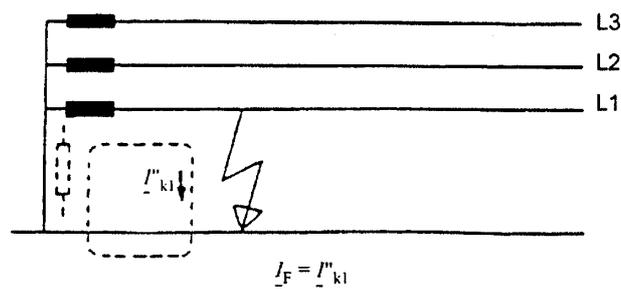


Bild 2.3c: Erdfehlerstrom in einem Netz mit niederohmiger Sternpunktterdung

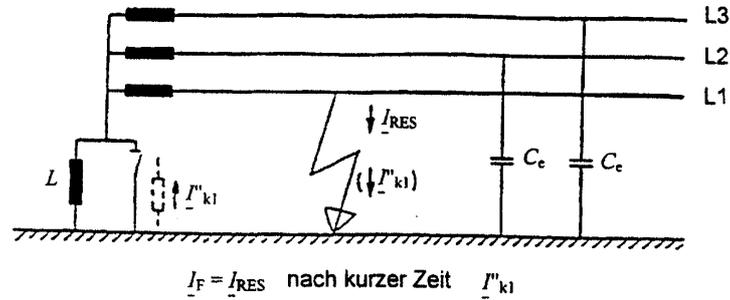


Bild 2.3d: Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlußkompensation und vorübergehender niederohmiger Sternpunktterdung

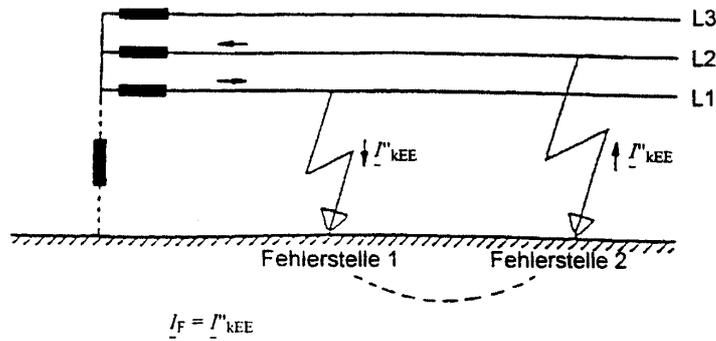


Bild 2.3e: Doppelerdschlußstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlußkompensation

I_F	Erdfehlerstrom
I_C	Kapazitiver Erdungsstrom
I_L	Summe der Ströme paralleler Erdschlußlöschspulen
I_R	Ableitstrom
I_H	Oberschwingungsstrom
I_{RES}	Erdschlußreststrom
I''_{kl}	Anfangskurzschlußwechselstrom für einpoligen Erdkurzschluß
I''_{KEE}	Doppelerdschlußstrom

Bild 2.3: Die wesentlichen Komponenten der Erdfehlerströme in Hochspannungsnetzen

3 Allgemeine Anforderungen

Anlagen und Betriebsmittel müssen den am Einsatzort zu erwartenden elektrischen, mechanischen, klimatischen und Umwelteinflüssen standhalten.

3.1 Elektrische Anforderungen

3.1.1 Arten der Sternpunktterdung

Netze müssen eine der folgenden Ausführungen aufweisen:

- Netz mit isoliertem Sternpunkt,
- Netz mit Erdschlußkompensation,
- Netz mit niederohmiger Sternpunktterdung.

ANMERKUNG: Die Art der Sternpunktterdung eines Netzes ist wichtig für die Wahl des Isolationspegels und der Kennwerte von überspannungsbegrenzenden Einrichtungen, wie Funkenstrecken oder Überspannungsableitern.

3.1.2 Klassifizierung der Spannung

Genormte Werte für die höchste Spannung für Betriebsmittel und für die Nennspannung des Netzes sind in Abschnitt 4 in den Tabellen 1 bis 3 enthalten.

Anlagen und Betriebsmittel müssen sowohl ihren Betriebsspannungen standhalten, als auch zeitweiligen betriebsfrequenten Überspannungen, Schaltüberspannungen und Blitzüberspannungen.

3.1.3 Betriebsstrom

Jedes Netz muß so ausgelegt und aufgebaut sein, daß die Ströme unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen die Bemessungsströme der Betriebsmittel oder die zulässigen Ströme für Bauelemente, für die kein Bemessungsstrom festgelegt ist, nicht überschreiten.

Ungünstigere Umgebungsbedingungen, wie etwa eine höhere als eine von einschlägigen Normen festgelegte Umgebungstemperatur, müssen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG: Es ist zulässig, günstigere Umgebungsbedingungen auszunützen, wie z. B. eine tiefere Umgebungstemperatur, die höhere Betriebsströme zuläßt.

3.1.4 Kurzschlußstrom

3.1.4.1 Anlagen müssen so ausgelegt, konstruiert und errichtet werden, daß sie den mechanischen und thermischen Auswirkungen eines Kurzschlußstromes sicher standhalten.

3.1.4.2 Im Sinne dieser Norm müssen alle Kurzschlußarten berücksichtigt werden, z. B.:

- Dreipoliger Kurzschluß,
- Zweipoliger Kurzschluß,
- Einpoliger Erdkurzschluß,
- Zweipoliger Kurzschluß mit Erdberührung,
- Doppelerdschluß.

Für Anlagen müssen selbsttätige Einrichtungen zum Abschalten von Kurzschlüssen vorgesehen werden.

Für Anlagen müssen entweder Einrichtungen zum selbsttätigen Abschalten von gefährlichen Erdschlüssen oder zum Anzeigen des Erdschlußzustandes vorgesehen werden. Die Auswahl der Einrichtungen ist hauptsächlich von der Netzausführung im Hinblick auf die Sternpunktterdung abhängig.

3.1.4.3 Der genormte Wert für die Bemessungs-Kurzschlußdauer beträgt 1 s.

ANMERKUNG 1: Wenn ein von 1 s abweichender Wert zweckmäßig ist, werden Werte von 0,5 s und 3 s empfohlen.

ANMERKUNG 2: Die Bemessungsdauer muß die Zeit der Kurzschlußabschaltung berücksichtigen.

Seite 24
HD 637 S1:1999

3.1.4.4 Verfahren für die Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen sind in HD 533 angegeben.

3.1.4.5 Verfahren für die Berechnung der Auswirkungen von Kurzschlußströmen sind in EN 60865-1 und für Starkstromkabel in IEC 60949 angegeben.

3.1.5 Bemessungsfrequenz

Anlagen müssen für die Bemessungsfrequenz ausgelegt sein, mit der sie betrieben werden.

3.1.6 Korona

Anlagen müssen so ausgelegt sein, daß durch Korona bedingte hochfrequente Störungen einen festgelegten Pegel nicht überschreiten.

Empfehlungen zur Minimierung der hochfrequenten Störungen durch Hochspannungsanlagen sind im Bericht CISPR 18-1/2/3 enthalten.

ANMERKUNG: Höchstzulässige Störpegel können durch nationale Regelungen festgelegt sein.

3.2 Mechanische Anforderungen

Betriebsmittel und Tragkonstruktionen, einschließlich ihrer Fundamente, müssen den zu erwartenden mechanischen Beanspruchungen standhalten.

Dazu sind verschiedene Kombinationen von Belastungen zu betrachten, auf denen die Berechnung für die resultierende Gesamtlast basieren muß. Insbesondere müssen diese Kombinationen sowohl solche Lasten einbeziehen, die immer vorhanden sind, als auch solche, die von Klimabedingungen oder seltenen Ereignissen abhängen. Diese Lasten sind in zwei Lastfälle einzuteilen.

Für jeden dieser Lastfälle sind verschiedene Kombinationen zu untersuchen; die ungünstigste Kombination ist der Bestimmung der mechanischen Festigkeit der Konstruktionen zugrunde zu legen.

Für den Normal-Lastfall sind folgende Lasten zu berücksichtigen:

- Eigengewicht,
- Zuglast,
- Montagelast,
- Eislast,
- Windlast.

ANMERKUNG 1: Bestimmte Betriebsmittel können durch periodische Lasten beeinträchtigt werden (Hinweise siehe jeweilige Betriebsmittel-Norm).

Für den Ausnahme-Lastfall sind folgende Lasten zu berücksichtigen: Eigengewicht und Zuglast gleichzeitig mit der größten der folgenden fallweise auftretenden Lasten wirkend:

- Schaltkräfte,
- Kurzschlußkräfte,
- Wegfall eines Leiterzugs.

ANMERKUNG 2: In erdbebengefährdeten Gebieten müssen die daraus zu erwartenden Beanspruchungen im Ausnahme-Lastfall berücksichtigt werden (siehe auch 3.4.4).

3.2.1 Zuglast

Die Zuglast ist aus dem maximalen Leiterzug unter den ungünstigsten Bedingungen entsprechend den örtlichen Gegebenheiten zu berechnen. Mögliche Kombinationen sind z. B.:

- - 20 °C ohne Eis und ohne Wind,
- - 5 °C mit Eis und ohne Wind,
- + 5 °C mit Wind.

3.2.2 Montagelast

Die Montagelast ist eine Last von mindestens 1 kN an der kritischsten Stelle einer Tragkonstruktion eines Abspannportales usw.

3.2.3 Eislast

In Gebieten, in denen Vereisung auftreten kann, ist die dadurch auf Leiterseile sowie auf biegesteife Sammelschienen und Leiter wirkende Last zu berücksichtigen.

Wenn keine örtlichen Erfahrungen oder Statistiken verfügbar sind, dürfen Eisschichten von 1 mm, 10 mm oder 20 mm nach den in EN 60694 angegebenen Kriterien angenommen werden. Die Eisdichte wird nach IEC/TR 60826:1991 mit 900 kg/m^3 angesetzt.

3.2.4 Windlast

Windlasten können in Abhängigkeit von örtlichen topographischen Einflüssen und der Höhe der Bauteile über dem umgebenden Gelände sehr unterschiedlich sein.

Nach EN 60694:1996 beträgt der Winddruck auf eine ebene Fläche im allgemeinen $q = 700 \text{ N/m}^2$, entsprechend einer Windgeschwindigkeit von 34 m/s. Dabei ist die ungünstigste Windrichtung zu berücksichtigen.

3.2.5 Schaltkräfte

Schaltkräfte sind bei der Auslegung von Tragkonstruktionen in Schaltanlagen zu berücksichtigen. Die Kräfte sind vom Hersteller der Betriebsmittel anzugeben.

3.2.6 Kurzschlußkräfte

Mit den Berechnungsverfahren nach EN 60865-1, können die mechanischen Auswirkungen eines Kurzschlusses abgeschätzt werden.

ANMERKUNG: Die CIGRÉ-Broschüre "The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations" enthält zusätzliche Hinweise.

3.2.7 Wegfall eines Leiterzugs

Eine Konstruktion mit auf Zug beanspruchten Isolatorketten ist so auszulegen, daß sie dem Verlust der Leiterzugkraft durch Bruch desjenigen Isolators oder Leiters standhält, durch den der ungünstigste Lastfall verursacht wird.

ANMERKUNG 1: Üblicherweise gehen die Berechnungen von 0°C Umgebungstemperatur sowie fehlender Eis- und Windlast aus.

ANMERKUNG 2: Im Falle von Bündelleitern braucht nur der Ausfall eines Leiters berücksichtigt zu werden.

3.2.8 Schwingungen

Durch Wind, elektromagnetische Beanspruchungen und Verkehr (z. B. zeitweiligen Straßen- und Bahnverkehr) verursachte Schwingungen sind zu berücksichtigen. Die Schwingungsfestigkeit der Betriebsmittel ist vom Hersteller anzugeben.

3.2.9 Bemessung der Tragkonstruktionen

Tragkonstruktionen sind nach den Eurocodes für Bauwesen oder entsprechenden nationalen Normen zu bemessen.

3.3 Klima- und Umweltbedingungen

Die Anlagen, einschließlich aller zugehörigen Geräte und Hilfseinrichtungen, sind für den Betrieb unter den nachstehend angegebenen Klima- und Umweltbedingungen auszulegen. Die Produktnormen der Betriebsmittel sind zu berücksichtigen.

Im Fall ungünstigerer Bedingungen ist eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Betreiber zu treffen.

Es ist jedoch nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Betreiber auch zulässig, den Vorteil günstigerer Bedingungen auszunützen.

Seite 26
HD 637 S1:1999

ANMERKUNG: Ein ausführlicheres System der Klima- und Umweltbedingungen ist in EN 60721 enthalten.

3.3.1 Temperatur

3.3.1.1 Innenraum: Die Umgebungstemperatur überschreitet nicht 40 °C und ihr Mittelwert, gemessen über einen Zeitraum von 24 h, überschreitet nicht 35 °C. Die tiefste Umgebungstemperatur beträgt:

- - 5 °C für die Klasse "Minus 5 Innenraum",
- - 15 °C für die Klasse "Minus 15 Innenraum",
- - 25 °C für die Klasse "Minus 25 Innenraum".

3.3.1.2 Freiluft: Die Umgebungstemperatur überschreitet nicht 40 °C und ihr Mittelwert, gemessen über einen Zeitraum von 24 h, überschreitet nicht 35 °C. Die tiefste Umgebungstemperatur beträgt:

- - 25 °C für die Klasse "Minus 25 Freiluft",
- - 40 °C für die Klasse "Minus 40 Freiluft".

Hilfseinrichtungen, wie Relais und Hilfsstromschalter, die für den Einsatz in Innenraum- oder Freiluftanlagen bei Umgebungstemperaturen unter - 5 °C vorgesehen sind, bedürfen einer Vereinbarung zwischen Hersteller und Betreiber.

3.3.2 Aufstellungshöhe und Luftdruck

Wenn die Aufstellungshöhe 1 000 m über NN nicht überschreitet, brauchen Änderungen des Luftdrucks nicht berücksichtigt zu werden (siehe auch 3.4.1).

3.3.3 Luftfeuchtigkeit

3.3.3.1 Innenraum: Der Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit überschreitet in einem Zeitraum von 24 h folgende Werte nicht:

- 70 % für die Klasse "Feuchtigkeit 70 %",
- 95 % für die Klasse "Feuchtigkeit 95 %".

3.3.3.2 Freiluft: Der Mittelwert der relativen Luftfeuchtigkeit kann in einem gegebenen Zeitraum (von z. B. 48 h) 100 % erreichen.

3.3.4 Niederschlag

3.3.4.1 Innenraum: Kondensation kann gelegentlich auftreten.

ANMERKUNG 1: Kondensation ist zu erwarten, wenn plötzliche Temperaturänderungen bei hoher Feuchtigkeit auftreten.

ANMERKUNG 2: Kondensation kann durch spezielle Ausführung des Gebäudes oder des Gehäuses, durch geeignete Lüftung und Heizung oder durch Entfeuchtungseinrichtungen verhindert werden.

3.3.4.2 Freiluft: Niederschlag in Form von Tau, Kondensation, Nebel, Regen, Schnee, Eis oder Rauheif ist zu berücksichtigen.

3.3.5 Verschmutzung

3.3.5.1 Innenraum: Die Umgebungsluft ist im allgemeinen nicht wesentlich durch Staub, Rauch, korrosive Gase, Dämpfe oder Salze verschmutzt.

Bei wesentlicher Verschmutzung des Innenraums sind die unter 3.3.5.2 beschriebenen Freiluftbedingungen anzuwenden.

3.3.5.2 Freiluft: Die Umgebungsluft kann durch Staub, Rauch, korrosive Gase, Dämpfe, Zement, Sand, Salz usw. verschmutzt sein.

ANMERKUNG 1: Kriechstrecken von Isolatoren müssen ausreichend groß sein und Rippen enthalten, damit eine durchgehende Ablagerung verhindert wird.

ANMERKUNG 2: Nachstehende Einteilung der Verschmutzungsklassen für eine Isolatorauswahl in Freiluftanlagen ist in der Tabelle I der IEC/TR 60815:1986 angegeben:

- I - leichte Verschmutzung,
- II - mittlere Verschmutzung,
- III - starke Verschmutzung,
- IV - sehr starke Verschmutzung.

ANMERKUNG 3: Zusammenhänge zwischen Verschmutzung und Kriechstrecken sind in der Tabelle II der IEC/TR 60815:1986 angegeben.

3.3.6 Sonneneinstrahlung

3.3.6.1 Innenraum: In Gebäuden kann der Einfluß der Sonneneinstrahlung vernachlässigt werden. Wenn jedoch in besonderen Fällen das Betriebsmittel intensiver Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist, ist ein deutlicher Anstieg der Oberflächentemperatur zu berücksichtigen.

3.3.6.2 Freiluft: In Abhängigkeit vom Anlagenstandort sind hinsichtlich der Sonneneinstrahlung besondere Maßnahmen zu treffen, um sicherzustellen, daß die zulässigen Temperaturen nicht überschritten werden.

ANMERKUNG 1: Die maximale Intensität der Sonnenstrahlung an einem klaren Tag am Mittag darf mit $1\,000\text{ W/m}^2$ angesetzt werden.

ANMERKUNG 2: UV-Strahlung kann einige Kunststoffe zerstören.

Weitere Einzelheiten können aus HD 478 und EN 60068 entnommen werden.

3.4 Besondere Anforderungen

3.4.1 Anlagen in großen Höhenlagen

Anlagen, deren Aufstellungshöhe 1 000 m über NN überschreitet, müssen den sich daraus ergebenden zusätzlichen Anforderungen standhalten.

Für die Betriebsmittel in solchen Anlagen ist eine Vereinbarung über deren Eignung für diese zusätzlichen Anforderungen zwischen Hersteller und Betreiber zu treffen. Das gilt für Niederspannungs-Hilfseinrichtungen (siehe auch EN 60694) nur bei Aufstellungshöhen von mehr als 2 000 m über NN.

ANMERKUNG 1: Betriebsmittel, die in Aufstellungshöhen von mehr als 1 000 m über NN eingesetzt werden, sind so auszuwählen, daß sie den dielektrischen Prüfungen standhalten, die in Höhenlagen unter 1 000 m mit Prüfspannungen durchgeführt werden, wie sie in Tabellen 4.1 bis 4.3 von Abschnitt 4 angegeben sind, jedoch im Sinne von EN 60694 erhöht.

ANMERKUNG 2: Grenzwerte für Temperatur und Feuchtigkeit sind in 3.3 angegeben.

ANMERKUNG 3: Die Druckänderung bezogen auf die Aufstellungshöhe ist in EN 60721 angegeben. Im Hinblick auf diesen Effekt sollten folgende Punkte besonders beachtet werden:

- Wärmeaustausch durch Konvektion, Leitung oder Strahlung,
- Leistungsfähigkeit von Heizung oder Klimatisierung,
- Betriebsdruck unter Druck stehender Einrichtungen,
- Leistungsfähigkeit der Hilfsenergieaggregate oder der Druckluftstation,
- Zunahme von Koronaeffekten.

3.4.1.1 Zulässige Ströme

Für Anlagen in Aufstellungshöhen von mehr als 1 000 m über NN ist der für Leiter in Luft bei bestimmungsgemäßem Betrieb zulässige Strom für je 100 m über 1 000 m um 0,2 % zu vermindern.

3.4.1.2 Abstände

Für Anlagen in Aufstellungshöhen von mehr als 1 000 m über NN sind die in den Tabellen 4.1 bis 4.3 von Abschnitt 4 angegebenen Mindestabstände für je 100 m über 1 000 m um 1,4 % zu vergrößern.

Seite 28
HD 637 S1:1999

3.4.2 Auswirkungen von Kleinlebewesen und Mikroorganismen

Gegen Gefahren durch Vögel, andere Kleinlebewesen oder Mikroorganismen sind gegebenenfalls Maßnahmen zu treffen. Dies kann zweckmäßige Materialauswahl, Verhinderung des Zugangs sowie angemessene Heizung und Lüftung einschließen.

Weitere Einzelheiten siehe EN 60721.

3.4.3 Geräuschpegel

Grenzwerte für den Geräuschpegel (üblicherweise von Verwaltungsbehörden vorgegeben) sind durch zweckentsprechende Maßnahmen wie die folgenden einzuhalten:

- schalldämmende Maßnahmen gegen Luft- oder Körperschall,
- Einsatz von Transformatoren und Drosselspulen mit geringem Geräuschpegel.

Lärmkriterien für verschiedene Orte und Tageszeiten sind in der Reihe ISO 1996 angegeben.

3.4.4 Erdbebenwirkungen

In erdbebengefährdeten Gebieten sind Erdbebeneinwirkungen bei der Auslegung von Anlagen durch folgende Maßnahmen zu berücksichtigen:

3.4.4.1 Auslegung der Betriebsmittel

Jedes Betriebsmittel muß so ausgelegt sein, daß es den aus den vertikalen und horizontalen Bewegungen des Bodens resultierenden dynamischen Kräften standhält. Diese Wirkungen können durch das Verhalten des Fundaments und/oder der Tragkonstruktionen und/oder des Fußbodens, auf dem das Betriebsmittel installiert ist, verändert werden.

3.4.4.2 Anordnung der Anlage

Die Anlage muß so angeordnet sein, daß folgende Belastungen auf vertretbare Werte begrenzt werden:

- Belastungen durch Verbindungen zwischen benachbarten Einrichtungen, die große relative axiale, seitliche, Dreh- oder andere Bewegungen aufnehmen müssen, wobei zu berücksichtigen ist, daß während eines Erdbebens weitere Beanspruchungen entstehen können;
- im Betrieb auftretende Beanspruchungen der Betriebsmittel, die über ein gemeinsames monolithisches Fundament oder einen gemeinsamen Fußboden übertragen werden können (z. B. das Auslösen/Wiedereinschalten von Leistungsschaltern).

Besondere technische Spezifikationen zur Erdbebensicherheit von Bauwerken und Betriebsmitteln, die in einem Gebiet gelten, sind zu beachten.

4 Isolation

Die Isolationskoordination muß EN 60071-1 und EN 60071-2 entsprechen.

ANMERKUNG 1: EN 60071-1 ordnet den Werten der höchsten Spannung für Betriebsmittel U_m sowohl Bemessungs-Blitzstoßspannungen als auch Bemessungs-Kurzzeit-Wechselspannungen oder Bemessungs-Schaltstoßspannungen zu. EN 60071-2 legt die zugehörigen Abstände fest.

ANMERKUNG 2: Genormte Nennspannungen sind auch in HD 472 S1:1989, Tabelle II für Bahnsysteme angegeben. Andere Werte für Bahnsysteme können aus Tabelle 1 interpoliert werden.

4.1 Wahl des Isolationspegels

Der Isolationspegel ist entsprechend der festgelegten höchsten Spannung für Betriebsmittel U_m zu wählen.

4.1.1 Der gewählte Isolationspegel sollte in erster Linie die Betriebssicherheit gewährleisten, wobei die Sternpunktterdung des Netzes sowie die Kennwerte und die Anordnung der Überspannungsschutzeinrichtungen zu berücksichtigen sind.

4.1.1.1 In Anlagen, in denen eine hohe Betriebssicherheit gefordert wird, oder in denen die Netzkonfiguration, die Art der Sternpunktterdung oder der Schutz durch Überspannungsableiter es nicht zweckmäßig erscheinen lassen, den Isolationspegel zu senken, ist einer der höheren Werte aus den Tabellen 1 bis 3 zu wählen.

4.1.1.2 In Anlagen, in denen die Netzkonfiguration, die Art der Sternpunktterdung oder der Schutz durch Überspannungsableiter es zweckmäßig erscheinen lassen, den Isolationspegel zu senken, sind die niedrigeren Werte aus den Tabellen 1 bis 3 ausreichend.

4.1.2 Der Isolationspegel ist in den Spannungsbereichen A ($1 \text{ kV} < U_m < 52 \text{ kV}$) und B ($52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$) auf Basis der Bemessungs-Blitzstoßspannungen und der Bemessungs-Kurzzeit-Wechselspannungen der Tabellen 1 und 2, im Spannungsbereich C ($U_m \geq 300 \text{ kV}$) auf Basis der in Tabelle 3 gegebenen Bemessungs-Schaltstoßspannungen zu wählen.

4.2 Nachweis der Spannungsfestigkeit

4.2.1 Die Fähigkeit, den Prüfspannungen des gewählten Isolationspegels standzuhalten, ist durch Anwendung geeigneter dielektrischer Prüfungen entsprechend EN 60060-2 mit den in den Tabellen 1 bis 3 angegebenen Stehspannungswerten nachzuweisen.

4.2.2 Werden die in den Tabellen 1 bis 3 angegebenen Mindestabstände in Luft eingehalten, brauchen dielektrische Prüfungen nicht durchgeführt zu werden.

4.2.3 Werden die Mindestabstände in Teilbereichen einer Anlage nicht eingehalten, ist es ausreichend, wenn die dielektrischen Prüfungen auf diese Teilbereiche beschränkt werden.

4.3 Mindestabstände von aktiven Teilen

4.3.1 Die Mindestabstände in Luft, angegeben in den Tabellen 1, 2 und 3, gelten für Aufstellungshöhen bis 1 000 m über NN (zu größeren Aufstellungshöhen siehe 3.4.1).

ANMERKUNG 1: Die Spannungswerte in den Tabellen 1 bis 3 haben ihren Ursprung in der Hauptsache in HD 472 und EN 60071-1; einige sind jedoch aus einem Kompromiß zwischen Werten aus der Praxis in verschiedenen Ländern oder aus unterschiedlichen CENELEC-Schriftstücken entstanden.

ANMERKUNG 2: Auf den mit *N* bezeichneten Mindestabständen beruhen die in 6.2 angegebenen Sicherheitsabstände.

ANMERKUNG 3: In Übereinstimmung mit EN 60071-2:1997, Anhang A, können die Mindestabstände verringert werden, wenn dies durch Prüfungen oder Betriebserfahrungen abgesichert ist.

4.3.2 In den Spannungsbereichen A und B (Tabelle 1 und 2) basieren die Mindestabstände in Luft auf ungünstigen Elektrodenanordnungen mit kleinen Krümmungsradien (Stab/Konstruktion).

Da die Bemessungs-Blitzstoßspannung in diesen Spannungsbereichen für die Isolation Leiter/Leiter die gleiche wie für Leiter/Erde ist, gelten in beiden Fällen die gleichen Mindestabstände.

4.3.3 Im Spannungsbereich C werden die Abstände in Luft durch die Bemessungs-Schaltstoßspannung bestimmt. Sie ist im wesentlichen von der Elektrodenanordnung abhängig. Falls die Zuordnung der Elektrodenanordnung schwierig ist, wird empfohlen, für die Leiter/Erde-Abstände die ungünstigste Anordnung anzunehmen, wie z. B. Trennschalterarm gegen Gittermast (Stab/Konstruktion-Anordnung).

4.3.4 Wenn Anlagenteile durch einen Trennschalter voneinander getrennt werden können, sind sie gegeneinander mit der Bemessungs-Stoßspannung der Trennstrecke zu prüfen (vergl. EN 60694:1996, Tabellen I, III, IV). Wenn zwischen solchen Anlagenteilen die Mindestabstände der Tabellen 1 und 2 in den Bereichen A und B bzw. die Leiter/Leiter-Mindestabstände der Tabelle 3 im Bereich C um mindestens 25 % überschritten werden, ist es nicht notwendig, dielektrische Prüfungen durchzuführen.

Seite 30
HD 637 S1:1999

Tabelle 1: Mindestabstand in Luft, Spannungsbereich A ($1 \text{ kV} < U_m < 52 \text{ kV}$)

Spannungsbereich	Nennspannung des Netzes	Höchste Spannung für Betriebsmittel	Bemessungs-Kurzzeit-wechselspannung	Bemessungs-Blitzstoßspannung 1,2/50 μs	Mindestabstand (λ) Leiter/Erde und Leiter/Leiter	
	U_n (Effektivwert)	U_m (Effektivwert)	(Effektivwert)	(Scheitelwert)	Innenraum-Anlagen	Freiluft-Anlagen
	kV	kV	kV	kV	mm	mm
A	3	3,6	10	20 40	60 60	120 120
	6	7,2	20	40 60	60 90	120 120
	10	12	28	60 75	90 120	150 150
	15 ¹⁾	17,5	38	75 95	120 160	160 160
	20	24	50	95 125		160 220
	30	36	70	145 170		270 320
	36 ²⁾	41,5	80	170 200		320 360

¹⁾ Diese Nennspannungen der Netze sollten als nicht bevorzugt angesehen werden. Sie werden zur Anwendung bei der Projektierung neuer Netze nicht empfohlen.

²⁾ Dieser Spannungswert ist nicht in EN 60071-1 enthalten.

Tabelle 2: Mindestabstand in Luft, Spannungsbereich B ($52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$)

Spannungsbereich	Nennspannung des Netzes	Höchste Spannung für Betriebsmittel	Bemessungs-Kurzzeitwechselfspannung	Bemessungs-Blitzstoßspannung 1,2/50 μs	Mindestabstand (N) Leiter/Erde und Leiter/Leiter
	U_n (Effektivwert) kV	U_m (Effektivwert) kV	(Effektivwert) kV	(Scheitelwert) kV	
B	45 ¹⁾	52	95	250	480
	66 ²⁾	72,5	140	325	630
	70 ⁶⁾	82,5	150	380	750
	110 ³⁾	123	185 ⁴⁾	450	900
			230	550	1 100
	132	145	185 ⁴⁾	450	900
			230	550	1100
			275	650	1300
	150 ¹⁾	170	230 ⁴⁾	550	1 100
			275	650	1 300
325			750	1 500	
220	245 ⁵⁾	325 ⁴⁾	750	1 500	
		360	850	1 700	
		395	950	1 900	
		460	1 050	2 100	

1) Diese Nennspannungen der Netze sollten als nicht bevorzugt angesehen werden. Sie werden zur Anwendung bei der Projektierung neuer Netze nicht empfohlen.
 2) Für $U_n = 60 \text{ kV}$ werden die Werte für $U_n = 66 \text{ kV}$ empfohlen.
 3) Für $U_n = 90 \text{ kV} / U_m = 100 \text{ kV}$ werden die niedrigeren Werte der Stehspannungen und Abstände empfohlen.
 4) Die Werte der Stehspannungen und Abstände in dieser Zeile sollten nur für die Anwendung in selten auftretenden Sonderfällen berücksichtigt werden.
 5) Ein fünfter (noch niedrigerer) Pegel für 245 kV ist in EN 60071-1 angegeben.
 6) Dieser Spannungswert ist nicht in EN 60071-1 enthalten.

Tabelle 3: Mindestabstand in Luft, Spannungsbereich C ($U_m \geq 300 \text{ kV}$)

Spannungsbereich	Nennspannung des Netzes U_n (Effektivwert) kV	Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m (Effektivwert) kV	Bemessungs-Schaltstoßspannung Leiter/Erde 250/2 500 μs kV	Mindestabstand Leiter/Erde		Bemessungs-Schaltstoßspannung Leiter/Leiter 250/2 500 μs kV	Mindestabstand Leiter/Leiter	
				Leiter / Konstruktion	Stab/ Konstruktion (N)		Leiter/ Leiter parallel	Stab/ Leiter
C	275	300	750	1 600	1 900	1 125	2 300	2 600
			850	1 800	2 400	1 275	2 600	3 100
	380	420	950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600
			1 050	2 600	3 400	1 575	3 600	4 200
	480	525	1 050	2 600	3 400	1 680	3 900	4 600
			1 175	3 100	4 100	1 763	4 200	5 000
	700	765	1 425	4 200	5 600	2 423	7 200	9 000
			1 550	4 900	6 400	2 480	7 600	9 400

Seite 32
HD 637 S1:1999

4.4 Mindestabstände zwischen Teilen unter besonderen Bedingungen

4.4.1 Die Mindestabstände zwischen Teilen einer Anlage, zwischen denen Phasenopposition möglich ist, sind um 20 % gegenüber den in den Tabellen 1 bis 3 angegebenen Werten zu erhöhen.

4.4.2 Die Abstände zwischen Teilen einer Anlage, die unterschiedlichen Isolationspegeln zugeordnet sind, müssen mindestens 125 % der Mindestabstände von Anlagenteilen für den höheren Isolationspegel entsprechen.

4.4.3 Wenn Leiter unter dem Einfluß von Kurzschlußkräften ausschlagen, ist 50 % der Mindestabstände nach den Tabellen 1 bis 3 als Mindestmaß einzuhalten.

4.4.4 Wenn Leiter unter dem Einfluß von Wind ausschlagen, ist 75 % der Mindestabstände nach den Tabellen 1 bis 3 als Mindestmaß einzuhalten.

4.4.5 Bei Bruch einer Teilkette in einer Mehrfach-Isolatorenkette, ist 75 % der Mindestabstände nach den Tabellen 1 bis 3 als Mindestmaß einzuhalten.

4.4.6 In einem über Spartransformatoren gespeisten Netz, in dem weder der Sternpunkt noch ein Außenleiter niederohmig geerdet ist, ist die Isolation auf der Unterspannungsseite entsprechend der höchsten Spannung für Betriebsmittel auf der Oberspannungsseite zu bemessen. Die Sternpunktisolierung ist unter Berücksichtigung der Sternpunkterdung zu beachten.

4.5 Geprüfte Anschlußzonen

Die vom Hersteller mitgelieferten Angaben zu Montage- und Betriebsanweisungen sind für den Einbauort zu beachten.

ANMERKUNG: In geprüften Anschlußzonen brauchen die Mindestabstände nach den Tabellen 1 bis 3 nicht eingehalten zu werden, da der Nachweis der Spannungsfestigkeit durch eine dielektrische Typprüfung geführt wurde.

5 Betriebsmittel

5.1 Gemeinsame Regeln

5.1.1 Allgemeines

Betriebsmittel sind in Übereinstimmung mit den einschlägigen EN-, HD- oder IEC-Normen auszuwählen.

5.1.1.1 Jedes Betriebsmittel, einschließlich der Tragkonstruktionen und Fundamente, ist so zu spezifizieren, auszuwählen und einzubauen, daß es den beiden folgenden Anforderungen genügt:

- a) allgemeine Anforderungen, wie z. B. elektrische, mechanische, technologische und klimatische Kennwerte;
- b) spezielle Anforderungen, die typisch für den Einsatzort des Betriebsmittels sind.

ANMERKUNG: Die Betriebsmittel sind so auszuwählen, daß sie den zu erwartenden Beanspruchungen in der Anlage genügen. In den Abschnitten 3, 4 und 6 bis 9 dieser Norm sind Hinweise enthalten, die eine Ergänzung zu den IEC-Normen darstellen und die für die Festlegung, Auswahl, Abstimmung oder Koordinierung der Betriebsmitteleigenschaften oder -kenngrößen anwendbar sind.

5.1.1.2 Besondere anlagenspezifische Betriebs- oder Sicherheitsanforderungen sind vom Betreiber in zusätzlichen Spezifikationen anzugeben.

5.1.2 Einbau

5.1.2.1 Alle Teile der Anlage müssen unter normalen Betriebsbedingungen ordnungsgemäß funktionieren. Für Transport, Lagerung, Aufstellung, Bedienung und Instandhaltung sollten Handbücher und Anweisungen vorhanden sein.

5.1.2.2 Die Einbauanleitungen, die in dieser Norm oder anderen anwendbaren Normen vorgegeben sind, sind zu beachten. Besonderes Augenmerk ist auf die Sicherheit des Personals und die Einfachheit der Instandhaltung zu legen.

5.1.2.3 Die Erdung der Betriebsmittel ist nach 9.3.4 auszuführen.

5.1.2.4 Der Hersteller hat die für Errichtung und Prüfung sowie für die Instandhaltung erforderlichen Spezialwerkzeuge anzugeben.

5.2 Spezielle Anforderungen

5.2.1 Leistungsschalter, Lasttrennschalter, Sicherungen, Sicherungs-Lasttrennschalter, Schütze, Trennschalter und Erdungsschalter

5.2.1.1 Es muß möglich sein, die Trennstrecke und die geschlossene Position von Schaltern oder Trennschaltern (einschließlich Erdungsschaltern) zu überprüfen, entweder durch direkten Sichtkontakt zur Schaltstrecke oder durch einen mechanischen Schaltstellungsanzeiger.

Der Schaltstellungsanzeiger muß eine eindeutige Anzeige des momentanen Schaltzustandes geben.

Die Ein/Aus-Schaltstellungsanzeige muß vom Bedienenden leicht erkennbar sein.

5.2.1.2 Trennschalter und Erdungsschalter müssen so eingebaut sein, daß sie nicht unbeabsichtigt durch von Hand auf das Gestänge ausgeübten Zug oder Druck betätigt werden können.

5.2.1.3 Verriegelungen und/oder Sperrvorrichtungen zur Verhinderung von Fehlbedienungen sind auf Anforderung des Betreibers vorzusehen.

5.2.1.4 Nach Vereinbarung mit dem Betreiber ist es zulässig, für den Erdungsschalter verminderte Bemessungsdaten zuzulassen, die der Kurzschlußstrombelastung angepaßt sind, sofern ein Verriegelungssystem vorgesehen ist, das verhindert, daß der Erdungsschalter den vollen Kurzschlußstrom führen kann.

5.2.1.5 Leistungsschalter und Lasttrennschalter müssen so installiert sein, daß beim Schalten austretende ionisierte Gase nicht zur Beschädigung von Betriebsmitteln oder zur Gefährdung des Bedienungspersonals führen.

ANMERKUNG: Unter einer Beschädigung ist Lichtbogeneinwirkung oder jede Störung zu verstehen, die die einwandfreie Funktion eines Betriebsmittels beeinträchtigt).

5.2.2 Transformatoren und Drosselspulen

Wenn nichts anderes angegeben ist, gelten die Festlegungen dieses Unterabschnittes generell für Transformatoren und Drosselspulen, auch wenn im Text nur auf Transformatoren Bezug genommen wird.

Die hauptsächlichen Auswahlkriterien für Transformatoren sind in den Abschnitten 3 und 7 enthalten.

5.2.2.1 Transformatoren werden unter Beachtung der Isoliermedien und der Art und Weise der inneren und äußeren Kühlung entsprechend EN 60076-2, gekennzeichnet.

5.2.2.2 Beim Einbau von Transformatoren oder Drosselspulen muß das Risiko der Brandausbreitung (siehe 7.6) berücksichtigt werden. Ebenso müssen, wenn notwendig, Maßnahmen ergriffen werden, um den Geräuschpegel zu begrenzen (siehe 3.4.3).

5.2.2.3 Für in Innenräumen aufgestellte Transformatoren ist eine geeignete Lüftung vorzusehen (siehe 6.5.7).

5.2.2.4 Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser und Abwasser) darf nicht verschmutzt werden. Dies ist durch die Bauweise des Transformators und/oder Vorkehrungen am Aufstellungsort (zu Maßnahmen siehe 7.7) zu erreichen.

5.2.2.5 Wenn das Ablesen von Überwachungseinrichtungen (z. B. Flüssigkeitsstand, Temperatur, Druck) wichtig oder das Entnehmen von Proben (Ölproben) notwendig ist, während der Transformator in Betrieb ist, so muß dies gefahrlos und ohne Gesundheitsgefährdung für das Personal möglich sein.

5.2.2.6 Luftdrosselspulen sind so aufzustellen, daß das Magnetfeld des Kurzschlußstroms keine Objekte in die Spule ziehen kann. Benachbarte Betriebsmittel müssen so gebaut sein, daß sie den elektromagnetischen Kräften standhalten. Benachbarte Metallteile, wie Fundamentbewehrungen, Zäune und Erdungsnetz, dürfen sich bei normalen Lastbedingungen nicht unzulässig erwärmen.

5.2.2.7 Die Gefahr einer Beschädigung von Transformatoren durch Überspannungen aus Blitzeinschlägen und Schaltvorgängen ist zu berücksichtigen, z. B. durch Berechnungen hinsichtlich des Einbaus von Überspannungsableitern in der Nähe der Anschlußklemmen der Transformatoren.

Seite 34
HD 637 S1:1999

5.2.3 Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS), metallgekapselte Schaltanlagen, isolierstoffgekapselte Schaltanlagen und andere fabrikfertige typgeprüfte Schaltanlageneinheiten

Anforderungen für die Aufstellung sind im Abschnitt 6 behandelt. Bezüglich Personensicherheit beim Umgang mit Gas siehe 7.7.3 und 8.4.

5.2.4 Meßwandler

Die Sekundärkreise von Meßwandlern müssen geerdet werden oder durch geerdete metallische Schirmung vom Primärkreis getrennt sein, so wie im Abschnitt 9 und F.5 beschrieben.

Der Erdungspunkt des Sekundärkreises ist so zu wählen, daß elektrische Beeinflussungen vermieden werden.

Meßwandler sind so einzubauen, daß ihre Sekundärklemmen leicht zugänglich sind, wenn der zugehörige Schaltanlagenteil freigeschaltet ist.

5.2.4.1 Stromwandler

Die Bemessungsüberstromziffer und die Bemessungsbürde von Stromwandlerkernen sind so auszuwählen, daß angeschlossene Schutzrichtungen richtig funktionieren können und Meßeinrichtungen im Falle eines Kurzschlusses nicht beschädigt werden.

Für Hochspannungsnetze, in denen die Gleichstrom-Zeitkonstante groß ist und in denen Kurzunterbrechung praktiziert wird, wird empfohlen, die transiente Beanspruchung aus dem aperiodischen Anteil des Kurzschlußstromes zu berücksichtigen. In diesem Fall sollte IEC 60044-6 berücksichtigt werden.

Wenn an Schutzkernen von Stromwandlern auch Meßeinrichtungen angeschlossen werden, sind die Meßeinrichtungen ggf. mit geeigneten Hilfsstromwandlern vor Beschädigung durch übermäßige Kurzschlußströme zu schützen.

Zur Verringerung von transienten Überspannungen in Sekundärkreisen, die von Schaltvorgängen herrühren, ist ein wirksamer Schirm zwischen Primär- und Sekundärwicklung einzubauen.

5.2.4.2 Spannungswandler

Spannungswandler sind so auszuwählen, daß ihre Nennausgangsleistung und Genauigkeit für die angeschlossene Meßeinrichtung einschließlich ihrer Verdrahtung ausreicht. Das Risiko von Ferroresonanzen muß berücksichtigt werden.

Die Sekundärseite von Spannungswandlern ist gegen die Auswirkungen von Kurzschlüssen zu schützen. Es wird empfohlen, diese Schutzrichtungen zu überwachen.

5.2.5 Überspannungsableiter

5.2.5.1 Wenn Ansprechzähler in der Erdungsleitung von Überspannungsableitern mit nichtlinearen Widerständen eingebaut sind, ist ein Schutz gegen Berühren auf der Hochspannungsseite der Erdungsleitung zwischen Überspannungsableiter und Zähler anzubringen. Ansprechzähler müssen ablesbar sein und Leckströme sollten meßbar sein, wenn die Betriebsmittel unter Spannung stehen.

5.2.5.2 Überspannungsableiter müssen so gebaut sein oder sind so anzuordnen, daß Personen nicht gefährdet werden, z. B. durch Ausblasen des Ableiters oder das Zerfallen des Gehäuses.

5.2.6 Kondensatoren

5.2.6.1 Bei der Wahl der Nennspannung und Strombelastbarkeit von Kondensatoren ist der Spannungsanstieg zu beachten, der durch in Reihe geschaltete induktive Widerstände, wie Begrenzungs-drosseln und Tonfrequenz- oder Filterkreise, verursacht wird.

5.2.6.2 Kondensatoren für Ankopplung, Spannungsmessung und Überspannungsschutz sind entsprechend der Bemessungsspannung der Schaltgeräte zu wählen, auch wenn die Betriebsspannung niedriger ist.

5.2.6.3 Eine sichere Entladung von Leistungskondensatoren muß sichergestellt sein. Entladungseinrichtungen müssen den thermischen und mechanischen Anforderungen entsprechen.

5.2.6.4 Kurzschluß- und Erdungsvorrichtungen für eine Kondensator-Batterie müssen die Schaltung der Kondensatoreinheiten, deren Entladungswiderstände und die Art der Absicherung berücksichtigen.

5.2.7 TFH-Sperren

Die Bandbreite sollte entsprechend der Frequenzteilung im Netz bestimmt werden.

5.2.8 Isolatoren

5.2.8.1 Wenn nicht anders festgelegt, muß die spezifische Mindestkriechstrecke der Isolatoren den Empfehlungen der IEC/TR 60815 für den vom Betreiber festgelegten Verschmutzungsgrad entsprechen.

5.2.8.2 Die Anforderungen aus 6.2.2 'Berechnungsprüfung' der EN 60694:1996 sind von allen Freiluftisolatoren zu erfüllen.

Isolatorprofile sowie Anforderungen an das Betriebsverhalten von Freiluftisolatoren bei Verschmutzung oder starker Feuchtigkeit dürfen vom Betreiber festgelegt werden.

5.2.9 Kabel/Leitungen

5.2.9.1 Kabel/Leitungen sind so auszuwählen und zu verlegen, daß weder bei bestimmungsgemäßem Betrieb (entsprechend IEC), noch bei speziellen Betriebsbedingungen, die zwischen Lieferant und Betreiber festgelegt sind, noch im Kurzschlußfall die maximal zulässige Temperatur des Leiters, seiner Isolierung, der Verbindungen, der Anschlußklemmen des Betriebsmittels oder der Umgebung überschritten wird.

Der Anschluß an Betriebsmittel (z. B. Motor, Leistungsschalter) darf nicht bewirken, daß Kabel/Leitungen unter vorhersehbaren Betriebsbedingungen höheren als den zulässigen Temperaturen ausgesetzt werden.

5.2.9.2 Die mechanische Beanspruchung von Betriebsmitteln durch temperaturabhängige Änderungen der Leiterlänge ist zu berücksichtigen. Erforderlichenfalls ist die Beanspruchung durch geeignete Maßnahmen aufzufangen (z. B. durch flexible Verbindungen, dehnbare Anschlüsse oder Expansionsklemmen). Wenn solche Maßnahmen nicht ergriffen werden, sind beim Nachweis der mechanischen Festigkeit der Betriebsmittel zusätzliche, durch Temperaturwechsel hervorgerufene Kräfte zu berücksichtigen.

5.2.9.3 Leitungstrossen (Trommel- und Schlepplleitungen) sind entsprechend den folgenden Anforderungen und Bedingungen auszuwählen:

- Für die Energieversorgung von Hebezeugen, fahrbaren oder ortsveränderlichen Betriebsmitteln sind Leitungstrossen oder solche Kabel/Leitungen zu verwenden, die mindestens gleichwertige mechanische und elektrische Eigenschaften haben.
- Im Fall höherer mechanischer Beanspruchung, z. B. beim bestimmungsgemäßen Schleifen, Ziehen, Umlenken oder Trommeln, dürfen nur Leitungstrossen mit zwei Mänteln oder Kabel/Leitungen mit mindestens gleichwertigen mechanischen und elektrischen Eigenschaften verwendet werden.
- Leitungstrossen für die Energieversorgung von Hebezeugen, fahrbaren oder ortsveränderlichen Betriebsmitteln müssen zusätzlich einen geerdeten Schutzleiter enthalten.
- Die Auslegung einer Verbindung, sei es eine Muffe, eine Klemme oder eine andere Verbindungsart, muß so sein, daß - im Fall einer Überdehnung des Kabels/der Leitung - der Schutzleiter zuletzt aufgetrennt wird.
- Trommelleitungen müssen so bemessen sein, daß bei vollständig aufgewickelter Leitung und bei bestimmungsgemäßer Belastung die höchstzulässige Erwärmung nicht überschritten wird.

5.2.9.4 Kreuzungen und Näherungen

Zwischen Kabeln/Leitungen und kreuzenden oder sich annähernden Rohrleitungen (Gas-, Wasser- oder andere Rohre) ist ein geeigneter Abstand zu berücksichtigen. Wenn dieser Abstand nicht eingehalten werden kann, muß die Berührung zwischen Kabel/Leitung und Rohrleitung verhindert werden, z. B. durch Einsetzen von Isolierschalen oder -platten. Diese Maßnahmen müssen mit dem Betreiber der Rohrleitung abgestimmt sein. Im Fall eines langen parallelen Trassenverlaufs ist die im Kurzschlußfall in die Rohrleitung induzierte Spannung zu berechnen. Es kann erforderlich sein, geeignete Maßnahmen anzuwenden (z. B. eine andere Trassenführung für die Kabel/Leitungen oder Rohrleitungen oder ein größerer Abstand zwischen Kabeln/Leitungen und Rohrleitungen).

Zwischen Kabeln/Leitungen und kreuzenden oder sich annähernden Fernmeldeanlagen ist ein geeigneter Abstand einzuhalten.

Für den Fall eines langen parallelen Trassenverlaufes ist die im Kurzschlußfall in die Fernmeldeanlage induzierte Spannung zu berechnen (siehe z. B. CCITT/ITU-Empfehlungen). Es kann erforderlich sein,

Seite 36
HD 637 S1:1999

geeignete Maßnahmen anzuwenden (z. B. eine andere Trassenführung für die Kabel/Leitungen oder die Fernmeldeanlagen, oder ein größerer Abstand zwischen Kabeln/Leitungen und Fernmeldeanlagen).

Wo Kabel/Leitungen andere Kabel kreuzen oder in deren Nähe gelangen, ist die gegenseitige thermische Beeinflussung zu bestimmen, um den kleinsten Abstand zwischen den Kabeln/Leitungen oder andere geeignete Maßnahmen (z. B. Querschnittsvergrößerung) festzulegen. Kabel/Leitungen sind in einem ausreichenden Abstand von Wärmequellen zu verlegen oder durch wärmedämmende Abschirmungen von solchen Wärmequellen zu trennen.

5.2.9.5 Verlegung

Die Verlegearbeiten sind zur Vermeidung von Kabel-/Leitungsschäden bei der durch Normen oder vom Hersteller empfohlenen Umgebungstemperatur durchzuführen.

Einleiterkabel sind so zu verlegen, daß Kurzschlußkräfte keine Beschädigung hervorrufen.

In Metallrohren verlegte Kabel/Leitungen sind so zu gruppieren, daß die Außenleiter (und der Neutraleiter, sofern vorhanden) desselben Stromkreises im selben Rohr liegen.

Die Verlegeart ist so zu wählen, daß äußere Einflüsse auf akzeptable sichere Werte begrenzt werden. Bei Erdverlegung sind Kabel in ausreichender Tiefe zu verlegen und mit Abdeckungen oder Warnstreifen zu bedecken, um eine Beschädigung der Kabel durch Dritte zu vermeiden. Im Erdboden oder unter Wasser verlegte Kabel sollten an der Stelle, an der sie aus dem Wasser oder Erdboden herausgeführt werden, einen mechanischen Schutz erhalten.

Die Sohle eines Kabelgrabens muß steinfrei sein. Das Bettungsmaterial muß Sand oder Erde sein, jeweils ohne Steine. Zum Schutz vor chemischen Einflüssen können, wenn notwendig, spezielle Kabelkonstruktionen gewählt werden.

Durch geeignete Maßnahmen ist zu verhindern, daß Fahrzeuge erdverlegte Kabel beim Überfahren beschädigen.

Kabel/Leitungen sind so zu verlegen, daß Berührungsspannungen auf zulässige Werte begrenzt sind oder daß zugängliche Teile mit unzulässigen Berührungsspannungen durch geeignete Vorrichtungen gegen Berühren geschützt sind.

Metallmäntel sind nach Abschnitt 9 zu erden.

Bewegungen und Schwingungen des Erdbodens sind zu berücksichtigen.

Auf Steigetrasse sind Kabel/Leitungen durch geeignete Schellen zu halten, deren Abstände unter Berücksichtigung der Kabel-/Leitungskonstruktion vom Hersteller festzulegen sind.

5.2.9.6 Biegeradius

Die kleinsten Biegeradien während und nach der Verlegung sind von der Kabel-/Leitungsbauart abhängig und sind in den entsprechenden Normen enthalten oder werden vom Hersteller angegeben.

5.2.9.7 Zugbeanspruchung

Die höchstzulässige Zugbeanspruchung während der Verlegung hängt von der Art des Leiters und von der Kabel-/Leitungsbauart ab. Geeignete Werte sind in den entsprechenden Normen enthalten oder werden vom Hersteller angegeben.

Die ständige statische Zugbeanspruchung sowie die Spitzenzugbeanspruchung, die auf die Leiter von Leitungstrassen (Trommel- und Schleppleitungen) einwirken, müssen so gering wie möglich sein und dürfen die vom Hersteller angegebenen Werte nicht überschreiten.

5.2.9.8 Anschlußenden und Umhüllungen

Die Anschlußenden von Leitungstrassen (Trommel- und Schleppleitungen) müssen von Zug und Schub entlastet sein. Leitungsumhüllungen müssen gegen Abstreifen gesichert und Leitungsenden gegen Verdrehung geschützt sein. Die Anschlußstellen müssen außerdem so ausgebildet sein, daß die Kabel/Leitungen nicht geknickt werden können.

5.2.10 Leiter und Zubehör

Dieser Unterabschnitt behandelt Leiter (starr oder flexibel) und Zubehör, die Bestandteil von Abzweigen oder Sammelschienen in Anlagen sind.

5.2.10.1 Beim Anschluß an Leistungsschalter, Lasttrennschalter mit Sicherung oder Lasttrennschalter dürfen der Wert und die Dauer des Bemessungs-Kurzzeitstroms der Leiter und der Armaturen nicht kleiner sein als die entsprechenden Werte der angeschlossenen Betriebsmittel, wenn nichts anderes vereinbart ist,

5.2.10.2 Es sind Vorkehrungen zu treffen, um das Ausdehnen und Zusammenziehen von Leitern infolge von Temperaturänderungen zu ermöglichen. Dies ist nicht erforderlich, wenn die durch Temperaturänderungen verursachte Beanspruchung in der Konstruktion des Leitersystems berücksichtigt ist.

5.2.10.3 Verbindungen zwischen Leitern müssen chemisch und mechanisch stabil sein, damit sie zuverlässig sind und sich während des Betriebs nicht verschlechtern, das heißt, daß an der Kontaktstelle keine elektrochemische Reaktion erfolgen darf. Die Verbindungsflächen müssen geeignet vorbereitet sein und dann mit dem Druck zusammengepreßt werden, der für die Verbindungsart festgelegt ist. Während des Betriebs darf die Erwärmung einer Verbindung die in EN 60694 festgelegten Werte nicht überschreiten.

5.2.11 Drehende Maschinen

5.2.11.1 Die Anschlußstellen von Maschinen müssen den örtlich zu erwartenden Kurzschlußströmen standhalten. Im Fall eines Fehlers innerhalb des Klemmenkastens muß das Risiko einer Verletzung von Personen minimiert werden.

5.2.11.2 Die Schutzart gegen das Eindringen von Gegenständen, Staub und Wasser in die Maschine, ist entsprechend den klimatischen Bedingungen und Umweltbedingungen am Standort der Anlage zu wählen. Aktive Teile der Maschine müssen gegen zufälliges Berühren geschützt sein.

Der Isolationspegel von Maschinen ist gemäß Abschnitt 4 festzulegen.

5.2.11.3 Ausreichende Kühlung ist sicherzustellen.

5.2.11.4 Es wird empfohlen, Maschinen mittels geeigneter elektrischer Schutzeinrichtungen vor dem Überschreiten der maximal zulässigen Temperatur zu schützen. Insbesondere bei großen Maschinen oder solchen, die für einen Produktionsprozeß wichtig sind, sollten Schutzeinrichtungen eingebaut sein, die einen inneren Fehler anzeigen oder ggf. die Maschine automatisch abschalten.

5.2.12 Stromrichter

5.2.12.1 Zugängliche Teile von Stromrichtereinheiten, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb oder unter Fehlerbedingungen eine gefährliche Spannung führen können, sind in angemessener Weise zu kennzeichnen und vor zufälligem Berühren zu schützen. Dies kann durch das Anbringen geeigneter Schutzvorrichtungen erreicht werden.

5.2.12.2 Kühlmittel und Wärmeträger dürfen keine mechanischen Verunreinigungen oder chemisch aggressiven Bestandteile enthalten, die eine Fehlfunktion des Betriebsmittels zur Folge haben könnten.

Wenn Wasser als Kühlmittel verwendet wird, ist die Korrosionsgefahr infolge von Ableitströmen (durch die Leitfähigkeit des Wassers bedingte Ströme) zu berücksichtigen.

Wenn Öl als Kühlmittel verwendet wird, sind die gleichen Schutzmaßnahmen gegen Brand und Grundwasserverschmutzung wie für Öltransformatoren anzuwenden.

5.2.12.3 Bei der Planung der Anordnung von Stromrichtereinheiten ist die Möglichkeit der von hohen Wechselströmen hervorgerufenen magnetischen Beeinflussung auf andere Betriebsmittel oder Anlagenteile, insbesondere auf Stahlbauelemente, zu berücksichtigen.

5.2.12.4 Schutz- und Überwachungseinrichtungen sind so einzubauen, daß ein ordnungsgemäßer Betrieb sichergestellt ist.

6 Anlagen

6.1 Allgemeine Anforderungen

Dieser Abschnitt enthält nur allgemeine Anforderungen an Anlagen im Hinblick auf die Schaltung, Schaltungsdokumentation, Transportwege, Beleuchtung, Betriebssicherheit und Bezeichnungen.

Die angegebenen Abstände, Luftstrecken und Maße sind die kleinsten zulässigen Werte. Sie beruhen im allgemeinen auf den kleinsten Werten, die in den bisherigen nationalen Normen der CENELEC-Mitglieder enthalten sind. Jeder Betreiber darf, sofern erforderlich, höhere Werte festlegen.

ANMERKUNG: Die Mindestabstände N sind in den Tabellen 1 bis 3 angegeben.

Seite 38
HD 637 S1:1999

Abhängig von vorhandenen nationalen Normen und Vorschriften in den unterschiedlichen Ländern, können höhere Werte notwendig sein, wie im Anhang T (normativ) angegeben.

Bei Erweiterungen von Anlagen dürfen alternativ die zum Zeitpunkt der Errichtung der zu erweiternden Anlage gültigen Anforderungen angewendet werden.

Die einschlägigen Normen für den Betrieb elektrischer (Starkstrom-) Anlagen sind ebenfalls zu berücksichtigen. Betriebsabläufe sind zwischen Hersteller und Betreiber zu vereinbaren.

6.1.1 Schaltung

6.1.1.1 Die Schaltung ist so zu wählen, daß den Betriebserfordernissen entsprochen wird und die Sicherheitsanforderungen nach 7.3 erfüllt werden können. Die Weiterführung des Betriebes unter Fehler- und Instandhaltungsbedingungen ist unter Beachtung der Netzkonfiguration ebenfalls zu berücksichtigen. Die Schaltung muß so einfach wie möglich und so leicht wie möglich zu verstehen sein, daß Schalthandlungen sicher und schnell vorgenommen werden können.

Jedes elektrisch getrennte Netz mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußkompensation muß mit einer Erdschlußüberwachung ausgerüstet sein, die die Erfassung oder das Abschalten eines Erdschlusses ermöglicht.

Es muß sichergestellt sein, daß freigeschaltete Abschnitte einer Anlage nicht unbeabsichtigt von parallelgeschalteten Sekundär-Spannungsquellen (z. B. Wandler) unter Spannung gesetzt werden können.

6.1.1.2 Anlagen sind so auszulegen, daß sie den thermischen und dynamischen Beanspruchungen des Kurzschlußstroms nach Abschnitt 3 standhalten.

Die Schaltung darf jedoch so ausgelegt sein, daß normalerweise getrennt betriebene Anlagenteile während Schalthandlungen kurzzeitig zusammengeschaltet werden können, auch wenn dabei der Kurzschlußstrom die Nennwerte der Anlage überschreitet. Dies kann betrieblich unvermeidlich sein, z. B. um Abgänge von einer Gruppe auf eine andere umzuschalten. In diesem Fall müssen geeignete Schutzmaßnahmen vorgesehen werden, um Personen nicht zu gefährden. Gegebenenfalls können hierfür Betriebsanweisungen erforderlich sein.

Abgänge mit strombegrenzenden Einrichtungen dürfen bei kurzen Verbindungen zwischen den Sammelschienen und den strombegrenzenden Einrichtungen für die verminderte Kurzschlußbeanspruchung, entsprechend dem Durchlaßstrom der strombegrenzenden Einrichtung bemessen sein.

6.1.2 Dokumentation

6.1.2.1 Übersichtsschaltpläne müssen in jeder Anlage vorhanden sein.

Schaltpläne, Diagramme und Tabellen müssen den einschlägigen Normen, wie HD 246.2, EN 60617-13 und EN 61082-1 entsprechen.

6.1.2.2 Die Dokumentation der Anlage muß, sofern anwendbar, folgendes enthalten:

- Anordnungspläne (Dispositionen),
- Erdungspläne,
- Bauzeichnungen,
- Konstruktionszeichnungen,
- Stromlaufpläne,
- Verdrahtungspläne und Klemmenlisten,
- Kabeltrassenpläne,
- Handbücher für Errichtung, Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung,
- Ersatzteillisten,
- Funktionspläne,
- Prüfprotokolle,
- Werkzeuglisten,
- Unterlagen über Hilfseinrichtungen, wie z. B. Feuerlöscheinrichtungen usw.,

- Prüfberichte,
- Anweisungen für Wiederaufbereiten und Entsorgen.

Der Umfang ist zwischen dem Lieferant und Betreiber zu vereinbaren.

6.1.3 Transportwege

6.1.3.1 Transportwege, ihre Tragfähigkeit, Höhe und Breite müssen für die zu erwartenden Transporteinheiten ausreichen und sind zwischen Hersteller und Betreiber zu vereinbaren.

6.1.3.2 Innerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten ist die Durchfahrt von Fahrzeugen oder anderen mobilen Einrichtungen unterhalb von spannungsführenden Teilen (ohne Schutzeinrichtungen) oder in deren Nähe zulässig, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind (siehe Bild 6.5):

- Das Fahrzeug, auch mit geöffneten Türen, und seine Ladung kommen nicht in die Gefahrenzone: Mindest-Transportabstand für Fahrzeuge $T = N + 100$ (mindestens 500 mm).
- Die Mindesthöhe H von spannungsführenden Teilen über begehbaren Flächen ist eingehalten (siehe 6.2.4).

Unter diesen Umständen dürfen Personen nur dann auf den Fahrzeugen oder mobilen Einrichtungen bleiben, wenn angemessene Schutzvorrichtungen (z. B. das Dach des Fahrerhauses) auf dem Fahrzeug oder mobilen Einrichtungen vorhanden sind, um sicherzustellen, daß die vorgenannte Gefahrenzone nicht erreicht werden kann.

Für die seitlichen Abstände zwischen Transporteinheiten und spannungsführenden Teilen gelten die gleichen Grundsätze, sofern anwendbar.

6.1.4 Wege und Zufahrtsbereiche

Die Breite von Wegen und Zufahrtsbereichen muß ausreichend für Arbeiten, Bedienen und Rettungsmaßnahmen sowie für den Transport von Betriebsmitteln und Ausrüstungen sein.

6.1.5 Beleuchtung

Begehbare Innenraum- und Freiluftanlagen müssen mit geeigneter Beleuchtung ausgerüstet sein, damit während des Betriebs ausreichende Sicht gewährleistet ist.

Bei Bedarf ist eine Not-/Zusatzbeleuchtung vorzusehen. Diese kann fest installiert oder ortsveränderlich sein.

In kleinen Verteilungsstationen ist es zulässig, auf die Beleuchtungsanlage zu verzichten. In jedem Fall ist das Vorhandensein und der Umfang der Beleuchtung zwischen Hersteller und Betreiber zu vereinbaren.

Jeder Teil der Beleuchtungsanlage, der Instandhaltung oder Auswechseln von Teilen erfordert, z. B. Lampen, muß so zu installiert werden, daß bei fachgerechtem Arbeiten der Schutzabstand zu aktiven Teilen eingehalten werden kann.

6.1.6 Betriebssicherheit

Anlagen sind so zu errichten, daß Brandschutz und Umweltverträglichkeit sichergestellt sind.

Anlagen sind, soweit erforderlich, gegen Brand, Überschwemmung und Verschmutzung zu schützen. Wichtige Anlagen sind, soweit erforderlich, auch gegen Auswirkungen des Straßenverkehrs (Salzsprühnebel, Verkehrsunfälle) durch zusätzliche Maßnahmen zu schützen.

6.1.7 Bezeichnungen

Kennzeichnung und Beschriftung sind erforderlich, um Bedienungsfehler und Unfälle zu vermeiden.

Alle wichtigen Anlagenteile, wie z. B. Sammelschienensysteme, Schaltgeräte, Schaltfelder und Leiter, sind eindeutig, gut lesbar und dauerhaft zu bezeichnen. Sicherheitsschilder, wie z. B. Warnschilder, Verbotsschilder, Hinweisschilder, sind an geeigneten Stellen der Anlage anzubringen (siehe 7.8).

Seite 40
HD 637 S1:1999

6.2 Freiluftanlagen in offener Bauweise

Freiluftanlagen in offener Bauweise sind unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4 angegebenen Mindestabstände Leiter/Leiter und Leiter/Erde auszulegen.

Darüber hinaus muß die Anlage so gebaut sein, daß der Zugang zu Gefahrenzonen verhindert ist, wobei zu beachten ist, daß der Zugang zur Anlage zum Bedienen und Instandhalten notwendig ist. Dafür sind äußere Einzäunungen erforderlich; dort wo entsprechende Sicherheitsabstände innerhalb der Anlage nicht eingehalten werden können, sind ständige Schutzvorrichtungen innerhalb der Anlage (z. B. Abdeckungen und Hindernisse) einzubauen.

6.2.1 Schutzvorrichtungsabstände für Abdeckungen

In Anlagen sind mindestens folgende Schutzvorrichtungsabstände zwischen aktiven Teilen und der Innenseite der Abdeckung einzuhalten (siehe Bild 6.1).

- Für feste Wände, ohne Öffnungen, mit einer Mindesthöhe von 1 800 mm betragen die Schutzvorrichtungsabstände $B_1 = N$.
- Für Maschendraht, Gitter oder feste Wände mit Öffnungen, mit einer Mindesthöhe von 1 800 mm und einer Schutzart IP1XB betragen die Schutzvorrichtungsabstände

$$B_2 = N + 100 \text{ mm für Bemessungsspannungen über 52 kV.}$$
- Für Maschendraht, Gitter oder feste Wände mit Öffnungen, mit einer Mindesthöhe von 1 800 mm und einer Schutzart von IP2X betragen die Schutzvorrichtungsabstände $B_3 = N + 80 \text{ mm}$ für Bemessungsspannungen bis zu 52 kV.

Bei nicht biegesteifen Wänden und Maschendrahten ist bei den Abständen deren mögliche Durchbiegung zu berücksichtigen.

6.2.2 Schutzvorrichtungsabstände für Hindernisse

In Anlagen sind mindestens folgende Schutzvorrichtungsabstände zwischen aktiven Teilen und der Innenseite des Hindernisses einzuhalten (siehe Bild 6.1):

- Für feste Wände oder Gitter mit einer geringeren Höhe als 1 800 mm, sowie für Leisten, Ketten oder Seile betragen die Schutzvorrichtungsabstände $O_2 = N + 300 \text{ mm}$ (mindestens 600 mm).
- Für Ketten oder Seile sind diese Werte unter Berücksichtigung des Durchhangs zu erhöhen.

Soweit Hindernisse angewendet werden, müssen sie in einer Höhe von 1 200 mm bis 1 400 mm angeordnet sein.

ANMERKUNG: In manchen Ländern sind Leisten, Ketten und Seile nicht zulässig.

6.2.3 Schutzvorrichtungsabstände an der äußeren Umzäunung

An der äußeren Umzäunung von Freiluftanlagen sind mindestens folgende Schutzvorrichtungsabstände einzuhalten (siehe Bild 6.2):

- feste Wände (Höhe siehe 6.2.6) $C = N + 1\,000 \text{ mm,}$
- Maschendraht, Gitter (Höhe siehe 6.2.6) $E = N + 1\,500 \text{ mm.}$

Die höchstzulässige Maschenweite von Maschendraht bzw. Gittern beträgt 50 mm.

6.2.4 Mindesthöhe über begehbaren Flächen

Über begehbaren Flächen sind folgende Mindesthöhen zu aktiven Teilen einzuhalten:

- Für aktive Teile ohne Schutzvorrichtung ist mindestens die Höhe $H = N + 2\,250 \text{ mm}$ (mindestens 2 500 mm) einzuhalten (siehe Bild 6.3). Die Höhe H gilt für den größten Leiterdurchhang (siehe Abschnitt 3).
- Die obere Kante eines geerdeten Isolatorsockels muß mindestens eine Höhe von 2 250 mm über begehbaren Flächen haben, wenn keine Schutzvorrichtung vorhanden ist.

Falls damit zu rechnen ist, daß die angegebenen Abstände durch Schneehöhen wesentlich vermindert werden, sind die vorstehenden Werte entsprechend zu erhöhen.

6.2.5 Abstände zu Gebäuden

Wenn blanke Leiter Gebäude innerhalb von Freiluftanlagen kreuzen (siehe Bild 6.4), sind folgende Mindestabstände zum Dach bei größtem Durchhang einzuhalten:

- die Abstände, die in 6.2.4 für aktive Teile über begehbaren Flächen angegeben sind, wenn bei spannungsführenden Leitern das Dach begehrbar ist;
- $N + 500$ mm, wenn das Dach bei spannungsführenden Leitern nicht begehrbar ist;
- O_2 in seitlicher Richtung vom Dachende, wenn bei spannungsführenden Leitern das Dach begehrbar ist.

Wenn sich blanke Leiter Gebäuden innerhalb von Freiluftanlagen nähern, sind folgende Mindestabstände einzuhalten, wobei für Leiterseile der größte Durchhang und das Ausschwingen zu berücksichtigen sind:

- Außenwand mit unvergitterten Fenstern: Minimaler Abstand ist durch D_V gemäß EN 50110-1 festgelegt;
- Außenwand mit vergitterten Fenstern (Maschenweite entsprechend 6.2.1): B_2 wie in 6.2.1;
- Außenwand ohne Fenster: N .

6.2.6 Äußere Umzäunungen und Zugangstüren

Unbefugter Zugang zu Freiluftanlagen ist durch äußere Umzäunungen zu verhindern. Die Höhe und die Ausführung der Umzäunung muß vom Überklettern abhalten.

Die äußere Umzäunung muß mindestens 1 800 mm hoch sein und die Unterkante darf sich nicht mehr als 50 mm über dem Erdboden befinden (Abstände siehe Bild 6.2).

Zugangstüren und -tore zu Freiluftanlagen sind mit Sicherheitsschlössern auszurüsten.

Äußere Umzäunungen und Zugangstüren sind mit Sicherheitsschildern entsprechend 7.8 zu kennzeichnen.

In manchen Fällen können aus Gründen der öffentlichen Sicherheit zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein.

Wenn der Zugang durch Untergraben der Umzäunung verhindert werden muß, können besondere Vorkehrungen erforderlich sein.

6.3 Innenraumanlagen in offener Bauweise

Innenraumanlagen in offener Bauweise sind unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4 (siehe Tabellen 1 bis 3) angegebenen Mindestabstände Leiter/Leiter und Leiter/Erde auszulegen.

Darüber hinaus muß die Anlage so gebaut sein, daß der Zugang zu Gefahrenzonen verhindert ist, wobei zu beachten ist, daß der Zugang zu Bedienungs- und Instandhaltungszwecken notwendig ist. Entsprechende Abstände oder ständige Schutzvorrichtungen sind in der Anlage vorzusehen.

Schutzvorrichtungsabstände für Abdeckungen und Mindesthöhen sind in 6.2 angegeben.

Für Gebäude, Gänge, Fluchtwege, Türen und Fenster gilt 6.5.

Für feste Wände oder Gitter mit einer geringeren Höhe als 1 800 mm, sowie für Leisten, Ketten oder Seile, betragen die Schutzvorrichtungsabstände mindestens

$$O_1 = N + 200 \text{ mm (mindestens 500 mm, siehe Bild 6.1).}$$

Für Ketten oder Seile sind diese Werte unter Berücksichtigung des Durchhangs zu erhöhen. Sie müssen in einer Höhe von 1 200 mm bis 1 400 mm angeordnet sein, soweit sie angewendet werden.

ANMERKUNG: In manchen Ländern sind Leisten, Ketten und Seile nicht zulässig, wie in den Anhängen S und T angegeben.

Seite 42
HD 637 S1:1999

6.4 Aufstellen von fabrikfertigen, typgeprüften Schaltanlagen

6.4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt legt zusätzliche Anforderungen für äußere Anschlüsse, für die Aufstellung und die Verwendung von Betriebsmitteln am Einsatzort fest. Je nach Art der Anlage und den vorhandenen Bedingungen sind unterschiedliche Maßnahmen zum Verhindern einer Gefährdung von Personen und einer Beschädigung von Sachgütern erforderlich.

Fabrikfertige typgeprüfte Hochspannungs-Schaltanlagen müssen entsprechend den einschlägigen Normen, wie EN 60298, IEC 60466, EN 60517 und EN 60694 hergestellt und geprüft sein.

ANMERKUNG: In manchen Ländern sind Schaltanlagen, die der IEC 60466 entsprechen, als Innenraumanlagen in offener Bauweise anzusehen.

Die Anlage muß für ihren Zweck geeignet, übersichtlich angeordnet und so ausgeführt sein, daß die wesentlichen Teile für die Errichtung, Bedienung und Instandhaltung zugänglich sind. Die Montageanforderungen am Einsatzort sind zu berücksichtigen; das Gleiche gilt für eine mögliche spätere Erweiterung.

Für den Anschluß müssen passende Vorkehrungen getroffen sein. Leiter sowie Kabel und isolierte Leitungen müssen so ausgewählt und angeordnet sein, daß ausreichende Isolierung zwischen den Leitern sowie zwischen jedem Leiter und leitfähigem Material in der Nähe sichergestellt ist.

Sicherheitseinrichtungen zur Druckentlastung bei Auftreten eines inneren Fehlers müssen so ausgeführt oder angeordnet sein, daß sie bei bestimmungsgemäßer Funktion das Bedienungspersonal der Anlage nicht gefährden. Einer gefährlichen Konzentration von Gas und/oder Zersetzungsprodukten in Schalträumen ist entgegenzuwirken.

6.4.2 Zusätzliche Anforderungen an gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen

6.4.2.1 Ausführung

Falls Arbeitsbühnen und Leitern für Bedienung und Instandhaltung erforderlich sind, müssen diese so ausgeführt und angeordnet sein, daß sie für das Personal Sicherheit bieten. Diese können fest installiert oder ortsveränderlich sein.

Wo es erforderlich ist, sind die Verbindungen zwischen Schaltanlage und Transformatoren/Drosselspulen vor gefährlichen Schwingungen zu schützen. Für Wärmedehnung, Montageabweichungen und Fundamentbewegungen sind, sofern erforderlich, Kompensatoren vorzusehen.

Für gasisolierte Anlagen mit mehreren Schotträumen sind eindeutige Kennzeichnungen vorzusehen, die den Aufbau der Anlage sowie die Anordnung von Schottungen zeigen. Überwachungseinrichtungen müssen eindeutig gekennzeichnet und so angeordnet sein, daß eine leichte Überwachung möglich ist.

Gasrohrleitungen und Armaturen sind in Bereichen, wo mechanische Beschädigung zu erwarten ist, zu schützen.

SF₆-Gasrohrleitungen müssen dort, wo eine Verwechslung mit anderen Rohrleitungen möglich ist, gekennzeichnet sein.

6.4.2.2 Aufstellung am Einsatzort

Es wird empfohlen, gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen in einer sauberen Umgebung zu montieren.

Für Freiluftaufstellung können während der Montage- und Instandhaltungsarbeiten provisorische Schutzeinrichtungen zum Schutz der gasisolierten metallgekapselten Schaltanlage gegen Umwelteinflüsse erforderlich sein.

Zum Umgang mit Gas siehe 8.4.

Zu SF₆-Leckverlusten siehe 7.7.2 und 7.7.3.

6.4.2.3 Überspannungsschutz

Der Schutz gegen Überspannung wird bei gasisolierten metallgekapselten Schaltanlagen üblicherweise durch Überspannungsableiter an den Zu- und Abgangsleitungen erreicht. In manchen Fällen kann der durch diese Einrichtungen gebotene Schutz nicht ausreichend sein. Diese Situation ergibt sich in der Hauptsache bei folgenden Anordnungen:

- großer Abstand zwischen den gasisolierten metallgekapselten Schaltanlagen und den Transformatoren;
- Transformatoren, die durch Kabel an die gasisolierten metallgekapselten Schaltanlagen angeschlossen sind;
- lange, an den Enden offene Sammelschienen;
- Kabelanschlüsse an Freileitungen;
- Gegenden mit höherer Blitzgefährdung.

Unter diesen Umständen kann der Einbau zusätzlicher Überspannungsableiter erforderlich werden. Deren örtliche Anordnung sollte auf Erfahrung mit ähnlichen Situationen oder auf Berechnungen beruhen.

6.4.2.4 Erdung

Es wird empfohlen, die Kapselung von gasisolierten metallgekapselten Schaltanlagen mindestens an folgenden Stellen mit der Erdungsanlage zu verbinden:

- a) Innerhalb der Schaltfelder:
 - nahe am Leistungsschalter,
 - nahe am Kabelendverschluß,
 - nahe an der SF₆/Luft-Durchführung,
 - nahe am Meßwandler.
- b) An den Sammelschienen:
 - an beiden Enden und, je nach Sammelschienenlänge, an dazwischenliegenden Punkten.

Die drei Kapselungen einer einphasig gasisolierten metallgekapselten Schaltanlage sind miteinander zu verbinden und gemeinsam zu erden. Die Verbindungen zwischen den drei Kapselungen sind für den Nennstrom der Schaltfelder bzw. Sammelschienen zu bemessen oder es muß durch eine Prüfung nachgewiesen werden, daß durch eine abweichende Dimensionierung ein zulässiger und sicherer Betrieb ohne Personengefährdung möglich ist.

An den Flanschverbindungen sind zusätzliche Überbrückungslaschen nicht erforderlich, wenn sichergestellt ist, daß der Anpreßdruck der Flansche eine ausreichende Kontaktverbindung für hochfrequente Vorgänge herstellt.

Erdungsleitungen von Überspannungsableitern zum Schutz von gasisolierten Anlagen sind auf kürzestem Weg mit der Metallkapselung zu verbinden.

Metallene Umhüllungen (z. B. Metallmäntel, Bewehrungen, Schirmungen) von Kabeln mit Nennspannungen über 1 kV sollten direkt mit der Metallkapselung der gasisolierten metallgekapselten Schaltanlage verbunden werden.

In einigen Sonderfällen, z. B. bei kathodischem Korrosionsschutz von Kabeln, kann es notwendig sein, die Erdverbindung der Kabel von der Metallkapselung der Schaltanlage zu trennen. In diesem Fall wird die Beschaltung mit Überspannungsableitern empfohlen.

6.5 Anforderungen an Gebäude

6.5.1 Einführung

Dieser Abschnitt enthält Anforderungen an die Bereiche oder Örtlichkeiten, in denen elektrische Betriebsmittel für Hochspannungsanlagen installiert werden.

Seite 44
HD 637 S1:1999

6.5.2 Baubestimmungen

6.5.2.1 Allgemeines

Für tragende Bauteile dürfen nur nichtbrennbare Werkstoffe verwendet werden.

Trennwände, Verkleidungen und Gehäuse müssen aus schwer entflammbarem Material bestehen.

ANMERKUNG: Prüfungen des Brandverhaltens sind im IEC-TC 89 in Bearbeitung.

Elektrische Betriebsräume müssen so ausgeführt sein, daß Wasser nicht eindringen kann und Kondensation auf ein Minimum beschränkt wird.

Werkstoffe für Wände, Decken und Fußböden dürfen durch Nässe möglichst nicht beschädigt werden. Andernfalls sind Vorkehrungen zu treffen, um eine Beeinträchtigung der Betriebssicherheit zu vermeiden.

Die Konstruktion des Gebäudes muß der zu erwartenden mechanischen Belastung und dem durch einen Kurzschluß-Lichtbogen verursachten Innendruck standhalten.

Rohrleitungen und andere Einrichtungen, sofern sie in elektrischen Anlagen zulässig sind, dürfen in ihrem Schadensfall die elektrische Anlage nicht gefährden.

6.5.2.2 Anforderungen für Wände

Die mechanische Festigkeit der Gebäude muß ausreichen, um alle statischen und dynamischen Belastungen aufzunehmen, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb der Anlage auftreten können.

Durchlässe von Rohren oder Leitungen dürfen die Tragfähigkeit der Wände nicht beeinträchtigen.

Zugängliche Verkleidungen, die die Umhüllung eines elektrischen Betriebsraums bilden, dürfen von außen nicht entfernt werden können. Die Baustoffe, aus denen sie bestehen, müssen gegen atmosphärische Einwirkungen (Regen, Sonne, korrosive Atmosphäre usw.) beständig sein.

6.5.2.3 Fenster

Fenster müssen so ausgeführt sein, daß ein Eindringen schwierig ist. Diese Anforderung gilt durch eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen als erfüllt:

- das Fenster besteht aus bruchsicheren Baustoffen,
- das Fenster ist vergittert,
- die Unterkante des Fensters liegt mindestens 1,8 m über der Zugangsebene,
- das Gebäude ist von einer mindestens 1,8 m hohen äußeren Umzäunung umgeben.

6.5.2.4 Dächer

Wenn die Decke des Schaltanlagenraums gleichzeitig das Dach des Gebäudes ist und zum Druckausgleich verwendet wird, muß die Verankerung des Daches mit den Wänden zweckentsprechend gestaltet sein.

6.5.2.5 Fußböden

Die Fußböden müssen eben und haltbar sowie zur Aufnahme von statischen und dynamischen Lasten geeignet sein.

Zwischenböden müssen so ausgeführt sein, daß der Ausbreitung eines Brandes entgegengewirkt wird.

6.5.3 Schaltanlagenräume

Die Abmessungen des Raums und der erforderlichen Druckausgleichsöffnungen sind von der Art der Schaltanlage und vom Kurzschlußstrom abhängig und sind vom Hersteller anzugeben.

Wenn Druckausgleichsöffnungen erforderlich sind, müssen diese so ausgeführt und angeordnet sein, daß während des Ansprechens (Ausblasen infolge eines Kurzschluß-Lichtbogens) Personen und Sachgüter nicht gefährdet werden.

6.5.4 Betriebs- und Instandhaltungsbereiche

Betriebs- und Instandhaltungsbereiche sind Korridore, Gänge, Zufahrtsbereiche, Transport- und Fluchtwege.

Gänge und Zufahrtsbereiche müssen für Arbeiten, Bedienung und Transport ausreichend bemessen sein.

Gänge müssen mindestens 800 mm breit sein.

Die Breite der Gänge darf nicht durch in die Gänge hineinragende Betriebsmittel eingeschränkt sein, z. B. ständig vorhandene Antriebe oder Schaltwagen in Trennstellung.

Die Fluchtbreite muß mindestens 500 mm betragen, auch wenn entfernbare Teile oder in Endstellung geöffnete Türen in den Fluchtweg hineinragen.

Die Türen von Schaltzellen oder Schaltfeldern sollten in der Fluchtrichtung schließen.

Für Montage- und Instandhaltungsgänge hinter gekapselten Anlagen (Vollwände) genügt eine Breite von 500 mm.

Unter Decken, Abdeckungen oder Umhüllungen, ausgenommen Kabelkeller, ist eine Mindesthöhe von 2 000 mm erforderlich.

Ausgänge müssen so angeordnet sein, daß die Länge des Fluchtwegs innerhalb des Raums 40 m für Bemessungsspannungen über 52 kV und 20 m für Bemessungsspannungen bis 52 kV nicht überschreitet. Dies gilt nicht für begehbare Sammelschienenkanäle oder Kabelkanäle.

Wenn Bedienungsgänge eine Länge von 10 m nicht überschreiten, genügt ein Ausgang. Wenn der Fluchtweg 10 m überschreitet, ist an beiden Enden ein Ausgang oder Notausgang notwendig.

Fest installierte Leitern oder ähnliche Einrichtungen sind als Notausgänge in Fluchtwegen zulässig.

6.5.5 Türen

Zugangstüren müssen mit Sicherheitsschlössern ausgerüstet sein.

Zugangstüren müssen nach außen öffnen und entsprechend 7.8 mit Sicherheitsschildern versehen sein.

Nach außen führende Türen müssen aus schwer entflammbarem Baustoff bestehen, außer wenn das Gebäude von einer mindestens 1,8 m hohen äußeren Umzäunung umgeben ist.

Türen zwischen verschiedenen Räumen innerhalb einer abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätte brauchen keine Schlösser zu haben.

Notausgangstüren müssen von innen ohne Schlüssel zu öffnen sein, indem eine Klinke oder ein anderes einfaches Hilfsmittel verwendet wird, selbst wenn die Türen von außen abgeschlossen sind. Dies gilt nicht für kleine Anlagen, wenn die Tür während der Bedienung oder Instandhaltung offen bleibt.

Eine Notausgangstür muß mindestens 2 000 mm hoch und 750 mm breit (lichte Maße) sein.

6.5.6 Ableitung von dielektrischen Flüssigkeiten

Bei Verwendung dielektrischer Flüssigkeiten müssen entsprechende Schutzmaßnahmen nach 7.7 angewendet werden.

6.5.7 Klimatisierung und Lüftung

Darunter ist Kühlung, Heizung und Lüftung zu verstehen.

Innenraum-Klimabedingungen sind durch geeignete Kühlung, Lüftung, Heizung oder Gestaltung des Gebäudes sicherzustellen.

Für Transformatoren ist natürliche Lüftung zu bevorzugen.

Eine Betriebsüberwachung der Ventilatoren wird empfohlen.

Lüftungsöffnungen müssen so ausgeführt sein, daß gefährliche Annäherungen an spannungsführende Teile und gefährliches Eindringen von Fremdkörpern vermieden wird.

Kühlmittel und Wärmeträger dürfen keine mechanischen Verunreinigungen oder chemisch aggressive Bestandteile in solchen Mengen oder mit solchen Eigenschaften enthalten, daß sie die ordnungsgemäße Funktion des Betriebsmittels in der Anlage gefährden könnten.

Sofern erforderlich, sind Filter oder Wärmetauscher vorzusehen.

Mechanische Lüftungssysteme müssen so angeordnet und ausgeführt sein, daß Kontrolle und Instandhaltung auch dann möglich sind, wenn die Schaltanlage in Betrieb ist.

Seite 46
HD 637 S1:1999

6.5.8 Gebäude, die besondere Überlegungen erfordern

Für Hochspannungsanlagen in öffentlichen Gebäuden oder Wohngebäuden sind besondere Bedingungen entsprechend den bestehenden Normen oder nationalen Vorschriften zu beachten.

6.6 Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung

Normen für die Herstellung und Prüfung siehe EN 61330.

Kompaktstationen sind so anzuordnen, daß eine Beschädigung durch Straßenfahrzeuge nicht zu erwarten ist. Für Bedien- und Instandhaltungszwecke muß angemessener Freiraum vorgesehen sein.

6.7 Mast- und Turmstationen

Die Mindesthöhe aktiver Teile über begehbaren Flächen muß sein:

- $H' = 4\,300$ mm für Bemessungsspannungen U_m bis 52 kV,

- $H' = N + 4\,500$ mm (mindestens 6 000 mm) für Bemessungsspannungen U_m über 52 kV (siehe Bild 6.2).

Falls damit zu rechnen ist, daß die angegebenen Abstände durch Schneehöhen wesentlich vermindert werden, sind die vorstehenden Werte entsprechend zu erhöhen.

Sicherungen und Einrichtungen zum Freischalten sind so anzuordnen, daß sie gefahrlos bedient werden können. Wenn notwendig, müssen Einrichtungen zum Freischalten absperrbar sein. Betätigungsstangen müssen der einschlägigen Norm entsprechen.

Das sichere Erden und Kurzschließen der Freileitung muß möglich sein.

Maße in mm

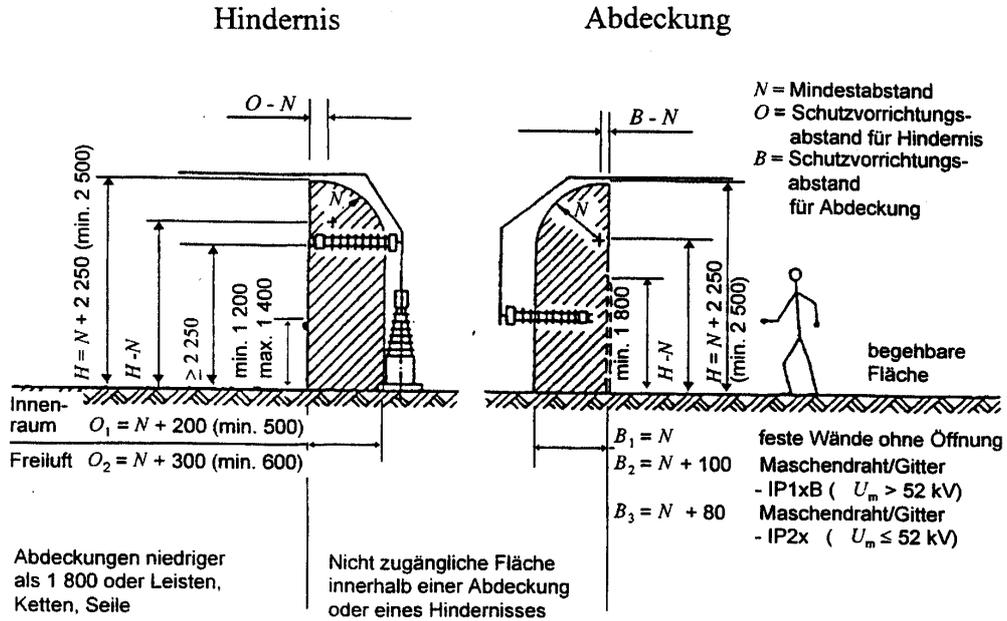


Bild 6.1: Schutz gegen direktes Berühren durch Abdeckungen/Hindernisse in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten

Maße in mm

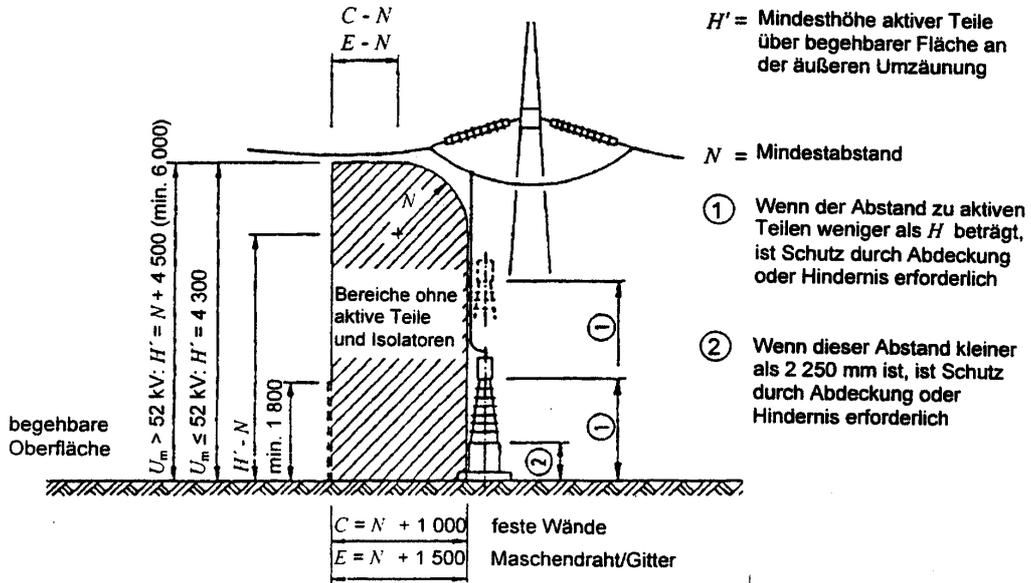


Bild 6.2: Schutzvorrichtungsabstände und Mindesthöhe an der äußeren Umzäunung

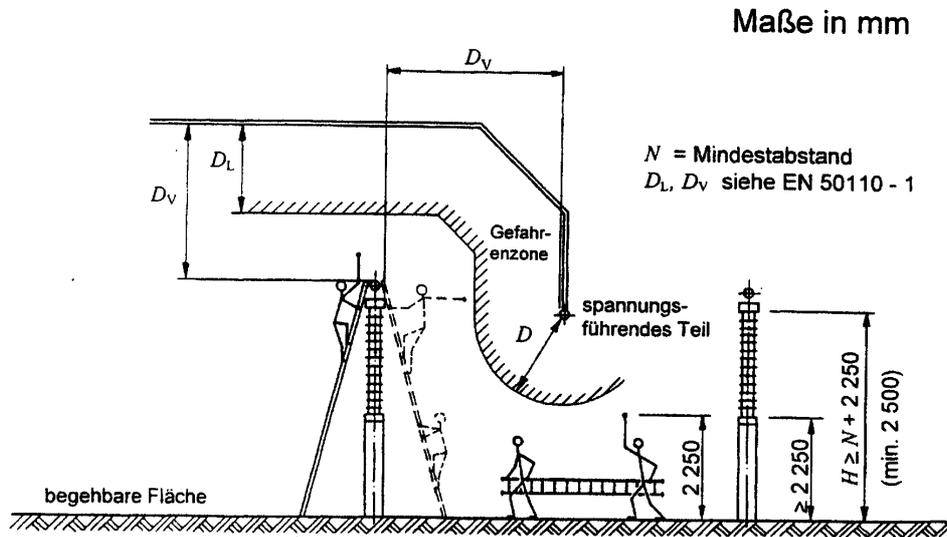
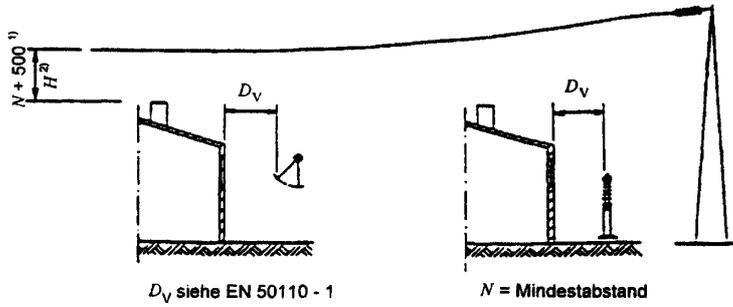


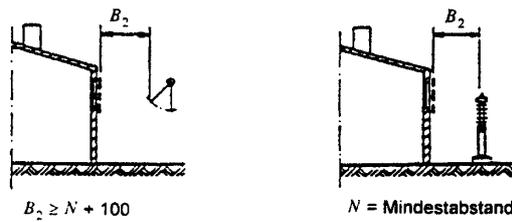
Bild 6.3: Mindesthöhen und Mindestarbeitsabstände in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten

Maße in mm

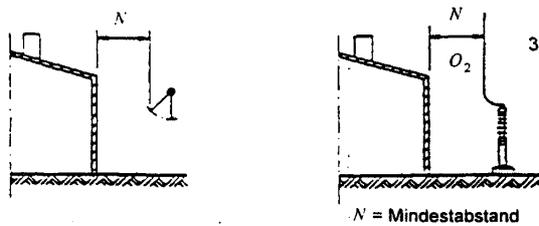


- 1) Das Dach ist nicht begehbar, wenn die Leiter Spannung führen
- 2) Das Dach ist begehbar, wenn die Leiter Spannung führen

Außenwand mit unvergitterten Fenstern



Außenwand mit vergitterten Fenstern

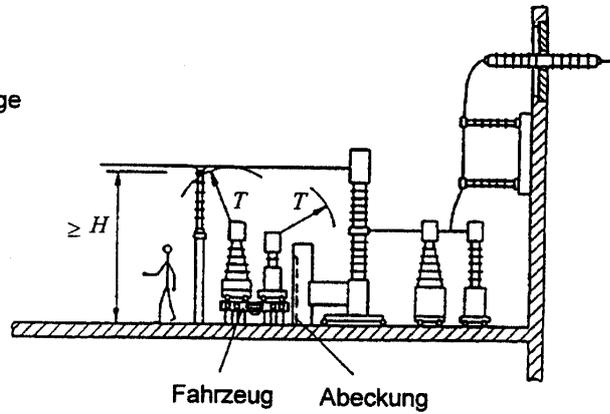


- 3) $O_2 \geq N + 300$ (min. 600) wenn das Dach begehbar ist, während die Leiter Spannung führen

Außenwand ohne Fenstern

Bild 6.4: Annäherungen an Gebäude (in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten)

Innenraumanlage



Freiluftanlage
(ohne Abdeckung)

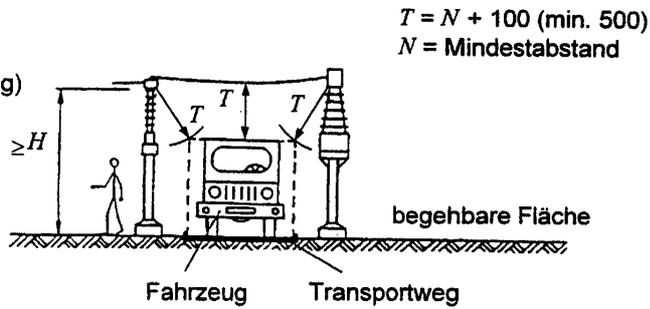


Bild 6.5: Transportabstand

Seite 52
HD 637 S1:1999

7 Schutzmaßnahmen

Anlagen sind in der Weise zu errichten, daß das Bedienungs- und Instandhaltungspersonal jeden Punkt der Anlage gefahrlos erreichen und bei Bedarf im Rahmen von Aufgaben und Berechtigung eingreifen kann.

Spezielle Instandhaltungsarbeiten, Vorbereitungsarbeiten und Reparaturarbeiten, die zu Arbeiten in der Nähe von unter Spannung stehenden Teilen oder zu Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen führen, unterliegen Vorschriften, Prozeduren und Arbeitsabständen, wie sie in EN 50110-1 und EN 50110-2 festgelegt sind. Diese Arbeiten, die spezielle Befähigungsnachweise erfordern, werden in nationalen Bestimmungen festgelegt.

7.1 Schutz gegen direktes Berühren

7.1.1 Allgemeines

Anlagen sind so zu errichten, daß unbeabsichtigtes Berühren von aktiven Teilen oder unbeabsichtigtes Erreichen der Gefahrenzone in der Nähe spannungsführender Teile verhindert ist.

Schutz ist vorzusehen für aktive Teile, Teile, die nur Betriebs-Isolierung haben, sowie Teile, die eine gefährliche Spannung annehmen können.

Beispiele für solche Teile sind:

- ungeschützte aktive Teile,
- Anlagenteile, bei denen geerdete Metallumhüllungen oder leitfähige Umhüllungen von Kabeln entfernt worden sind,
- Kabel und Zubehör ohne geerdete Metallumhüllungen oder geerdete leitfähige Umhüllungen sowie Leitungen ohne leitfähige Umhüllungen,
- Kabelendverschlüsse und leitfähige Kabelumhüllungen, wenn diese eine gefährliche Spannung annehmen können,
- Isolierkörper von Isolatoren und andere solche Teile, z. B. elektrische Betriebsmittel mit Gießharzisolierung, wenn eine gefährliche Berührungsspannung auftreten kann,
- Gestelle oder Gehäuse von Kondensatoren, Stromrichtern und Stromrichter-Transformatoren, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb Spannung annehmen können,
- Wicklungen elektrischer Maschinen, Transformatoren und Drosselspulen.

Der Schutz kann abhängig davon, ob die Anlage in einer abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätte angeordnet ist oder nicht, auf verschiedene Weise erreicht werden.

7.1.2 Maßnahmen zum Schutz gegen direktes Berühren

7.1.2.1 Folgende Arten des Schutzes sind zulässig:

- Schutz durch Umhüllung,
- Schutz durch Abdeckung,
- Schutz durch Hindernis,
- Schutz durch Abstand.

7.1.2.2 Ausführung von Schutzvorrichtungen

Abdeckungen können feste Wände, Türen oder Gitter (Drahtgeflecht) mit einer Mindesthöhe von 1 800 mm sein. Sie stellen sicher, daß kein Körperteil eines Menschen in die Gefahrenzone eines aktiven Teiles gelangt.

Hindernisse können z. B. Blenden, Leisten, Ketten und Seile, sowie Wände, Türen und Gitter mit einer Höhe von weniger als 1 800 mm sein. Sie gelten daher nicht als Abdeckungen.

Schutz durch Abstand wird dadurch erreicht, daß aktive Teile außerhalb des Bereiches angeordnet werden, den eine Person von einer normalerweise begehbaren Fläche in jeder Richtung mit der Hand erreichen kann (siehe Abschnitt 6).

Schutzvorrichtungen gegen direktes Berühren wie Wände, Abdeckungen, Hindernisse usw., müssen mechanisch stabil und zuverlässig befestigt sein.

Türen von Schaltanlagenräumen oder Schaltfeldern, die einen Teil der Umhüllung bilden, dürfen nur unter Verwendung eines Werkzeugs oder Schlüssels geöffnet werden können. In Bereichen außerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten sind diese Türen mit Sicherheitsschlössern zu versehen.

Bewegliche leitfähige Schutzvorrichtungen sind so zu sichern, daß bei ordnungsgemäßer Benutzung der Schutzvorrichtungsabstand eingehalten wird; andernfalls müssen die Schutzvorrichtungen aus Isolierstoff oder trockenem Holz bestehen. Es ist zulässig, daß eine Leiste ohne Zuhilfenahme eines Werkzeuges entfernt werden kann. Schutzleisten müssen biegesteif sein.

Schutzvorrichtungen in öffentlich zugänglichen Bereichen oder Räumen dürfen von den zugänglichen Flächen aus nicht leicht mit üblichen Werkzeugen entfernt werden können.

7.1.3 Schutzanforderungen

7.1.3.1 Schutz außerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten

Außerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten ist nur Schutz durch Umhüllung oder Schutz durch Abstand zulässig.

Wenn Schutz durch Umhüllung angewendet wird, muß die Schutzart mindestens den Anforderungen von IP23D entsprechend EN 61330 genügen.

ANMERKUNG: Lüftungsöffnungen dürfen angebracht werden, wenn sichergestellt ist, daß ein gerader Draht nicht so in die Anlage eindringen kann, daß durch Annäherung an Teile, die gegen direktes Berühren geschützt sein müssen, eine Gefährdung entsteht.

Wenn Schutz durch Abstand angewendet wird, müssen die vertikalen Abstände zwischen begehbaren Flächen und den Teilen, die gegen direktes Berühren zu schützen sind, 6.2.6 oder Bild 6.2 entsprechen.

7.1.3.2 Schutz innerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten

Innerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten ist Schutz durch Umhüllung, Abdeckung, Hindernis oder Abstand zulässig.

Wenn Schutz durch Umhüllung angewendet wird, muß die Schutzart mindestens den Anforderungen von IP2X genügen. Es können jedoch spezielle Schutzmaßnahmen gegen die Auswirkungen von Störlichtbögen erforderlich sein.

Für den Schutz durch Abdeckung gilt 6.2.1.

Für den Schutz durch Hindernis gilt 6.2.2 und 6.3.

Für den Schutz durch Abstand gilt 6.2.4 und 6.2.5.

ANMERKUNG: Detailliertere Anforderungen an äußere Umzäunungen, Transportwege, Kreuzungen und Annäherungen an Bauwerke usw. sind in Abschnitt 6 enthalten.

7.1.3.3 Schutz bei bestimmungsgemäßem Betrieb

ANMERKUNG: Die einschlägigen Normen für den Betrieb von Starkstromanlagen müssen beachtet werden.

Die Schutzmaßnahmen in einer Anlage müssen die Notwendigkeit des Zugangs zu Bedienungs-, Kontroll- und Instandhaltungszwecken berücksichtigen, wie z. B.:

- Betätigen eines Leistungsschalters oder Trennschalters,
- Auswechseln einer Sicherung oder einer Lampe,
- Ändern des Einstellwertes an einem Gerät,
- Rückstellen eines Relais oder einer Anzeige,
- Anbringen von Erdungsvorrichtungen,
- Einbringen von isolierenden Schutzplatten,
- Ablesen der Temperatur oder des Ölstandes an einem Transformator.

Seite 54
HD 637 S1:1999

In Anlagen mit $U_m \leq 52$ kV, bei denen zum Bedienen oder Instandhalten Türen oder Blenden geöffnet werden müssen, kann es erforderlich sein, nichtleitende Leisten zur Warnung anzubringen.

7.2 Schutz bei indirektem Berühren

Maßnahmen zum Schutz von Menschen bei indirektem Berühren sind in Abschnitt 9 angegeben.

7.3 Schutz bei Arbeiten an elektrischen Anlagen

Elektrische Anlagen müssen so gebaut sein, daß die zum Schutz von Personen erforderlichen Maßnahmen bei Arbeiten an und in Anlagen durchgeführt werden können. Die einschlägigen Normen für Betrieb und Instandhaltung von Starkstromanlagen sind ebenfalls zu berücksichtigen. Die Arbeitsmethoden sind zwischen Hersteller und Betreiber zu vereinbaren.

7.3.1 Einrichtungen zum Freischalten von Anlagen oder Geräten

Einrichtungen sind vorzusehen, mit denen je nach Betriebserfordernissen die gesamte Anlage oder einzelne Anlagenteile freigeschaltet werden können.

Dies kann durch Trennschalter oder Lasttrennschalter (siehe 5.2) oder durch das Abtrennen von Anlagenteilen, z. B. durch Entfernen von Laschen oder Seilschlaufen erfolgen (siehe 4.4.1).

Anlagen oder Anlagenteile, die von mehreren Seiten Spannung erhalten können, müssen allseitig freigeschaltet werden können.

Parallel geschaltete Sternpunkte mehrerer Betriebsmittel müssen einzeln freigeschaltet werden können. Dies gilt auch für zugehörige Erdschlußspulen und Widerstände. Der Überspannungsschutz muß erhalten bleiben.

Für Betriebsmittel, die auch nach der vollständigen Trennung von der Anlage noch Spannung führen können, z. B. Kondensatoren, sind Entladevorrichtungen vorzusehen.

Trennstrecken dürfen durch zusätzliche Isolatoren nur dann überbrückt werden, wenn Kriechströme von den Anschlüssen der einen Seite zu den Anschlüssen der anderen Seite verhindert sind.

7.3.2 Einrichtungen zum Sichern gegen Wiedereinschalten

Die Antriebskraft (z. B. Federkraft, Druckluft, elektrische Energie) oder die Steuerung der Kraftantriebe der zum Freischalten dienenden Schalter muß durch geeignete Einrichtungen unwirksam gemacht werden können. Betreiber können verlangen, daß diese Einrichtungen abschließbar sein müssen.

Schraubkappen oder Blindeinsätze, die anstelle entfernbare Teile wie Sicherungen oder einschraubbare Leitungsschutzschalter beim Freischalten eingesetzt werden, dürfen nur mit einem geeigneten Werkzeug, wie z. B. einem Schlüssel, entfernt werden können.

Von Hand betätigte Schalter müssen den Einsatz mechanischer Verriegelungseinrichtungen zum Verhindern des Wiedereinschaltens ermöglichen.

7.3.3 Einrichtungen zum Feststellen der Spannungsfreiheit

Einrichtungen zum Feststellen der Spannungsfreiheit sind entsprechend den Betriebserfordernissen vorzusehen. Der Umfang solcher Einrichtungen ist zwischen Lieferant und Betreiber zu vereinbaren.

Diese Einrichtungen müssen das Überprüfen des spannungsfreien Zustandes an allen Teilen, die zuvor spannungsführend waren und an denen Arbeiten durchzuführen sind, ermöglichen, ohne die durchführende Person zu gefährden.

Diese Anforderungen können sowohl durch fest eingebaute Betriebsmittel als auch durch ortsveränderliche Einrichtungen (siehe IEC 61243) erfüllt werden.

7.3.4 Einrichtungen zum Erden und Kurzschließen

Jedes Teil einer Anlage, das von den übrigen Teilen freigeschaltet werden kann, muß geerdet und kurzgeschlossen werden können.

Betriebsmittel (z. B. Transformatoren oder Kondensatoren) müssen am Aufstellungsort geerdet und kurzgeschlossen werden können, außer sie befinden sich in unmittelbarer Nähe der zugehörigen Schaltfelder. Diese Anforderung gilt nicht für Anlagenteile, bei denen dies nicht möglich oder nicht sinnvoll ist (z. B. Transformatoren oder elektrische Maschinen mit angeflanschten Kabelendverschlüssen oder mit Kabelanschlußkästen). In diesen Fällen muß das Erden und Kurzschließen in den zugehörigen Schaltzellen oder Schaltfeldern auf der Ober- und Unterspannungsseite erfolgen können. Es muß möglich sein, alle Seiten eines Transformators zu erden und kurzzuschließen.

Als Erdungs- und Kurzschließeinrichtungen sind einzubauen oder beizustellen, wobei der Umfang zwischen Lieferant und Betreiber zu vereinbaren ist:

- Erdungsschalter (vorzugsweise einschaltfest),
- Erdungswagen,
- freigeführte Erdungs- und Kurzschließeinrichtungen (siehe EN 61230),
- zwangsgeführte Staberdungs- und Kurzschließeinrichtungen (siehe EN 61219).

Zum Anschließen von Erdungs- und Kurzschließeinrichtungen müssen an jedem Anlagenteil ausreichend bemessene und gut zugängliche Anschlußstellen an der Erdungsanlage und an den aktiven Teilen vorhanden sein. Schaltzellen oder Schaltfelder sind so zu errichten, daß das Anschließen der Erdungs- und Kurzschließeinrichtungen von Hand an die erdseitige Anschlußstelle entsprechend den Regeln zur Ausführung von Arbeiten in der Nähe spannungsführender Teile durchgeführt werden kann.

Die Schaltstellung ferngesteuerter Erdungsschalter muß zuverlässig zur Fernsteuerstelle übertragen werden.

7.3.5 Einrichtungen zum Abdecken benachbarter, unter Spannung stehender Teile

Alle Begrenzungselemente, wie Wände, Fußböden usw. sind gemäß 6.2 oder 6.3 zu errichten.

Wenn Wände oder Schutzvorrichtungen nicht vorhanden sind, müssen zu benachbarten Feldern oder Abschnitten ausreichende Abstände bestehen.

Wenn Schutzabstände nicht einzuhalten sind, muß es möglich sein, aktive Teile in der Nähe des Arbeitsbereichs durch einsetzbare, isolierende Schutzplatten oder Trennwände so abzudecken, daß eine zufällige gefahrbringende Annäherung an diese Teile durch Körperteile, Werkzeuge, Geräte und Materialien verhindert ist.

7.3.5.1 Einsetzbare, isolierende Schutzplatten müssen folgenden Anforderungen entsprechen:

- a) Ränder dürfen nicht innerhalb der Gefahrenzone liegen.
- b) Außerhalb der Gefahrenzone sind Spalte zulässig:
 - bis zu 10 mm Breite ohne Einschränkung,
 - bis zu 40 mm Breite, wenn der Abstand vom Plattenrand bis zur Gefahrenzone mindestens 100 mm beträgt,
 - bis zu 100 mm Breite im Bereich der Trennschalter-Unterkonstruktion.

Einsetzbare, isolierende Schutzplatten zum Abdecken unter Spannung stehender Teile müssen Bestandteil der Betriebsmittel sein oder müssen entsprechend den betrieblichen Anforderungen zwischen Lieferant und Betreiber gesondert vereinbart werden.

Einsetzbare, isolierende Schutzplatten müssen im eingebrachten Zustand so sicher gehalten sein, daß ihre Lage nicht durch unabsichtliche Handlungen gefahrbringend verändert wird.

Das Einbringen und Herausnehmen der einsetzbaren, isolierenden Schutzplatten muß möglich sein, ohne daß Personen die Gefahrenzone erreichen.

ANMERKUNG: Dies kann erreicht werden durch die Bauform der Schutzplatte (z. B. abgewinkelte Platte, zugehörige Isolierstangen, geeignete Betätigungsstangen) oder der Anlage (z. B. Führungsschienen).

7.3.5.2 Für Anlagen ohne feste Trennwände sind geeignete, einsetzbare Trennwände beizustellen, um angrenzende, unter Spannung stehende Schaltzellen oder Schaltfelder entsprechend den betrieblichen Anforderungen abzutrennen. Der Umfang muß zwischen Lieferant und Betreiber vereinbart werden.

Seite 56
HD 637 S1:1999

Trennwände, die beim Einbringen oder Herausnehmen in die Gefahrenzone eindringen oder im eingebrachten Zustand in der Gefahrenzone liegen, müssen den Anforderungen für einsetzbare, isolierende Schutzplatten entsprechen.

7.3.6 Aufbewahrung von Einrichtungen zur Unfallverhütung

Wenn Einrichtungen zur Unfallverhütung in der Anlage aufzubewahren sind, ist hierfür ein Platz vorzusehen, an dem diese vor Feuchtigkeit, Schmutz und Beschädigung geschützt und gut zugänglich sind.

7.4 Schutz vor Gefährdung durch Störlichtbögen

Schaltanlagen sind so zu errichten, daß das Personal beim Bedienen so weit wie möglich gegen Störlichtbögen geschützt ist.

Die nachstehenden Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Störlichtbögen dienen als Leitfaden für Projektierung und Errichtung von elektrischen Anlagen. Der Umfang ist zwischen Lieferant und Betreiber zu vereinbaren.

- Schutz gegen Bedienungsfehler. Der Schutz kann z. B. sichergestellt werden durch:
 - Lasttrennschalter anstelle von Trennschaltern,
 - einschaltfeste Erdungsschalter,
 - Verriegelungseinrichtungen,
 - unverwechselbare Schlüsselsperren.
- Bedienungsgänge so kurz, hoch und breit wie möglich (siehe 6.5).
- Geschlossene Kapselungen oder Abdeckungen anstelle von Abdeckungen mit Öffnungen oder Maschendraht,
- Anlagen, die gegen innere Lichtbogenfehler geprüft sind, anstelle von Anlagen in offener Bauweise,
- Ablenkung der Lichtbogengase in eine vom Bedienungspersonal abgewandte Richtung und, falls erforderlich, Ausleitung aus dem Gebäude,
- Einsatz von Strombegrenzungseinrichtungen,
- Sehr kurze Auslösezeit durch schnellwirkende Relais oder auf Druck, Licht oder Wärme ansprechende Einrichtungen,
- Bedienung der Anlage aus sicherer Entfernung.

7.5 Schutz gegen direkte Blitzeinschläge

Verschiedene Auslegungsverfahren sind in Beratung. Eines davon ist das Blitzkugelverfahren. Das anzuwendende Verfahren ist zwischen Lieferant und Betreiber zu vereinbaren.

Der Betreiber sollte den zu erreichenden Schutzpegel und die anzuwendenden Schutzmittel festlegen. Als Beispiel siehe Anhang H (informativ).

Blitzschutzstangen und Blitzschutzseile sind zu erden.

Es ist nicht erforderlich, eine Stahlkonstruktion mit einer gesonderten Ableitung zu versehen, da die Stahlkonstruktion selbst ein ausreichender Blitzstrompfad ist.

Blitzschutzseile müssen mit der Stahlkonstruktion verbunden sein, um sicherzustellen, daß der Blitzstrom zur Erde fließt. Für Bauwerke und ähnliche Konstruktionen siehe ENV 61024-1.

ANMERKUNG: Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen können durch Blitzeinschläge verursachte Schäden nicht vollständig verhindert werden.

7.6 Brandschutz

7.6.1 Allgemeines

Die für die Anlage einschlägigen nationalen und örtlichen Brandschutzvorschriften sind einzuhalten.

Es ist sicherzustellen, daß im Fall eines Brandes die Flucht- und Rettungswege sowie die Notausgänge benutzbar sind.

Der Betreiber oder Eigentümer der Anlage hat über festeingebaute Löscheinrichtungen zur Begrenzung eines Brandschadens zu entscheiden.

In Abhängigkeit von Größe und Bedeutung einer Anlage sind automatische Einrichtungen zum Schutz gegen Überlastung sowie innere und äußere Fehler vorzusehen.

Betriebsmittel, in denen Funken oder hohe Temperaturen auftreten können, z. B. elektrische Maschinen, Transformatoren, Widerstände, Schalter und Schmelzeinsätze, dürfen nicht in feuergefährdeten Betriebsstätten eingesetzt werden, außer wenn das Betriebsmittel so gebaut ist, daß leicht entflammbare Materialien nicht entzündet werden können.

Wenn dies nicht sichergestellt werden kann, sind spezielle Vorkehrungen zu treffen, z. B. feuerbeständige Abtrennungen.

7.6.2 Transformatoren, Drosselpulen

Zur Kennzeichnung der Kühlmittelarten siehe 5.2.2.1.

EN 61100 klassifiziert die Isolierflüssigkeiten nach Brennpunkt und spezifischem Heizwert. HD 464 S1 A2:1991 klassifiziert Trockentransformatoren hinsichtlich ihres Brandverhaltens, wenn sie einen Feuer ausgesetzt werden.

Bei vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen sind diese Normen, die Konstruktion und die Umgebung des Transformators in Betracht zu ziehen.

7.6.2.1 Freiluftanlagen

Eine Anlage muß so ausgelegt sein, daß der Brand eines Transformators mit einer Nennleistung über 1 MVA keine Brandgefährdung für andere Transformatoren oder Objekte darstellt. Zu diesem Zweck ist ein angemessener Abstand G einzuhalten. Richtwerte sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Richtwerte für Transformatorabstände

Bemessungsleistung in MVA	Abstand G in m
über 1 bis 10	3
über 10 bis 40	5
über 40 bis 200	10
über 200	15

Wenn automatische Feuerlöscheinrichtungen installiert sind, darf der Abstand G vermindert werden.

Je nach Art und Verwendung des Bauwerkes können für Transformatoren unter 1 MVA in der Nähe von Wänden aus entflammaren Baustoffen besondere Brandschutzmaßnahmen erforderlich sein.

Die folgenden Festlegungen gelten nicht für provisorische Anlagen.

7.6.2.1.1 Kühlmittelart O1

Werden ölgefüllte Transformatoren mit Kühlmittelart O1 im Freien aufgestellt, sind zwischen Transformatoren und anderen Objekten die Abstände G (Tabelle 4) durch entsprechende Konstruktion und Anordnung der Einrichtungen sicherzustellen.

Wenn es nicht möglich ist, einen ausreichenden Abstand - wie in Tabelle 4 angegeben - einzuhalten, sind feuerbeständige Trennwände mit folgenden Abmessungen vorzusehen:

- a) Zwischen Transformatoren (Einzelheiten siehe Bild 7.1) Trennwände EI 60 entsprechend dem Grundlagendokument: "Brandschutz", Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, Nr. C 62/23 vom 28.02.1994:
 - Höhe: Oberkante Ausdehnungsgefäß (sofern vorhanden), andernfalls Oberkante Transformator-kessel;
 - Länge: Breite oder Länge der Auffangwanne, je nach Aufstellrichtung des Transformators.
- b) Zwischen Transformatoren und Gebäuden (Einzelheiten siehe Bild 7.2) Trennwände EI 60, Gebäudewände REI 90 entsprechend dem Grundlagendokument: "Brandschutz", Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, Nr. C 62/23 vom 28.02.1994:

Gemeinsame Auffangwannen oder Sammelbehälter für mehrere Transformatoren sind so auszuführen, daß der Brand eines Transformators nicht auf einen anderen übergreifen kann.

Seite 58
HD 637 S1:1999

Dies gilt auch für einzelne Auffangwannen, die mit den Sammelbehältern anderer Transformatoren verbunden sind; Kiesschichten oder mit Flüssigkeit gefüllte Rohre können z. B. für diesen Zweck verwendet werden. Anordnungen, die zum Verlöschen der Flammen in der ausgetretenen Flüssigkeit beitragen, sind zu bevorzugen, wie z. B. eine Schicht aus Steinen (etwa 300 mm tief und mit einer Korngröße von etwa 40/60 mm), welche das hindurchfließende brennende Öl löscht.

7.6.2.1.2 Kühlmittelart K2/K3 und Trockentransformatoren F0

Werden schwer brennbare Flüssigkeits-Transformatoren K2/K3 und Trockentransformatoren F0 im Freien aufgestellt, sind Brandschutzmaßnahmen mit 50 % der in Tabelle 4 angegebenen Richtwerte für Abstände vorzusehen.

Wenn es nicht möglich ist, einen ausreichenden Abstand - wie oben angegeben - einzuhalten, sind feuerbeständige Trennwände mit folgenden Abmessungen vorzusehen:

- a) Zwischen Transformatoren (Einzelheiten siehe Bild 7.1) Trennwände EI 60 entsprechend dem Grundlagendokument: "Brandschutz", Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, Nr. C 62/23 vom 28.02.1994:
 - Höhe: Oberkante Ausdehnungsgefäß (sofern vorhanden), andernfalls Oberkante Transformator-kessel;
 - Länge: Breite oder Länge der Auffangwanne, je nach Aufstellrichtung des Transformators.
- b) Zwischen Transformatoren und Gebäuden (Einzelheiten siehe Bild 7.2) Trennwände EI 60, Gebäudewände REI 90 entsprechend dem Grundlagendokument: "Brandschutz", Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, Nr. C 62/23 vom 28.02.1994.

Gemeinsame Auffangwannen oder Sammelbehälter für mehrere Transformatoren sind so auszuführen, daß der Brand eines Transformators nicht auf einen anderen übergreifen kann.

Dies gilt auch für einzelne Auffangwannen, die mit den Sammelbehältern anderer Transformatoren verbunden sind; Kiesschichten oder mit Flüssigkeit gefüllte Rohre können z. B. für diesen Zweck verwendet werden. Anordnungen, die zum Verlöschen der Flammen in der ausgetretenen Flüssigkeit beitragen, sind zu bevorzugen, wie z. B. eine Schicht aus Steinen (etwa 300 mm tief und mit einer Korngröße von etwa 40/60 mm), welche das hindurchfließende brennende Öl löscht.

7.6.2.1.3 Trockentransformatoren F1/F2

Werden Trockentransformatoren F1 oder F2 im Freien aufgestellt, sind keine zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen (Wände, Abstände nach Tabelle 4) erforderlich.

ANMERKUNG: Bei CLC/TC 14 sind Kriterien für Trockentransformatoren F2 in Beratung.

7.6.2.2 Innenraumanlagen in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten

Türen müssen eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 60 Minuten haben. Für ins Freie öffnende Türen ist es ausreichend, wenn diese feuerhemmend sind.

7.6.2.2.1 Kühlmittelart O1

Räume mit Transformatoren der Kühlmittelart O1 müssen eine feuerbeständige Trennung (mindestens 60 Minuten, EI 60/REI 60) gegen andere Bauwerksteile haben. Für Transformatoren größer 1 MVA ist eine feuerbeständige Trennung (EI 90/REI 90) vorzusehen.

7.6.2.2.2 Kühlmittelart K2/K3 und Trockentransformatoren F0

Für schwer brennbare Flüssigkeits-Transformatoren K2/K3 und Trockentransformatoren F0 ist eine feuerbeständige Abtrennung (EI 60/REI 60) von anderen Gebäudeteilen vorzusehen.

7.6.2.2.3 Trockentransformatoren F1/F2

Werden Trockentransformatoren F1/F2 in Innenraumanlagen aufgestellt, sind keine zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen (Wände, Abstände nach Tabelle 4) vorzusehen.

ANMERKUNG: Bei CLC/TC 14 sind Kriterien für Trockentransformatoren F2 in Beratung.

7.6.2.3 Innenraumanlagen in Industriegebäuden

Für alle Transformatoren außerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten sind schnell wirkende Schutzeinrichtungen vorzusehen, die im Fehlerfall eine automatische Abschaltung bewirken.

Transformatoren der Kühlmittelart O erfordern die gleichen Vorkehrungen wie in 7.6.2.2.1

Alle anderen Flüssigkeitstransformatoren erfordern keine besonderen Maßnahmen hinsichtlich des Brandschutzes, ausgenommen Vorkehrungen zum Auffangen von Flüssigkeit bei Undichtigkeiten und Bereitstellen von tragbaren Feuerlöschern, die für elektrische Anlagen geeignet sind.

Trockentransformatoren erfordern jedoch die Auswahl der richtigen Brandschutzklasse (siehe HD 464) entsprechend der Art des Industriezweiges und der in der Umgebung vorhandenen Materialien. Feuerlösch-einrichtungen werden empfohlen.

ANMERKUNG: Für alle Transformatoren in Industriegebäuden können je nach Art und Verwendung des Gebäudes zusätzliche Brandschutzmaßnahmen erforderlich sein.

7.6.2.4 Innenraumanlagen in Gebäuden, in denen sich ständig Personen aufhalten

Für Hochspannungsanlagen in öffentlichen Gebäuden oder in Wohngebäuden sind besondere Bedingungen unter Einhaltung vorgegebener Normen oder nationaler Vorschriften zu beachten.

7.6.2.5 Feuer in der Umgebung von Transformatoren

Wenn ein erhebliches Risiko dafür besteht, daß ein Transformator durch Feuer beschädigt werden kann, sind Überlegungen zu folgenden Punkten anzustellen:

- feuerbeständige Trennwände,
- gasdichte Kessel, die den entstehenden Innendruck aushalten,
- kontrollierte Freisetzung der heißen Flüssigkeit,
- Feuerlöschsysteme.

7.6.3 Kabel und Leitungen

Die Gefahr einer Brandausbreitung und die sich daraus ergebenden Folgen sind durch die Auswahl geeigneter Kabel und die Art ihrer Verlegung so weit wie möglich zu reduzieren.

Kabel können nach folgenden Klassen eingeteilt werden:

- Kabel ohne besondere Eigenschaften im Brandfall,
- Kabel (einzeln) mit verminderter Brandweiterleitung (EN 50265-1, EN 50265-2-1 oder EN 50265-2-2),
- Kabel (gebündelt) mit verminderter Brandweiterleitung (HD 405.3),
- Kabel mit geringer Rauchdichte (HD 606),
- Kabel mit geringer Korrosivität der Brandgase (EN 50267-2-3),
- Kabel mit Isolationserhalt bei Flammeneinwirkung (IEC 60331).

Kabel und Leitungen in Kabelkanälen und in Gebäuden sind so zu verlegen, daß die Forderungen hinsichtlich der Brandsicherheit des Gebäudes nicht beeinträchtigt werden. So müssen z. B. Durchbrüche mit Kabeln mit geeignetem Material verschlossen werden, damit eine Brandausbreitung verhindert wird.

Es wird empfohlen, Starkstromkreise und Steuerstromkreise von Hochspannungsgeräten zu trennen oder auf getrennten Trassen zu verlegen, wenn es erforderlich ist, die Unversehrtheit der Steuerstromkreise nach einer Beschädigung der Starkstromkreise so lange wie möglich zu erhalten.

Feuermelde- und Feuerlöschsysteme in begehbaren Kabelkanälen sowie im Untergeschoß von Steuerwarten sind erforderlichenfalls einzubauen.

7.6.4 Sonstige Betriebsmittel mit brennbarer Flüssigkeit

Für alle Betriebsmittel, z. B. Schaltgeräte, ausgenommen Meßwandler, die mehr als 100 l brennbare Flüssigkeit in jedem einzelnen Teilraum enthalten, können je nach Art und Verwendung der Anlage sowie ihrer Lage besondere Brandschutzmaßnahmen wie für Transformatoren erforderlich sein.

Seite 60
HD 637 S1:1999

7.7 Schutz gegen Leckverlust an Isolierflüssigkeit und SF₆

7.7.1 Verlust von Isolierflüssigkeit und Grundwasserschutz

7.7.1.1 Allgemeines

Flüssigkeitsgefüllte Transformatoren sind mit einer eigenen Auffangwanne oder mit einer Kombination aus eigener Auffangwanne und einem gemeinsamen Sammelbehälter auszurüsten.

In Innenraumanlagen dürfen undurchlässige Fußböden mit ausreichend hohen Schwellen als Auffangwannen für die Flüssigkeit verwendet werden, wenn nicht mehr als drei Transformatoren aufgestellt sind und jeder Transformator weniger als 1 000 l enthält (siehe Bild 7.6).

In einer Freiluftanlage kann auf eine Auffangwanne verzichtet werden, wenn die Ölmenge eines Transformators weniger als 1 000 l beträgt. Dies gilt nicht für Fassungsgebiete und engere Schutzzonen von Wasserschutzgebieten.

ANMERKUNG 1: In allen Fällen müssen örtliche Regelungen beachtet und, falls notwendig, Genehmigungen eingeholt werden.

ANMERKUNG 2: Für bestimmte Isolierflüssigkeiten ist es möglich, daß geringere Anforderungen zulässig sind.

7.7.1.2 Anordnung von Auffangwannen und Sammelbehältern

Auffangwannen und Sammelbehälter dürfen wie folgt ausgeführt und angeordnet sein:

- Auffangwanne mit integriertem Sammelbehälter für die gesamte Flüssigkeitsmenge (Bild 7.3);
- Auffangwanne mit getrenntem Sammelbehälter. Wo mehrere Auffangwannen vorhanden sind, dürfen Ablaufrohre zu einem gemeinsamen Sammelbehälter führen; dieser sollte dann geeignet sein, die Flüssigkeitsmenge des größten Transformators aufzunehmen (Bild 7.4);
- Auffangwanne mit integriertem gemeinsamem Sammelbehälter für mehrere Transformatoren. Der Sammelbehälter sollte dann geeignet sein, die Flüssigkeitsmenge des größten Transformators aufzunehmen (Bild 7.5).

Die Wandungen und die zugehörigen Rohrleitungen der Auffangwannen und Sammelbehälter müssen öl- und wasserdicht sein.

Es muß sichergestellt sein, daß das Aufnahmevermögen der Auffangwannen und Sammelbehälter für Isolier- und Kühlflüssigkeiten nicht unzulässig durch einfließendes Wasser vermindert wird. Es muß möglich sein, das Wasser ablaufen zu lassen oder abzusaugen.

Es wird empfohlen, eine einfache Einrichtung zur Anzeige des Flüssigkeitsstands vorzusehen.

Die Frostgefahr sollte beachtet werden.

Folgende zusätzliche Maßnahmen sind zum Schutz von Wasserläufen und Grundwasser zu treffen:

- Der Austritt von Isolier- und Kühlflüssigkeit aus Auffangwanne, Sammelbehälter und Fußboden-Anordnung muß verhindert werden (Ausnahme siehe letzten Absatz 7.7.1.1).
- Für Freiluftanlagen wird empfohlen, daß die Länge und die Breite der Auffangwanne gleich der Länge und Breite des Transformators plus je 20 % der Transformatorhöhe auf jeder Seite beträgt (CIGRÉ-Bericht 23-07 der Sitzung 1972).
- Ablaufendes Wasser sollte durch Einrichtungen fließen, in denen die Flüssigkeiten aufgrund ihrer spezifischen Gewichte getrennt werden.

ANMERKUNG: Ein Beispiel für automatische Entwässerung und Trennung von Wasser und Öl ist im CIGRÉ-Bericht 23-07 (1972) gegeben.

Staatliche und regionale Gesetze und Regelungen sind zu beachten.

7.7.2 SF₆-Leckverlust (reines SF₆)

In oberirdischen Räumen mit SF₆-Anlagen ist natürliche Querlüftung ausreichend. In diesem Fall muß etwa die Hälfte des erforderlichen Querschnittes für die Lüftungsöffnungen nahe am Boden sein. Bei Störungen kann mechanische Lüftung erforderlich sein.

ANMERKUNG: Nicht begehbare Anlagenräume bedürfen keiner ständigen Lüftung.

In Räumen mit SF₆-Anlagen, die allseitig unter der Erde liegen, ist mechanische Lüftung vorzusehen, wenn sich aufgrund des Gasvolumens und der Raumgröße eine Gasmenge ansammeln kann, die eine Gesundheitsgefahr für das Personal darstellt (siehe nachstehende Anmerkung).

Räume, Kanäle, Gruben, Schächte usw., die sich unter Räumen mit SF₆-Anlagen befinden und mit diesen verbunden sind, müssen gelüftet werden können.

Mechanische Lüftung ist entbehrlich, sofern das Gasvolumen des größten Gasraumes bei atmosphärischem Druck 10 % des Raumvolumens nicht übersteigt. Dabei muß das gesamte Volumen (berechnet bei Normalbedingungen) der an die SF₆-Anlagen angeschlossenen SF₆-Gasflaschen berücksichtigt werden.

Kein mit der Umgebungsluft in Berührung stehendes Betriebsmittel darf eine Temperatur von 200 °C überschreiten.

ANMERKUNG: Für die maximale SF₆-Konzentration müssen nationale Gesetze beachtet werden.

7.7.3 Betriebsstörung mit SF₆-Verlust und dessen Zersetzungsprodukte

Empfehlungen für Gebrauch und Handhabung von SF₆-Gas sind in IEC/TR2 61634 angegeben.

ANMERKUNG: CIGRE Working Group 23.03 hat eine Anleitung herausgegeben: Handling of SF₆ and its decomposition products in gas insulated switchgear.

7.8 Kennzeichnung und Beschriftung

7.8.1 Allgemeines

Klare Kennzeichnung und eindeutige Beschriftung sind erforderlich, um bei Betrieb und Instandhaltung Fehlbedienung, menschliche Fehler, Unfälle usw. zu vermeiden (siehe auch 6.1.7).

Zeichen, Schilder und Hinweise müssen aus dauerhaftem und korrosionsfreiem Material bestehen und mit dauerhaften Zeichen versehen sein.

Die Schaltstellung von Schaltgeräten muß durch Meldeeinrichtungen deutlich angezeigt sein, ausgenommen wenn die Hauptkontakte vom Bedienenden klar erkennbar sind.

Anschlüsse von Kabeln, Leitungen sowie Betriebsmitteln müssen gekennzeichnet sein. Erforderliche Einzelheiten zur Identifizierung nach einer Verdrahtungsliste oder einem Schaltplan müssen vorhanden sein.

7.8.2 Hinweis- und Warnschilder

In abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten sowie in Industriegebäuden muß jeder elektrische Betriebsraum an der Außenseite und an jeder Zugangstür mit den erforderlichen Angaben versehen sein, die den Raum kennzeichnen und auf mögliche Gefahren aufmerksam machen.

Farben und Kontrastfarben müssen der Richtlinie 92/58/EWG des Rates vom 24. Juni 1992 entsprechen.

7.8.3 Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung

Alle Zugangstüren zu abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten und alle Seiten der äußeren Umzäunung müssen mit einem dreieckigen Warnzeichen versehen sein.

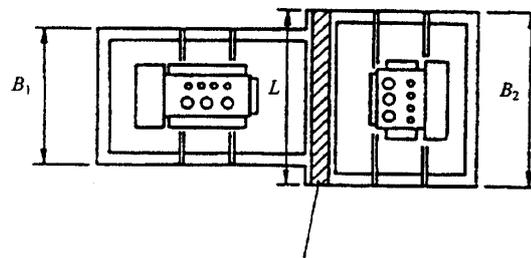
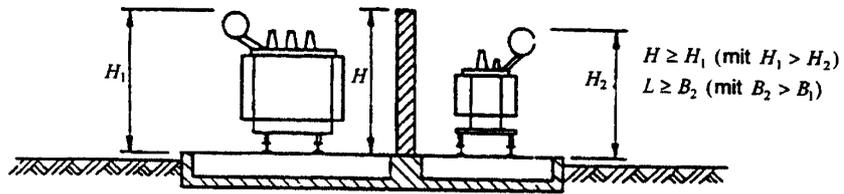
Das dreieckige Warnzeichen muß der Richtlinie 92/58/EWG des Rates vom 24. Juni 1992 entsprechen.

7.8.4 Anlagen mit eingebauten Kondensatoren

Kondensatoren sind mit einem Hinweisschild mit Angabe der Entladungsdauer zu versehen.

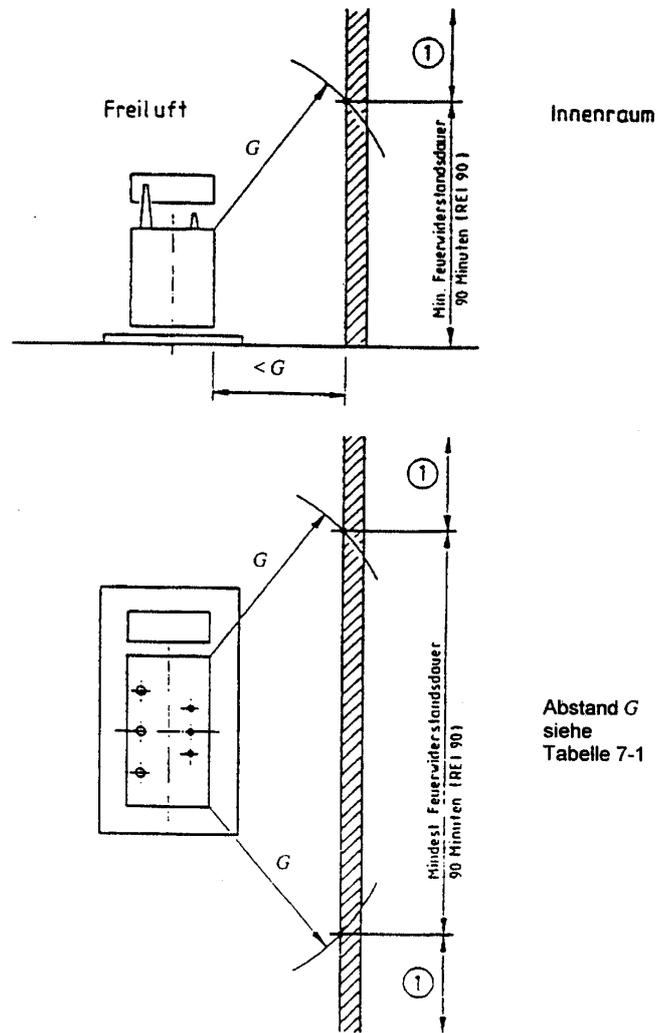
7.8.5 Rettungszeichen für Fluchtwege

Rettungszeichen sind erforderlich, um den Fluchtweg zu kennzeichnen. Die Zeichen müssen der Richtlinie 92/58/EWG des Rates vom 24. Juni 1992 entsprechen.



Mindest-Feuerwiderstandsdauer 60 Minuten für die Trennwand (EI 60)

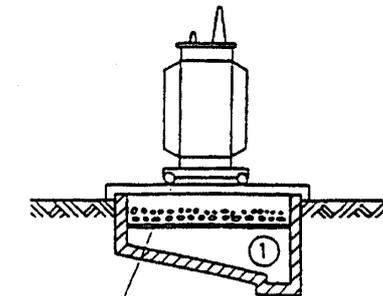
Bild 7.1: Trennwände zwischen Transformatoren



① Die Wand in diesem Bereich muß mindestens aus feuerhemmendem Material sein

Bild 7.2: Brandschutz zwischen Transformatoren und Gebäuden

Seite 64
HD 637 S1:1999

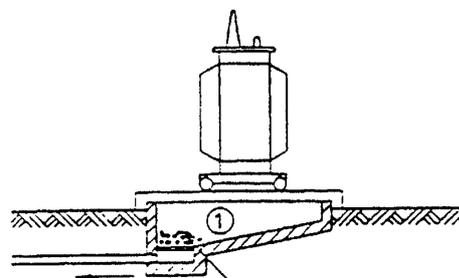


Schotterschicht für Feuerschutz siehe 7.6.2.1

- ① Fassungsvermögen in Freiluft :
Gesamte Flüssigkeit des Transformators plus Regenwasser.

Anmerkung : Zusätzlich das Wasser von der Feuerlöschanlage (sofern vorhanden)

Bild 7.3: Auffangwanne mit integriertem Sammelbehälter

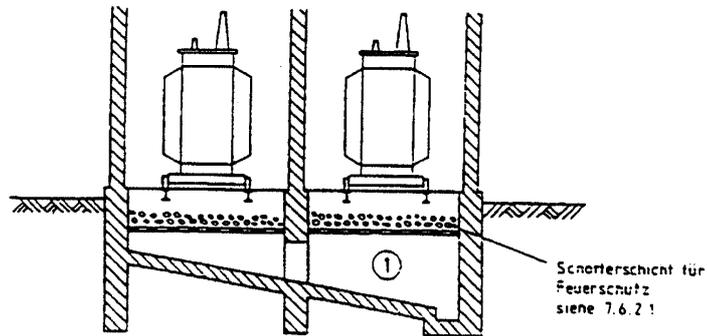


zum Sammelbehälter

Schotterschicht für Feuerschutz siehe 7.6.2.1

- ① Fassungsvermögen :
Mindestens 20 % der Flüssigkeit des Transformators

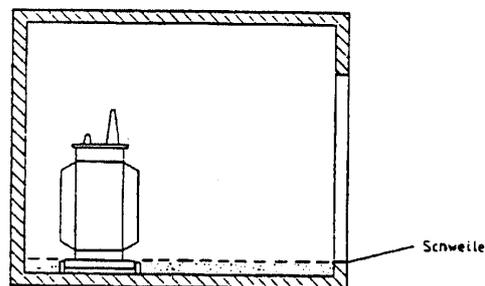
Bild 7.4: Auffangwanne mit getrenntem Sammelbehälter



Anmerkung: Zusätzlich das Wasser von der Feuerlöschanlage (sofern vorhanden)

- ① Fassungsvermögen in Freiluft :
Gesamte Flüssigkeit des größten Transformators plus Regenwasser.
- Fassungsvermögen im Innenraum :
Gesamte Flüssigkeit des größten Transformators.

Bild 7.5: Auffangwanne mit integriertem, gemeinsamen Sammelbehälter



Der punktierte Bereich deutet die Verteilung des gesamten Volumens der Isolierflüssigkeit des Transformators auf dem Fußboden an.

Bild 7.6: Beispiel für kleine Transformatoren ohne Kiesschicht und Sammelbehälter

Seite 66
HD 637 S1:1999

8 Hilfeeinrichtungen und Steuerungssysteme

8.1 Überwachungs- und Steuerungssysteme

Für die ordnungsgemäße und sichere Funktion der Betriebsmittel sind je nach Erfordernis Überwachungs-, Schutz-, Regelungs- und Steuerungseinrichtungen vorzusehen.

8.1.1 Selbsttätige Einrichtungen für selektives und schnelles Ansprechen müssen je nach Größe und Bedeutung der Anlage Schutz gegen die Auswirkungen von Überlastung sowie von inneren und äußeren Fehlern gewährleisten.

8.1.2 Betriebsmittel müssen der Störfestigkeitsklasse (siehe EN 60255-6) des Anlagenteiles entsprechen, in dem sie eingebaut sind.

8.1.3 Einrichtungen sind vorzusehen, mit denen der Steuerstromkreis jedes Schaltgeräts oder jedes Schaltfelds abgeschaltet werden kann, um Arbeiten an Betriebsmitteln sicher durchführen zu können.

8.1.4 Vorkehrungen sind zu treffen, um ohne Gefährdung von Personen oder Betriebsmitteln Reparaturarbeiten, Instandhaltungsarbeiten und Prüfungen an Schutz- und Steuereinrichtungen durchführen zu können, während die Anlage in Betrieb bleibt.

8.1.5 Es wird empfohlen, Steuerstromkreise und Signalstromkreise funktionsmäßig zu trennen. Auslösesignale sollten an der Schutztafel, sofern vorgesehen, angezeigt werden.

8.1.6 Alarm- und Fehlermeldeeinrichtungen müssen Gefahren- und Fehlerzustände eindeutig anzeigen. Mehrere Meldungen dürfen bei der Übertragung in eine Fernsteuerstelle zu einer Sammelmeldung zusammengefaßt werden.

8.1.7 Das Steuerungssystem ist so auszulegen, daß jede Nichtübereinstimmung zwischen Stellung des Schaltgeräts und Anzeige erkennbar ist.

8.1.8 Steuereinrichtungen und Steuerungssysteme einschließlich Kabeln und Leitungen sind so auszulegen und zu installieren, daß die Möglichkeit einer Beschädigung der angeschlossenen Geräte infolge elektromagnetischer Beeinflussung auf ein Mindestmaß begrenzt wird. Grundregeln hierzu sind in 8.5 angegeben.

8.1.9 Steuereinrichtungen und Steuerungssysteme einschließlich Kabeln und Leitungen sind so auszulegen und zu installieren, daß Bedienungsfehler, unbeabsichtigte Bedienung oder unrichtige Meldungen, die zu einer Gefährdung führen können, vermieden werden. Zu diesem Zweck sind Einflüsse zu berücksichtigen, die von Spannungsabsenkungen, Spannungsausfällen, Isolationsfehlern und elektromagnetischen Beeinflussungen herrühren.

8.1.10 Durch Hilfsenergie betätigte Trennschalter, Erdungsschalter, Leistungsschalter, Sicherungs-Lasttrennschalter und Lasttrennschalter müssen mit einer örtlichen Betätigung zum Ein- und Ausschalten ausgerüstet sein.

8.1.11 Steht eine Fernsteuerung zur Verfügung, ist die Umschaltung zwischen Vor-Ort- und Fernsteuerung auf der Stationsebene (d. h. am oder in nächster Nähe zum Schalter) und an jeder anderen Stelle, von der bedient werden kann, vorzusehen.

8.1.12 Es wird empfohlen, Betätigungselemente für die Steuerung von Schaltgeräten so auszuführen, daß eine zufällige Betätigung vermieden wird.

8.2 Gleichstrom- und Wechselstrom-Hilfsstromkreise

Folgende Normen sind zu beachten, sofern sie anwendbar sind: IEC 60478, IEC 60478-1, IEC 60478-2, EN 60896-1, EN 60622, EN 60623.

Niederspannungs-Wechselstrom- und -Gleichstrom-Systeme sind nach HD 384.3 auszulegen.

Spannungsabsenkung oder Spannungsausfall in den Hilfsstromkreisen muß in einer Steuerstelle gemeldet werden.

Verteilungen zum Trennen und Absichern der verschiedenen Hilfsstromkreise sind vorzusehen.

8.2.1 Wechselstrom-Versorgung

Wechselstrom-Versorgungen können in wichtige und weniger wichtige Verbrauchergruppen unterteilt werden. Wichtige Versorgungen sollten ohne Unterbrechung ständig zur Verfügung stehen, während weniger wichtigen kürzere oder längere Unterbrechungen zugestanden werden können.

Für wichtige Versorgungen, wie z. B. die Versorgung eines rechnergestützten Steuerungssystems, bei dem vorübergehender Spannungsausfall zu einer Funktionsstörung führen könnte, wird die Bereitstellung einer geeigneten USV Anlage (unterbrechungsfreie Stromversorgung) empfohlen.

8.2.2 Gleichstrom-Versorgung

8.2.2.1 Gleichstrom-Versorgungen müssen alle ständigen Gleichstromverbraucher sowie wichtige Schaltgerätefunktionen versorgen können. Dies kann durch mehreren unabhängigen Einheiten mit ausreichendem Leistungsvermögen erreicht werden.

8.2.2.2 Es wird empfohlen, Gleichstrom-Versorgungen, wie z. B. Batterien und Ladegeräte, mit Einrichtungen zum Überwachen von Spannung und Strom auszurüsten.

8.2.2.3 Batterien sind in trockenen Räumen oder Schränken aufzustellen; für gute Lüftung ist zu sorgen, um Explosionsgefahren auszuschließen.

Können Explosionsgefahren nicht ausgeschlossen werden, so sind explosionsgeschützte Betriebsmittel zu installieren (siehe EN 50014 bis einschließlich EN 50020 und EN 50028).

Auf die Explosionsgefahr infolge Verbrennung von Gasgemischen in Gegenwart einer offenen Flamme oder glühender Gegenstände ist mittels korrosionsfester, gut lesbarer Warnschilder geeigneter Größe aufmerksam zu machen.

8.2.2.4 Nicht ausreichend belüftete Räume mit offenen Bleibatterien sind als Orte mit korrosiver Atmosphäre anzusehen. Wände, Decken und Fußböden müssen gegen die entstehenden korrosiven Gase geschützt werden. Fußböden dürfen keine Wasserabflüsse enthalten.

8.3 Druckluftanlagen

8.3.1 Druckluftanlagen sind so auszuführen, daß sie den entsprechenden gesetzlichen Regelungen für Druckbehälter und Drucksysteme genügen.

Überwachungs- und Alarmeinrichtungen sind für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb der Druckluftanlage vorzusehen.

8.3.2 Die Druckluftanlage muß ausreichend trockene Luft entsprechend der Art und dem Betriebsdruck der zu versorgenden Betriebsmittel unter allen Umgebungsbedingungen bereitstellen. Erforderlichenfalls sind Trocknungseinrichtungen vorzusehen.

Druckluftanlagen sind so auszulegen, daß Wasser von allen Druckluftbehältern oder anderen Punkten, an denen es sich während des Betriebes ansammeln kann, abgelassen werden kann.

8.3.3 Druckluftanlagen sind so auszulegen, daß sie mit größter wie mit kleinster Kapazität über den vollen Bereich der für die angeschlossene Schaltanlage zu erwartenden Umgebungsbedingungen betrieben werden können. Eine geeignete Kühlung des Kompressors und ein ausreichender Frostschutz für den intermittierenden Betrieb sind vorzusehen.

8.3.4 Druckbehälter und Rohre müssen innen und außen gegen Korrosion geschützt sein.

8.3.5 Die verschiedenen Bauelemente der Druckluftanlage sind hinsichtlich ihrer Funktion eindeutig zu kennzeichnen. Unterschiedliche Drücke müssen auf den Rohrleitungen, Behältern und Schaltplänen in einer für den Anwender verständlichen Weise angegeben sein.

8.3.6 Die Druckluftanlage ist mit einer ausreichenden Anzahl von Trenn- und Entwässerungsstellen zu versehen, um entsprechend den Betriebs- und Sicherheitsvorschriften des Betreibers eine abschnittsweise Aufteilung für Instandhaltungszwecke zu ermöglichen.

8.3.7 Dauernd unter Druck stehende Rohrleitungen sind gegen Beschädigung durch direkte Lichtbogeneinwirkung zu schützen.

8.3.8 Alle während des Betriebes benutzbaren Bedienteile der Druckluftanlage müssen für Personen ohne Gefahr für ihre Gesundheit zugänglich sein.

Seite 68
HD 637 S1:1999

8.4 SF₆-Gas-Instandhaltungsgeräte

Für den Umgang mit Gas ist ein ortsveränderliches Gerät vorzusehen, um gasgefüllte Betriebsmittel und Anlagen im Zuge der Instandhaltung zu befüllen und zu entleeren. Dieses Gerät muß in der Lage sein, die größte erforderliche Gasmenge bis auf den vom Hersteller vorgeschriebenen Vakuumwert abzusaugen und zu speichern. Ebenso muß es in der Lage sein, ein Wiederbefüllen der Anlage bis zum höchsten vom Hersteller angegebenen Druck vorzunehmen. Konstruktion und Kapazität des Gerätes sind zwischen Hersteller und Betreiber abzustimmen.

Das Gerät muß auch in der Lage sein, aus dem größten Behältervolumen die unter Atmosphärendruck stehende Luft bis auf den vom Hersteller vorgeschriebenen Vakuumpegel abzusaugen. Das Gerät muß in der Lage sein, Gas in die Anlage zurückzuführen und gebrauchtes Gas über Filter zu regenerieren.

8.5 Grundregeln zur elektromagnetischen Verträglichkeit von Steuerungssystemen

Dieser Unterabschnitt behandelt den Schutz von Steuerstromkreisen gegen elektromagnetische Störbeeinflussungen.

8.5.1 Störquellen in Hochspannungsanlagen

Störbeeinflussungen in Hochspannungsanlagen können galvanisch, kapazitiv, induktiv oder durch Strahlung übertragen werden. Man kann sie in zwei Kategorien einteilen:

- a) Hochfrequente Störbeeinflussungen; sie werden erzeugt durch:
 - Schaltvorgänge in Primärstromkreisen,
 - Blitzeinschläge in Freileitungen oder in geerdete Bauteile von Hochspannungsanlagen,
 - Ansprechen von Überspannungsableitern mit Funkenstrecken,
 - Schaltvorgänge in Sekundärstromkreisen,
 - Hochfrequenzsender,
 - elektrostatische Entladungen.
- b) Niederfrequente Störbeeinflussungen; sie werden erzeugt durch:
 - Kurzschlüsse,
 - Erdschlüsse,
 - von Betriebsmitteln (Sammelschienen, Starkstromkabel, Drosselspulen, Transformatoren usw.) verursachte elektromagnetische Felder.

Der Schutz gegen diese Störbeeinflussungen beruht auf zwei allgemeinen Grundsätzen:

- Verminderung des Eindringens elektromagnetischer Felder in die Betriebsmittel.
- Potentialausgleich zwischen Betriebsmitteln und der Erdungsanlage.

8.5.2 Maßnahmen zum Vermindern von hochfrequenten Störbeeinflussungen

Die nachstehend angeführten Empfehlungen sind die wichtigsten zur Verminderung hochfrequenter elektromagnetischer Störbeeinflussung.

- a) Geeignete Konstruktion von Meßwandlern (Spannungswandler, Stromwandler), wirksame Schirmung zwischen Primär- und Sekundärwicklung, Prüfung des Hochfrequenz-Übertragungsverhaltens.
- b) Schutz gegen Blitzeinschläge.
- c) Verbesserung der Erdungsanlage und der Erdverbindungen (siehe 9.3.2).
- d) Abschirmung von Kabeln für Sekundärstromkreise.
 - Die Abschirmungen sollten durchgängig sein.
 - Die Abschirmungen sollten niederohmig sein (wenige Ohm pro Kilometer).
 - Die Abschirmungen sollten im Frequenzbereich der Störbeeinflussung eine kleine Koppelimpedanz aufweisen.

- Die Erdungsverbindungen der Abschirmungen sollten so kurz wie möglich sein.
 - Die Abschirmungen sollten an beiden Enden und nach Möglichkeit an Zwischenstellen geerdet sein.
 - Die Abschirmungen sollten am Eingang in die Steuerschränke geerdet sein, so daß die in den Abschirmungen fließenden Ströme die ungeschirmten Stromkreise nicht beeinflussen. Die Erdungsverbindungen sollten bevorzugt unter Verwendung passender Kabelendverschraubungen koaxial angeschlossen werden oder durch Schweißen.
- e) Zusammenfassung von Stromkreisen.
- Zur Verringerung von symmetrischen Überspannungen sollten Adernpaare, die funktional zusammengehören, im selben Kabel geführt werden. So weit wie möglich sollten Kabel für Hilfsspannungsversorgung von Steuerkabeln getrennt verlegt werden.

8.5.3 Maßnahmen zum Vermindern von niederfrequenten Störbeeinflussungen

Die nachstehend angeführten Empfehlungen sind die wichtigsten zur Verminderung niederfrequenter elektromagnetischer Störbeeinflussung:

- a) Maßnahmen bei der Kabelverlegung:
- Trennung der Steuerkabeln von den Energiekabeln durch entsprechende Abstände oder durch verschiedene Trassen.
 - Bei Einleiter-Energiekabeln sollte die Dreiecks-Anordnung vor einer Ein-Ebenen-Anordnung bevorzugt werden.
 - Kabeltrassen sollten nach Möglichkeit nicht parallel zu Sammelschienen oder Energiekabeln verlaufen.
 - Steuerkabel sollten nicht in der Nähe von Drosselspulen und Einphasen-Transformatoren verlegt werden.
- b) Maßnahmen zur Stromkreisanordnung:
- Schleifen sollten vermieden werden.
 - Für Gleichstrom-Hilfsstromkreise ist eine sternförmige Anordnung einer ringförmigen Anordnung vorzuziehen.
 - Der Schutz zweier unterschiedlicher Gleichstromkreise durch die dieselbe Schutzeinrichtung sollte vermieden werden.
 - Die Parallelschaltung zweier Spulen in getrennten Schaltschränken sollte vermieden werden.
 - Alle Adern eines bestimmten Stromkreises sollten in demselben Kabel liegen. Wenn verschiedene Kabel verwendet werden müssen, sollten sie in derselben Trasse liegen.
- c) Für Signale mit niedrigem Pegel werden paarweise verdrehte Kabel empfohlen.

8.5.4 Maßnahmen zur Auswahl der Betriebsmittel

8.5.4.1 Die Anlage sollte in verschiedene Bereiche unterteilt werden, von denen jeder einer bestimmten Klasse der EMV-Umgebung entspricht; solche Klassen werden in IEC-Normen festgelegt (IEC SC 17 B).

In jedem Bereich sollten die Betriebsmittel entsprechend der zugeordneten Klasse der EMV-Umgebung gewählt werden.

8.5.4.2 Gegebenenfalls sollten für den inneren Schaltungsaufbau folgende Maßnahmen getroffen werden:

- a) Potentialtrennung der ein- und ausgehenden Signale.
- b) Einbau von Filtern in Hilfsstromkreise.
- c) Einbau von Spannungsbegrenzungseinrichtungen, wie:
 - Kondensatoren oder RC-Kreise,
 - Niederspannungs-Überspannungsableiter,

Seite 70
HD 637 S1:1999

- Zenerdioden oder Varistoren,
- Transzorbioden.

Diese Einrichtungen sollten innerhalb der Schutz- und Steuerungseinrichtung eingebaut sein

8.5.4.3 Für gasisolierte Schaltanlagen sind als zusätzliche Maßnahmen erforderlich:

- Verbindung von Betonbewehrungen mit der Erdungsanlage an mehreren Stellen, insbesondere im Fußboden (siehe Anhang R (informativ)).
- Gute Abschirmung an den GIS/Luft-Durchführungen durch mehrfache Verbindungen zwischen dem Gehäuse und der Gebäudewand (an die Bewehrung oder Metallumhüllung) und mehrfache Verbindungen zwischen Wand- und Erdungsanlage.
- Geeignete Auslegung und Prüfung der Sekundäreinrichtungen im Hinblick auf Störfestigkeit gegen transiente elektrische Beeinflussung.

8.5.5 Andere mögliche Maßnahmen zur Verminderung der Störbeeinflussung

Die nachstehend angeführten Empfehlungen ergänzen die vorstehenden Empfehlungen, sofern anwendbar:

- Die Verlegung von Steuerkabeln in metallenen Kabelkanälen wird empfohlen. Die leitende Verbindung und Erdung der Kabelkanäle sollte über ihre gesamte Länge sichergestellt sein.
- Die Verlegung von Kabeln nach Möglichkeit entlang metallener Oberflächen.
- Verwendung von Glasfaser-Kabeln mit zugehörigen Geräten.

9 Erdungsanlagen

9.1 Zweck

Diese Norm enthält die Kriterien für Auslegung, Errichtung sowie Prüfung und Instandhaltung von Erdungsanlagen, so daß diese unter allen Bedingungen funktionieren und die Sicherheit von Menschen gewährleistet ist. Außerdem soll sichergestellt werden, daß die an die Anlagen angeschlossenen Betriebsmittel nicht beschädigt werden.

9.2 Bemessung von Erdungsanlagen bei Betriebsfrequenz

9.2.1 Allgemeines

Die Auslegung von Erdungsanlagen muß vier Anforderungen erfüllen:

- a) Die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit muß sichergestellt sein.
- b) Der höchste Fehlerstrom (üblicherweise errechnet) muß aus thermischer Sicht beherrscht werden.
- c) Die Beschädigung von Sachen und Betriebsmitteln muß vermieden werden.
- d) Die Sicherheit von Personen im Hinblick auf Spannungen an Erdungsanlagen, die während des höchsten Erdfehlerstromes auftreten, muß gewährleistet sein.

Demzufolge sind für die Bemessung der Erdungsanlage folgende Parameter von Bedeutung:

- Höhe des Fehlerstromes¹⁾,
- Fehlerdauer¹⁾,
- Beschaffenheit der Erde.

In einer Anlage, in der unterschiedliche Nennspannungen verwendet werden, sind die vier Anforderungen für jedes Hochspannungsnetz zu erfüllen. Gleichzeitige Fehler in galvanisch getrennten Netzen brauchen nicht betrachtet zu werden.

Diese Anforderungen gelten nicht für vorübergehende Erdungen an Arbeits- und Ausschaltstellen.

¹⁾ Diese Parameter sind insbesondere abhängig von der Art der Sternpunktbehandlung des Hochspannungsnetzes.

9.2.2 Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung

9.2.2.1 Erder

Da Erder mit Erde in engem Kontakt stehen, müssen sie aus Werkstoffen bestehen, die korrosionsbeständig sind (chemische oder biologische Einwirkungen, Oxidation, Bildung eines elektrolytischen Korrosionselementes, Elektrolyse usw.). Sie müssen die mechanischen Beanspruchungen, die während der Montage sowie während des bestimmungsgemäßen Betriebes auftreten, aushalten. In Betonfundamente eingebetteter Stahl und Stahlpfähle oder andere natürliche Erder dürfen als Teil der Erdungsanlage verwendet werden. Die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit bestimmen die Mindestabmessungen für Erder, wie sie im Anhang A (normativ) angegeben sind. Wenn ein anderer Werkstoff verwendet wird, z. B. rostfreier Stahl, muß dieser Werkstoff den Anforderungen a) und b) in 9.2.1 entsprechen.

9.2.2.2 Erdungsleiter

Aus Gründen der mechanischen Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sind folgende Mindestquerschnitte festgelegt:

- Kupfer: 16 mm² (Ausnahme siehe F.5)
- Aluminium: 35 mm²
- Stahl: 50 mm²

9.2.2.3 Potentialausgleichsleiter

Es wird empfohlen, die Bemessung von Potentialausgleichsleitern entsprechend 9.2.2.2 vorzunehmen.

ANMERKUNG: Erdungs- und Potentialausgleichsleiter aus Stahl erfordern einen passenden und geeigneten Korrosionsschutz.

9.2.3 Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung

9.2.3.1 Allgemeines

Die für Erdungsleiter und Erder zu berücksichtigenden Ströme sind in Tabelle 5 festgelegt.

ANMERKUNG 1: In manchen Fällen müssen die im störungsfreien Betrieb auftretenden Nullströme für die Bemessung der betreffenden Erdungsanlage berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2: Für Projektierungszwecke sollte bei den zur Berechnung des Leiterquerschnitts verwendeten Strömen die Möglichkeit eines späteren Ansteigens dieser Ströme in Betracht gezogen werden.

In der Erdungsanlage teilt sich der Fehlerstrom häufig auf; es ist deshalb zulässig, jeden Erder nur für einen Teil des Fehlerstroms zu bemessen.

Die Endtemperaturen, die bei der Auslegung zu berücksichtigen sind und die im Anhang B (normativ) angesprochen werden, sind so zu wählen, daß eine Minderung der Werkstofffestigkeit sowie die Beschädigung von Materialien in der Umgebung, z. B. Beton oder Isolierstoffe, verhindert wird. In dieser Norm wird keine zulässige Erwärmung für das Erdreich um die Erder angegeben, da die Erfahrung zeigt, daß diese Erwärmung im allgemeinen unwesentlich ist.

9.2.3.2 Strombelastbarkeit

Die Berechnung des Querschnittes von Erdungsleitern oder Erdern in Abhängigkeit von der Höhe und Dauer des Fehlerstromes ist im Anhang B (normativ) beschrieben. Dort wird zwischen Fehlerdauern bis einschließlich 5 s (adiabatischer Temperaturanstieg) und größer 5 s unterschieden. Die Endtemperatur ist in Abhängigkeit vom Material und den Umgebungsbedingungen zu wählen. Unabhängig davon müssen die Mindestquerschnitte nach 9.2.2 beachtet werden.

ANMERKUNG: Die Strombelastbarkeit der verwendeten Verbindungen (insbesondere geschraubte Verbindungen) ist zu berücksichtigen.

Seite 72
HD 637 S1:1999

9.2.4 Bemessung im Hinblick auf Berührungs- und Schrittspannungen

9.2.4.1 Zulässige Werte

Die Ursache für eine Personengefährdung ist ein durch den menschlichen Körper fließender Strom. Die IEC/TR2 60479-1 gibt Erläuterungen zu den Auswirkungen dieses Stromes, abhängig von dessen Höhe und Dauer. In der Praxis ist es hilfreicher, sich auf Berührungsspannungen zu beziehen. Grenzwerte für Berührungsspannungen sind in Bild 9.1 angegeben; die Kurve enthält Spannungswerte, die am menschlichen Körper zwischen den bloßen Händen und Füßen auftreten können. Bei der Ermittlung dieser Werte wurden keine Zusatzwiderstände berücksichtigt.

Unabhängig davon ist es erlaubt, das im Anhang C (normativ) angegebene Rechenverfahren anzuwenden, um Zusatzwiderstände zu berücksichtigen z. B. Schuhwerk, hochohmiges Oberflächenmaterial.

Jeder Erdschluß wird automatisch oder von Hand abgeschaltet. Demnach treten als Folge von Erdfehlern keine zeitlich unbegrenzten Berührungsspannungen auf.

Für Schrittspannungen ist es nicht erforderlich, zulässige Werte zu definieren.

ANMERKUNG: Zulässige Werte für Schrittspannungen wären um einiges größer als die zulässigen Berührungsspannungen; demzufolge kann, wenn eine Erdungsanlage die Anforderungen im Hinblick auf die Berührungsspannungen erfüllt, angenommen werden, daß im allgemeinen keine gefährlichen Schrittspannungen auftreten.

Bei der zu berücksichtigenden Fehlerdauer ist vom ordnungsgemäßen Arbeiten der Schutzeinrichtungen und Schalter auszugehen.

Tabelle 5: Maßgebende Ströme für die Bemessung von Erdungsanlagen

Art des Hochspannungsnetzes		Maßgebend für die thermische Belastung ¹⁾		Maßgebend für Erdungs- und Berührungsspannungen	
		Erder	Erdungsleiter		
Netze mit isoliertem Sternpunkt		- 6)	I''_{KEE} ⁹⁾	$I_E = r \times I_C$ ⁷⁾	
Netze mit Erdschlußkompensation	In Anlagen mit Erdschlußspule	- 6)	I''_{KEE} ^{3) 9)}	$I_E = r \times \sqrt{I_L^2 + I_{Res}^2}$ ²⁾	
	In Anlagen ohne Erdschlußspule			$I_E = r \times I_{Res}$	
Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung		I''_{kl} ⁴⁾	I''_{kl}	I_E ⁵⁾	
Netze mit Erdschlußkompensation und vorübergehender niederohmiger Sternpunktterdung	In Anlagen, in denen vorübergehend geerdet wird.		I''_{kl} ⁴⁾	I''_{kl} ⁸⁾	I_E ⁵⁾
	In allen anderen Anlagen	mit Erdschlußspule	- 6)	I''_{KEE} ³⁾	$I_E = r \times \sqrt{I_L^2 + I_{Res}^2}$ ²⁾
		ohne Erdschlußspule			$I_E = r \times I_{Res}$

1) Die Mindestquerschnitte im Anhang A (normativ) müssen beachtet werden.

2) Gilt nur für gut kompensierte Netze. Bei merklicher Verstimmung ist die Blindkomponente des Reststroms zusätzlich zu berücksichtigen.

3) Erdungsleiter an Erdschlußspulen sind nach deren Bemessungsstrom auszulegen.

4) Sind mehrere Stromflußwege möglich, darf die sich ergebende Stromverteilung für die Auslegung des Erdernetzes berücksichtigt werden.

5) Es steht keine allgemeine Formel zur Verfügung (als Beispiel siehe Bild 2.2).

6) Die Mindestquerschnitte im Anhang A (normativ) sind ausreichend.

7) Wenn in einem örtlich begrenzten Hochspannungsnetz, z. B. einer Industrieanlage, ein Erdschluß voraussichtlich längere Zeit bestehen bleibt, z. B. mehrere Stunden, dann sollte I''_{KEE} berücksichtigt werden.

8) Wenn I''_{KEE} größer als I''_{kl} ist, muß dieser höhere Wert verwendet werden.

9) Wenn die Fehlerdauer kleiner als 1 s ist, kann I_C bzw. I_{Res} verwendet werden.

Legende zur Tabelle 5:

I_C Berechneter oder gemessener kapazitiver Erdschlußstrom.

I_{Res} Erdschlußreststrom (siehe Bild 2.3 b). Wenn der exakte Wert nicht bekannt ist, dürfen 10 % von I_C angenommen werden.

I_L Summe der Bemessungsströme paralleler Erdschlußspulen der betrachteten Anlage.

I''_{KEE} Doppelerdschlußstrom, berechnet nach HD 533 (für I''_{KEE} dürfen 85 % des 3-poligen Anfangskurzschlußwechselstromes als Höchstwert verwendet werden).

I''_{kl} Anfangskurzschlußwechselstrom für einen einpoligen Erdkurzschluß, berechnet nach HD 533.

I_E Erdungsstrom (siehe Bild 2.2)

r Reduktionsfaktor (siehe Anhang J (informativ)). Wenn die aus der Anlage abgehenden Leitungen und Kabel unterschiedliche Reduktionsfaktoren haben, ist der maßgebende Strom zu bestimmen (entsprechend Anhang N (informativ)).

Seite 74
HD 637 S1:1999

9.2.4.2 Maßnahmen zur Einhaltung der zulässigen Berührungsspannungen

Die Anwendung der ersten drei Anforderungen nach 9.2.1 ergibt die Grundausslegung der Erdungsanlage. Diese Auslegung ist hinsichtlich der Berührungsspannungen zu überprüfen und kann danach als eine typgeprüfte Ausführung bei vergleichbaren Randbedingungen angesehen werden. Das Flußdiagramm in Bild 9.2 zeigt den üblichen Lösungsweg. Lösungsbeispiele für Sonderfälle, die vom Pfad des rückfließenden Fehlerstromes abhängen, sind im Anhang Q (informativ) angegeben.

Für die Werte der zulässigen Berührungsspannungen U_{Tp} ist Bild 9.1 zu verwenden. Zusatzwiderstände können berücksichtigt werden, indem das im Anhang C (normativ) enthaltene Rechenverfahren angewendet wird. Diese Anforderung bezüglich der Berührungsspannungen wird als erfüllt angesehen, wenn entweder

- eine der Voraussetzungen C erfüllt ist:

C1: Die betreffende Anlage ist Teil eines Globalen Erdungssystems.

C2: Die durch Messung oder Berechnung ermittelte Erdungsspannung überschreitet nicht den zweifachen Wert der zulässigen Berührungsspannung nach Bild 9.1.

oder

- in Abhängigkeit von der Höhe der Erdungsspannung und der Fehlerdauer die zutreffenden anerkannten festgelegten Maßnahmen M durchgeführt wurden. Diese Maßnahmen werden im Anhang D (normativ) beschrieben.

Wenn weder die Bedingungen C erfüllt noch die anerkannten festgelegten Maßnahmen M durchgeführt sind, muß die Einhaltung der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} nach Bild 9.1 überprüft werden, im allgemeinen durch Messungen.

Alternativ dazu darf eine typgeprüfte Ausführung angewendet werden, die sicherstellt, daß alle Anforderungen nach 9.2.1 erfüllt sind.

ANMERKUNG: Als Alternative zur Anwendung der Voraussetzungen C und der anerkannten festgelegten Maßnahmen M können die Berührungsspannungen durch Messungen vor Ort überprüft werden.

Potentialverschleppungen müssen immer zusätzlich überprüft werden.

Die Erdungs- und Berührungsspannungen einer Erdungsanlage dürfen aus bekannten Daten (spezifischer Erdwiderstand, Erdungsimpedanz von vorhandenen Erdungsanlagen, siehe Anhang K (informativ)) errechnet werden. Für die Berechnung dürfen alle Erder und sonstigen Erdungsanlagen berücksichtigt werden, die bei ausreichender Strombelastbarkeit mit der betreffenden Erdungsanlage zuverlässig verbunden sind. Das gilt insbesondere für angeschlossene Freileitungserdseile, Bodenseile und Kabel mit Erderwirkung. Das gilt auch für Erdungsanlagen, die mit der betrachteten Erdungsanlage über Kabelmäntel oder -schirme, PEN-Leiter oder auf andere Weise verbunden sind.

Für den rechnerischen Nachweis mit Hilfe von Bild K.3 dürfen alle Kabel mit Erderwirkung berücksichtigt werden, sofern sie auf nicht mehr als vier Trassen verlegt sind. Diese Kabel können Netzen mit unterschiedlichen Nennspannungen angehören.

ANMERKUNG: Bei mehr als vier Trassen darf die gegenseitige Beeinflussung nicht vernachlässigt werden; daher sollen aus den vorhandenen Trassen nur vier ausgewählt werden. Bei mehreren Kabeln in einer Trasse kann nur eine Länge berücksichtigt werden.

Zur Bestimmung von Erdungs- und Berührungsspannungen sind die Ströme nach Tabelle 5 maßgebend.

Für den Nachweis durch Messung ist 9.6 (bzw. der Anhang N (informativ) und Anhang G (normativ)) zu beachten.

Bei der Bemessung von Erdungsanlagen sind zwei Fälle in Betracht zu ziehen: Netze mit Erdschlußkompensation und Netze mit isoliertem Sternpunkt. Erdungsanlagen in Netzen mit vorübergehender niederohmiger Sternpunktterdung sollten in der gleichen Weise bemessen werden, wie in Netzen mit einer Erdfehlerabschaltzeit von bis einschließlich 5 s; alle anderen Erdungsanlagen sollten wie in Netzen mit einer Erdfehlerabschaltzeit von mehr als 5 s bemessen werden (siehe auch Tabelle D.1).

9.3 Errichtung von Erdungsanlagen

9.3.1 Ausführung von Erdern und Erdungsleitern

Eine Erdungsanlage wird im allgemeinen aus mehreren waagrecht, senkrecht oder schräg in die Erde eingegrabenen oder eingetriebenen Erdern zusammengestellt.

Die Verwendung von Chemikalien, um den spezifischen Erdwiderstand zu reduzieren, wird nicht empfohlen.

Oberflächenerder sollten üblicherweise 0,5 m bis 1 m tief verlegt werden. Dies bietet ausreichenden mechanischen Schutz. Es wird empfohlen, den Erder unterhalb der Frostgrenze zu verlegen.

Bei Tiefenerdern liegt deren Anschluß üblicherweise unter der Erdoberfläche. Senkrecht oder schräg eingeschlagene Stäbe sind besonders dann von Vorteil, wenn mit der Tiefe der spezifische Erdwiderstand sinkt.

Metallkonstruktionen, die nach dieser Norm geerdet sind und die konstruktiv eine Einheit bilden, können als Erdungsleiter verwendet werden, um die Teile zu erden, die an diesen Konstruktionen direkt befestigt sind. Dazu müssen für die gesamte Konstruktion die leitenden Metallquerschnitte ausreichend, die Verbindungsstellen elektrisch leitend und mechanisch zuverlässig sein. Es ist sicherzustellen, daß durch den vorübergehenden Ausbau von Teilen der Konstruktion die Erdung anderer Teile nicht unterbrochen wird. Ausgedehnte Konstruktionen sind an einer ausreichenden Zahl von Punkten mit der Erdungsanlage zu verbinden.

Weitere Einzelheiten zur Ausführung von Erdungsanlagen können dem Anhang L (informativ) entnommen werden.

9.3.2 Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung hochfrequenter Beeinflussungen

Ergänzend zu 8.5.2 sind im Anhang E (normativ) Hinweise zur Auslegung und Ausführung von Erdungsanlagen enthalten, um hochfrequente Beeinflussungen zu vermindern.

9.3.3 Potentialverschleppung

Regeln für Fernmeldeanlagen in oder in der Nähe von Hochspannungserdungsanlagen gehören nicht zum Anwendungsbereich dieser Norm. Bei Potentialverschleppung im Zusammenhang mit Fernmeldeanlagen sind die internationalen Bestimmungen (z. B. CCITT/ITU-Empfehlungen) zu berücksichtigen.

In die Anlage eingeführte Kabel und isolierte metallene Rohrleitungen können Spannungsdifferenzen bei Erdfehlern innerhalb der Anlage verursachen.

Abhängig von der Behandlung des Kabelschirms und/oder der Kabelbewehrung (einseitige oder beidseitige Erdung) können beträchtliche Spannungsbeanspruchungen oder Ströme am Schirm und/oder der Bewehrung auftreten. Die Isolation zwischen Kabelmantel oder Rohr und dem umgebenden Erdreich muß entsprechend dimensioniert sein.

Die einseitige Erdung darf innerhalb oder außerhalb der Anlage erfolgen. Es ist dabei zu beachten, daß am anderen isolierten Ende Berührungsspannungen auftreten.

Wo es nötig ist, können Vorsichtsmaßnahmen angewendet werden, wie sie nachfolgend beispielhaft angegeben sind:

- Auftrennung der nach außen führenden Metallteile, dort, wo sie den Bereich der Erdungsanlage verlassen,
- Isolierung von leitfähigen Teilen oder Bereichen,
- Verwendung angemessener Abschränkungen, um ein Berühren leitfähiger Teile oder Bereiche zu verhindern,
- Einbau einer Isolierung zwischen Teilen, die an verschiedene Erdungsanlagen angeschlossen sind,
- Geeignete Potentialsteuerung,
- Spannungsbegrenzung durch geeignete Einrichtungen.

Wenn eine Hochspannungserdungsanlage Teil eines Globalen Erdungssystems ist, in dem definitionsgemäß keine gefährlichen Potentialunterschiede auftreten, können dennoch Probleme entstehen, wenn leitfähige Teile von isolierten Rohren, Kabeln usw., die mit ferner Erde verbunden sind, und geerdete leitfähige Teile der Hochspannungsanlage gleichzeitig berührt werden können.

Seite 76
HD 637 S1:1999

Diese Einrichtungen sind deshalb in ausreichender Entfernung von den Bereichen anzuordnen, die durch die Erdungsanlage beeinflusst werden. Sofern dies nicht möglich ist, sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Ein allgemein gültiger Abstand kann nicht angegeben werden; der Grad der Gefährdung muß in jedem Einzelfall ermittelt werden. Zur Berechnung eines solchen Abstandes werden im Anhang M (informativ) einige Hilfen gegeben.

9.3.4 Maßnahmen zur Erdung an Betriebsmitteln und Anlagen

Alle berührbaren, nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden Metallteile von elektrischen Betriebsmitteln (Körper), die Teil des elektrischen Netzes sind, müssen geerdet werden. In speziellen Fällen müssen isolierte Bereiche geschaffen werden.

Alle nicht zu elektrischen Betriebsmitteln gehörenden Metallteile sollten geerdet werden, sofern dies angemessen ist, z. B. aufgrund von Lichtbögen, kapazitiver und induktiver Kopplung.

Ausführliche Hinweise zur Erdung von Anlagenumzäunungen, Rohrleitungen, Anschlußgleisen usw. können dem Anhang F (normativ) entnommen werden.

9.4 Gemeinsame Erdungsanlagen für Hoch- und Niederspannungsnetze

9.4.1 Bedingungen für gemeinsame Erdungsanlagen

Der Neutral- oder PEN-Leiter des Niederspannungsnetzes kann dann mit der Erdungsanlage des Hochspannungsnetzes verbunden werden (nunmehr gemeinsame Erdungsanlage), wenn während eines Erdfehlers in der Hochspannungsanlage folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Im Niederspannungsnetz oder in den angeschlossenen Verbraucheranlagen treten keine gefährlichen Berührungsspannungen (nach Bild 9.1) auf (dies wird erreicht, wenn die Erdungsspannung der gemeinsamen Erdungsanlage die in Tabelle 6 angegebenen Werte nicht überschreitet).
- Die Höhe der Spannungsbeanspruchung (bei Betriebsfrequenz) der Niederspannungsgeräte in den Verbraucheranlagen überschreitet nicht die in Tabelle 6 angegebenen möglichen Werte als Folge eines Potentialanstiegs am Niederspannungsternpunkt.

9.4.2 Versorgung von Niederspannungsanlagen innerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage

Wenn eine Hochspannungsanlage Niederspannungsverbraucher versorgt, die innerhalb der Hochspannungs-Erdungsanlage angeordnet sind, sind alle Schutz- und Betriebserdungen an eine gemeinsame Erdungsanlage anzuschließen. Damit gelten für diese Niederspannungsverbraucher die in 9.4.1 aufgeführten Bedingungen als erfüllt.

9.4.3 Versorgung von Niederspannungsanlagen außerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage

Die in 9.4.1 aufgeführten Bedingungen gelten als erfüllt, wenn

- die betreffende Hochspannungserdungsanlage an ein Globales Erdungssystem angeschlossen ist, oder wenn
- in Abhängigkeit von der Behandlung des Schutzleiters im Niederspannungsnetz und der Fehlerdauer die Bedingungen der Tabelle 6 erfüllt sind.

Sofern zulässig, wird eine gemeinsame Erdungsanlage empfohlen.

9.4.4 Getrennte Erdungsanlagen

Hoch- und Niederspannungs-Erdungsanlagen sind zu trennen, wenn keine der in 9.4.3 aufgeführten Bedingungen erfüllt werden kann. Die Trennung der Erder ist so auszuführen, daß in der Niederspannungsanlage keine Gefährdung für Personen oder Betriebsmittel eintreten kann; das bedeutet, daß in der Niederspannungs-Erdungsanlage der durch einen hochspannungsseitigen Erdfehler verursachte Potentialanstieg kleiner ist, als die in Tabelle 6 angegebenen Werte. Bei Anlagen mit Betriebsspannungen unter 50 kV dürfen 20 m als ein ausreichender Wert für den Mindestabstand der Erder verwendet werden. Der erforderliche Abstand d_{accept} kann auch aus Formeln berechnet werden, wobei die geometrische Form der Erder zu berücksichtigen ist (siehe Beispiele im Anhang M (informativ)).

Im Bereich um die Hochspannungsanlage mit $d \leq d_{\text{accept}}$ ist grundsätzlich keine Verbindung des Niederspannungsnetzes mit Erde zulässig. Sofern erforderlich, sind spezielle Maßnahmen anzuwenden.

Die getrennten Erdungsanlagen dürfen in der Station über einen Überspannungsableiter verbunden werden, um einen Blitzschutz herzustellen.

ANMERKUNG: Die Löschspannung des Funkenstreckenableiters bzw. die Dauerspannung des Metalloxid-Ableiters muß höher sein als die Erdungsspannung der Hochspannungs-Erdungsanlage.

Zum Schutz bei indirektem Berühren sind die Körper der Niederspannungs-Betriebsmittel, die sich innerhalb der Hochspannungsanlage befinden, über Schutzleiter an die Hochspannungs-Erdungsanlage anzuschließen.

Wenn die Hoch- und Niederspannungs-Erdungsanlagen getrennt sind, muß für die Isolationsbemessung der Niederspannungs-Betriebsmittel innerhalb der Hochspannungsanlage die Höhe und Dauer der Erdungsspannung berücksichtigt werden.

Tabelle 6: Anforderungen an gemeinsame Erdungsanlagen für die Versorgung von Niederspannungsanlagen außerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage

Art der Erdverbindung im Niederspannungsnetz ¹⁾	Fehlerdauer	Anforderungen für gemeinsame Erdungsanlagen hinsichtlich ^{2) 3)}	
		Berührungsspannung	Spannungsbeanspruchung
TT ⁴⁾	$t_F \leq 5 \text{ s}$	nicht	$U_E \leq 1\,200 \text{ V}$
	$t_F > 5 \text{ s}$	zutreffend	$U_E \leq 250 \text{ V}$
TN ⁵⁾		$U_E \leq U_{Tp}$ ⁶⁾	nicht
		$U_E \leq X \cdot U_{Tp}$ ⁷⁾	zutreffend

Der für X übliche Wert ist 2. Die Erfahrung lehrt, daß in besonderen Fällen für X Werte bis 5 annehmbar sind.

- 1) Definitionen für die Art der Erdverbindung im Niederspannungsnetz sind in HD 384.3 enthalten. IT-Systeme, bei denen der Niederspannungsschutzleiter an die Hochspannungs-Erdungsanlage angeschlossen ist, werden in 9.4.2 berücksichtigt, da diese üblicherweise für Industrieanlagen verwendet werden. Andere IT-Systeme werden nicht berücksichtigt.
- 2) U_E ist die Erdungsspannung der gemeinsamen Erdungsanlage. Sie kann wie im Informativen Anhang N (informativ) beschrieben berechnet werden.
- 3) Es muß berücksichtigt werden, daß das Potential der Anlage durch verschleppte Potentiale beeinflusst werden kann, z. B. durch Kabelmäntel, die mit in der Nähe gelegenen Anlagen verbunden sind.
- 4) Die Isolationsbeanspruchung des Niederspannungsmaterials ist zu berücksichtigen. (nach HD 384.4.442)
- 5) Berührungsspannungen sind zu berücksichtigen (Sicherheit von Personen).
- 6) Die Verbindung zwischen dem PEN-Leiter des Niederspannungsnetzes und der Hochspannungs-Erdungsanlage ist nur in der Transformatorstation hergestellt.
- 7) Der PEN-Leiter des Niederspannungsnetzes ist an mehreren Punkten mit Erde verbunden, um die am PEN-Leiter auftretende Spannung zu begrenzen.

Seite 78
HD 637 S1:1999

9.5 Erdungsmaßnahmen gegen Blitzeinwirkungen

Die Hochspannungs-Erdungsanlage sollte für den Blitzschutz verwendet werden.

Alle Überspannungs-Schutzeinrichtungen werden weniger wirksam, je größer Widerstand und Induktivität im Ableitungspfad gegen Erde werden; deshalb sollte die Verbindung zum Erder so kurz und gerade wie möglich sein.

9.6 Messungen für und an Erdungsanlagen

Allgemeine Hinweise zu Messungen sind im Anhang N (informativ) enthalten.

Die Messung von Berührungsspannungen hat entsprechend dem Anhang G (normativ) zu erfolgen.

9.7 Bauüberwachung und Dokumentation von Erdungsanlagen

Es sollte ein Lageplan der Erdungsanlage angefertigt werden.

Während der Errichtung ist die ordnungsgemäße Durchführung der Korrosionsschutzmaßnahmen insbesondere an Verbindungsstellen durch Besichtigung zu kontrollieren.

Weitere Hinweise für Bauüberwachung und Dokumentation sind im Anhang P (informativ) zu finden.

9.8 Allgemeine Bemerkungen zu Kontrolle und Überwachung von Erdungsanlagen

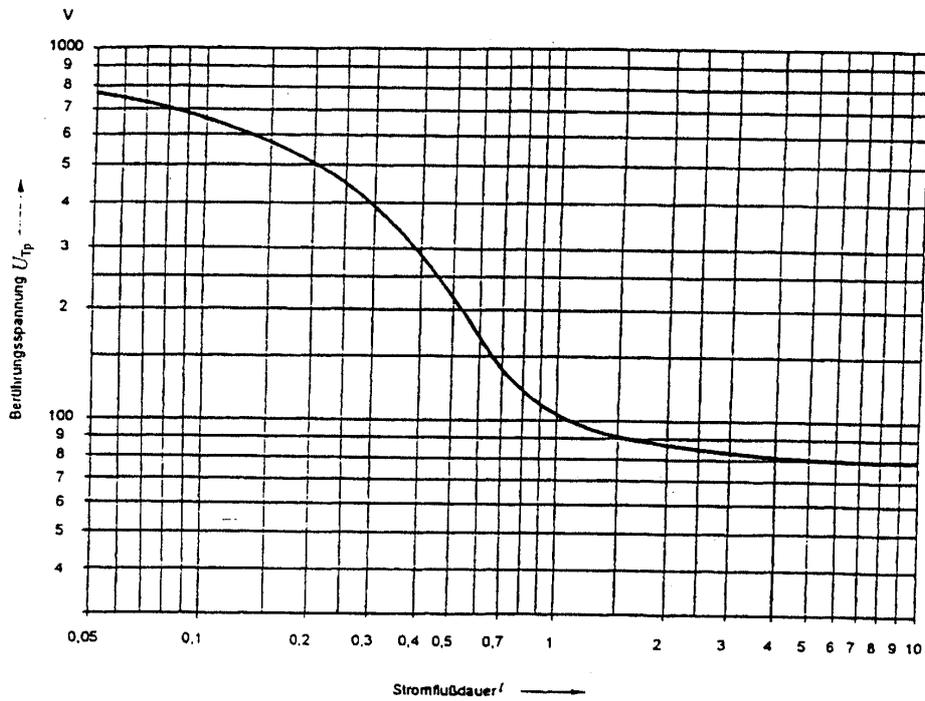
9.8.1 Kontrolle durch Besichtigung

Der Zustand einiger Anlagenteile bestimmter Erdungsanlagen ist regelmäßig durch Besichtigen zu kontrollieren (z. B. alle 5 Jahre).

ANMERKUNG: Das Aufgraben an einigen Punkten (z. B. Verbindungsstellen, Erdübergangsbereiche) gilt allgemein als zweckmäßige Vorgehensweise.

9.8.2 Kontrolle durch Messung oder Berechnung

Messungen oder Berechnungen von Erdungsimpedanz oder Berührungsspannungen können nach wesentlichen Änderungen, die die Grundanforderungen beeinflussen, erforderlich werden (siehe 9.2).



ANMERKUNG 1: Diese Kurve gilt für Erdfehler in Hochspannungsnetzen.

ANMERKUNG 2: Falls der Stromfluß wesentlich länger andauert, als im Diagramm angegeben, kann für U_{Tp} ein Wert von 75 V verwendet werden.

Bild 9.1: Höchste zulässige Berührungsspannung U_{Tp} für begrenzte Stromflußdauer

Seite 80
HD 637 S1:1999

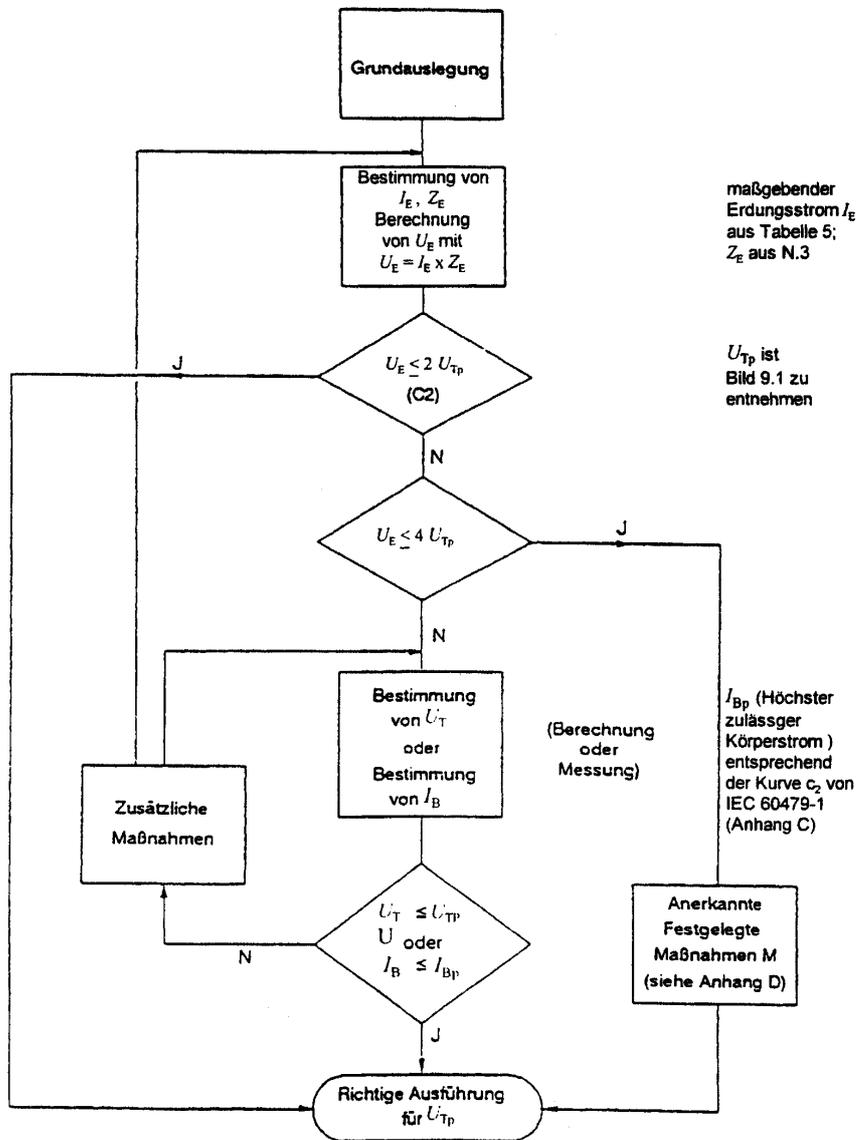


Bild 9.2: Ausführung von Erdungsanlagen, die nicht Teil eines Globalen Erdungssystems (C1) sind, im Hinblick auf zulässige Berührungsspannung U_{TP} durch Überprüfung der Erdungsspannung U_E oder der Berührungsspannung U_T

10 Inspektion, Prüfung und Übernahme vor Ort

Inspektionen und Prüfungen sind durchzuführen, um die Übereinstimmung der Anlage und der Betriebsmittel mit den anwendbaren technischen Spezifikationen nachzuweisen.

Umfang, anwendbare Spezifikationen sowie Art der Dokumentation sind zwischen Hersteller und Betreiber zu vereinbaren.

ANMERKUNG: Besondere Prüfungen vor Ort an fabrikfertigen, typgeprüften Betriebsmitteln und an fabrikfertigen Anlagen sind auf der Grundlage von harmonisierten IEC- oder CENELEC-Normen angebracht.

Der Nachweis kann durch folgende Verfahren erbracht werden:

- Sichtkontrolle,
- Funktionsprüfungen,
- Messungen.

Inspektionen und Prüfungen an Teilen von Anlagen dürfen sowohl nach Lieferung ebenso wie nach Einbau in die Anlage durchgeführt werden.

Gebäuchliche Verfahrensweisen sind z. B.:

- a) Überprüfen der Kennwerte der Betriebsmittel (einschließlich der Bemessungswerte) für die gegebenen Betriebsbedingungen,
- b) Überprüfen der Einhaltung der Mindestabstände zwischen aktiven Teilen und zwischen aktiven Teilen und Erde,
- c) Prüfung der Spannungsfestigkeit von Kabelanlagen,
- d) Überprüfen der Einhaltung von Mindesthöhen und Schutzvorrichtungsabständen,
- e) Sichtkontrollen und/oder Funktionsprüfungen an elektrischen Betriebsmitteln und an Teilen der Anlage,
- f) Funktionsprüfungen und/oder Messungen an Schutz-, Überwachungs-, Meß- und Steuereinrichtungen,
- g) Inspektion von Kennzeichnungen, Sicherheitsschildern und Sicherheitseinrichtungen.

Besondere Anforderungen für Erdungsanlagen sind in 9.6 bis 9.8 angegeben.

Seite 82
HD 637 S1:1999

Anhang A (normativ)

Werkstoffe und Mindestmaße für Erderwerkstoffe, die die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen

Werkstoff	Erderart	Mindestmaße					
		Leiter			Beschichtung/ Mantel		
		Durchmesser (mm)	Querschnitt (mm ²)	Dicke (mm)	Einzelwerte (µm)	Mittelwerte (µm)	
Stahl	feuerverzinkt	Band ²⁾		90	3	63	70
		Profil (einschl. Platten)		90	3	63	70
		Rohr	25		2	47	55
		Rundstab für Tiefenerder	16			63	70
		Runddraht für Oberflächenerder	10				50
	mit Bleimantel ¹⁾	Runddraht für Oberflächenerder	8			1 000	
	mit extrudiertem Kupfermantel	Rundstab für Tiefenerder	15			2 000	
	elektrolytisch verkupfert	Rundstab für Tiefenerder	14,2			90	100
Kupfer	blank	Band		50	2		
		Runddraht für Oberflächenerder		25 ³⁾			
		Seil	1,8 *	25			
		Rohr	20		2		
	verzinkt	Seil	1,8 *	25		1	5
	verzinkt	Band		50	2	20	40
	mit Bleimantel ¹⁾	Seil	1,8 *	25		1 000	
		Runddraht		25		1 000	

* für den Einzeldraht
 1) zum direkten Einbetten in Beton nicht geeignet
 2) Band, gewalzt oder geschnitten, mit abgerundeten Kanten
 3) Unter außergewöhnlichen Bedingungen darf, wenn die Erfahrung gezeigt hat, daß die Korrosionsgefahr extrem niedrig ist, 16 mm² verwendet werden.

Anhang B (normativ)**Bestimmung der Strombelastbarkeit von Erdungsleitern oder Erdern**

Für Fehlerströme, die innerhalb von 5 s abgeschaltet werden, ist der Querschnitt des Erdungsleiters oder des Erders aus folgender Formel B.1 zu berechnen (siehe IEC 60724:1984, Formel F1):

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\Theta_f + \beta}{\Theta_i + \beta}}} \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist:

- A* Querschnitt in mm²
- I* Leiterstrom in A (Effektivwert)
- t* Fehlerstromdauer in s
- K* vom Werkstoff des stromführenden Teiles abhängige Konstante; Tabelle B.1 enthält Werte für die gebräuchlichsten Werkstoffe, wobei eine Ausgangstemperatur von 20 °C angenommen ist.
- β* Kehrwert des Temperaturkoeffizienten des Widerstandes des stromführenden Teiles bei 0 °C (siehe Tabelle B.1)
- Θ_i* Anfangstemperatur in °C. Werte dürfen aus IEC 60287-3-1 entnommen werden. Wenn in nationalen Tabellen kein Wert festgelegt ist, sollten 20 °C als Temperatur des umgebenden Erdreiches in einer Tiefe von 1 m angenommen werden.
- Θ_f* Endtemperatur in °C

Tabelle B.1: Werkstoff-Konstanten

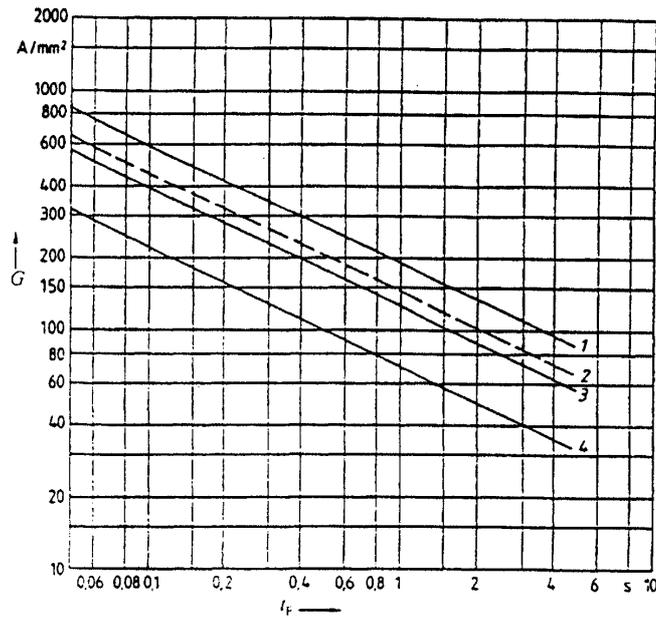
Werkstoff	<i>β</i> in °C	<i>K</i> in A × √s / mm ²
Kupfer	234,5	226
Aluminium	228	148
Stahl	202	78

Bei üblichen Bedingungen, bei denen sich der Erdungsleiter in Luft und der Erder in Erde befindet, darf die Kurzschlußstromdichte *G* (= *I/A*) für Anfangstemperaturen von 20 °C sowie für Endtemperaturen bis 300 °C aus Bild B.1 entnommen werden.

Für länger andauernde Fehlerströme (wie sie in Netzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußkompensation vorkommen) sind die zulässigen Querschnitte in Bild B.2 angegeben. Wenn eine von 300 °C abweichende Endtemperatur (siehe Bild B.2, Linien 1, 3 und 4) gewählt wird, darf der Strom mit einem Faktor berechnet werden, der aus Tabelle B.2 zu wählen ist. Zum Beispiel werden niedrigere Endtemperaturen für isolierte Leiter und in Beton eingebettete Leiter empfohlen.

Tabelle B.2: Faktoren zur Umrechnung des Dauerstromes von 300 °C Endtemperatur auf eine andere Endtemperatur

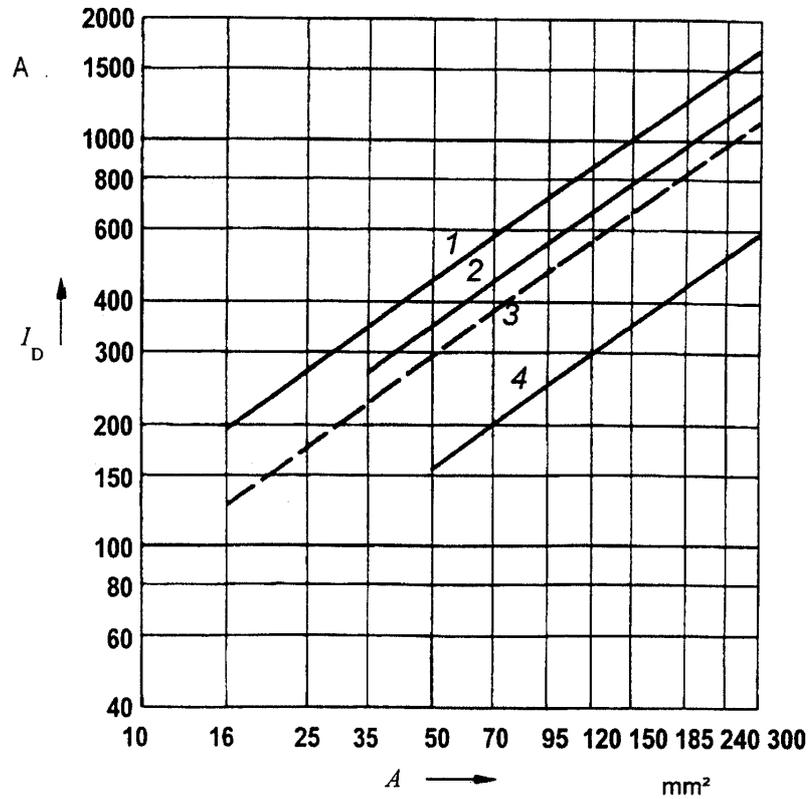
Endtemperatur in °C	Umrechnungsfaktor
400	1,2
350	1,1
300	1,0
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6



Die Linien 1, 3 und 4 gelten für eine Endtemperatur von 300 °C, Linie 2 gilt für 150 °C.

- 1 Kupfer, blank oder verzinkt
- 2 Kupfer, verzinkt oder mit Bleimantel
- 3 Aluminium, nur für Erdungsleiter
- 4 Verzinkter Stahl

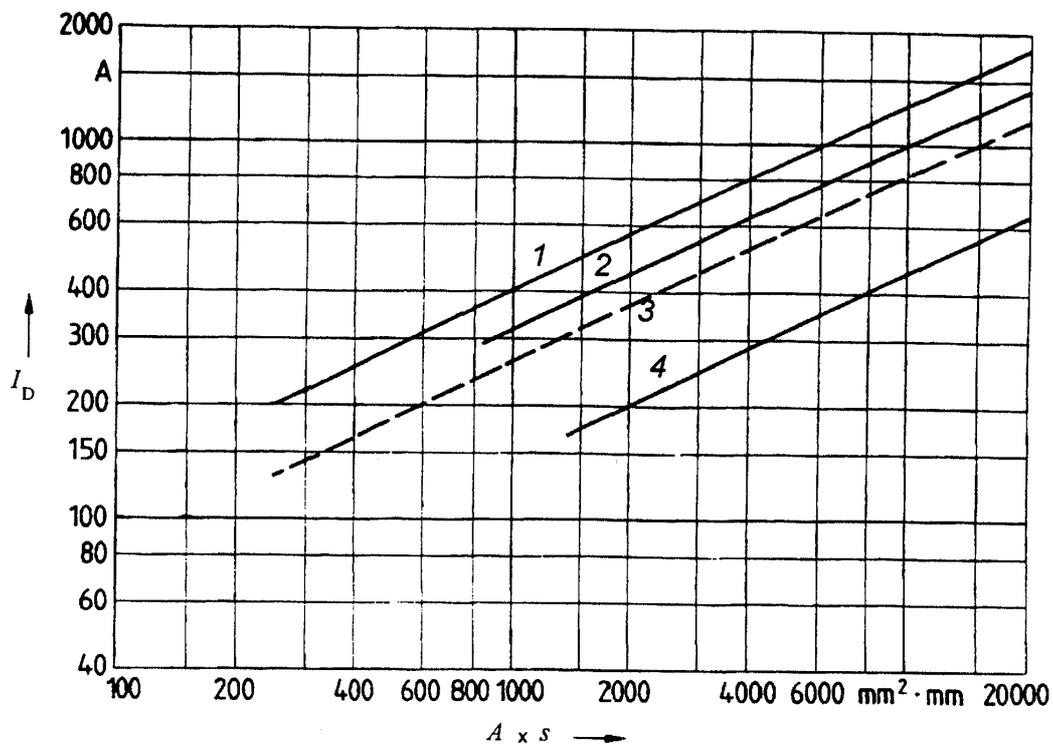
Bild B.1: Kurzschlußstromdichte G für Erdungsleiter und Erder in Abhängigkeit von der Fehlerstromdauer t_f



Die Linien 1, 2 und 4 gelten für eine Endtemperatur von 300 °C, Linie 3 gilt für 150 °C. Tabelle B.2 enthält Faktoren zur Umrechnung auf andere Endtemperaturen.

- 1 Kupfer, blank oder verzinkt
- 2 Aluminium
- 3 Kupfer, verzinkt oder mit Bleimantel
- 4 Verzinkter Stahl

Bild B.2a: Dauerstrom I_D für Erdungsleiter mit kreisförmigem Querschnitt (A)



Linien 1, 2 und 4 gelten für eine Endtemperatur von 300 °C, Linie 3 gilt für 150 °C. Tabelle B.2 enthält Faktoren zur Umrechnung auf andere Endtemperaturen.

- 1 Kupfer, blank oder verzinkt
- 2 Aluminium
- 3 Kupfer, verzinkt oder mit Bleimantel
- 4 Verzinkter Stahl

Bild B.2b: Dauerstrom I_D für Erdungsleiter mit rechteckförmigem Querschnitt in Abhängigkeit vom Produkt Querschnitt mal Profilmumfang ($A \cdot s$)

Anhang C (normativ)**Berührungsspannung und Körperstrom****C.1 Zusammenhang zwischen Berührungsspannung und Körperstrom**

Zur Berechnung von zulässigen Werten der Berührungsspannung in Hochspannungsanlagen werden folgende Annahmen gemacht:

- Stromweg über eine Hand und beide Füße,
- 50 % Wahrscheinlichkeit für den Wert der Körperimpedanz,
- 5 % Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Herzkammerflimmern,
- keine zusätzlichen Widerstände.

ANMERKUNG: Diese Annahmen ergeben unter Berücksichtigung von Erfahrungen, besonders ausgebildetem Personal, vertretbaren Kosten usw. eine Berührungsspannungskurve mit einem Restrisiko, das bei Erdfehlern in einer Hochspannungsanlage akzeptiert werden kann.

Unter der Annahme, daß die Grundlage für Berechnungen im Zusammenhang mit Körperströmen die IEC/TR2 60479-1 ist und bei Berücksichtigung von Kurve c_2 in Bild 14 der IEC/TR2 60479-1:1994 (Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern kleiner als 5 % bei einem Stromweg linke Hand gegen beide Füße) als zulässige Grenze für den Strom, ergibt sich folgende Tabelle C.1:

Tabelle C.1: Höchster zulässiger Körperstrom I_B in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_F

Fehlerdauer s	Körperstrom mA
0,05	900
0,1	750
0,2	600
0,5	200
1	80
2	60
5	51
10	50

Um nun die zutreffenden zulässigen Berührungsspannungen zu erhalten, ist es erforderlich, die Gesamtkörperimpedanz zu bestimmen. Diese Impedanz ist abhängig von der Berührungsspannung und vom Stromweg; für den Stromweg Hand zu Hand oder Hand zu einem Fuß werden in IEC/TR2 60479-1 Werte angegeben, aus denen die nachfolgende Tabelle C.2 abgeleitet wurde (Wahrscheinlichkeit für die Körperimpedanz ≤ 50 %):

Tabelle C.2: Gesamtkörperimpedanz Z_B in Abhängigkeit von der Berührungsspannung U_T für einen Stromweg Hand - Hand oder Hand - Fuß

Berührungsspannung V	Gesamtkörperimpedanz Ω
25	3 250
50	2 625
75	2 200
100	1 875
125	1 625
220	1 350
700	1 100
1 000	1 050

Seite 88
HD 637 S1:1999

Wegen der Berücksichtigung eines Stromweges Hand gegen beide Füße muß ein Korrekturfaktor 0,75 für die Körperimpedanz verwendet werden (Tabelle 2, IEC/TR2 60479-1). Bei Verknüpfung der beiden Tabellen und Berücksichtigung dieses Korrekturfaktors ist es mit einem Iterationsverfahren möglich, die Grenze für die Berührungsspannung für jede Fehlerdauer zu berechnen. Das Ergebnis zeigt Bild 9.1. In Tabelle C.3 sind Werte einiger Punkte der Kurve aus Bild 9.1 dargestellt.

Tabelle C.3: Berechnete Werte der zulässigen Berührungsspannung U_{Tp} in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_F

Fehlerdauer t_F s	Zulässige Berührungsspannung U_{Tp} V
10	80
1,1	100
0,72	125
0,64	150
0,49	220
0,39	300
0,29	400
0,20	500
0,14	600
0,08	700
0,04	800

C.2 Berücksichtigung zusätzlicher Widerstände

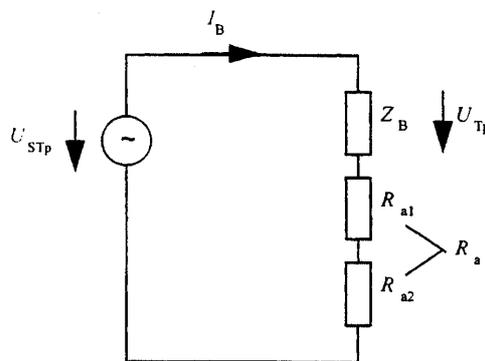


Bild C.1: Ersatzschaltbild des Berührungsstromkreises

Legende zu Bild C.1 und Tabelle C.3 und Tabelle C.4:

- U_{STP} Grenzwert der Potentialdifferenz, die im Berührungsstromkreis als Quellenspannung wirkt, durch den die Sicherheit einer Person sichergestellt ist, wenn bekannte zusätzliche Widerstände (z. B. Schuhe, hochohmiges Material am Standort) verwendet werden. Wenn keine zusätzlichen Widerstände berücksichtigt werden, ist U_{STP} gleich U_{Tp} (siehe Bild 9.1).
- Z_B Körperimpedanz
- I_B Strom, der durch den menschlichen Körper fließt
- U_{Tp} Zulässige Berührungsspannung (Spannung über den menschlichen Körper)

- R_a Zusätzlicher Widerstand ($R_a = R_{a1} + R_{a2}$)
- R_{a1} z. B. Widerstand der Schuhe
- R_{a2} Ausbreitungswiderstand des Standortes
- ρ_s Spezifischer Erdwiderstand an der Oberfläche in einer Anlage (in Ωm)
- t_F Fehlerdauer

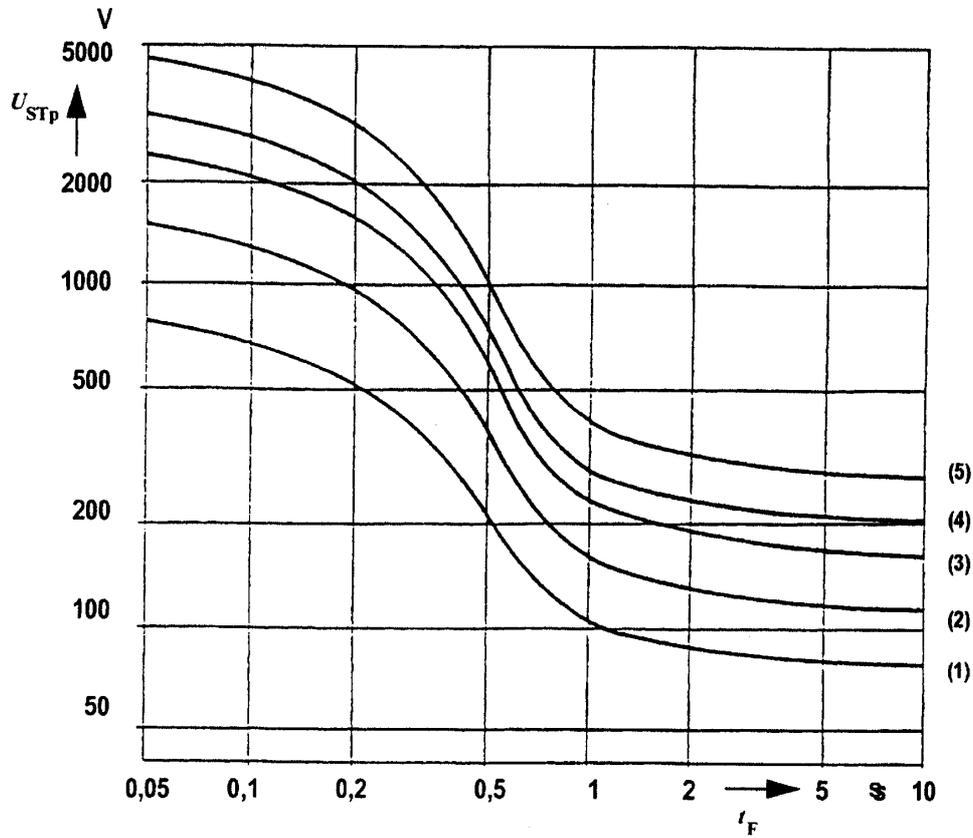
Tabelle C.4: Annahmen für die Rechnungen mit zusätzlichen Widerständen

Art der Berührung	Linke Hand - beide FüÙe
Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Wert von Z_B nicht überschritten wird	50 %
Kurve $I_B = f(t_F)$	c ₂ in Bild 14 von IEC/TR2 60479-1:1994
Ersatzimpedanz des Stromkreises	$Z_B(50\%) + R_a$
Zusatzwiderstand	$R_a = R_{a1} + R_{a2}$ $= R_{a1} + 1,5 \cdot m^{-1} \cdot \rho_s$

Berechnungsweg:

t_F		Fehlerdauer
⇓		
U_{Tp}	$= f(t_F)$	entsprechend C.1 (bzw. Bild 9.1)
⇓		
Z_B	$= f(U_{Tp})$	entsprechend C.1, Tab. C.2 (bzw. IEC/TR2 60479-1, Bild 4 und 5)
I_B	$= \frac{U_{Tp}}{Z_B}$	lt. Definition
⇓		
$U_{STp}(t_F)$	$= U_{Tp}(t_F) + (R_{a1} + R_{a2}) \times I_B$	
	$= U_{Tp}(t_F) \times \left(1 + \frac{R_a}{Z_B}\right)$	

In Bild C.2 werden Kurven $U_{STp} = f(t_F)$ für vier Werte von R_a dargestellt.



- (1) ohne Zusatzwiderstände (entsprechend Bild 9.1)
 (2) $R_a = 750 \Omega$ ($R_{a1} = 0 \Omega$; $\rho_s = 500 \Omega m$)
 (3) $R_a = 1750 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$; $\rho_s = 500 \Omega m$)
 (4) $R_a = 2500 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$; $\rho_s = 1000 \Omega m$)
 (5) $R_a = 4000 \Omega$ ($R_{a1} = 1000 \Omega$; $\rho_s = 2000 \Omega m$)

ANMERKUNG: $R_{a1} = 1000 \Omega$ ist ein Durchschnittswert für gebrauchte feuchte Schuhe.

Bild C.2: Beispiele für Kurven $U_{STP} = f(t_F)$ bei verschiedenen Zusatzwiderständen $R_a = R_{a1} + R_{a2}$

Anhang D (normativ)

Beschreibung der anerkannten festgelegten Maßnahmen M

(im folgenden "Ersatzmaßnahmen" genannt)

Tabelle D.1: Bedingungen für die Anwendung der Ersatzmaßnahmen M, um die zulässigen Berührungsspannungen U_{Tp} sicherzustellen (siehe Bild 9.1)

Fehlerdauer t_F	Erdungsspannung U_E	An Außenwänden und Umzäunungen von Anlagen	Innerhalb der Anlagen	
			Innenraumanlage	Freiluftanlage
$t_F > 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M 1 oder M 2	M 3	M 4.1 oder M 4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Nachweis $U_T \leq U_{Tp}$	M 3	M 4.2
$t_F \leq 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \times U_{Tp}$	M 1 oder M 2	M 3	M 4.2
	$U_E > 4 \times U_{Tp}$	Nachweis $U_T \leq U_{Tp}$		

- M 1: Ersatzmaßnahmen für Außenwände von Gebäuden mit Innenraumanlagen.
Als Schutz gegen außen vorhandene Berührungsspannungen darf eine der Ersatzmaßnahmen M 1.1 bis M 1.3 angewendet werden.
- M 1.1: Verwendung von nichtleitfähigem Material für die Außenwände (z. B. Mauerwerk oder Holz) sowie Vermeidung von geerdeten Metallteilen, die von außen berührt werden können.
- M 1.2: Potentialsteuerung durch einen Oberflächenerder in einem Abstand von etwa 1 m außerhalb der Außenwand und in einer Tiefe von höchstens 0,5 m, der an die Erdungsanlage angeschlossen ist.
- M 1.3: Isolierung des Standortes: Die Isolierschicht muß eine ausreichende Ausdehnung aufweisen, so daß eine Berührung von geerdeten leitfähigen Teilen mit der Hand von einem Standort außerhalb dieser Isolierschicht nicht möglich ist.
Ist eine Berührung nur in seitlicher Richtung möglich, so genügt eine Breite der Isolierschicht von 1,25 m.
Die Isolierung des Standortes gilt als ausreichend bei einer
- Schotterschicht mit einer Dicke von mindestens 100 mm,
 - Asphalttschicht mit angemessenem Unterbau (z. B. Kies),
 - Isoliermatte mit einer Mindestfläche von 1 000 mm x 1 000 mm und einer Dicke von mindestens 2,5 mm oder einer Maßnahme, die eine gleichwertige Isolierung sicherstellt.

Seite 92
HD 637 S1:1999

- M 2:** Ersatzmaßnahmen an äußeren Umzäunungen von Freiluftanlagen
Als Schutz gegen außen vorhandene Berührungsspannungen darf eine der Ersatzmaßnahmen M 2.1 bis M 2.3 angewendet werden; bei Toren in äußeren Umzäunungen muß die Ersatzmaßnahme M 2.4 zusätzlich beachtet werden.
- M 2.1:** Verwenden von Zäunen aus nichtleitendem Material oder aus ummanteltem Maschendraht (auch bei Verwendung von nicht isolierten leitfähigen Pfählen).
- M 2.2:** Verwendung von metallischen Zäunen mit Potentialsteuerung durch einen mit dem Zaun verbundenen Oberflächenerder, in einem Abstand von etwa 1 m außerhalb des Zaunes und in einer Tiefe von höchstens 0,5 m. Die Verbindung mit der Erdungsanlage ist freigestellt (siehe jedoch Ersatzmaßnahme M 2.4).
- M 2.3:** Isolierung des Standortes entsprechend Ersatzmaßnahme M 1.3 sowie Erdung des Zaunes entweder entsprechend Normativem Anhang F (normativ) oder durch Verbindung mit der Erdungsanlage.
- M 2.4:** Sind Tore in äußeren Umzäunungen direkt oder über Schutzleiter oder Metallmäntel von Kabeln für Rufanlagen usw. mit der Erdungsanlage verbunden, ist im Schwenkbereich der Tore eine Potentialsteuerung oder Isolierung des Standortes entsprechend der Ersatzmaßnahme M 1.3 vorzusehen.
Wenn die Tore eines getrennt geerdeten leitfähigen Zaunes mit der eigentlichen Erdungsanlage verbunden werden sollen, sollen die Tore von den leitfähigen Teilen des Zaunes in der Art getrennt werden, daß eine elektrische Isolierung über mindestens 2,5 m sichergestellt ist. Dies kann erreicht werden, indem ein Zaunabschnitt aus nicht leitfähigem Material verwendet wird oder ein leitfähiger Zaun mit isolierenden Trennstellen an jedem Ende. Es ist darauf zu achten, daß die elektrische Trennung auch erhalten bleibt, wenn das Tor ganz geöffnet ist.
- M 3:** Ersatzmaßnahmen in Innenraumanlagen
In Innenraumanlagen darf eine der Ersatzmaßnahmen M 3.1 bis M 3.3 angewendet werden.
- M 3.1:** Potentialsteuerung durch in Gebäudefundamente eingebettete Gittererder (z. B. mit einem Mindestquerschnitt von 50 mm² und größten Maschenbreiten von 10 m oder Baustahlmatten) und Anschluß an die Erdungsanlage an mindestens zwei räumlich voneinander getrennten Stellen.
Wenn die Bewehrung von Stahlbeton auch für die Ableitung von Fehlerströmen verwendet wird, muß geprüft werden, ob die Bewehrung für diesen Zweck geeignet ist.
Wenn Baustahlmatten verwendet werden, sind die angrenzenden Matten mindestens einmal untereinander zu verbinden, und alle Matten zusammen sind mindestens an zwei Stellen an die Erdungsanlage anzuschließen.
Bei bestehenden Gebäuden darf ein Oberflächenerder verwendet werden, der in der Nähe der Außenwände in die Erde einzubringen und mit der Erdungsanlage zu verbinden ist.
- M 3.2:** Ausführung des Bedienungsstandortes aus Metall (z. B. ein Metallgitter oder eine Metallplatte) und Verbinden mit allen vom Standort aus berührbaren, zu erdenden metallenen Teilen.
- M 3.3:** Isolierung der Bedienungsstandorte für die Erdungsspannung entsprechend der Ersatzmaßnahme M 1.3. Hierbei sind zum Potentialausgleich die vom Bedienungsstandort aus gleichzeitig berührbaren, zu erdenden metallenen Teile untereinander zu verbinden.

M 4: Ersatzmaßnahmen in Freituftanlagen

M 4.1: An Bedienungsstandorten:

Potentialsteuerung durch einen Oberflächenerder in einer Tiefe von etwa 0,2 m und in einem Abstand von etwa 1 m von dem zu betätigenden Teil. Dieser Oberflächenerder ist mit allen, vom Bedienungsstandort aus berührbaren, zu erdenden metallenen Teilen zu verbinden.

Oder

Ausführung des Bedienungsstandortes aus Metall (z. B. Metallgitter oder Metallplatte) und Verbinden mit den vom Standort aus berührbaren, zu erdenden metallenen Teilen.

oder

Isolieren des Standortes entsprechend der Ersatzmaßnahme M 1.3. Hierbei sind zum Potentialausgleich die vom Bedienungsstandort aus gleichzeitig berührbaren, zu erdenden metallenen Teile untereinander zu verbinden.

M 4.2: Einbringung eines Oberflächenerders, der die Erdungsanlage in Form eines geschlossenen Ringes umgibt. Innerhalb dieses Ringes ist ein Erdermaschennetz zu erstellen, dessen einzelne Maschen eine maximale Größe von 10 m x 50 m haben. An einzelnen Teilen der Anlage, die sich außerhalb des Ringes befinden, und die mit der Erdungsanlage verbunden sind, ist ein Steuererder in etwa 1 m Abstand und etwa 0,2 m Tiefe vorzusehen (z. B. Beleuchtungsmaste, die über Schutzleiter mit der Erdungsanlage verbunden sind).

Seite 94
HD 637 S1:1999

Anhang E (normativ)

Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung der Auswirkungen von Hochfrequenzstörungen

Obwohl eine Erdungsanlage in der Hauptsache dazu ausgelegt ist, um den auf 50-Hz-Strömen beruhenden Anforderungen zu genügen, müssen auch die auf Hochfrequenzströmen beruhenden Anforderungen Berücksichtigung finden. Solche Ströme können hauptsächlich durch Blitze oder Schaltvorgänge in Hochspannungsanlagen entstehen. Die sich ergebenden transienten Ströme oder die entsprechenden Spannungen können z. B. die Funktion von Steuer- und Schutzeinrichtungen stören. Eine Reduzierung der Beeinflussung durch Veränderungen an der vorhandenen Erdungsanlage ist nur mit sehr hohem Aufwand möglich; deshalb sind die folgenden Punkte zu berücksichtigen, wenn eine Erdungsanlage projektiert und errichtet wird:

- a) Die Induktivität der Stromwege muß so klein wie möglich sein:
- Erder und Erdungsleiter müssen eng vermascht sein.
 - In Bereichen, in denen das Auftreten hoher transienter Ströme wahrscheinlich ist, sollte die Maschendichte des Erdungsnetzes erhöht werden. Das gilt vor allem für Überspannungsableiter, Spannungswandler, Stromwandler und gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen.
 - Die Erdungspunkte von Hochspannungs-Betriebsmitteln, Steuerschränken, Relaishäuschen, usw. sollten zu einer Masche verbunden werden.
 - Der Anschluß an die Erdungsanlage sollte durch einen Erdungsleiter erfolgen, der so kurz wie möglich ist.
 - An Kreuzungspunkten müssen die Erdungsleiter verbunden werden.
 - Sich ergebende Schleifen müssen kurzgeschlossen werden.
 - Die gegenseitige Impedanz (Koppelimpedanz) kann reduziert werden, indem entweder mehrere parallele Erder oder Erdungsleiter mindestens 0,5 m voneinander getrennt verlegt werden oder durch Aufteilung eines Leiters und getrennte Verlegung der Einzelleiter.
 - In Kabelkanälen sollten parallel zum Kabel Erdungsleiter verlegt werden. Die Kabelschirme sollten an beiden Kabelenden mit der Erdungsanlage verbunden werden. Der Schirm muß für den zu übernehmenden Anteil des Fehlerstromes ausgelegt sein.
- b) Um eine bessere elektromagnetische Abschirmung und einen Stromweg mit geringer Induktivität zu erreichen, sollten metallische Konstruktionsteile sowie in Beton eingebetteter Stahl mit der Erdungsanlage verbunden werden.

ANMERKUNG: Außer der Verwendung zur Potentialsteuerung und/oder zur Erdung können die Armierung von Stahlbeton und metallische Konstruktionsteile auch eine Schirmwirkung zwischen den empfindlichen und den aussendenden Bereichen (z. B. Anschlußstelle eines Hochspannungskabels an eine GIS-Anlage) haben. Die Schirmwirkung kann in diesem Fall verbessert werden, indem man die Maschenweite der Stahlbeton-Armierung verkleinert und dieses Netz aus Stahlbewehrung eng mit den Metallteilen der GIS-Anlage oder den Schirmen von Steuerkabeln, die durch den Beton geführt werden, verbindet. Erdungsleiter, die untereinander leitfähig verbunden werden müßten, sind nur erforderlich, wenn höhere Ströme zu berücksichtigen sind, oder wenn die Bewehrung einen Teil des Erdungsnetzes bildet. Üblicherweise genügt die vielfache Verbindung der Bewehrung durch Drähte. Es müssen so viele Anschlußstellen vorgesehen werden, daß alle Teile untereinander und mit der Erdungsanlage an mehreren Stellen verbunden werden können.

Anhang F (normativ)**Spezielle Maßnahmen zur Erdung von Betriebsmitteln und Anlagen****F.1 Anlagenumzäunungen**

Blanke Metallzäune müssen geerdet werden. Dafür müssen mehrere Erdungspunkte verwendet werden, z. B. an jeder Ecke. Entsprechend den örtlichen Bedingungen (Zaun innerhalb oder außerhalb der Erdungsanlage) sollte die Erdverbindung entweder an der Hochspannungserdungsanlage oder an gesonderten Erdern erfolgen.

Blanke Metallteile der Einzäunung, die mit Isolierstoff beschichtet sind, müssen nicht geerdet werden.

Alle mechanischen Unterbrechungen der Einzäunung, die eine Anlage umgibt, z. B. durch Tore, müssen so verbunden sein, daß sichergestellt ist, daß keine gefährlichen Potentiale zwischen den Zaunteilen entstehen.

F.2 Rohrleitungen

Metallrohre im Stationsgelände sollten mit der Stationserdungsanlage verbunden werden.

Die Verwendung von Metallrohren, die von außen in das Stationsgelände kommen, z. B. Wasserversorgung, sollte vermieden und dafür nichtmetallische Werkstoffe verwendet werden.

F.3 Anschlußgleise

Die Schienen nichtelektrifizierter Bahnnetze, die in das Stationsgelände führen, müssen mit der Stationserdungsanlage verbunden werden.

Am Rande des Stationsgeländes müssen geeignete Isolierstöße derart eingefügt werden, daß die elektrische Trennung vom übrigen Teil des Bahnnetzes erhalten bleibt. In manchen Fällen können zwei Isolierstöße erforderlich sein, um das Überbrücken durch die Zugeinheit zu verhindern. Besondere Beachtung ist den Bedienungsstellen am Gleis zu widmen. Bei der Festlegung von Maßnahmen, sollte der Eigentümer des Bahnnetzes konsultiert werden, außerdem sollten die Festlegungen in 9.3.3 berücksichtigt werden.

F.4 Maststationen und/oder Mastschalter

Im allgemeinen sind alle auf Masten montierte Transformatoranlagen, ganz gleich ob mit oder ohne Schalteinrichtungen, zu erden.

In Fällen, in denen auf dem Mast nur ein Transformator angebracht ist, erfüllt eine kleinere Erdungsanlage (z. B. Tiefenerder, Ringerder oder die Gründung eines leitfähigen Mastes) die Anforderungen an die Erdung eines Transformators.

Im allgemeinen sind Schalteinrichtungen, die auf Masten montiert sind, die aus Stahl oder einem anderen leitfähigen Werkstoff oder aus bewehrtem Beton bestehen, zu erden. An der Betätigungsstelle muß die Erdungsanlage mindestens aus einem geerdeten Rost als Potentialausgleich bestehen. Wenn eine Standortisolierung an der Betätigungsstelle vorhanden ist oder wenn die Schalthandlung mit Hilfe isolierter Ausrüstung (z. B. isolierende Werkzeuge, Matten oder Handschuhe) durchgeführt wird, kann eine kleinere Erdungsanlage (z. B. Tiefenerder oder Ringerder) ausreichend sein.

Schalteinrichtungen, die auf Masten aus nichtleitfähigem Material montiert sind, brauchen nicht geerdet werden. Wenn sie nicht geerdet sind, müssen mechanisch zuverlässige Isolatoren (z. B. Vollkernisolatoren) außerhalb des üblichen Handbereichs in das Betätigungsgestänge eingebaut werden.

Seite 96
HD 637 S1:1999

Diese müssen für die Nennspannung bemessen sein. Der vom Erdboden aus berührbare Teil des Antriebes, muß zur Ableitung von möglichen Kriechströmen geerdet werden. Hierfür genügt ein Erdungsstab von mindestens 1 m Länge oder ein Oberflächenerder um den Mast in einem Abstand von etwa 1 m. Erder und Erdungsleiter müssen den Mindestquerschnitten entsprechend Anhang A (normativ) sowie 9.2.2 und 9.2.3 entsprechen.

F.5 Sekundärstromkreise von Meßwandlern

Die Sekundärkreise aller Meßwandler müssen so nahe wie möglich an den Sekundär-Anschlußklemmen des Meßwandlers geerdet werden.

Der Mindestquerschnitt nach 9.2.2.2 gilt nicht für diese Art von Geräten. Als Mindestquerschnitt werden 2,5 mm² Kupfer gefordert; wenn der Erdungsleiter mechanisch ungeschützt ist, sind 4 mm² Kupfer erforderlich.

Wenn es jedoch erforderlich ist, an anderen Punkten zu erden, dann darf dort keine Möglichkeit bestehen, daß die Erde versehentlich abgetrennt wird.

Anhang G (normativ)**Messung von Berührungsspannungen**

Zur Messung von Berührungsspannungen muß ein Strom/Spannungs-Meßverfahren angewendet werden (siehe Anhang N (informativ)).

Die Berührungsspannung wird unter der Annahme ermittelt, daß der menschliche Körper einen Widerstand von $1\text{ k}\Omega$ darstellt.

Die Meßelektrode(n) als Nachbildung der Füße muß (müssen) eine Gesamtfläche von 400 cm^2 aufweisen und auf der Erde mit einer Mindest-Gesamtkraft von 500 N aufliegen.

Wenn keine zusätzlichen Widerstände berücksichtigt werden sollen, darf anstelle der Meßelektrode eine mindestens 20 cm in die Erde getriebene Sonde verwendet werden. Zur Messung der Berührungsspannung in einem beliebigen Teil der Anlage ist die Elektrode in einem Abstand von 1 m von dem berührbaren Anlagenteil aufzusetzen, bei Beton oder ausgetrocknetem Boden sollte sie auf einem nassen Tuch oder einem Wasserfilm liegen. Zur Nachbildung der Hand muß eine Elektrode mit Spitze zum sicheren Durchstoßen eines Farbanstriches (keine Isolation) verwendet werden. Die eine Anschlußklemme des Spannungsmeßgerätes wird mit der Handelektrode, die andere mit der Fußelektrode verbunden. Es ist ausreichend, solche Messungen in einer Anlage stichprobenartig durchzuführen.

ANMERKUNG: Um schnell einen Überblick über die Quellenspannung im Berührungsstromkreis (U_{STp}) zu erhalten, ist es oft ausreichend, die Messung mit einem Spannungsmesser mit hohem Innenwiderstand und einer 10 cm tief eingebrachten Sonde durchzuführen.

Seite 98
HD 637 S1:1999

Anhang H (informativ)

Schutzmethoden gegen direkten Blitzeinschlag

Modellversuche, Messungen, Beobachtungen und Erfahrungen über viele Jahre haben gezeigt, daß direkte Blitzeinschläge durch folgende Anordnungen von Blitzschutzseilen oder -stangen mit hoher Sicherheit verhindert werden können. Die in den Bildern H.1 bis H.4 dargestellten Schutzräume gelten bis zu einer Höhe von 25 m. Bei Höhen über 25 m verringert sich der Schutzraum.

ANMERKUNG: Die Höhe von 25 m entspricht den Verhältnissen in einem 420 kV-Netz.

Im folgendem wird eine Methode angegeben, mit der eine ausreichende Schutzwirkung ohne eingehende Studie der Isolationskoordination erzielbar ist.

H.1 Blitzschutzseile

Ein einzelnes Blitzschutzseil ergibt einen zeltförmigen Schutzraum, dessen Begrenzung durch Kreisbögen mit dem Radius $2 \times H$ gebildet wird, die am Blitzschutzseil (siehe Bild H.1) beginnen und den Seilen in Längsrichtung folgen.

Zwei Blitzschutzseile mit einem Abstand kleiner $2 \times H$ ergeben eine Vergrößerung des Schutzraumes, der durch einen Kreisbogen mit dem Radius R um den Mittelpunkt M_R in der Höhe $2 \times H$, beginnend an den Blitzschutzseilen, begrenzt ist.

Dieser Schutzraum verläuft kontinuierlich entlang der Spannweite der Leiter.

H.2 Blitzschutzstangen

Aufwärts gerichtete Streamer-Entladungen entwickeln sich von Blitzschutzstangen aus früher als von Blitzschutzseilen aus.

Der Schutzraum von Blitzschutzstangen ist deshalb bei gleicher Höhe im allgemeinen größer als der von Blitzschutzseilen.

Eine einzelne Blitzschutzstange ergibt einen kegelförmigen Schutzraum, dessen Begrenzung von einem durch die Spitze der Blitzschutzstange verlaufenden Kreisbogen mit dem Radius $3 \times H$ gebildet wird (siehe Bild H.3).

Zwei Blitzschutzstangen in einem Abstand kleiner $3 \times H$ ergeben eine Vergrößerung des Schutzraumes (siehe Bild H.4), der durch einen Kreisbogen mit Radius R um den Mittelpunkt M_R in der Höhe $3 \times H$, beginnend an den Spitzen der Blitzschutzstangen, begrenzt wird.

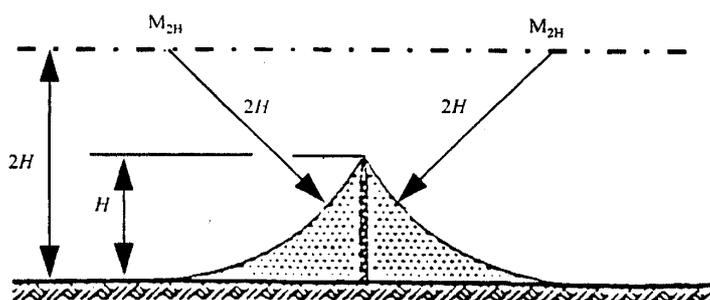


Bild H.1: Einzelnes Blitzschutzseil

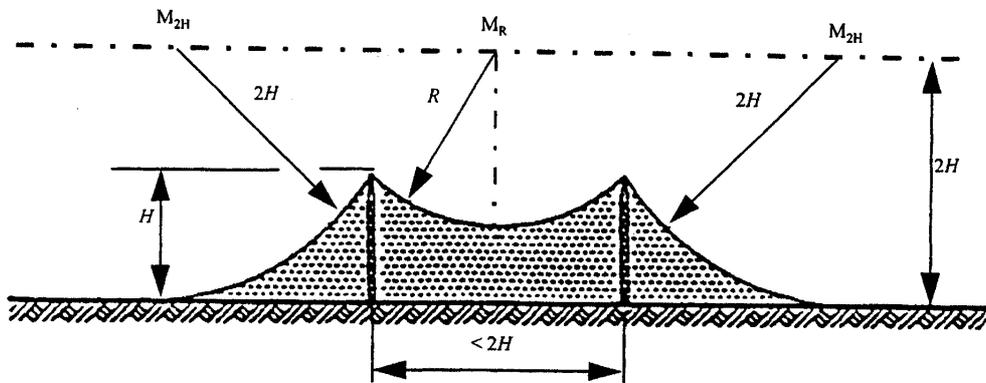


Bild H.2: Zwei Blitzschutzseile

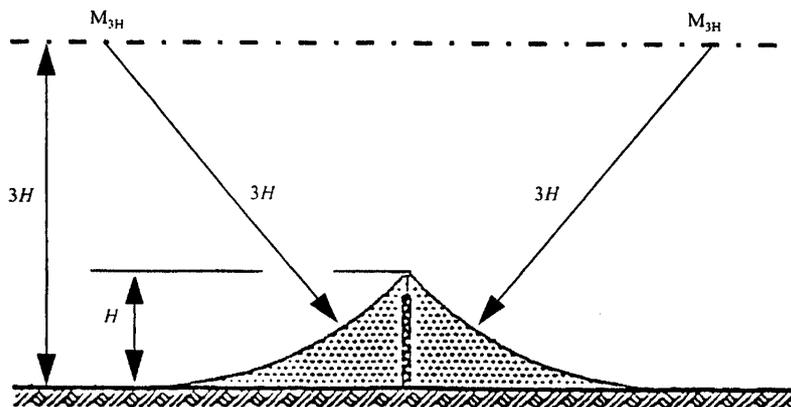


Bild H.3: Einzelne Blitzschutzstange

Seite 100
HD 637 S1:1999

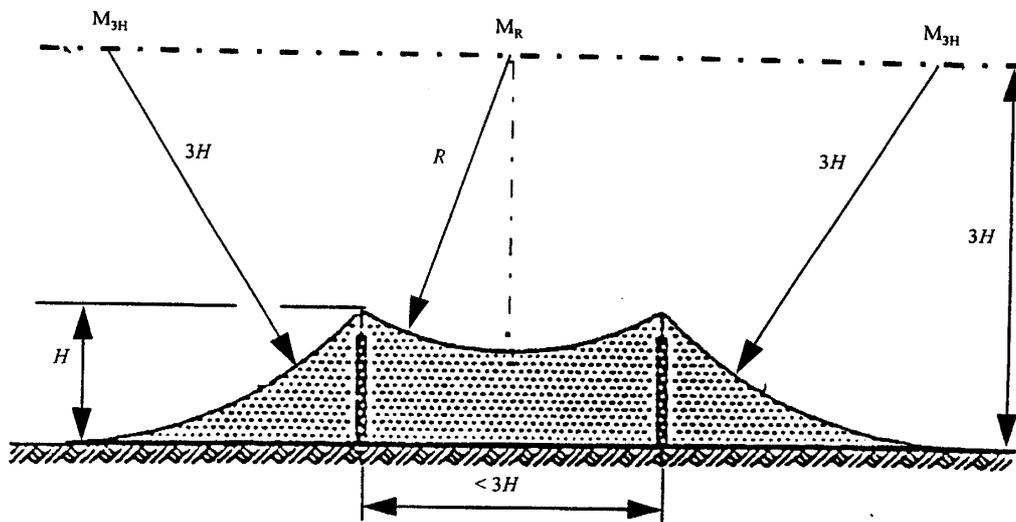


Bild H.4: Zwei Blitzschutzstangen

Anhang J (informativ)**Reduktionsfaktoren von Erdseilen bei Freileitungen und metallenen Schirmen bei Kabeln****J.1 Allgemeines**

Erdseile von Freileitungen und metallene Schirme von Erdkabeln sind an der Ableitung von Fehlerströmen, die über Erde abfließen, beteiligt. Sie übernehmen einen Teil des Erdfehlerstromes des entsprechenden Stromkreises gemäß Bild 2.2 dieser Norm. Durch diesen Effekt wird die durch einen Erdfehler betroffene Hochspannungs-Erdungsanlage hinsichtlich des Erdfehlerstromes wirksam entlastet. Das Ausmaß dieser Entlastung wird durch den Reduktionsfaktor beschrieben.

Der Reduktionsfaktor r für ein Erdseil einer Drehstromfreileitung ist das Verhältnis des Rückstromes in der Erde (entspr. dem Erdungsstrom) zur Nullstromsumme des Drehstromkreises.

$$r = \frac{I_E}{3 I_0} = \frac{3 I_0 - I_{EW}}{3 I_0}$$

mit I_{EW} Strom im Erdseil (im ausgeglichenen Zustand)

I_E Erdungsstrom

$3 I_0$ Summe der Nullströme

Die gleiche Definition ist auf den Reduktionsfaktor r von Erdkabeln mit metallenen Mantel, Schirm, Bewehrung oder ein umgebendes Stahlrohr anwendbar. Statt des Stromes im Erdseil I_{EW} ist der Strom im metallenen Mantel zu verwenden.

Für die ausgeglichene Stromverteilung einer Freileitung kann der Reduktionsfaktor eines Erdseiles auf der Grundlage der Selbstimpedanzen der Leiter Z_{L-E} und des Erdseiles Z_{EW-E} und der Koppelimpedanz zwischen Leitern und Erdseil Z_{ML-EW} berechnet werden.

$$r = \frac{Z_{EW-E} - Z_{ML-EW}}{Z_{EW-E}} = 1 - \frac{Z_{ML-EW}}{Z_{EW-E}}$$

Der maßgeblichste Term von Z_{ML-EW} ist der mittlere Abstand zwischen Leitern und Erdseil, von Z_{EW-E} der Widerstand des Erdseiles. Dabei vergrößert (r wird kleiner) sich die reduzierende Wirkung eines Erdseiles hinsichtlich des Erdfehlerstromes mit kleinerem Abstand zwischen Leiter und Erdseil und mit kleinerem Widerstand des Erdseiles.

J.2 Typische Werte für Reduktionsfaktoren von Freileitungen und Kabeln (50 Hz)

Erdseile von Freileitungen (110 kV)

Stahl 50 ... 70 mm ²	$r = 0,98$
Al/St 44/32 mm ²	$r = 0,77$
Al/St 300/50 mm ²	$r = 0,61$

Papierisolierte Kabel (10 und 20 kV)

Cu 95 mm ² /1,2 mm Bleimantel	$r = 0,2 - 0,6$
Al 95 mm ² /1,2 mm Aluminiummantel	$r = 0,2 - 0,3$

Einleiter-XLPE-Kabel (10 und 20 kV)

Cu 95 mm ² /16 mm Kupferschirm	$r = 0,5 - 0,6$
---	-----------------

Einleiter-Ölkabel (110 kV)

Cu 300 mm ² /2,2 mm Aluminiummantel	$r = 0,37$
--	------------

Gasdruckkabel im Stahlrohr (110 kV)

Cu 300 mm ² /1,7 mm Stahl	$r = 0,01 - 0,03$
--------------------------------------	-------------------

Seite 102
HD 637 S1:1999

Einleiter-XLPE-Kabel (110 kV)

Cu 300 mm²/35 mm² Kupferschirm $r = 0,32$

Einleiter-Ölkabel (400 kV)

Cu 1 200 mm²/1 200 mm² Aluminiummantel $r = 0,01$

Anhang K (informativ)**Grundlagen für die Ausführung von Erdungsanlagen****K.1 Spezifischer Erdwiderstand**

Der spezifische Erdwiderstand ρ_E ist je nach Bodenart, Körnung, Dichte und Feuchtigkeit örtlich sehr verschieden (siehe Tabelle K.1).

Tabelle K.1: Spezifische Erdwiderstände für Frequenzen technischer Wechselströme (Bereich von Werten, die häufiger gemessen wurden)

Bodenart	Spezifischer Erdwiderstand ρ_E in Ωm
Moorboden	5 bis 40
Lehm, Ton, Humus	20 bis 200
Sand	200 bis 2 500
Kies	2 000 bis 3 000
Verwitterter Fels	meist unter 1 000
Sandstein	2 000 bis 3 000
Granit	bis 50 000
Moränenschutt	bis 30 000

Bis zu einigen Metern Tiefe können sich durch Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes auch zeitliche Schwankungen des spezifischen Erdwiderstandes ergeben. Ferner ist zu beachten, daß sich der spezifische Erdwiderstand bei der im allgemeinen gegebenen deutlichen Schichtung des Erdreiches mit der Tiefe beträchtlich ändern kann.

K.2 Ausbreitungswiderstand

Der Ausbreitungswiderstand R_E eines Erders hängt vom spezifischen Erdwiderstand sowie von den Abmessungen und der Anordnung des Erders ab. Er ist hauptsächlich von der Länge des Erders, weniger von seinem Querschnitt abhängig. Die Bilder K.1 und K.2 zeigen die Werte von Ausbreitungswiderständen für Oberflächenerder und Tiefenerder in Abhängigkeit von der Gesamtlänge.

Bei sehr langen Oberflächenerdern (z. B. Kabel mit Erderwirkung) nimmt der Ausbreitungswiderstand zwar mit der Länge ab, nähert sich aber einem Endwert (siehe Bild K.3).

Bei Fundamentenerdern darf so gerechnet werden, als wenn der Erder im umgebenden Erdreich verlegt wäre.

Der Ausbreitungswiderstand eines Maschenerders ist näherungsweise

$$R_E = \frac{\rho_E}{2D}$$

Hierbei ist D der Durchmesser eines Kreises, der den gleichen Flächeninhalt wie der Maschenerder hat.

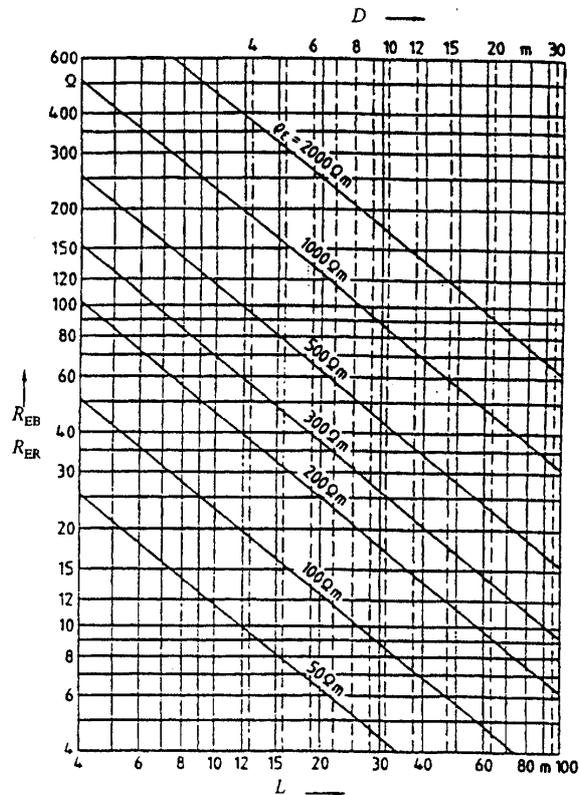


Bild K.1: Ausbreitungswiderstand von Oberflächenerdern (aus Band, Rundmaterial oder Seil) bei gestreckter Verlegung oder als Ring in homogenem Erdreich.

Rechenwerte unter Berücksichtigung folgender Formeln:

Bänderder:
$$R_{EB} = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$$

Ringerder:
$$R_{ER} = \frac{\rho_E}{\pi^2 D} \ln \frac{2\pi D}{d}$$

L Länge des Erderbandes in m

$D = \frac{L}{\pi}$ Durchmesser des Ringerders in m

d Durchmesser des verseilten Erders oder halbe Breite eines Erderbandes in m (hier mit 0,015 m angenommen)

ρ_E Spezifischer Erdwiderstand in Ωm

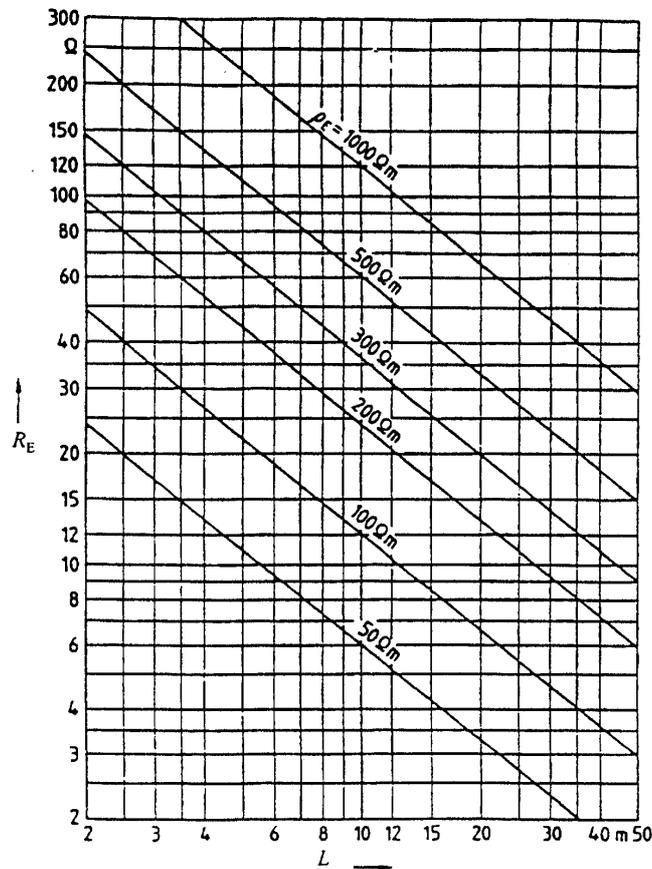


Bild K.2: Ausbreitungswiderstand von senkrecht in homogenem Erdreich eingebrachten Tiefenerdern.

Rechenwerte unter Berücksichtigung folgender Formeln:

$$R_{EB} = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

- L Länge des Tiefenerders in m
- d Durchmesser des Erderstabs in m (hier zu 0,02 m angenommen)
- ρ_E Spezifischer Erdwiderstand in Ωm

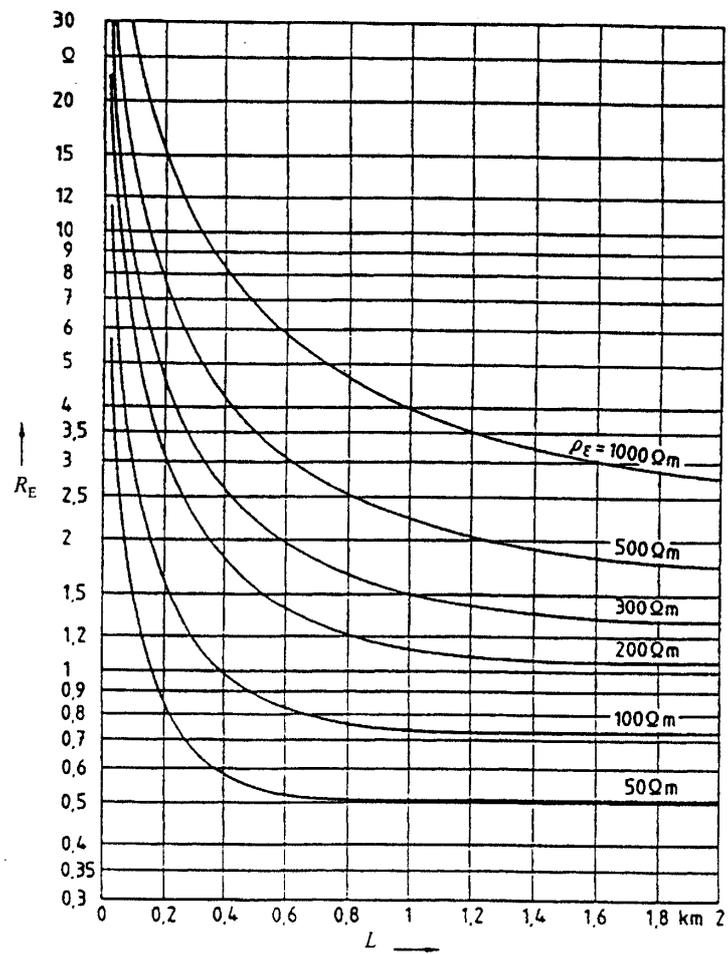


Bild K.3: Typische Werte für den Ausbreitungswiderstand eines Kabels mit Erderwirkung, abhängig von der Kabellänge und dem spezifischen Erdwiderstand

Anhang L (informativ)**Ausführung von Erdern und Erdungsleitern****L.1 Ausführung von Erdern****L.1.1 Oberflächenerder**

Oberflächenerder werden üblicherweise am Boden eines Grabens oder einer Baugrube verlegt.

Es wird empfohlen, daß

- sie von leicht gestampftem Erdreich umgeben sind,
- Steine und Kies nicht in unmittelbarem Kontakt mit dem vergrabenen Erder sind,
- das ursprüngliche Erdreich, falls es auf das verwendete Erdmaterial sehr korrodierend wirkt, durch geeigneteres Erdreich zu ersetzen ist.

L.1.2 Senkrechte oder schräg eingetriebene Tiefenerder

Senkrechte oder schräg in Erde eingetriebene Tiefenerder sollten durch einen Abstand von mindestens einer Erderlänge voneinander getrennt sein.

Um jede Beschädigung der Erder beim Eintreiben zu vermeiden, muß dazu geeignetes Werkzeug verwendet werden.

L.1.3 Verbinden der Erder

Die verwendeten Verbindungen zum Zusammenschließen der leitfähigen Teile eines Erdungsnetzes untereinander müssen geeignete Abmessungen haben, um eine elektrische Leitfähigkeit und eine mechanische und thermische Festigkeit wie die der Erder sicherzustellen.

Die Verbindungen der Erder müssen korrosionsbeständig sein und sollten nicht zur Bildung galvanischer Elemente neigen.

Die zum Zusammensetzen von Stäben verwendeten Verbindungen müssen die gleiche mechanische Festigkeit wie der Tiefenerder selbst haben und der mechanischen Belastung beim Eintreiben standhalten. Wenn unterschiedliche Metalle, die galvanische Elemente bilden und damit galvanische Korrosion verursachen können, miteinander verbunden werden müssen, so müssen die Verbindungen dauerhaft vor jedem Kontakt mit Elektrolyten in ihrer Umgebung geschützt werden.

L.2 Ausführung der Erdungsleiter

Im allgemeinen müssen Erdungsleiter so kurz wie möglich sein.

L.2.1 Einbau der Erdungsleiter

Folgende Einbaumethoden dürfen angewendet werden:

- Eingegrabene isolierte Erdungsleiter: Ein Schutz gegen mechanische Beschädigung ist erforderlich.
- Zugänglich eingebaute Erdungsleiter: Oberirdisch müssen Erdungsleiter so eingebaut werden, daß sie zugänglich bleiben. Wenn die Möglichkeit einer mechanischen Beschädigung besteht, sollte der Erdungsleiter geeignet geschützt werden.
- In Beton eingebettete Erdungsleiter: Erdungsleiter dürfen auch in Beton eingebettet werden. Es sind an beiden Enden leicht zugängliche Anschlußstellen vorzusehen.

Um Korrosion zu vermeiden, muß den Stellen, an denen der blanke Erdungsleiter in das Erdreich oder den Beton eingeführt wird, besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

L.2.2 Verbinden der Erdungsleiter

Die Verbindungen müssen einen guten elektrischen Kontakt sicherstellen, um jeden unzulässigen Temperaturanstieg im Fehlerfall zu verhindern.

Seite 108
HD 637 S1:1999

Verbindungen sind gegen Lockern zu sichern und gegen Korrosion zu schützen. Wenn unterschiedliche Metalle, die galvanische Elemente bilden und damit Korrosion verursachen können, miteinander verbunden werden müssen, so sind die Verbindungen dauerhaft vor Kontakt mit Elektrolyten in ihrer Umgebung zu schützen.

Zum Anschließen der Erdungsleiter an den Erder, den Erdanschlußpunkt und jedes metallene Teil müssen geeignete Verbindungsstücke verwendet werden. Der Gebrauch von Trennstellen für Prüfzwecke kann hilfreich sein.

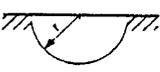
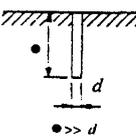
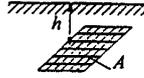
Das Lösen dieser Verbindungen darf nicht ohne Werkzeug möglich sein.

Anhang M (informativ)

Näherungsformeln für einfache Erdungsanlagen: Geeignete Abstände zum Vermeiden gefährlicher Spannungen

U_E Erdungsspannung

U_{accept} angenommener Grenzwert des Erdoberflächenpotentials (z. B. ein Wert aus Bild 9.1 oder Tabelle 6) in einem Abstand d_{accept} ($U_{\text{accept}} < U_E$)

Erderbeschreibung	Halbkugelerder	Tiefenerder	Ringerder	Maschenerder	Banderder
Gestaltung					
Abstand d_{accept}	$r \cdot \left(\frac{U_E}{U_{\text{accept}}} - 1 \right)$	$2\lambda \cdot \frac{c}{c^2 - 1}$ $c = \left(\frac{4\lambda}{d} \right) \frac{U_{\text{accept}}}{U_E}$ $\lambda \gg d$	In Bearbeitung	$\sqrt{\frac{A}{\pi}} \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi U_{\text{accept}}}{2U_E}} - 1 \right)$ $A = \text{Fläche des Maschenerders}$	In Bearbeitung

Seite 110
HD 637 S1:1999

Anhang N (informativ)

Messungen für und an Erdungsanlagen

N.1 Messung von spezifischen Erdwiderständen

Messungen des spezifischen Erdwiderstandes zur Vorausbestimmung des Ausbreitungswiderstandes oder der Erdungsimpedanz sind nach einem Viersonden-Verfahren (z. B. Wenner-Methode) durchzuführen, wobei der spezifische Erdwiderstand für verschiedene Tiefen ermittelt werden kann.

N.2 Messung von Ausbreitungswiderständen und Erdungsimpedanzen

N.2.1 Diese Widerstände und Impedanzen dürfen auf verschiedene Art und Weise ermittelt werden. Von der Ausdehnung der Erdungsanlage und dem Grad der Beeinflussung (siehe N.4) hängt es ab, welches Meßverfahren zweckmäßig ist.

ANMERKUNG: Es ist zu beachten, daß während dieser Messungen und der vorbereitenden Arbeiten auch im abgeschalteten Zustand, an und zwischen geerdeten Teilen (z. B. zwischen Mast und abgehobenem Erdseil) gefährliche Berührungsspannungen auftreten können.

N.2.2 Beispiele für geeignete Meßverfahren und Arten von Meßgeräten sind:

a) Erdungsmesser

Dieses Gerät wird eingesetzt bei Erdern oder Erdungsanlagen kleiner oder mittlerer Ausdehnung, z. B. einzelnen Tiefenerdern, Bänderdern, Freileitungsmast-Erdern mit abgehobenem oder aufgelegtem Erdseil, Erdungsanlagen im Mittelspannungsnetz bei Trennung von den Niederspannungserdungsanlagen. Die Frequenz der verwendeten Wechselspannung sollte 150 Hz nicht überschreiten.

Zu prüfender Erder, Sonde und Hilferder sollten möglichst auf einer Geraden liegen, und zwar so weit auseinander wie möglich. Der Abstand der Sonde vom zu prüfenden Erder sollte mindestens das 2,5fache der größten Erderausdehnung (in Meßrichtung gesehen) betragen, jedoch nicht weniger als 20 m; der Abstand des Hilferders mindestens das 4fache, jedoch nicht weniger als 40 m.

b) Hochfrequenz-Erdungsmeßgerät

Dieses Gerät ermöglicht ohne Abheben des Erdseiles die Messung des Ausbreitungswiderstandes eines einzelnen Mastes. Die Frequenz des Meßstromes muß dabei so hoch liegen, daß die durch Erdseil und Nachbarmaste gebildete Kettenleiterimpedanz hochohmig wird und einen praktisch vernachlässigbaren Nebenschluß zur einzelnen Freileitungsmast-Erdung darstellt.

c) Strom-Spannungs-Methode mit verhältnismäßig großen Strömen (siehe Abbildung N.1)

Dieses Verfahren wird insbesondere zur Messung der Erdungsimpedanz großer Erdungsanlagen verwendet.

Durch Anlegen einer Wechselspannung von etwa Netzfrequenz zwischen Erdungsanlage und einem Gegenerder wird in die Erdungsanlage ein Versuchsstrom I_M eingeleitet, der zu einer meßbaren Potentialanhebung der Erdungsanlage führt.

Dabei dürfen Erdseile und Kabelmäntel mit Erderwirkung, die betriebsmäßig an die Anlage angeschlossen sind, nicht abgetrennt werden.

Der Betrag der Erdungsimpedanz ist gegeben durch:

$$Z_E = \frac{U_{EM}}{I_M \cdot r}$$

Dabei ist:

U_{EM}	gemessene Spannung (in Volt) zwischen der Erdungsanlage und einer Sonde im Bereich der Bezugs Erde (neutrale Erde)
I_M	gemessener Versuchsstrom (in Ampere)
r	Reduktionsfaktor der Leitung zum Gegenerder (siehe Anhang J (informativ)). Der Reduktionsfaktor kann durch Rechnung oder Messung bestimmt werden. Für Freileitungen ohne Erdseile und Kabel ohne Schirm und Bewehrung ist $r = 1$.

Erdseile von Leitungen, die auf getrenntem Gestänge parallel zur Versuchsleitung zwischen Erder und Gegenerder verlaufen, sind zu berücksichtigen, wenn sie an den zu prüfenden Erder und am Gegenerder angeschlossen sind. Wird als Versuchsleitung ein Kabel mit beiderseits geerdetem, gut leitendem metallenen Mantel verwendet, so wird der weitaus größte Teil des Versuchsstromes über den Mantel zurückfließen. Liegt um den Mantel ein isolierender Außenmantel, kann es daher zweckmäßig sein, die Erdungen des Mantels aufzuheben.

Bei Kabeln mit Erderwirkung dürfen die Erdungen der metallenen Außenmäntel jedoch nicht aufgetrennt werden.

Die Entfernung zwischen Erder und Gegenerder sollte nach Möglichkeit 5 km nicht unterschreiten. Der Versuchsstrom sollte nach Möglichkeit mindestens so hoch gewählt werden, daß die zu messenden Spannungen (Erdungs- sowie Berührungsspannungen, bezogen auf den Versuchsstrom) größer sind als etwaige Fremd- und Störspannungen.

Dies ist im allgemeinen bei Versuchsströmen ab 50 A sichergestellt. Der Innenwiderstand des Spannungsmessers sollte mindestens das 10fache des Ausbreitungswiderstandes der Sonde betragen.

ANMERKUNG: Für kleine Erdungsanlagen können kleinere Abstände ausreichend sein.

Gegebenenfalls vorhandene Fremd- und Störspannungen sind zu eliminieren (siehe N.4).

d) Ermittlung aus den Einzelwiderständen

Besteht die Erdungsanlage aus einzelnen Erdern, die sich praktisch nicht beeinflussen, aber über Verbindungsleitungen, z. B. Erdungsleitungen oder Freileitungserdseile, verbunden sind, so kann die Erdungsimpedanz Z_E auch in folgender Weise bestimmt werden:

Der Ausbreitungswiderstand jedes Erders wird bei aufgetrennten Verbindungsleitungen mit dem Erdungsmesser ermittelt, die Impedanzen der Verbindungsleitungen werden errechnet, und die Erdungsimpedanz wird aus der Ersatzschaltung der Ausbreitungswiderstände und der Impedanzen der Verbindungsleitungen bestimmt.

Seite 112
HD 637 S1:1999

N.3 Bestimmung der Erdungsspannung

Die Erdungsspannung \underline{U}_E ist gegeben durch (siehe Bild N.1):

$$\underline{U}_E = \underline{Z}_E \times \underline{I}_E.$$

Dabei ist:

\underline{Z}_E Erdungsimpedanz, z. B. aus der Messung nach N.2.2 c) oder aus der Rechnung nach N.2.2 d),

\underline{I}_E Erdungsstrom entsprechend 9.2.

Der Erdungsstrom während der Messung ist gegeben durch

$$\underline{I}_{EM} = r \underline{I}_M.$$

Die Erdungsimpedanz ist gegeben durch

$$\underline{Z}_E = \frac{\underline{U}_{EM}}{\underline{I}_{EM}}.$$

Die Erdungsspannung im Fehlerfall ist gegeben durch

$$\underline{U}_E = \underline{I}_E \times \underline{Z}_E = \underline{U}_{EM} \times \frac{\underline{I}_E}{r \times \underline{I}_M}.$$

Wird ein Erdfehler in einem Drehstromnetz betrachtet und haben alle in die Anlage eingeführten Freileitungen nahezu gleiche Erdseilreduktionsfaktoren, so gilt für den Erdungsstrom

$$\underline{I}_E = r \times \Sigma 3 \underline{I}_0.$$

Dabei ist:

r Erdseil-Reduktionsfaktor,

$\Sigma 3 \underline{I}_0$ geometrische Summe der der Anlage zufließenden Ströme aller Phasenleiter dieses Netzes.

Bei einem Fehler in der Anlage ist $\Sigma 3 \underline{I}_0$ die Differenz aus Erdkurzschlußstrom und Transformator-Sternpunktstrom.

Sind die Erdseil-Reduktionsfaktoren der in die Anlage eingeführten Leitungen A, B, C... verschieden, so gilt

$$\underline{I}_E = r_A \times \Sigma 3 \underline{I}_{0A} + r_B \times \Sigma 3 \underline{I}_{0B} + r_C \times \Sigma 3 \underline{I}_{0C} + \dots$$

Dabei ist:

\underline{I}_{0A} Nullstrom eines Phasenleiters (z. B. Phase L1) der Leitung A, \underline{I}_{0B} entsprechend für Leitung B usw.

r_A Erdseil-Reduktionsfaktor der Leitung A, r_B der Leitung B usw.

Ist eine der eingeführten Leitungen ein Kabel, so ist bei dieser Leitung an Stelle des Erdseil-Reduktionsfaktors der Kabelmantel-Reduktionsfaktor in die vorstehende Gleichung für \underline{I}_E einzusetzen.

N.4 Eliminierung von Fremd- und Störspannungen bei Erdungsmessungen

Bei der Bestimmung von Erdungsspannungen entsprechend N.2.2 c) können Meßwertverfälschungen durch Fremd- und Störspannungen jeder Art (z. B. induktive Beeinflussung des Versuchsstromkreises durch in Betrieb befindliche Nachbarsysteme) auftreten.

Beispiele für in der Praxis bewährte Verfahren zur Eliminierung derartiger Störeinflüsse sind:

a) Schwebungsverfahren

Hierbei wird eine Spannungsquelle (z. B. Notstromaggregat) eingesetzt, deren Frequenz um einige Zehntel Hertz von der Netzfrequenz abweicht. Die vom Versuchsstrom hervorgerufenen Spannungen addieren sich geometrisch zu etwaigen Störspannungen U_d' , deren Betrag und Phasenlage bei hinreichend kurzer Dauer eines Meßzyklus als konstant angesehen werden kann. Durch die asynchrone

Überlagerung schwankt der Zeiger oder die Anzeige des Spannungsmessers zwischen einem Maximal- und Minimalwert U_1 und U_2 . Für die vom Versuchsstrom hervorgerufene Spannung gilt dann

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad \text{für } 2 \times U_d' < U_1,$$

$$U = \frac{U_1 - U_2}{2} \quad \text{für } 2 \times U_d' > U_1,$$

$$U = \frac{U_1}{2} \quad \text{für } 2 \times U_d' = U_1.$$

b) Umpolungsverfahren

Hierzu wird eine netzsynchrone Spannungsquelle (Transformator) benutzt, deren Spannung in ihrer Phasenlage nach einer stromlosen Pause um 180° elektrisch gedreht wird. Es wird die beim Fließen des Versuchsstromes auftretende Spannung U_a vor dem Umpolen, U_b nach dem Umpolen und die Störspannung U_d bei abgeschaltetem Versuchsstrom gemessen. Auf Grund vektorieller Beziehungen gilt für die vom Versuchsstrom hervorgerufene Spannung.

$$U = \sqrt{\frac{U_a^2 + U_b^2}{2} - U_d^2}$$

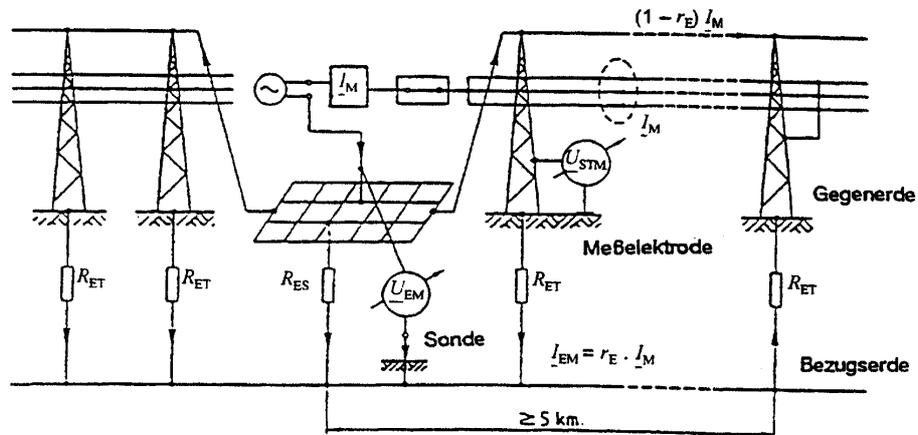
c) Vektormessung

Längere Meßleitungen sollen nach Möglichkeit rechtwinkelig zur Versuchsleitung geführt werden. Ist dies aus räumlichen Gründen nicht möglich, kann der durch den Versuchstrom in die Meßleitung induzierte Spannungsanteil teilweise durch einen Vektormesser eliminiert werden.

d) Abblocken von Gleichströmen

Weisen die Störspannungen hohe Gleichspannungsanteile auf, kann die Verwendung eines Spannungsmessers erforderlich werden, bei dem die Gleichspannung abgeblockt wird.

Seite 114
HD 637 S1:1999



I_M	Versuchsstrom (im allgemeinen wird nur der Betrag von Strom bzw. Spannung bestimmt)
I_{EM}	Erdungsstrom bei der Messung (in diesem Fall nicht unmittelbar zu messen)
r_E	Reduktionsfaktor der Leitung zum Gegenerder
R_{ES}	Ausbreitungswiderstand des Erdernetzes
R_{ET}	Ausbreitungswiderstand eines Mastes
U_{EM}	Erdungsspannung bei der Messung
U_{STM}	Berührungsquellenspannung bei der Messung

Bild N.1: Beispiel für die Ermittlung der Erdungsimpedanz nach der Strom-Spannungs-Methode

Anhang P (informativ)**Einzelheiten zur Bauüberwachung und Dokumentation von Erdungsanlagen**

Es sollte ein Lageplan des Erdungsnetzes vorhanden sein, in dem das Material, die Lage der Erder, ihre Verzweigungspunkte und die Verlegungstiefe eingetragen sind.

Vor der Inbetriebnahme sollte ein Prüfprotokoll erstellt werden, in dem nachgewiesen wird, daß alle Anforderungen dieser Norm beachtet wurden.

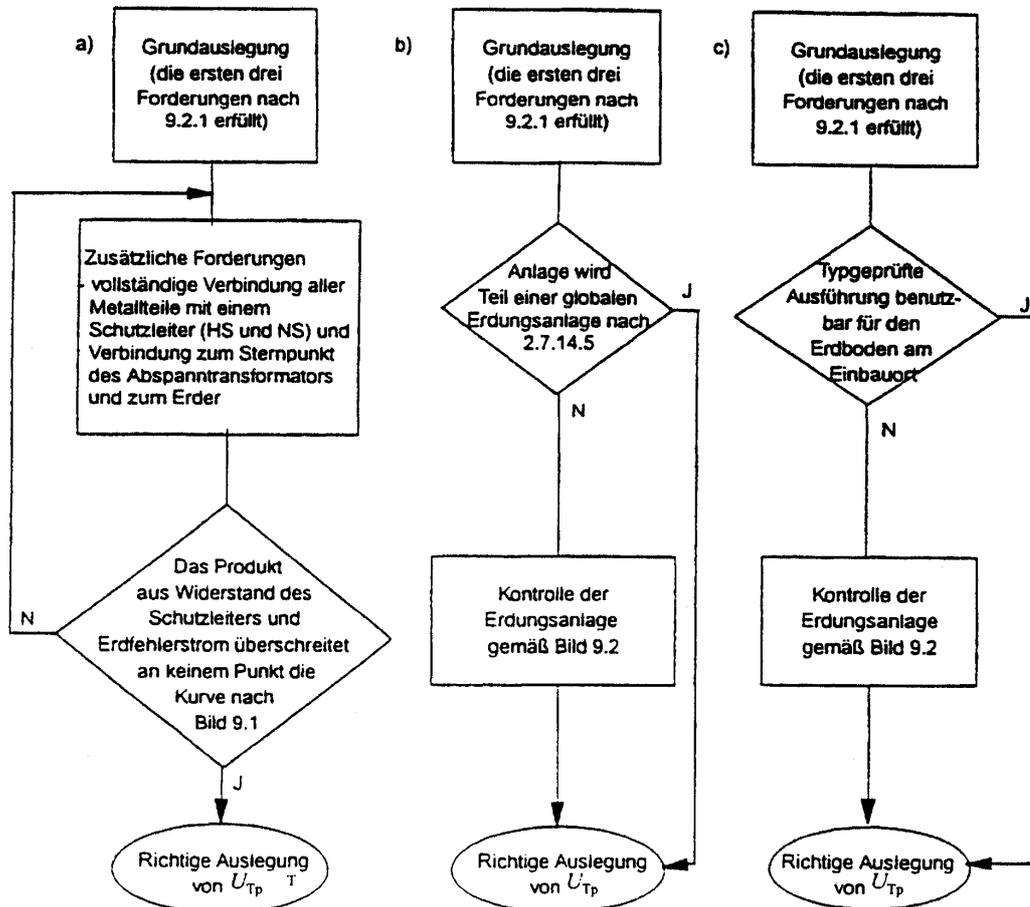
Der Ausbreitungswiderstand jeder Anlage außerhalb des Bereiches eines Globalen Erdungssystems sollte berechnet oder systematisch gemessen (Einzelheiten zur Meßtechnik sind im Anhang N (informativ) angegeben) und die Erdungsspannung berechnet oder gemessen werden. Falls erforderlich hat die Überprüfung der Berührungsspannung ebenfalls mittels Rechnung oder Messung zu erfolgen.

Innerhalb des Bereiches eines Globalen Erdungssystems ist eine Feststellung des Ausbreitungswiderstandes oder der Erdungsspannung nicht erforderlich, da hier die Grundausslegung einer Erdungsanlage ausreichend ist.

Falls Ersatzmaßnahmen zum Einhalten der zulässigen Berührungsspannungen erforderlich sind, müssen sie im Lageplan eingetragen und in der Dokumentation beschrieben sein.

Anhang Q (informativ)

Beispiele für die Überprüfung der richtigen Planung in Bezug auf die zulässige Berührungsspannung



- a) So gut wie der ganze Fehlerstrom fließt über Metallteile zum Transformatorsternpunkt zurück.
ANMERKUNG: Kommt teilweise in Industriegeländen vor.
- b) Nur ein begrenzter Teil des Fehlerstromes fließt über die betrachtete Erdungsanlage zur Erde.
ANMERKUNG: Kommt teilweise in Verteilungsnetzen vor.
- c) Ein Großteil des Fehlerstromes fließt über die betrachtete Erdungsanlage zur Erde (z. B. unabhängige örtliche Erdungsanlage).

Bild Q.1: Näherungen in Abhängigkeit des Fehlerstromrückweges für besondere Fälle:

Anhang R (informativ)**Die Verwendung von Bewehrungsstählen in Beton für Erdungszwecke**

Bewehrungsstähle können für verschiedene Zwecke verwendet werden:

- a) Als ein Teil der Erdungsanlage, wobei die Querschnitte der Bewehrungsstähle in Übereinstimmung mit 9.2.2.2 sein müssen.
- b) Als Potentialsteuerung zum Schutze des Bedienungspersonals, wobei alle dafür erforderlichen Teile der Stahlbewehrung miteinander verbunden sein müssen, um sicherzustellen, daß keine Potentialdifferenzen auftreten. Die Verbindungen müssen in Übereinstimmung mit 9.2.2.3 bemessen werden.
- c) Als elektromagnetischer Schirm in Verbindung mit hochfrequenten Strömen, wobei alle dafür nötigen Teile der Stahlbewehrung miteinander verbunden sein müssen, um eine sehr kleine Impedanz für hochfrequente Ströme zu bilden. Es sind viele Anschlußpunkte an die Stahlbewehrung erforderlich, um zur Minimierung der elektromagnetischen Beeinflussung möglichst kurze Anschlüsse der Geräte zu erlauben.

Wenn Bewehrungsstähle für einen dieser Zwecke verwendet werden, so ist darauf zu achten, daß die Korrosionsgefahr minimal bleibt. Die Verbindung zu den Bewehrungsstählen muß mit dem Anhang L (informativ) in Übereinstimmung sein.

Seite 118
HD 637 S1:1999

Anhang S (informativ)

A-Abweichungen

A-Abweichung: Diese Europäische Norm fällt nicht unter eine EU-Richtlinie. In den betreffenden CEN/CENELEC-Ländern gelten diese A-Abweichungen anstelle der Festlegungen der Europäischen Norm so lange, bis sie zurückgezogen sind.

A-Abweichungen für Belgien

Die nationalen Abweichungen für Belgien (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Regelungen:

A.R.E.I. = Algemeen Reglement op de elektrische installaties

R.G.I.E = Reglement general sur les installations electriques

Allgemeine Verordnung über elektrische Anlagen; veröffentlicht im belgischen Regierungsanzeiger vom 29. April 1981, geändert und ergänzt durch verschiedene königliche und ministerielle Erlässe (Ministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten).

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
4.3	ART.8 Elektrische Hochspannungsbetriebsmittel 01. Zusätzliche Sicherheit Ungeachtet der in Artikel 5 aufgeführten Bestimmungen sind die elektrischen Hochspannungsbetriebsmittel in der Weise auszulegen, auszuführen und anzuordnen, daß die Luftstrecke zwischen blanken unter Spannung stehenden Teilen, zwischen diesen Teilen und der Erde oder zwischen blanken unter Spannung stehenden Teilen eines gleichen Leiters, wenn diese über Schaltgeräte getrennt sind, mindestens folgender Gleichung entspricht: $d = 50 + 6,75 (U_N - 1)$ dabei ist: d die vorgenannte Luftstrecke in mm, U_N die Nennspannung zwischen den Leitern des Netzes oder der Anlage, wie sie vom Verteilungsunternehmen bestimmt wird, ausgedrückt in kV und auf die höhere Einheit aufgerundet. Wenn die blanken Teile durch einen oder mehrere Isolierstoffe einschließlich Vakuum, ausgenommen Luft, isoliert sind, ist der Isolationspegel, der sich aus den kleineren Abständen ergibt, die zwischen den obengenannten Teilen bestehen, mindestens gleich dem Isolationspegel, den die Luftstrecken bilden, die sich aus der Anwendung der obengenannten Gleichung ergeben.
6.1.2.1	ART.17 Schaltplan und Leistungsschilder für Hochspannung 01. Schaltplan Die elektrische Anlage bildet Gegenstand eines Schaltplans und einer Beschreibung, insbesondere mit folgenden Angaben: – Spannungen und Stromart, – erwartete maximale Kurzschlußleistung am Ort der Anlage im normalen Schaltzustand der Verteilungsnetze, – Art und Beschaffenheit der Stromkreise, – Eigenschaften von Steuerung und Regelung der Einrichtungen, die die Sicherheitsabschaltung und die Trennung der Stromkreise sicherstellen, – Anordnung der Erder. Dieser Schaltplan und diese Beschreibung werden an Ort und Stelle für die zur Überwachung, Kontrolle oder zur Arbeit an dieser elektrischen Anlage ermächtigten Personen bereitgehalten.

- Spannungen und Stromart,
- erwartete maximale Kurzschlußleistung am Ort der Anlage im normalen Schaltzustand der Verteilungsnetze,
- Art und Beschaffenheit der Stromkreise,
- Eigenschaften von Steuerung und Regelung der Einrichtungen, die die Sicherheitsabschaltung und die Trennung der Stromkreise sicherstellen,
- Anordnung der Erder.

Dieser Schaltplan und diese Beschreibung werden an Ort und Stelle für die zur Überwachung, Kontrolle oder zur Arbeit an dieser elektrischen Anlage ermächtigten Personen bereitgehalten.

6.2.1
6.2.2

In Belgien beträgt die Mindesthöhe von Abdeckungen und Hindernissen 1,75 m.

ART.44 Schutz durch Hindernisse an Orten, die ausschliesslich für den betrieb von elektrischen Anlagen bestimmt sind

Die Anordnung der Hindernisse gegenüber dem Boden und der nicht geschützten Teile ist, wie in der Zeichnung unten beschrieben, folgendermaßen:

1. Die Höhe y ihrer Oberkante ist mindestens gleich 1,75 m.

Die Höhe z ihrer Unterkante ist höchstens gleich 0,5 m; die Abstände y und z können auf 1,5 m und 0,75 m verringert werden, wenn dies aufgrund funktioneller Notwendigkeiten erforderlich ist.

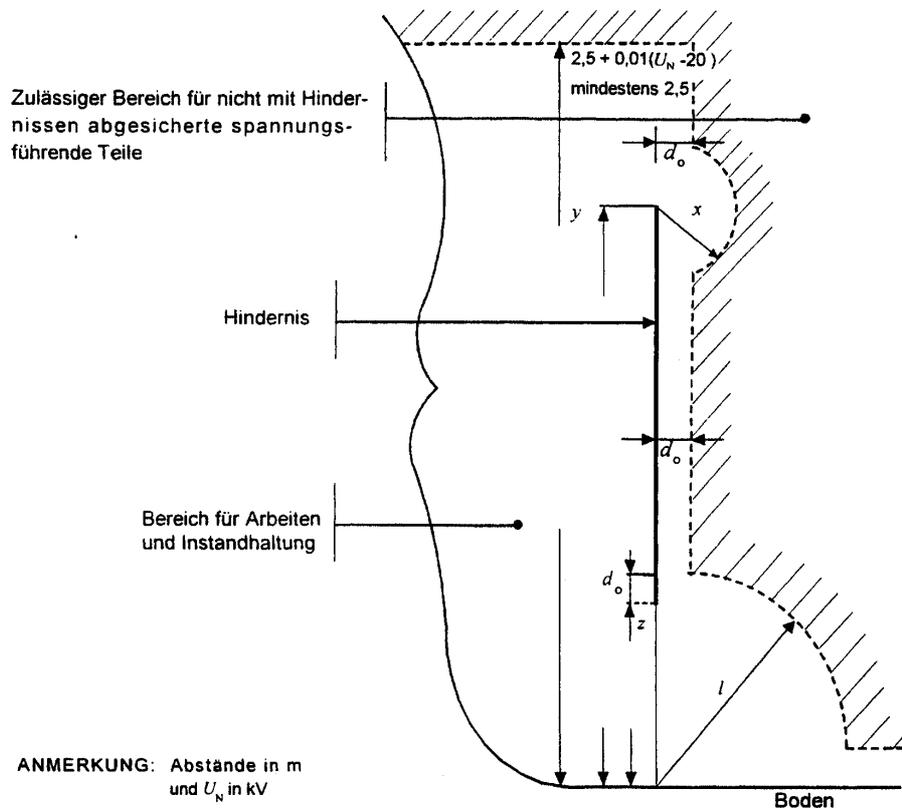
2. In dem in der Nähe und über der Oberkante des Hindernisses gelegenen Raum weist der Abstand der nicht geschützten aktiven Teile von dieser Oberkante folgende Werte auf:

a) mindestens der durch eine der folgenden Gleichungen angegebene Abstand d_0 gegenüber der Ebene des Hindernisses

$d_0 = 0,05 + 0,00675 (U_N - 1)$, wenn der Schutzgrad des Hindernisses mindestens IP2X entspricht,

$d_0 = 0,1 + 0,00675 (U_N - 1)$, wenn der Schutzgrad des Hindernisses mindestens IP1X entspricht.

In diesen Gleichungen ist d_0 in Metern angegeben und U_N bedeutet die Nennspannung zwischen den Leitern des Netzes oder der Anlage, wie sie vom Verteilungsunternehmen bestimmt wird, ausgedrückt in kV und auf die höhere Einheit aufgerundet.



Seite 120
HD 637 S1:1999

- b) mindestens der durch die folgende Gleichung angegebene Abstand x gegenüber der Oberkante des Hindernisses

$$x = 2 + 0,01 (U_N - 20) - y.$$

In diesen Gleichungen sind x und y in m angegeben und U_N bedeutet die Nennspannung zwischen den Leitern des Netzes oder der Anlage, wie sie vom Verteilungsunternehmen bestimmt wird, ausgedrückt in kV und auf die höhere Einheit aufgerundet, und y ist die Höhe der Oberkante des Hindernisses gegenüber dem Boden.

3. In dem in der Nähe und unter der Unterkante des Hindernisses gelegenen Raum sind die nicht geschützten aktiven Teile gegenüber der Schnittpunktgeraden der Hindernisebene und der Bodenebene mindestens um den durch die folgende Gleichung in Metern angegebenen Abstand l entfernt:

$$l = z + d_0$$

wobei die Größen z und d_0 bereits oben definiert sind.

4. In dem hinter dem Hindernis gelegenen Raum sind die nicht geschützten aktiven Teile mit dem Abstand d_0 vom Hindernis entfernt.

6.2.3 In Belgien ist die Gesetzgebung strenger.

ART.47 Gewöhnliche Bereiche und Bereiche des Betriebes elektrischer Anlagen

03. Anweisungen für den Ort der elektrischen Anlagen

- c. Schutz gegen elektrischen Schlag bei direkter Berührung durch Personen, die außerhalb des Bereichs der elektrischen Anlage stehen.

c.1 Maßnahme im Hinblick auf den oberen Rand der Trennwände oder Umzäunungen.

Bei elektrischen Anlagen in offener Bauweise darf sich kein ungeschütztes aktives Teil in einem Abstand von weniger als $2,5 \text{ m} + 0,01 (U_N - 20) - H$, mindestens $2,5 \text{ m} - H$, von der Oberkante der Trennwände oder Umzäunungen befinden, wobei H die Höhe dieser Trennwände oder Umzäunungen ist.

c.2 Maßnahme im Hinblick auf die Einführung von langen Gegenständen in die Löcher der Umzäunung.

Es darf sich kein ungeschütztes aktives Teil in einem geringeren waagerechten Abstand d_h von der Ebene der Umzäunungen befinden, mit d_h :

$2,5 \text{ m} + 0,01 (U_N - 20)$, mindestens $2,5 \text{ m}$, im Falle von Umzäunungen mit einer Maschenweite von 50 mm ;

$5 \text{ m} + 0,01 (U_N - 20)$, mindestens 5 m , im Falle von Umzäunungen mit einer Maschenweite von 120 mm .

6.2.4 ART.47.03.c2 Gewöhnliche Bereiche und Bereiche des Betriebes elektrischer Anlagen

In Belgien gilt die folgende Gleichung:

$$H = d_1 = 2,5 + 0,01 (U_N - 20) \text{ in m, mindestens } 2,5 \text{ m,}$$

mit $U_N = \text{Nennspannung in kV}$.

ART.51 Schutz gegen elektrischen Schlag durch direktes Berühren in Bereichen, die ausschliesslich für den Betrieb elektrischer Anlagen bestimmt sind

02. Abweichende Bestimmungen

c) Hochspannung:

Bei Hochspannung ist außerdem der Schutz durch Abstand (Art. 46) zulässig. Es ist außerdem der Schutz durch Anbringen von Hindernissen unter den in Art. 44 festgelegten Bedingungen (siehe 6.2.1 und 6.2.2) erlaubt.

Darüber hinaus ist der Schutzgrad für Umhüllungen und Hindernisse mindestens IP1X.

ART.46 Schutz durch Abstand

Der Schutz durch Abstand gegen elektrischen Schlag durch direktes Berühren wird erreicht entweder:

- wenn die ungeschützten aktiven Teile außerhalb des Zugänglichkeitsbereichs installiert oder angeordnet sind,
- oder
- wenn es innerhalb des Zugänglichkeitsbereichs keine Teile und keine gleichzeitig berührbaren Teile gibt, deren Potentialdifferenz größer ist als die vereinbarten absoluten Grenzspannungen.

Wenn die Begehungs- oder Arbeitsfläche nicht durch ihre Ausführung in waagrechter Richtung begrenzt wird, so ist sie zumindest durch ein starres Element zu begrenzen, das in der Lage ist, dem zufälligen Durchgang einer Person entgegenzuwirken und dessen oberer Teil sich in einer Höhe von 1 m bis 1,2 m über dem Boden befindet.

ART.28 Definitionen

01. Begriffe bezüglich des Schutzes gegen elektrischen Schlag

Zugänglichkeitsbereich: Raum, der um eine Begehungs- oder Arbeitsfläche liegt und begrenzt wird, wie in den folgenden Bildern angegeben:

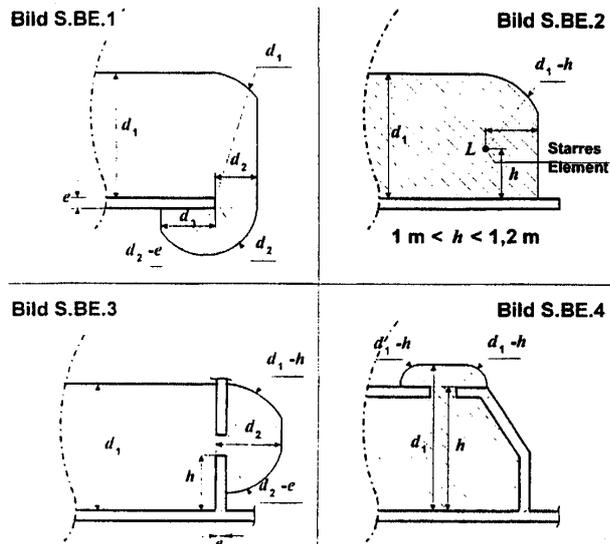


Bild S.BE.1: die Begehungs- oder Arbeitsfläche wird durch ihre Ausführung begrenzt;
Bild S.BE.2: die Begehungs- oder Arbeitsfläche wird durch ein starres Element begrenzt;

Bild S.BE.3 und Bild S.BE.4: in den Wänden und Decken, die die Begehungs- oder Arbeitsfläche begrenzen, befinden sich Öffnungen, die das Durchstecken einer langen geraden Stange von 12 mm Durchmesser nicht erlauben;

S: Fläche, auf der Personen stehen, umhergehen oder arbeiten;

d₁, d₂, d₃: durch die folgenden Gleichungen in Meter angegebenen Abstände:
 - $d_1 = 2,5 + 0,01 (U_N - 20)$, mindestens 2,5 m;
 - $d_2 = 1,25 + 0,01 (U_N - 20)$, mindestens 1,25 m;
 - $d_3 = 0,75 + 0,01 (U_N - 20)$, mindestens 0,75 m.
 wobei U_N in kV ausgedrückt die Nennspannung der elektrischen Anlage ist.

Seite 122
HD 637 S1:1999

Begehungs- oder Arbeitsflächen sowie Elemente, deren Beschaffenheit derart ist, daß die Öffnungen, aus denen sie bestehen, die Durchführung einer langen geraden Stange von 12 mm Durchmesser nicht erlauben, begrenzen den Zugänglichkeitsbereich.

6.2.5 ART.164 Mindestabstände für verschiedene Leitungsbauarten

02. Erhöhung der Mindestabstände für verschiedene Leitungsbauarten - Leitungen mit blanken oder ähnlichen Leitern.

Für diese Leitungsbauarten ergeben sich die Mindestabstände, dort wo sie zur Auflage gemacht werden, durch Aufaddieren der in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Abstände in Metern zu den Mindestgrundabständen. Dabei ist U_N die Nennspannung in kV zwischen den Leitern.

	Hochspannung	
	1. Kategorie	2. Kategorie
	$1 \text{ kV} < U_N \leq 50 \text{ kV}$	$U_N > 50 \text{ kV}$
Erhöhung der senkrechten und waagrechten Abstände gegenüber den Konstruktionen	1	$1 + U_N \times 0,01$

Für die Hochspannungsleitungen der zweiten Kategorie dürfen keinesfalls die Mindestabstände (Mindestgrundabstand + Erhöhung gegenüber den Konstruktionen) weniger als 3 m betragen. Bei einer mit einem üblichen Zugang ausgestatteten ausladenden Terrasse wird diese Untergrenze auf 4 m erhöht.

7.2 ART.98 Schritt- und Berührungsspannungen

01. Schrittspannungen

Die Körper der Hochspannungsbetriebsmittel sowie ein Punkt der Sekundärwicklung der Hochspannungsmeßwandler werden mit einem Erder oder mit einer Erdungsanlage verbunden. Diese werden nachstehend als Hochspannungserder bezeichnet. Sie werden in den vom König paraphierten betreffenden Normen behandelt oder haben einen Ausbreitungswiderstand von $\leq 5 \text{ Ohm}$.

Für den Fall, daß bei einer Störung die Schrittspannung 80 V überschreitet, werden die geeigneten Maßnahmen entsprechend dem Stand der Technik ergriffen, damit diese Schrittspannung keine Personenschäden verursachen kann. Zu diesem Zweck wird die Stromversorgung innerhalb kürzester Zeit unterbrochen, wobei der Zeitraum bis zur Unterbrechung 5 Sekunden nicht überschreiten darf.

02. Berührungsspannungen

Außer den unter Punkt 1 genannten Körpern der Hochspannungsbetriebsmittel werden die Körper der Betriebsmittel für Nieder- und Kleinspannung sowie die fremden leitfähigen Teile durch einen Schutzleiter mit dem Hochspannungserder unter Beachtung der Bestimmungen von Artikel 99 verbunden, wenn sie ein Risiko für einen Körperstrom oder ein Risiko für das Überspringen eines Lichtbogens zwischen diesen fremden leitfähigen Teilen und einem aktiven Teil darstellen.

Für den Fall, daß die Berührungsspannung bei einer Störung die unter Punkt 03 von Artikel 31 erwähnten vereinbarten relativen Grenzspannungen überschreitet, werden die entsprechenden Maßnahmen nach dem Stand der Technik getroffen, damit diese Berührungsspannung keine Personenschäden verursachen kann. Zu diesem Zweck wird die Stromversorgung innerhalb kürzester Zeit unterbrochen, wobei dieser Zeitraum für Anlagen im elektrischen Transport- und Verteilungsnetz 5 Sekunden und bei anderen Hochspannungsanlagen 2 Sekunden nicht überschreitet.

Insbesondere sind folgende Punkte zu berücksichtigen: Anordnung und Tiefe des Hochspannungserders, Standortisolierung, örtliche Zunahme des spezifischen Erdwiderstands, Herstellung eines einheitlichen Potentials an der Erdoberfläche, Verbesserung der Leitfähigkeit, Herstellung eines Potentialausgleichs zwischen Äquipotentialfläche und Hochspannungserder.

Für den Fall, daß eine Äquipotentialfläche geschaffen wird, ist eine nichtleitende Schicht (Schotter, Asphalt) vorgesehen, um im Falle eines Fehlers von der Zone mit einem eventuellen hohen Potential in eine Zone mit niedrigem Potential und umgekehrt zu gelangen, sofern eine Schrittspannung von mehr als 80 Volt vorhanden ist.

ART.99 Potentialverschleppung

Es werden entsprechend dem Stand der Technik geeignete Maßnahmen ergriffen, um ein Ausbreiten erhöhter Potentiale über die Körper der elektrischen Betriebsmittel, über den Nulleiter und über fremde leitfähige Teile in Gebiete mit schwachem Potential und umgekehrt zu vermeiden.

7.3.1 ART.235 Sicherheitsabtrennung

01. Abtrennung

b. Die Abtrennung vor und nach den Hochspannungstransformatoren

An jedem Hochspannungstransformator sind ober- und unterspannungsseitig Anschlüsse für Trennvorrichtungen entsprechend den vom König paraphierten oder vom I.B.N. verzeichneten jeweiligen Normen vorgesehen.

Diese Bestimmung gilt nicht für den Transformator, der mit einer anderen Maschinen oder einem anderen Gerät eine Einheit bildet. In diesem Fall können die Trennvorrichtungen zwischen dem Transformator und der Maschine oder dem Gerät, mit dem sie eine Einheit bilden, entfallen.

9.2.2.2 ART.74 Hochspannungs-Erdungsleiter für Schutzzwecke

02. Leiterquerschnitt

Er beträgt mindestens

- 16 mm² für frei verlegte oder in Beton liegende Kupferleiter,
- 35 mm² für gegen Korrosion nichtgeschützte eingegrabene oder unter Putz liegende Kupferleiter,
- 50 mm² für Aluminium- oder Stahlleiter.

Die Erdung bestimmter Metallteile, wie z. B. von Geländern, kann jedoch mit Hilfe eines Schutzleiters aus Kupfer mit einem Mindestquerschnitt von 4 mm² durchgeführt werden.

10 ART.272 Konformitätsprüfung und Überwachung von Hochspannungsanlagen

Jede Hochspannungsanlage, auch die von einer privaten Anlage gespeiste muß sich:

- vor Inbetriebnahme einer Prüfung der Übereinstimmung mit den Regelbestimmungen dieser Anlage, vor jeder bedeutenden Änderung oder vor einer erheblichen Erweiterung der bestehenden elektrischen Anlage;
- einer jährlichen Überwachung

unterziehen.

Die Erstprüfungen und die Überwachungen werden entweder von einer zugelassenen Stelle oder von einer ermächtigten oder hierzu beauftragten Behörde durchgeführt.

F.5 ART.74 Hochspannungserdungsleiter für Schutzzwecke

02. Leiterquerschnitt

Die Erdung bestimmter Metallteile, wie z. B. von Geländern, kann jedoch mit Hilfe eines Schutzleiters aus Kupfer mit einem Mindestquerschnitt von 4 mm² durchgeführt werden.

Seite 124
HD 637 S1:1999

A-Abweichungen für die Schweiz

Die nationalen Abweichungen für die Schweiz (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Regelungen:

- I. Starkstromverordnung (SR 734.2) vom 30.03.1994 (StV)
- II. Verordnung über elektrische Leitungen (SR 734.31) vom 30.03.1994 (LeV)

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
5.2.1.1	<p>SR 734.2: Art. 22 Trennvorrichtungen</p> <p>³ Schaltstellungen von Schaltapparaten und Trennvorrichtungen müssen zuverlässig angezeigt sein. An Trennvorrichtungen, deren Trennstrecke nicht sichtbar ist, muß die Stellung des beweglichen Kontaktstückes über eine sichere formschlüssige Verbindung (d. h. über zwangsläufige, starre und solide Zwischenglieder) angezeigt werden.</p>
5.2.9.4	<p>SR 734.31: Art. 96 Abstände und Abdeckungen</p> <p>¹ Werden Kabel/Leitungen parallel geführt oder gekreuzt, so sind folgende Mindestabstände einzuhalten:</p> <p>a. in Gebäuden oder in Kabelkanälen 0,005 m pro kV Nennspannung, mindestens jedoch 0,1 m horizontal oder 0,2 m vertikal;</p> <p>b. im Erdreich 0,3 m.</p> <p>² Können die Mindestabstände nach Absatz 1 nicht eingehalten werden, so sind zwischen den Kabeln/Leitungen feuerhemmende und elektrisch nicht leitende Abdeckungen anzubringen.</p> <p>³ Sind die Kabel/Leitungen dem gleichen Betriebsinhaber unterstellt oder haben die beteiligten Betriebsinhaber Erstellung, Betrieb und Instandhaltung schriftlich vereinbart, so sind Parallelführungen und Kreuzungen ohne Mindestabstände oder Abdeckungen zulässig.</p> <p>⁵ Bei Parallelführungen und Kreuzungen von Starkstromkabeln unter sich oder mit anderen Kabeln/Leitungen in Betonrohrblöcken ist zwischen den einzelnen Kabelrohren eine Betonschicht von mindestens 4 cm anzubringen.</p>
5.2.9.5	<p>SR 734.31: Art. 68 Verlegung im Erdreich</p> <p>² Ohne Kabelschutzrohre muß die Verlegetiefe im Erdreich betragen:</p> <p>a. für Schwachstromkabel mindestens 0,4 m;</p> <p>b. für Niederspannungskabel mindestens 0,6 m</p> <p>c. für Hochspannungskabel mindestens 0,8 m.</p> <p>³ Können die Verlegetiefen nach Absatz 2 nicht eingehalten werden, sind zusätzliche Schutzmaßnahmen, insbesondere gegen mechanische Beschädigungen zu treffen.</p> <p>⁴ Der Kabelschutz von Starkstromkabeln muß in jedem Fall mindestens 0,4 m überdeckt sein. Die Kontrollstelle kann Ausnahmen bewilligen.</p> <p>SR 734.31: Art. 69 Verlegung in Kabelschutzrohren</p> <p>¹ Kabelschutzrohre aus Kunststoff müssen die von der Kontrollstelle vorgeschriebenen Eigenschaften aufweisen.</p>
6.1.1.2	<p>SR 734.2: Art. 62 Schutzmaßnahmen bei Kurz- und Erdschluß</p> <p>² Elektrische Anlagen müssen so erstellt werden, daß sich Betriebsstörungen und Schäden durch Lichtbogen auf ein Minimum beschränken. Das Wandern von Lichtbögen ist zu verhindern.</p> <p>SR 734.2: Art. 63 Abschaltung</p> <p>¹ In Starkstromanlagen sind Einrichtungen einzubauen, die durch das Abschalten der Anlage Schäden infolge von Überlast-, Kurzschluß- und Erdschlußströmen möglichst begrenzen.</p> <p>² Die Anlage muß nicht abgeschaltet werden, wenn die Ströme auf andere Weise auf ungefährliche Werte begrenzt werden können.</p>
6.1.3.2	<p>SR 734.2: Art. 42 Wege innerhalb der Anlage</p> <p>Wege innerhalb der Freiluftanlage müssen mindestens 1,2 m breit sein und eine lichte Höhe von 2,5 m aufweisen.</p>

- 6.2.3 SR 734.2: Art. 43 Sicherheitsabstände
- ⁴ Innerhalb von Freiluftanlagen dürfen sich längs der Anlagenumzäunung in einer Breite von 1,6 m + 0,01 m pro kV Nennspannung und einer Höhe von 6 m bei Anlagen unter 220 kV, einer Höhe von 6,6 m bei Anlagen von 220 kV und einer Höhe von 7,1 m bei Anlagen von 380 kV keine spannungsführenden Teile befinden.
- 6.2.4 SR 734.2: Art. 43 Sicherheitsabstände
- ¹ Die minimale vertikale Abstände zwischen spannungsführenden Teilen und dem Erdboden oder begehbaren Teilen innerhalb von Freiluftanlagen richten sich nach Anhang 3 Kolonne 3.
- ³ Ist kein Berührungsschutz vorhanden, so muß der geerdete Isolatorfuß mindestens 2,25 m Abstand zum Boden aufweisen.
- 6.2.6 SR 734.2: Art. 41 Umzäunungen und Gerüste
- ¹ Der Betriebsbereich einer Freiluftanlage muß mit einer Umzäunung von mindestens 2,2 m Höhe abgeschlossen sein. In schneereichen Gegenden ist diese Umzäunung entsprechend zu erhöhen.
- ² Das Gitter der Umzäunung darf eine Maschenweite von höchstens 4 cm und einen Bodenabstand von höchstens 10 cm aufweisen.
- 6.3 SR 734.2: Art. 35 Gänge und Zugänge
- ¹ Die Mindestmaße für Gänge und Zugänge in Innenraumanlagen richten sich grundsätzlich nach Anhang 1. Die Kontrollstelle kann in begründeten Fällen Ausnahmen gestatten, wenn die Sicherheit und der Freiraum für Instandhaltungsarbeiten nicht unzulässig beeinträchtigt werden.
- ² Gänge in elektrischen Anlagen dürfen nicht als Durchgang für andere Räume genutzt werden.
- SR 734.2: Art. 36 Mindestabstände, Mindesthöhen und Minimalmaße
- ¹ Die in Innenraumanlagen einzuhaltenden Mindestabstände, Mindesthöhen und Minimalmaße sind in Anhang 2 festgehalten.
- ² Schaltschränke mit einer Höhe von weniger als 2,2 m müssen oben geschlossen sein.
- 6.4.2 SR 734.2: Art. 29 Hilfsanlagen
- ¹ Druckbehälter müssen den einschlägigen Vorschriften betreffend Aufstellung und Betrieb von Druckbehältern und den Regeln der Technik entsprechen. Als Regeln der Technik gelten insbesondere die Vorschriften des Schweizerischen Vereins für Druckbehälterüberwachung.
- SR 734.2: Art. 40 Gasisolierte Anlagen
- ² Die Betriebsinhaber der Starkstromanlagen müssen in einem besonderen Anlagenschema die Gasversorgung darstellen und dieses Schema an geeigneter Stelle zur Verfügung halten.
- ³ Gasräume eines Druckgehäuses müssen gasdicht ausgeführt und auf ihre Dichtigkeit überwacht werden.
- ⁴ Gasräume müssen zur Druckentlastung im Fehlerfall (Störlichtbogen) mit Sollbruchstellen (z. B. Berstscheiben) versehen werden. Diese sind so anzuordnen, daß bei Gasaustritt das Anlagepersonal nicht gefährdet wird.
- ⁵ Vor dem Öffnen der Gasräume sind Schutzmaßnahmen zu treffen, damit eventuelle pulver- und gasförmige Zersetzungsprodukte auf ungefährliche Weise entfernt werden können.
- ⁶ Die Betriebsinhaber der Starkstromanlagen müssen an gut sichtbarer Stelle Tafeln anbringen, die über die möglichen Gefahren der verwendeten Gase und über das Verhalten bei Gasaustritt informieren.
- ⁷ Für Räume mit gasisolierten Anlagen müssen Kontrollgeräte vorhanden sein, mit denen ausgetretene Gase gemessen werden können, es sei denn, die Gasmenge sei im Verhältnis zum umgebenden Raum vernachlässigbar.
- 6.5.2 SR 734.2: Art. 38 Bauliche Maßnahmen
- ¹ Der ungehinderte Zugang zu den elektrischen Anlagen muß jederzeit gewährleistet sein.
- ² Zugangstüren müssen mechanisch stabil und, wenn sie nicht ins Freie führen, feuerhemmend (T 30) sein.

³ Räume für elektrische Anlagen müssen feuerbeständig (F 90) sein. Ausnahmen sind nur in Industriebetrieben und mit Einwilligung der zuständigen Feuerpolizei zulässig.

⁴ Zu- und Abluftöffnungen müssen ins Freie führen. Ausnahmen sind nur mit Einwilligung der zuständigen Feuerpolizei zulässig.

⁵ Vergitterungen bei Türen, Fenstern, Lüftungsöffnungen und Kabeleinführungen müssen das Eindringen von Kleintieren und das Durchstecken von festen Gegenständen verhindern. Wenn das Durchstecken von festen Gegenständen nicht verhindert werden kann, muß der Abstand zu spannungsführenden Teilen mindestens 1,5 m + 0,01 m pro kV Nennspannung betragen.

SR 734.2: Art. 39 Unterirdische Anlagen

¹ Unterirdische Starkstromanlagen müssen allseitig berührungssicher gebaut sein, wenn sie nur über einen vertikalen Einstieg zugänglich sind.

² Sind sie nicht berührungssicher, so muß für den Einstieg ein Vorraum vorgesehen werden, der vom Betriebsraum durch eine Türe abgetrennt ist.

6.5.4 SR 734.2: Art. 35 Gänge und Zugänge

³ Bedienungsgänge von mehr als 20 m Länge müssen auf beiden Seiten verlassen werden können.

6.7 SR 734.2: Art. 48 Sicherheitsabstände auf Maststationen

¹ Der Vertikalabstand zwischen den bei geöffnetem Leitungsschalter noch unter Spannung stehenden Teilen und den nächstliegenden Anlageteilen der Maststation muß mindestens 1,5 m betragen.

² Der Vertikalabstand zwischen dem bei geöffnetem Leitungsschalter noch unter Spannung stehenden Teilen und den für Bedienung und Instandhaltung erforderlichen Standorten (Fußhöhe) muß der Mindesthöhe nach Anhang 3 Kolonne 3 in Freiluftanlagen entsprechen.

7.3.1 SR 724.2: Art. 45 Abschalt- und Abtrennbarkeit

¹ Jede Transformatorenstation mit Freileitungsanschluß muß durch einen in Stationsnähe angebrachten Freileitungsschalter vom Netz abgetrennt werden können.

² Transformatorenstationen mit Kabelanschlüssen müssen unmittelbar nach dem Kabelanschluß abtrennbar sein und die Kabelzuleitungen selbst müssen in den benachbarten Gegenstationen abschaltbar sein.

³ Die Belastung in den Stationen muß so reduziert werden können, daß die Schaltungen nach den Absätzen 1 und 2 problemlos und rasch vorgenommen werden können.

⁴ Jeder Transformator muß einzeln primär- und sekundärseitig von der Anlage abtrennbar sein.

⁵ Alle Zu- und Abgänge von Hoch- und Niederspannungssammelschienen müssen einzeln und unter Spannung abtrennbar sein. Ausgenommen sind Zuleitungen zu Spannungswandlern und Überspannungsableitern.

SR 734.2: Art. 46 Anordnung

Transformatoren und dazugehörige Schalter oder Sicherungen sind grundsätzlich in der gleichen Anlage und örtlich so anzuordnen, daß sie gefahrlos bedient und kontrolliert werden können.

7.7.1 SR 734.2: Art. 7 Landschafts- und Umweltschutz

¹ Die maßgebenden Vorschriften über den Natur- und Heimatschutz, sowie den Landschafts-, Umwelt- und Gewässerschutz sind bei Planung, Erstellung, Betrieb und Instandhaltung von Starkstromanlagen zu beachten.

² Enthalten elektrotechnische Einrichtungen wassergefährdende Flüssigkeiten, so sind die Regeln der Technik zu befolgen, insbesondere die technischen Empfehlungen des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) über den Schutz der Gewässer bei Erstellung und Betrieb von elektrischen Anlagen).

9.2.4.1 SR 734.2: Art. 54 Zulässige Berührungs- und Schrittspannungen in Starkstromanlagen

¹ Bei einem Erdschluß in einer Starkstromanlage dürfen die Berührungsspannungen unter Berücksichtigung des höchstmöglichen einpoligen Erdschlußstromes dauernd 50 V Wechselspannung bzw. 120 V Gleichspannung nicht überschreiten. Für Einwirkungszeiten unter fünf Sekunden gelten die Werte nach Anhang 4.

³ In geschlossenen (städtischen) Überbauungen sind zur Erreichung des Potentialausgleichs alle Erdungen von Hoch- und Niederspannungsanlagen miteinander zu verbinden. Der Nachweis für die Einhaltung der Berührungsspannungen muß nur für kritische Randzonen erbracht werden.

⁴ Für Schrittspannungen werden im allgemeinen keine Grenzwerte vorgeschrieben. In besonderen Fällen, vor allem bei Zugangswegen zu Hochspannungsanlagen und zu Mastschaltern, sind Schutzmaßnahmen anzuwenden.

Seite 128
HD 637 S1:1999

Anhang 1

Minimalmaße für Gänge und Zugänge in Innenraumanlagen

	freie Gangbreite m	freie Ganghöhe m
1. Bedienungsgänge		
in Niederspannungsanlagen	0,8	2
in Hochspannungsanlagen	1	2,1
2. Montagegänge		
in offenen Niederspannungsanlagen	0,7	2
in gekapselten Anlagen	0,5	2
	Breite m	Höhe m
3. Zugänge		
Türen zu Niederspannungsanlagen	0,65	1,95
Türen zu Hochspannungsanlagen	0,8	1,95
Notausgänge	0,6	1,95
Einstiegschächte (Durchmesser) Ø	0,8	

ANMERKUNG: Sofern sich an der Decke einer Innenraumanlage spannungsführende Teile befinden, gelten die Abstände nach Anhang 2.

Anhang 2

Mindestabstände in Innenraumanlagen

Nennspannung	kV	≤1	3	6	10	15	20	30	45	60	110	132	150
höchste Betriebsspannung	kV		3,6	7,2	12	17,5	24	36	52	72,5	123	145	170
1. Mindestabstand zwischen unter Spannung stehenden Teilen und													
a. Schranke	m	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,85	1,1	1,3	1,5
b. Gitterabschluß	m	0,15	0,16	0,16	0,19	0,22	0,26	0,37	0,58	0,73	1	1,2	1,4
c. Vollwandverschalung (metallisch geerdet)	m	0,08	0,08	0,09	0,12	0,16	0,22	0,32	0,5	0,7	0,9	1,10	1,3
2. Mindesthöhe zwischen Bedienungsstandort und ungeschützt unter Spannung stehenden Teilen	m	2,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,75	2,9	3,4	3,55	3,7

Bemessungshinweise

- Schrankehöhe Hochspannungsanlagen: 0,5 m und 1,4 m
- Schrankehöhe Niederspannungsanlagen: 1,2 m
- Gitter- und Verschalungshöhe: min. 1,8 m
- Gitterabschluß
 - max. Maschenweite: 40 mm
 - min. Drahtdicke: 2 mm
- Bei Mindesthöhen sind alle Stufen, Isolierschemel oder ähnliches zu berücksichtigen.
- Die Abstände gelten für Höhen bis 1 000 m über Meer. In größeren Höhen sind sie linear um 14 % pro 1 000 m Höhenzunahme zu vergrößern.

Anhang 3
Sicherheitsabstände in Freiluftanlagen

Kol. 1 Nennspannung kV	Kol. 2 Höchste Betriebsspannung kV	Kol. 3 Mindesthöhe zu unter Spannung stehenden Teilen m
20	24	2,5
30	36	2,55
45	52	2,7
60	72,5	2,85
110	123	3,35
132	145	3,57
150	170	3,75
220	245	4,45
380	420	6,05

Bemessungshinweise:

1. Die Mindesthöhen in Kolonne 3 betragen 2,25 m + 0,01 m pro kV Nennspannung, mindestens aber 2,5 m.
2. Für extreme Schneehöhen sind Zuschläge notwendig.
3. Für weitere Abstände gelten die anerkannten Regeln der Technik.
4. Die Abstände der Leitungszuführungen richten sich nach der Leitungsverordnung.
5. Die Abstände gelten für Höhen bis 1 000 m über Meer. In größeren Höhen sind sie linear um 14 % pro 1 000 m Höhenzunahme zu vergrößern.

Anhang 4

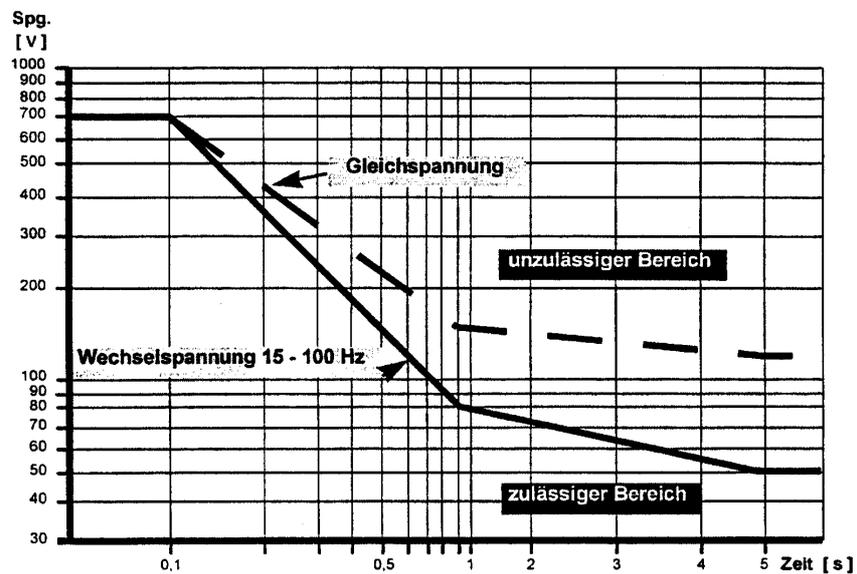


Bild S.CH.1 Zulässige Berührungs- und Schrittspannungen

Seite 130
HD 637 S1:1999

A-Abweichungen für Spanien

Die nationalen Abweichungen für Spanien (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Regelungen:

- I. Königliches Dekret 3275/1982 „Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Electricas, subestaciones y centros de transformacion“;
- II. Ministerielle Anordnung vom 06. Juli 1984 „Instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Electricas, subestaciones y centros de transformacion“.

Regeln über technische und sicherheitsrelevante Bedingungen in Kraftwerken und Umspannstationen, veröffentlicht im National Official Journal vom 01. Dezember 1982, ergänzt durch technische Vorschriften veröffentlicht im National Official Journal vom 01. August 1984, im folgenden MIE RAT genannt.

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
3.4.1.2	MIE RAT 3.3.4 definiert einen Faktor von 1,25 % pro 100 m oder weniger oberhalb von NN (Meereshöhe) bis zur Aufstellungshöhe von 3 000 m.
Tabelle 2	MIE RAT definiert die nachfolgenden Werte als Mindestabstände:
Tabelle 3	

Tabelle 2: Mindestabstand in Luft, Spannungsbereich B ($52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$)

Spannungsbereich	Nennspannung des Netzes U_n (Effektivwert) kV	Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m (Effektivwert) kV	Bemessungs-Kurzzeitwechselspannung (Effektivwert) kV	Bemessungs-Blitzstoßspannung 1,2/50 μ s (Scheitwert) kV	Mindestabstand (N) Leiter/Erde und Leiter/Leiter mm
B	45 ¹⁾	52	95	250	480
	66 ²⁾	72,5	140	325	630
	70 ⁶⁾	82,5	150	380	750
	110 ³⁾	123	185 ⁴⁾	450	900
			230	550	1 100
	132	145	185 ⁴⁾	450	900
			230 275	550 650	1 100 1 300
	150 ¹⁾	170	230 ⁴⁾	550	1 100
275 325			650 750	1 300 1 500	
220	245 ⁵⁾	275	650	1 300	
		325	750	1 500	
		360	850	1 700	
		395 460	950 1 050	1 900 2 100	

1) Diese Nennspannungen der Netze sollten als nicht bevorzugt angesehen werden. Sie werden zur Anwendung bei der Projektierung neuer Netze nicht empfohlen.

2) Für $U_n = 60 \text{ kV}$ werden die Werte für $U_n = 66 \text{ kV}$ empfohlen.

3) Für $U_n = 90 \text{ kV} / U_m = 100 \text{ kV}$ werden die niedrigeren Werte der Stehspannungen und Abstände empfohlen.

4) Die Werte der Stehspannungen und Abstände in dieser Zeile sollten nur für die Anwendung in selten auftretenden Sonderfällen berücksichtigt werden.

5) Ein fünfter (noch niedrigerer) Pegel für 245 kV ist in EN 60071-1 angegeben.

6) Dieser Spannungswert ist nicht in EN 60071-1 enthalten.

Tabelle 3: Mindestabstand in Luft, Spannungsbereich C ($U_m \geq 300$ kV)

Spannungsbereich	Nennspannung des Netzes	Höchste Spannung für Betriebsmittel	Bemessungs-Schaltstoßspannung	Mindestabstand (N) Leiter/Erde		Bemessungs-Schaltstoßspannung	Mindestabstand Leiter/Leiter		
				Leiter/Erde 250/2 500 μ s	Leiter/Konstruktion		Stab/Konstruktion	Leiter/Leiter parallel	Stab/Leiter
				kV	mm		kV	mm	
C	275	300	750	1 600 1 700	1 900	1 175	2 400	2 500	
			850	1 800 1 900	2 400	1 300	2 700	3 200	
	-	362	850	1 800 1 900	2 400	1 300	2 700	3 200	
			950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600	
	380	420	950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600	
			1 050	2 600	3 400	1 550	3 500	4 100	
	480	525	1 050	2 600	3 400	1 550	3 500	4 100	
			1 175	3 100	4 100	1 800	4 300	5 200	
			-	-	-	1 950	4 900	5 900	
	700	765	-	-	-	2 100	5 600	6 800	
			1 300	3 600	4 800	2 250	6 300	7 700	
			1 425	4 200	5 600	2 400	7 100	8 800	
			1 550	4 900	6 400	2 250	7 900	10 000	

4.3.4 MIE RAT fordert nicht die Prüfung mit der Bemessungs-Stoßspannung der Trennstrecke, wenn der Mindestabstand in Luft nachgewiesen ist.

6.1.3.2 In MIE RAT 15, 3.1.3 ist $T = N$ zulässig.

6.1.5 Nicht zwingend gefordert von MIE RAT.

1. Absatz

6.1.7 MIE RAT 14 und 15 verlangen keine Bezeichnung der genannten Komponenten.

2. Absatz

6.2.1 MIE RAT 15 fordert in 3.2.1 folgende Werte:

$$B_1 = N + 30 \text{ mm}$$

$$B_2 = N + 100 \text{ mm}$$

$$B_3 = N + 100 \text{ mm}$$

Die spanischen Vorschriften definieren nicht den Schutzgrad durch Schutzvorrichtungsabstände, sie legen Nennspannungen fest unterhalb oder oberhalb oder gleich 52 kV.

Die zugehörige Höhe der Abstände ist unterschiedlich (2 000 mm).

6.2.2 MIE RAT 15 fordert in 3.2.1 $O_2 = N + 300$ mm (min. 800 mm). In keinem Fall darf die Höhe kleiner als 1 000 mm sein.

- 6.2.3 MIE RAT 15 definiert in 2.1 die Mindesthöhe mit 2 200 mm (anstelle 1 800 mm).
Bild 6.2
- MIE RAT definiert in $C = N + 30$ mm, falls die Höhe der Wand größer als $N + 2 500$ mm ist.
- In MIE RAT ist keine höchstzulässige Maschenweite definiert.
- 6.2.4 MIE RAT 15 fordert in 3.2.1: $H = N + 2 500$ mm.
- MIE RAT 15 fordert in 3.1.5 und 3.3.2: Die minimale Höhe muß $\geq 2 300$ mm für den untersten Teil einer Isolation sein.
- 6.2.6 MIE RAT 15 fordert in 2.1 eine Mindesthöhe von 2 200 mm.
- MIE RAT definiert keine Höhe von 50 mm über dem Erdboden.
- 6.3 MIE RAT 14 definiert in 5.1.2 folgende Höhen (anstelle H): $h = 230$ cm + d mit dem Wert d nach folgender Tabelle (Tabelle aus MIE RAT 5.1.2):
- | | | | | | | | |
|-------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Nennspannung (kV) | 20 | 30 | 45 | 66 | 110 | 132 | 220 |
| d (cm) | 20 | 27 | 38 | 57 | 95 | 110 | 185 |
- MIE RAT 14 definiert in 5.2.1 $O_1 = d + 20$ cm (min. 80 cm) mit dem Wert d nach vorstehender Tabelle.
- In 5.2.2 der MIE RAT 14 sind für Ketten oder Seile substantielle Unterschiede im Hinblick auf diese Norm vorgegeben.
- 6.5.4 MIE RAT 14 spezifiziert in 5.1.1 folgende Breiten:
- Gänge zur Bedienung auf einer Seite $\geq 1 000$ mm,
 - Gänge zur Bedienung auf beiden Seiten $\geq 2 \times 1 200$ mm,
 - Gänge zur Instandhaltung auf einer Seite ≥ 800 mm,
 - Gänge zur Instandhaltung auf zwei Seiten $\geq 1 000$ mm.
- MIE RAT 14 definiert in 5.1.4 die Mindesthöhe mit 2 300 mm.
- 6.7 MIE RAT 15 spezifiziert in 3.3.2 für Maste: $H' = 5 300$ mm + $U / 150$ mm (min. 6 000 mm).
- MIE RAT 15 spezifiziert in 4.2.1 für Mast-Transformatoren: $H' = 5 000$ mm.
Geringere Höhen werden zugelassen, falls Schutzmaßnahmen getroffen werden.
- Bild 6-1 Bild 6-2 Bild 1 und 2 der MIE RAT 14 und Bild 1 bis 5 der MIE RAT 15 zeigen Varianten im Hinblick auf nicht zugängliche Bereiche.
- 7.1.2.2 MIE RAT 15 definiert in 3.2.1: $O_2 = N + 300$ mm (min. 800mm). In keinem Fall darf die Höhe kleiner als 1 000 mm sein.
- 7.6.2.2.1 MIE RAT 14 fordert in 3.2.1 eine Trennwand zwingend bei einem Volumen > 50 l.
- 7.6.2.3 MIE RAT 14 fordert in 4.1.b2 für Öltransformatoren mit einem Einzelvolumen über 600 l oder einem Gesamtvolumen über 2 400 l ein fest installiertes geeignetes Feuerlöschsystem.
- MIE RAT 14 enthält in 4.1.b2 besondere Anforderungen für transportable und fest installierte Feuerlöschrichtungen in Innenraumanlagen.
- 7.7.1.1 MIE RAT 14 fordert in 4.1.A bei Innenraumaufstellung einen Grenzwert von 50 l. Bei Verwendung von Isolierflüssigkeiten mit einem Brennpunkt über 300 °C ist keine Auffangwanne erforderlich. In diesem Fall genügt eine Vorrichtung, um ein Ausfließen ins Freie zu verhindern.

Seite 134
HD 637 S1:1999

- 7.7.1.2 MIE RAT 15 definiert in 5.13C für Freiluftaufstellung keine Größe für die Auffangwanne.
- 9.2.2.1 Gemäß Abschnitt 3 der MIE RAT 13 ist vorgespannter Stahl nicht zulässig.
- 9.2.2.2 In 3.1 der MIE RAT ist ein Mindestquerschnitt von 25 mm² bei Kupfer und 50 mm² bei Stahl festgelegt.
- 9.2.3.1 In Abschnitt 5 der MIE RAT 13 ist ein Wert von 0,7 I_E ist zulässig für $U_N \geq 100$ kV.
- 9.2.3.2 Gemäß 3.1 der MIE RAT 13 ist ein Wert von $t < 1$ s nicht zulässig.
- 9.2.4.1 In 1.1 der MIE RAT 13 wird der Schuhwiderstand R_{a1} vernachlässigt.
Nach 1.1 der MIE RAT 13 ist es zwingend, Schrittspannungen zu berechnen.
- 9.2.4.2 Nach MIE RAT 13 wird die Erfüllung der Voraussetzungen C oder die Durchführung von Ersatzmaßnahmen M nicht betrachtet. Es ist in allen Fällen notwendig, die Schritt- und Berührungsspannungen zu berechnen und mit den maximal zulässigen Werten nach 1.1 zu vergleichen.
- Bild 9.1 Die Werte der graphischen Darstellung für zulässige Berührungsspannungen bei begrenzter Stromdauer sind nicht zulässig. Die Werte in 2.1 der MIE RAT 13 müssen berücksichtigt werden.
- Bild 9.2 Die Werte dieser Darstellung nach 9.2.4.2. sind nicht anzuwenden. Das anzuwendende Verfahren ist in 2.1 der MIE RAT 13 angegeben.
- Anhang A Einige Tabellenwerte sind nicht die gleichen wie im 3.4 der MIE RAT 13.
- Anhang B Zur Berechnung der Querschnitte der Erdleiter und der Erder gibt 3.1 der MIE RAT 13 Stromdichten für eine Fehlerdauer $t_F \geq 1$ s gemäß folgender Tabelle an:

	A/mm ²	
	$t_F = 200^\circ\text{C}$	$t_F = 300^\circ\text{C}$
Kupfer	160	160 x 1,2
Stahl	60	60 x 1,2

Mindestquerschnitt: Kupfer ≥ 25 mm²
Stahl ≥ 50 mm²
oder Äquivalentwerte für andere als oben spezifizierte Materialien.

- Tabelle C.3 Die Werte dieser Tabelle sind für Werte nach Bild 9.1 nicht anwendbar.
- C.2 MIE RAT berücksichtigt in 1.1 nicht den Wert R_{a1} .
Der Wert des Körperwiderstandes Z_B ist immer 1 000 Ohm.
- Anhang D Nach MIE RAT 13 ist es zwingend notwendig, $U_T \leq U_{Tp}$ sicherzustellen. Ersatznahmen M sind als Nachweis von U_T nicht zulässig.
- F.1 MIE RAT 13 erlaubt in 7.6C Metallzäune oder Abgrenzungen nicht zu erden, wenn sie genügend weit von der Haupterdung entfernt sind.
- F.4 Nach MIE RAT 13 ist es in allen Fällen zwingend erforderlich, Schritt- und Berührungsspannungen zu berücksichtigen.
- F.5 MIE RAT 13 erlaubt keine Ausnahme für Querschnitte der Erdverbindungen bei Sekundärwicklungen der Meßwandler.

A-Abweichungen für Finnland

Die nationalen Abweichungen für Finnland (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Regelungen:

A 1-93 „Electrical safety code“, Publication of the Electrical Inspectorate. (Mandatory regulation with a legal origin in Electricity act 319/79 and Decision of the Ministry of Trade and Industry on the electrical safety code 205/749)

„Elektrische Sicherheitsvorschriften“, Veröffentlichung des Inspektorats für Elektrizität (Zwingende Regeln mit gesetzlichem Ursprung im Elektrizitätsgesetz 319/79 und in der Verordnung 205/749 des Ministers für Handel und Industrie zu den Elektrischen Sicherheitsvorschriften)

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
4.4	<p>Publikation A 1-93, § 5</p> <p>Die Mindestabstände von einem nicht direkt geerdeten Mittelpunkt (Sternpunkt) müssen mit den Mindestabständen der Tabellen 4-1, 4-2 und 4-3 übereinstimmen. Wenn die Bemessungsspannung des Systems gleich oder größer als 110 kV ist, können die Mindestabstände vom Mittelpunkt nach der bei einem Erdfehler am Mittelpunkt auftretenden Spannung festgelegt werden.</p>
6.2.2 7.1.3.2	<p>Publikation A 1-93, § 23</p> <p>Schutz durch Hindernisse in Freiluftanlagen ist nur für Bemessungsspannungen größer als 45 kV erlaubt. Der kleinste zulässige Schutzvorrichtungsabstand für Hindernisse beträgt $O_2 = N + 800$ mm. Ketten und Seile sind nicht zulässig. Im Hinblick auf die Schneeverhältnisse muß die Mindesthöhe von aktiven Teilen hinter einem Hindernis $N + 300$ mm betragen, mindestens jedoch 800 mm.</p>
6.3 7.1.2.2	<p>Publikation A 1-93, § 23</p> <p>Abdeckungen für Innenraumanlagen müssen eine Mindesthöhe von 2,3 m haben.</p>
6.3 7.1.3.2	<p>Publikation A 1-93, § 23</p> <p>Schutz durch Hindernisse ist in Innenraumanlagen nicht zulässig.</p>
6.4.1	<p>Publikation A 1-93, § 23</p> <p>Schaltanlagen gemäß IEC 60466 müssen gegen direkte Berührung geschützt sein.</p>
7.1.3.3	<p>Publikation A 1-93, § 23</p> <p>Bei Anordnung von aktiven Teilen mit einer Bemessungsspannung über 1 000 V hinter einer Tür oder einer Blende, die normalerweise geschlossen ist, aber gelegentlich für Bedienungen oder Kontrollmaßnahmen geöffnet werden muß, ist eine stabile Leiste hinter der Tür als eine zusätzliche Schutzmaßnahme anzubringen. Die Leiste muß aus Isoliermaterial oder trockenem Holz bestehen. Sie und ihre Befestigung müssen einer Last von mindestens 1 000 N standhalten.</p>
9.2.4.2	<p>Publikation A 1-93, § 10</p> <p>Die Erdungs-Impedanz des Erdungssystems muß stets gemessen werden.</p>

Seite 136
HD 637 S1:1999

A-Abweichungen für Frankreich

Die nationalen Abweichungen für Frankreich (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Regelungen:

- I. Verordnung 14-11-88 und seine „Arrêtés d’application“ mit Bezug auf „loi du code du travail“.
Bestimmte Teile der Französischen Norm NFC 13-200, April 1987 über Anlagen mit Spannungen unter 64 kV sind obligatorisch in Übereinstimmung mit der unter I. genannten Verordnung.
- II. Technische Bedingungen des „Arrêtés Interministériel“ vom 2. April 1991 für Übertragungs- und Verteilungsnetze mit Verweis auf das Gesetz „Les distributions d’énergie“ vom 15.06.1906 welches mit Erläuterungen in dem Schriftstück 1112-1 der „Direction des journaux officiels“ veröffentlicht wurde.
- III. Sicherheitsnormen in öffentlichen Gebäuden "Arrêté d’application" 26-06-80.
- IV. Sicherheitsnormen in Hochhäusern "Arrêté d’application" 18-10-77.

Zur Information ist hier ein Auszug der entsprechenden Vorschriften genannt, für genaue Betrachtungen sollten die Originalvorschriften verwendet werden.

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
3.1.4	Für Anlagen nach Regelungen I, (Arrêté d’application vom 15-12-88), III und IV: Es gelten die Abschnitte 43, 523 und 526 der Französischen Norm NF C 13-200.
3.2	Für Anlagen nach Regelung II (Artikel 13 der „Arrêté“): Für die zulässige Beanspruchung der Anlagenteile (Betriebsmittel, Gerüste, Isolatoren) sind die entsprechenden Sicherheitsfaktoren zu verwenden.
5.2.5	Für Anlagen nach Regelung II (Artikel 65 bis der „Arrêté“): Stationen die an Hochspannungsnetze (< 50 kV) mit nichtisolierten Leitern angeschlossen sind, müssen durch Überspannungsableiter nach den einschlägigen Normen gegen Blitzüberspannungen geschützt werden.
6.2.6	Für Anlagen nach Regelung II (Artikel 44 der „Arrêté“): Für äußere Umzäunungen ist eine Mindesthöhe von 2 000 mm erforderlich.
6.3	Für Anlagen nach Regelung II (Artikel 43 der „Arrêté“): Wenn in einer Anlage Bereiche durch Schutzgitter oder Drahtzäune abgesperrt sind, muß mindestens eine der folgenden drei Bedingungen erfüllt werden: <ol style="list-style-type: none"> a) eine Verriegelung verhindert das Öffnen des Bereiches solange Hochspannung ansteht, b) der Stationsplan ist gut sichtbar angebracht, c) Schutzgitter oder Drahtzäune sind mit einen Hinweis auf die Schaltgeräte in der Anlage oder in Nachbaranlagen zu versehen, mit denen das Abschalten der Hochspannung erfolgt. Wenn notwendig, sind Teile anzugeben, die nach der Freischaltung noch unter Spannung stehen.
7.2	Für Anlagen nach Regelungen I (Arrêté d’application vom 15-12-88), III und IV: Es gelten die Abschnitte 413 und 442 der Französischen Norm NF C 13-200.
7.3.1	a) Für Anlagen nach Regelungen I und II (Artikel 65 der „Arrêté“): In Hochspannungsverteilungsstationen (< 50 kV) müssen Schalter oder Trennschalter mit Bedienungseinrichtungen versehen werden, die eine Bedienung außerhalb der Zelle ermöglichen, ohne Schutzabsperungen oder Schutzzäune zu öffnen. Hilfseinrichtungen die bedient werden müssen, während das Feld unter Spannung steht, müssen außerhalb des Feldes angeordnet sein. <ol style="list-style-type: none"> b) Für Anlagen nach Regelung I (Artikel 9 der Verordnung 14-11-88):

Bei Spannungen kleiner als 63 kV muß die Trennfunktion durch allpolig schaltende Geräte erfolgen.

- 7.6.2 a) Für Anlagen nach Regelungen I, (Arrêté d'application 17-01-89), II (Artikel 19 der „Arrêté“ und III:
Maßnahmen die in der Vorschrift NF C 17-300 vom August 1988 und den zugehörigen Ergänzungen A1 vom September 1995 vorgeschrieben sind, müssen für alle elektrischen Anlagen innerhalb von Gebäuden oder in deren näheren Umfeld (< 8m) in Betracht gezogen werden, wenn dort je Kessel, Wanne, Behälter oder in Verbindung stehenden Behältern mehr als 25 Liter brennbare Isolierflüssigkeit der Klassen O₁ oder K₁ oder mehr als 50 Liter der Klassen K₂ oder K₃ enthalten sind.
- b) Für Anlagen nach Regelung IV:
Brennbare Isolierflüssigkeiten der Klassen O₁, K₁, K₂ und K₃ sind in Hochhäusern verboten.
- 9.4 In Übereinstimmung mit den französischen Regelungen I, II und III (Arrêté d'application, 15-12-88):
In elektrischen Anlagen von Fabriken, Industriebetrieben oder anderen industriellen, landwirtschaftlichen, geschäftlichen oder öffentlichen Räumlichkeiten welche Hochspannungs- und Niederspannungseinrichtungen enthalten, darf die Berührungsspannung 50 V nicht überschreiten.
Diese Forderung wird erreicht durch Potentialausgleich zwischen den Körpern der Hochspannungs-Betriebsmittel und gleichzeitig berührbaren fremden leitfähigen Teilen. (195-06-11)
- F.4 Für Anlagen nach Regelung II (Artikel 85 der „Arrêté“):
Die Mindesthöhen für begehbare Flächen sind größer als in 6.7 gefordert: 6 m oder 8 m je nachdem ob der Bereich öffentlich zugänglich ist oder nicht.
Jede Station oder Stationsgruppe muß durch eine Trennvorrichtungen (Lasttrenner) vom Netz getrennt werden können, welche örtlich zugehörig angebracht ist. Diese Vorrichtung muß leicht vom Erdboden aus zu bedienen sein.
Wenn sich die Trennvorrichtung nicht in der Nähe des Transformators befindet, muß der Transformator gekennzeichnet sein. Diese Markierung muß vom Erdboden aus gut sichtbar sein und eindeutig auf die Vorrichtungen hinweisen, mit denen der Transformator vom Netz getrennt werden kann.
Wenn sich die Trennvorrichtung nicht am zugehörigen Mast befindet, muß der Transformator mit einem Hinweis versehen sein, der die Zuordnung zu dieser ermöglicht.
Die Betätigungseinrichtung der Trennvorrichtung am Mast muß in geöffnetem und geschlossenem Zustand verriegelbar sein.

Seite 138
HD 637 S1:1999

A-Abweichungen für das Vereinigte Königreich

Das britische Gesetz zur Energieversorgung und Arbeitsschutz (British Law on Electricity Supply and Health & Safety) enthält häufig die Forderung nach "Gefahrenvermeidung". Diese Forderung setzt alle anderen Erwägungen sowie die Anwendung von Normen außer Kraft.

Das britische Gesetz zur Stromversorgung und Arbeitsschutz enthält ebenfalls häufig den Begriff "soweit es bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist". Dieser Begriff verlangt, daß jedes einzelne Problem für sich allein betrachtet wird und paßt daher schlecht zu Rechtsvorschriften, die in Einzelheiten genau vorschreiben, was in jedem möglichen Fall zu tun ist. Es ist die Aufgabe der Gerichte in Großbritannien im Einzelfall zu entscheiden, ob ein Versorger die Schritte zur Vermeidung von Gefahren ergriffen hat, die "bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel" waren.

Die nationalen Abweichungen für das Vereinigte Königreich (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Regelungen:

- I. Electricity Supply Regulations 1989
- II. Electricity Supply Regulations (Northern Ireland) 1991
- III. Electricity at Work Regulations 1989
- IV. Electricity at Work Regulations (Northern Ireland) 1991
- V. Workplace (Health Safety and Welfare) Regulations 1992
- VI. Workplace (Health Safety and Welfare) Regulations (Northern Ireland) 1993

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
2.7.12.1	(Regel 5 (1) (a) der Regelung I sowie der Regelung II) Netze mit isoliertem Sternpunkt sind nicht zugelassen.
3.1.1	(Regel 5 (1) (a) der Regelung I sowie der Regelung II) Netze mit isoliertem Sternpunkt sind nicht zugelassen.
3.1.2	(Regel 18 der Regelung I und Regel 19 der Regelung II) Netze mit Spannungen von 480 und 700 kV sind gegenwärtig in Großbritannien nicht zugelassen.
3.1.3	(Regel 5 der Regelung III sowie der Regelung IV)
3.1.4	Elektrische Betriebsmittel dürfen nicht eingesetzt werden, wenn eine Überschreitung ihrer Bemessungswerte vorliegt, die zu Gefahren führen kann.
3.1.3	Regel 10 der Regelung III sowie der Regelung IV)
3.1.4	Dort, wo es zur Gefahrenvermeidung notwendig ist, muß jede Verbindung oder jeder Anschluß in einem Netz mechanisch und elektrisch für die Nutzung geeignet sein.
3.1.4.2	(Regel 11 der Regelung III sowie der Regelung IV) Wirksame und angemessen angebrachte Mittel sind einzurichten, um jedes Teil eines Netzes im Hinblick auf eine Gefahrenvermeidung vor Überstrom zu schützen.
3.1.4.3	(Regel 21 der Regelung I und Regel 22 der Regelung II) Jeder Versorger muß Schutzeinrichtungen in sein Netz einbauen, die - soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist - Stromflüsse, einschließlich Kriechstrom gegen Erde, in allen Teilen des Netzes für den Zeitraum vermeiden, in dem ein Teil des Netzes den Strom nicht mehr gefahrlos führen kann. Dies wurde so ausgelegt, daß Leiter über die Zeit intakt bleiben müssen, für die der Reserveschutz ausgelegt ist. Daher ist der Wert von einer Sekunde nicht angemessen.
3.2	(Regeln 5 und 10 der Regelung III sowie der Regelung IV) Elektrische Betriebsmittel dürfen nicht angewendet werden, wenn eine Überschreitung ihrer Bemessungswerte vorliegt, die zu Gefahren führen kann.

Dort, wo es zur Gefahrenvermeidung notwendig ist, muß jede Verbindung oder Anschluß in einem Netz mechanisch und elektrisch für die Nutzung geeignet sein.

- 6.1.1.1 (Regel 5 (1) (e) der Regelung I sowie der Regelung II)
2. Absatz Das Anzeigegerät muß eine Fernanzeige vorsehen (z. B. in einer Netzschaltzentrale)
- 6.1.1.2 (Regel 5 der Regelung III sowie der Regelung IV)
2. Absatz Es besteht die zusätzliche Vorgabe, daß elektrische Betriebsmittel nicht eingesetzt werden dürfen, wenn eine Überschreitung ihrer Bemessungswerte vorliegt, die zu Gefahren führen kann.
- 6.1.1.2 (Regel 10 der Regelung III sowie der Regelung IV)
3. Absatz Es besteht die zusätzliche Forderung, daß zur Gefahrenvermeidung ggf. jede Verbindung und Anschluß eines Systems mechanisch und elektrisch für die Nutzung geeignet sein muß.
- 6.1.4 (Regel 13 der Regelung V sowie der Regelung VI)
Die folgenden Vorgaben sind notwendig, um Arbeiter vor Stürzen und herabfallenden Objekten zu schützen:
- (1) Soweit es bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist, müssen geeignete und wirksame Maßnahmen zur Vermeidung eines in Absatz (3) erläuterten Ereignisses ergriffen werden.
 - (2) Soweit es bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist, müssen die von Absatz (1) geforderten Maßnahmen andere Maßnahmen als die Bereitstellung von Personenschutz-ausrüstung, Information, Anordnungen, Ausbildung oder Überwachung sein.
 - (3) Die in diesem Absatz aufgeführten Ereignisse sind:
 - (a) eine Person stürzt aus einer Höhe, die voraussichtlich zu einer Körperverletzung führt;
 - (b) eine Person wird von einem fallenden Objekt getroffen, was voraussichtlich zu einer Körperverletzung führt.
 - (4) Jeder Bereich, in dem ein Gesundheits- oder Sicherheitsrisiko aufgrund eines in Absatz (3) aufgeführten Ereignisses besteht, muß an den geeigneten Stellen klar gekennzeichnet werden.
 - (5) Sofern möglich, hat jeder Tank, jede Grube oder jedes Bauwerk sicher bedeckt oder mit einem Schutzzaun versehen zu sein, wenn die Gefahr besteht, daß eine Person am Arbeitsplatz in einen sich im Tank, der Grube oder dem Bauwerk befindlichen gefährlichen Stoff fällt.
 - (6) Jeder Verkehrsweg, der über, durch oder in einen unbedeckten Tank, Grube oder Bauwerk - wie in Absatz (5) erwähnt - führt, muß mit einem Schutzzaun versehen sein.
 - (7) In dieser Vorschrift bedeutet "gefährlicher Stoff":
 - (a) jeder Stoff, der möglicherweise zu Verbrühungen oder Verbrennungen führt,
 - (b) jeder Giftstoff,
 - (c) jeder aggressive Stoff,
 - (d) jeder Rauch, jedes Gas oder jeder Dampf, der auf eine Person einwirken kann, oder
 - (e) jeder körnige oder freifließende feste Stoff, der aufgrund seiner Eigenschaften oder Menge zu einer Gefährdung einer Person führen kann.
- 6.2 (Regel 7 der Regelung III sowie der Regelung IV)
6.3 Alle Leiter in einem Netz, die Gefahren verursachen können, müssen entweder -
- (a) ausreichend mit Isoliermaterial abgedeckt und je nach Bedarf zur Gefahrenvermeidung ausreichend geschützt sein soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist, oder
 - (b) mit Vorkehrungen versehen sein (ggf. auch ihre angemessene Verlegung), die der Gefahrenvermeidung dienen, soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist.
- Die Einhaltung dieser Vorschrift hat zu einer nationalen Vorgehensweise/nationalen Bestimmung geführt, nach der im allgemeinen der Gebrauch von Abdeckungen und Hindernissen vermieden wird, indem entweder:
- (a) alle Leiter mit einer Spannung über 1 kV von einem Gehäuse umschlossen werden oder
 - (b) sie in einer sicheren Höhe über dem Erdboden installiert werden entsprechend BS 7354: 1990 und insbesondere der Tabelle 3 (siehe 4.3).

ANMERKUNG: "Abdeckungen" und "Hindernisse" im Sinne der Definition in 2.4.4 und 2.4.5 werden nicht anerkannt.

Seite 140
HD 637 S1:1999

- 6.2.1 (Regel 14 der Regelung III sowie der Regelung IV)
6.2.2 Geeignete Vorkehrungen (ggf. Bereitstellung geeigneter Schutzausrüstung) sind zur Vermeidung von Verletzungen zu treffen.
Die Höhe der Abdeckung muß daher dem Umfeld angepaßt sein.
6.2.3 (Die Mindesthöhen von Freileitungen an verschiedenen Stellen sind in Liste 2 der Regelung I, geändert durch die Electricity Supply (Amendment) Regulations 1990, vorgegeben.)

Die folgenden Vorgaben finden an der Grenze einer Freiluftanlage in offener Bauweise Anwendung und bestimmen den Wert H in Bild 6.2.

Die geforderten Höhen sind:

Nennspannung kV	über Straßen m	nicht über Straßen m
bis 33 kV	5,8	5,2
> 33 kV bis 66 kV	6	6
> 66 kV bis 132 kV	6,7	6,7
> 132 kV bis 275 kV	7	7
> 275 kV bis 400 kV	7,3	7,3

(Die Vorgaben für Nordirland sind in Schedule 2, Regelung II festgelegt.)

Nennspannung kV	über Straßen m	nicht über Straßen m
bis 33 kV	5,8	5,2
> 33 kV bis 110 kV	6,4	6,4
> 110 kV bis 275 kV	7	7
> 275 kV	7,3	7,3

- 6.2.6 (Regel 20 (2) (a) der Regelung I und Regel 21 (2) (a) der Regelung II)
Äußere Umzäunungen dürfen nicht niedriger als 2,4 m sein und müssen, soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist, Gefahren oder unrechtmäßigen Zutritt verhindern.
- 6.5.2.1 (Regel 19 der Regelung I und Regel 20 der Regelung II)
Der Versorger muß Vorkehrungen treffen, um, soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist, Gefahren zu vermeiden, die aus dem Zufluß von Wasser oder einer anderen schädlichen oder explosiven Flüssigkeit oder Gas in einen geschlossenen Raum mit Betriebsanlagen entstehen.
- 6.5.2.3 (Regel 20 der Regelung I)
Wenn ein Fenster in einer Wand an der Außengrenze einer Station vorhanden ist, so ist es Teil der Grenze. Nach der genannten Vorschrift besteht die Pflicht - soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist -, Gefahren oder unrechtmäßigen Zutritt zu verhindern. Dies erfordert normalerweise die Anwendung von mehr als einer der Optionen.
- 6.5.2.3 (Regeln 14, 15 und 16 der Regelung V sowie der Regelung VI)
Vorschrift 14
(1) Jedes Fenster oder andere durchsichtige oder lichtdurchlässige Oberfläche in einer Wand oder Trennwand sowie jede durchsichtige oder lichtdurchlässige Oberfläche in einer Tür oder einem Tor muß, wo aus Gesundheits- oder Sicherheitsgründen erforderlich
(a) aus Sicherheitsmaterial sein oder gegen Bruch des durchsichtigen oder lichtdurchlässigen Materials geschützt sein, und
(b) angemessen gekennzeichnet sein oder Eigenschaften besitzen, die sie eindeutig sichtbar machen.
- Vorschrift 15
(1) Kein zu öffnendes Fenster, Oberlicht oder Ventilator darf beim Öffnen, Schließen, Einstellen oder Verstellen zu gesundheitlichen oder Sicherheitsrisiken bei den Personen führen, die diese Tätigkeiten ausführen.
(2) Kein Fenster, Oberlicht oder Ventilator darf in einer geöffneten Stellung sein, die eine Person am Arbeitsplatz einem gesundheitlichen oder Sicherheitsrisiko aussetzt.

Vorschrift 16

- (1) Alle Fenster und Oberlichter am Arbeitsplatz müssen so konstruiert oder gebaut sein, daß sie ohne Gefahr gereinigt werden können.
- (2) Bei der Überlegung, ob ein Fenster oder Oberlicht so konstruiert oder gebaut ist, daß es (1) entspricht, dürfen Geräte, die in Verbindung mit dem Fenster oder Oberlicht genutzt werden, oder am Gebäude angebrachte Vorrichtungen in Betracht gezogen werden.

- 6.5.4 (Regel 15 der Regelung III sowie der Regelung IV)
Zur Vermeidung von Verletzungen müssen bei allen elektrischen Betriebsmitteln, an denen oder in deren Nähe unter Umständen gearbeitet wird, die Gefahren verursachen können, ausreichend Platz zum Arbeiten, angemessene Zugangsmöglichkeiten und Beleuchtung vorgesehen werden.
Die in diesem Abschnitt angegebenen Größen können in manchen Fällen für eine Einhaltung dieser Vorschrift nicht ausreichend sein.
- 6.5.5. (Regel 18 der Regelung V sowie der Regelung VI)
(1) Türen und Tore müssen angemessen gebaut sein und mit den notwendigen Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet sein;
(2) Ungeachtet der Allgemeingültigkeit von Absatz (1) entsprechen Türen und Tore nur diesem Absatz, wenn
 - (a) eine Schiebetür oder ein Schiebetor eine Vorrichtung hat, die verhindert, daß die Tür oder das Tor beim Gebrauch die Schiene verläßt;
 - (b) eine nach oben öffnende Tür oder ein nach oben öffnendes Tor eine Vorrichtung besitzt, die verhindert, daß die Tür oder das Tor zurückfällt;
 - (c) jede angetriebene Tür oder jedes angetriebene Tor angemessene und wirksame Einrichtungen zur Vermeidung von Körperverletzung durch Einklemmen hat;
 - (d) dort, wo es aus gesundheitlichen oder sicherheitstechnischen Gründen erforderlich ist, eine angetriebene Tür oder ein angetriebenes Tor manuell zu bedienen, falls sie oder es bei einem Stromausfall sich nicht automatisch öffnet;
 - (e) eine durch Drücken von beiden Seiten zu öffnende Tür oder ein durch Drücken von beiden Seiten zu öffnendes Tor so gebaut ist, daß sie bzw. es in geschlossenem Zustand eine klare Einsicht in den jeweiligen Öffnungsbereich ermöglicht.
- 7.3.1 (Regel 12 der Regelung III sowie der Regelung IV)
(1) Vorbehaltlich der Bestimmungen von Absatz (3) müssen geeignete Einrichtungen zur Gefahrenvermeidung (ggf. auch Methoden zur Erkennung von Stromkreisen) vorgesehen werden, die
 - (a) eine Abschaltung des Stromflusses zu einem elektrischen Betriebsmittel, und
 - (b) das Trennen elektrischer Betriebsmittel ermöglichen.
(2) In Absatz (1) bedeutet „Trennen“ das gesicherte Abschalten und Freischalten der elektrischen Betriebsmittel von allen Stromquellen.
(3) Zwar bezieht sich Absatz (1) nicht auf elektrische Betriebsmittel, die selbst eine Stromquelle sind, doch müssen in solchen Fällen ggf. Vorkehrungen zur Gefahrenvermeidung getroffen werden soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist.
- 7.3.5 (Regeln 4 (4) und 14 der Regelung III sowie der Regelung IV)
Isolierende Schutzplatten müssen ihrem Zweck entsprechen. Dies wird so ausgelegt, daß ein Nachweis durch Prüfung zu erbringen ist.
- 7.6.1 (Regel 20 (2) (c) der Regelung I und Regel 21 (2) (c) der Regelung II)
Der Versorger hat alle angemessenen Vorkehrungen zu treffen, um das Brandrisiko zu minimieren.
- 7.8.3 (Regel 20 (2) (b) der Regelung I und Regel 21 (2) (b) der Regelung II)
Der Versorger hat sicherzustellen, daß, soweit dies bei vernünftiger Betrachtungsweise praktikabel ist, die folgenden Einrichtungen deutlich sichtbar und dauerhaft angebracht sind:
 - (a) vorbehaltlich des Absatzes (3) ein Sicherheitsschild und ein Zusatz mit dem Namen des Versorgers und eine Adresse oder Telefonnummer, wo eine vom Versorger benannte Person in ständiger Bereitschaft anzutreffen ist

Seite 142
HD 637 S1:1999

sowie

(b) andere Schilder, die sich als notwendig erweisen können, um vor Gefahren zu warnen und die sich u.a. auf die Lage und die Art der Anlagen des Versorgers sowie die Maßnahmen zur Sicherstellung der technischen Sicherheit dieser Anlagen beziehen.

9.2

(Regel 9 der Regelung III sowie der Regelung IV)

Ein Leiter, der mit der Erde oder einem anderen Bezugspunkt verbunden ist, darf kein Element haben, das zu einer Unterbrechung der durchgehenden elektrischen Verbindung oder zur Entstehung eines hochohmigen Widerstandes führen und somit Gefahren verursachen könnte, es sei denn, daß angemessene Vorkehrungen zur Gefahrenvermeidung getroffen werden.

9.2.1

(Regeln 8 und 10 der Regelung III sowie der Regelung IV)

Die Anforderungen gelten auch für vorübergehende Erdanschlüsse nach den o.g. Vorschriften.

9.3.4

(Regel 8 (2) (a) der Regelung I sowie der Regelung II)

An einem Holzmast angebrachte Metallteile müssen nicht geerdet werden, wenn sie innerhalb eines Abstandes von 3 m zum Boden keine Gefahren verursachen können.

9.4.1

(Regel 5 (1) (d) der Regelung I sowie der Regelung II)

Wenn die HS- und NS-Erdungsanlagen verbunden werden sollen, darf der gesamte Erdungswiderstand nicht größer als 1 Ohm sein.

In den meisten Fällen, in denen die HS- und NS-Erdungsanlagen verbunden werden, besteht die Erdung aus einer Nullung, für die die Regeln 6 und 7 der Regelung I sowie der Regelung II weitere Vorgaben bezüglich der Erdung des NS-Netzes festlegen. Die Hauptvorgaben sind:

(1) Der Sternpunktleiter eines Verteilungssystems darf mit der Erde verbunden werden, wenn der äquivalente Kupferquerschnitt des Sternpunktleiters:

(a) an einer beliebigen Stelle in einem Dreiphasen-Vierleiter-, Zweiphasen-Dreileiter- oder Einphasen-Dreileiter-Verteilungssystems nicht kleiner als der halbe äquivalente Kupferquerschnitt des Phasenleiters an der gleichen Stelle ist;

(b) an einer beliebigen Stelle in einem Einphasen-Zweileiter-Verteilungssystems nicht kleiner als der äquivalente Kupferquerschnitt des Phasenleiters an der gleichen Stelle ist; und in beiden Fällen so ausgelegt ist, daß er in der Lage ist, die allgemein zu erwartenden Belastungen zu tragen.

(2) Der Sternpunktleiter muß an den geeigneten Stellen mit der Erde verbunden sein, damit der Widerstand des Sternpunktleiters zur Erde

(a) nirgends größer als 20 Ohm ist; und

(b) so ausgelegt ist, daß die Sicherungen oder Schutzeinrichtungen auf der HS-Seite eines Transformators funktionieren, wenn ein innerer Fehler dazu führt, daß die NS-Seite eine höhere Spannung annimmt, sofern die HS-Seite des Transformators nicht durch eine Erdschlußlöschspule mit der Erde verbunden ist.

(3) Die Vorschriften legen Vorgaben für den Potentialausgleich und die Größen der zu benutzenden Potentialausgleichsleiter fest. Die Größen der Potentialausgleichsleiter sind in der Tabelle unten angegeben.

Äquivalenter Kupferquerschnitt (CSA) des Anschlußleiters	Mindestgröße des äquivalenten Kupferquerschnitts (CSA) des Potentialausgleichsleiters
$\leq 35 \text{ mm}^2$	10 mm ²
$> 35 \text{ mm}^2$ und $\leq 50 \text{ mm}^2$	16 mm ²
$> 50 \text{ mm}^2$ und $\leq 90 \text{ mm}^2$	25 mm ²
$> 95 \text{ mm}^2$ und $\leq 150 \text{ mm}^2$	35 mm ²
$> 150 \text{ mm}^2$	50 mm ²

9.4.4

(Regel 5 (1) (d) der Regelung I sowie der Regelung II)

Die Überlappung der Spannungstrichter von zwei Elektroden darf nicht zu einer Gefahr führen.

A-Abweichungen für Italien

Die nationalen Abweichungen für Italien (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Vorschriften:
I. D.M. 21 Marzo 1988 und D.M. 16 Gennaio 1991.

Abschnitt	<u>Abweichung</u>
6.2.3 Bild 6.2	(D.M. 21 Marzo 1988 – art. 2.1.05 e D.M. 16 Gennaio 1991) Außerhalb der äußeren Umzäunungen der Anlage muß die Mindesthöhe von Freileitungsseilen über begehbaren Flächen den obengenannten Gesetzen entsprechen.
6.6.2	(D.M. 21 Marzo 1988 – art. 2.1.05 e D.M. 16 Gennaio 1991) Die Mindesthöhe von aktiven Teilen über begehbaren Flächen muß den obengenannten Gesetzen entsprechen.
F.4	(D.M. 21 Marzo 1988 – art. 2.1.13) Die Erdungsanlage des Mastes muß mit Erdern mit einer Elektrodenoberfläche von mindestens 0,25 m ² hergestellt sein (für Anlagen bis 30 kV) und mindestens 0,5 m ² (für Anlagen über 30 kV). Erder und Erdungsleiter aus Kupfer müssen einen Querschnitt von mindestens 16 mm ² und aus anderem Material von 50 mm ² haben.

Seite 144
HD 637 S1:1999

A-Abweichungen für Schweden

Die nationalen Abweichungen für Schweden (A-Abweichungen) entsprechen den folgenden Regelungen:
Verordnung ELSÄK-FS 1994:7.

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
4.3.4	(Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitte B76) Die Isolationskoordination muß in Übereinstimmung mit der schwedischen Norm SS EN 60071-1 und 2 durchgeführt werden.
5.2.1.3	(Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitte B97 und C128) Ein Trennschalter muß so ausgeführt sein, daß er nicht unbeabsichtigt ein- oder ausgeschaltet werden kann. Vor Beginn der Arbeit müssen Maßnahmen zur Verhinderung von Schalthandlungen der Trennschalter getroffen werden. Dies kann durch Verriegeln und Beschildern geschehen. Fernbetätigte Trennschalter müssen verriegelbar sein. Wenn über einen Leistungsschalter geerdet wird, muß unbeabsichtigtes Schalten durch mechanische Verriegelung und Blockieren des Leistungsschalterantriebes verhindert werden.
5.2.9	(Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B90) Die Dimensionierung muß unter Berücksichtigung von ELSÄK-FS 1994 durchgeführt werden.
6.1.3.2	(Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B87) Die Höhe H von spannungsführenden Teilen über Transportwegen sollte mindestens 4 500 mm betragen.
6.2.2	(Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B87) Leisten, Ketten und Seile sind als Hindernisse nicht zulässig. Befinden sich spannungsführende Teile unterhalb von $H = N + 2\,500$ mm (min. 3 000 mm) über begehbaren Bereichen, sollte das Betreten dieses Gebietes durch einen Maschendraht verhindert werden. Der Mindestschutzvorrichtungsabstand für Hindernisse O_2 zwischen einem 1 300 mm hohen Maschendraht und spannungsführenden Teilen sollte mindestens 1 300 mm + N betragen.
6.2.3 Bild 6.2	(Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitte B87 und B99) Der Mindestschutzvorrichtungsabstand zu Maschendraht/Gitter mit einer maximalen Maschenweite von 30 mm sollte 2 500 mm betragen. Beträgt die Maschenweite des Maschendrahts/Gitters mehr als 30 mm, sollten die Mindestschutzvorrichtungsabstände 5 000 mm groß sein. Die Maschenweite des Maschendrahts/Gitters sollte nicht mehr als 30 mm betragen, maximal erlaubt sind jedoch 50 mm. Der Abstand zwischen dem tiefsten Punkt eines Freileitungsseils und der begehbaren Fläche, bei Maximaltemperatur des Leiters und ohne Wind, muß in Bereichen ohne Feinplanung für Nennspannungen ≤ 55 kV wenigstens 6 m betragen. In Bereichen mit Feinplanung (Stadtgebiete) muß der Abstand bei gleicher Nennspannung wenigstens 7 m betragen. Für Nennspannungen > 55 kV muß der Abstand (6 m in Bereichen ohne Feinplanung und 7 m in Bereichen mit Feinplanung) um 5 mm je kV über 55 kV vergrößert werden. In Gebieten ohne Feinplanung $H' = 6\,000 \text{ mm} \quad \text{für } U_m \leq 55 \text{ kV}$ $H' = 6\,000 \text{ mm} + 5 \text{ mm} / \text{kV} \times (U_m - 55 \text{ kV}) \quad \text{für } U_m > 55 \text{ kV}$ In Gebieten mit Feinplanung (Stadtgebiete) $H' = 7\,000 \text{ mm} \quad \text{für } U_m \leq 55 \text{ kV}$ $H' = 7\,000 \text{ mm} + 5 \text{ mm} / \text{kV} \times (U_m - 55 \text{ kV}) \quad \text{für } U_m > 55 \text{ kV}$
6.2.4	(Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B87)

In Schweden muß $H = N + 2\,500$ mm (min. 3 000 mm) als Mindesthöhe über begehbaren Bereichen verwendet werden.

Der niedrigste Teil jeder Isolierung, z. B. die Oberkante von metallischen Isolatorsockeln, darf sich nicht weniger als 2 500 mm über begehbaren Flächen befinden, wenn kein Schutz vorhanden ist.

Die Abstände sollten in Gebieten mit beträchtlichen Schneehöhen um 500 mm vergrößert werden.

- 6.2.5 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B87)
Die Mindesthöhe über begehbaren Flächen muß in Schweden $H = N + 2\,500$ mm (min. 3 000 mm) betragen. Dächer müssen unter allen Umständen als zugänglich betrachtet werden.
- Der Abstand O_2 muß mindestens 3 000 mm betragen.
- 6.2.6 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B87)
Äußere Umzäunungen sollten mindestens 2 000 mm hoch sein, mit einer Maschendrahthöhe von mindestens 1 800 mm.
- 6.3 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B86)
Es ist nicht erlaubt, Hindernisse zu verwenden.
- Abdeckungen müssen eine Mindesthöhe von 2 500 mm und einen Mindestschutzgrad von IP2X besitzen.
- 6.4.1 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B85)
Anlagen mit Isolierumhüllung, die die Bedingungen der IEC 60466 erfüllen, müssen wenigstens den Schutzgrad B besitzen.
- 6.7 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitte B87 und B97)
Die Mindesthöhe von spannungsführenden Teilen über begehbaren Flächen beträgt
- | | |
|------------------|---|
| $H' = 4\,500$ mm | für Nennspannungen $U_m \leq 25$ kV |
| $H' = 5\,000$ mm | für Nennspannungen 25 kV $< U_m \leq 55$ kV |
- Für Nennspannungen > 55 kV muß der Abstand um 5 mm je kV über 55 kV vergrößert werden.
- Die Abstände sollten in Gebieten mit beträchtlichen Schneehöhen um 500 mm vergrößert werden.
- Vor Beginn der Arbeit müssen Maßnahmen zur Verhinderung von Schalthandlungen der Trennschalter getroffen werden. Dies kann durch Verriegeln und Beschildern geschehen. Fernbetätigte Trennschalter müssen verriegelbar sein.
- 7.1.2.2 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B87)
Leisten, Ketten und Seile sind als Hindernisse nicht zulässig.
- 7.3.2 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B97)
Vor Beginn der Arbeit müssen Maßnahmen zur Verhinderung von Schalthandlungen der Trennschalter getroffen werden. Dies kann durch Verriegeln und Beschildern geschehen. Fernbetätigte Trennschalter müssen verriegelbar sein.
- 7.6.2 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B80)
Transformatoren müssen so aufgestellt und angeordnet sein, daß ausreichend Kühlung vorhanden ist und dem Risiko einer Brandentstehung oder anderen Schäden vorgebeugt ist.
- Für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren mit zugehöriger Ausstattung (Ölkühler, Widerstände und Drosseln zur Sternpunktterdung, usw.) kann dies erfüllt werden durch:
- 1) Errichten in Räumen aus feuerbeständigen Bauteilen mit Türen, die bei Feuer automatisch schließen. Das gleiche muß bei anderen Öffnungen geschehen, wenn das Risiko einer Ausbreitung des Feuers durch diese Öffnungen besteht.
 - 2) Errichten in einem Gebäude aus Stahl oder anderen nichtbrennbaren Baustoffen, das nur für den Transformator und die Schaltgeräte benutzt wird und wenn der Abstand zu brennbaren Bauteilen anderer Gebäude oder anderen brennbaren Baustoffen mehr als 5 m beträgt.
 - 3) Errichten in einem Raum, der auch für andere Zwecke benutzt wird, wenn

Seite 146
HD 637 S1:1999

- dessen Dach aus nichtbrennbaren Baustoffen besteht oder eine bauliche Trennung zu anderen Räumen vorhanden ist, die mindestens der Feuerwiderstandsfähigkeit EI 60 entspricht;
 - Wände, die näher als 15 m vom Transformator entfernt sind, mindestens der Feuerwiderstandsfähigkeit EI 60 entsprechen und weiter als 15 m entfernte Wände brandgeschützt sind;
 - Fußböden mindestens die Feuerwiderstandsfähigkeit EI 60 aufweisen;
 - im Raum keine entzündlichen Materialien gelagert werden;
 - Transformatoren von mehr als 250 kVA ein Buchholzrelais besitzen oder vollständig geschlossene Transformatoren mit Druckwächtern für Warnmeldungen und Abschaltung versehen sind;
 - Transformatoren, die an Freileitungen angeschlossen sind, einen Überspannungsschutz besitzen, falls Überspannungen auftreten können.
- 4) Aufstellung im Freien, falls der Abstand zu Gebäuden aus brennbaren Baustoffen oder brennbaren Materialien mindestens 15 m beträgt.
- 5) Aufstellung im Freien innerhalb 15 m Entfernung von einem Gebäude, dessen Wände wenigstens der Feuerwiderstandsfähigkeit EI 60 entsprechen, wenn
- das Gebäude keine Fenster, Türen oder andere Öffnungen innerhalb 3 m Entfernung vom Transformator besitzt;
 - die Fenster in einer Entfernung von 3 - 5 m vom Transformator brandbeständig und nicht zu öffnen sind und andere Öffnungen mit Türen ausgestattet sind, die mindestens der Feuerwiderstandsfähigkeit EI 60 entsprechen;
 - Transformatoren von mehr als 250 kVA ein Buchholzrelais besitzen oder vollständig geschlossene Transformatoren mit Druckwächtern für Warnmeldungen und Abschaltung versehen sind;
 - Transformatoren, die an Freileitungen angeschlossen sind einen Überspannungsschutz besitzen, falls Überspannungen auftreten können.

Für Trockentransformatoren wird der Einsatz in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten angenommen.

Bei Errichtung in anderen Fällen muß dem Risiko einer Brandentstehung vorgebeugt werden.

- 7.7.1.1 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B77)
Wenn Transformatoren oder andere Bauelemente mehr als 200 kg Öl enthalten, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um mindestens 20 % der Flüssigkeit aufzufangen.
- 9.2.2.2 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitt B75)
Aus mechanischen und elektrischen Gründen ist der Mindestquerschnitt für Kupfer 25 mm². Ein Aluminiumleiter ist bei Erdverlegung nicht zulässig.
- 9.2.4.1 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitte B73 und B74)
Die maximal zulässige Berührungsspannung ist
- | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------|
| - Warnmeldung bei Erdschluß | | 100 V; |
| - Netze mit Erdschlußkompensation | Auslösung innerhalb 2 s | 400 V; |
| - Netze mit Erdschlußkompensation | Auslösung innerhalb 5 s | 300 V; |
| - wirksam geerdetes Netz | Auslösung innerhalb 0,2 - 0,5s | 600 V. |
- Die Bemessung kann gemäß der Norm erfolgen. Alternativ kann die Verordnung ELSÄK-FS 1994:7 § 74 b verwendet werden.
- 9.4.4 (Verordnung ELSÄK-FS 1994:7, Abschnitte B87 und 312)
Getrennt geerdete Netze (TT-Systeme) sind üblicherweise verboten.

Anhang T (normativ)**Besondere Nationale Bedingungen (SNCs) und andere nationale Bestimmungen
(Bestandteile nationaler Normen, Vorschriften und Verfahrensweisen)**

Besondere Nationale Bedingung: Nationale Eigenschaft oder Praxis, die nicht - selbst nach einem längeren Zeitraum - geändert werden kann, z. B. klimatische Bedingungen, elektrische Erdungsbedingungen. Falls sie die Harmonisierung beeinflusst, ist sie Teil der Europäischen Norm oder des Harmonisierungsdokuments.

Für Länder, für die die betreffenden besonderen nationalen Bedingungen gelten, sind diese normativ, für die anderen Länder hat diese Angabe informativen Charakter.

Neben den Besonderen Nationalen Bedingungen, wie sie in der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung definiert sind, werden andere **nationale Bestimmungen** aufgelistet. Diese nationalen Bestimmungen sind Bestandteil bestehender nationaler Normen, Vorschriften oder Verfahrensweisen und ihr weiterer Erhalt wird von den CEN/CENELEC-Mitgliedern verlangt.

Für Länder, für die die betreffenden nationalen Bestimmungen gelten, sind diese normativ, für die anderen Länder hat diese Angabe informativen Charakter.

Seite 148
HD 637 S1:1999

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für die Tschechische Republik

Nationale Bestimmungen

Die folgenden nationalen Bestimmungen (Bestandteil nationaler Normen, Vorschriften oder Verfahrensweisen) sind erforderlich, um einige Vorschriften von nationalen Normativen widerzuspiegeln, die hauptsächlich Sicherheitsaspekte betreffen:

Abschnitt Bestimmung

4.3.2

Tabelle 1 Die Mindestabstände in Luft, Spannungsbereich A ($1 \text{ kV} < U_m < 52 \text{ kV}$) sind in Tabelle 2 von ČSN 33 3210:1986 wie folgt definiert:

Spannungsbereich	Nennspannung des Netzes U_n (Effektivwert) kV	Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m (Effektivwert) kV	Bemessungs-Kurzzeit-wechselspannung (Effektivwert) kV	Bemessungs-Blitzstoßspannung 1,2/50 μ s (Scheitelwert) kV	Mindestabstand (N) Leiter/Erde und Leiter/Leiter	
					Innenraum-Anlagen	Freiluft-Anlagen
					mm	mm
A	3	3,6	10	20 40	60 60	120 120
	6	7,2	20	40 60	60 90	120 120
	10	12	28	60 75	90 120	150 150
	22	25	50	95 125 150 ¹	190 210	290 -
	35	38,5	75	155 180 195 ¹	270 320	400 -

1) Diese Spannungswerte werden für Leistungstransformatoren angewendet.

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Dänemark**Nationale Bestimmungen**

Die folgenden nationalen Bestimmungen (Bestandteil nationaler Normen, Vorschriften oder Verfahrensweisen) sind erforderlich, um einige Vorschriften von nationalen Normativen widerzuspiegeln, die hauptsächlich Sicherheitsaspekte betreffen:

<u>Abschnitt</u>	<u>Bestimmung</u>
6.5.5	Türen, die als Teil eines äußeren Gehäuses in Bereichen außerhalb abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten verwendet werden, müssen so konstruiert sein, daß das Öffnen von außen nur mittels eines Werkzeuges möglich ist.
7.1.2.2	
9.4	Die X-Faktor-Regel und die erläuternden Anmerkungen 6 und 7 finden in Dänemark keine Anwendung
Tabelle 6	

Seite 150
HD 637 S1:1999

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Finnland

Besondere Nationale Bedingungen

Die unten aufgeführten besonderen nationalen Bedingungen gelten für Finnland und sind dort normativ:

<u>Abschnitt</u>	<u>Besondere nationale Bedingung</u>
3.3.1.2	Die tiefste Umgebungstemperatur in den nördlichen Teilen Finnlands beträgt - 50°C.
5.2.9.5	(Veröffentlichung A 1-93, § 30) Die Wirkung von Bodenfrost ist bei Verlegung im Erdboden und bei Seekabeln zu berücksichtigen. Erd- und Seekabel müssen einen mechanischen oder elektromechanischen Schutz haben.
6.2.1 7.1.2.2	(Veröffentlichung A 1-93, § 23) Im Hinblick auf die Schneeverhältnisse müssen Abdeckungen mindestens 2 m hoch sein. Sie müssen dieselben Anforderungen erfüllen wie die äußere Umzäunung. Die Höhe aktiver Teile hinter einer Abdeckung muß mindestens $N + 300$ mm betragen, mindestens jedoch 800 mm.
6.2.4	(Veröffentlichung A 1-93, § 23) Im Hinblick auf die Schneeverhältnisse muß die Höhe H in Freiluftanlagen mindestens $N + 2\ 600$ mm betragen, mindestens jedoch 2 800 mm.
6.2.6	(Veröffentlichung A 1-93, § 23) Die Höhe der äußeren Umzäunung muß mindestens 2 000 mm betragen. Die örtlichen Schneeverhältnisse müssen dabei beachtet werden.
6.7	(Veröffentlichung A 1-93, § 23) Im Hinblick auf die Schneeverhältnisse muß die Höhe H' für alle Bemessungsspannungen mindestens $N + 5\ 300$ mm betragen, mindestens jedoch 5 500 mm. In manchen Fällen können die örtlichen Bedingungen höhere Werte erfordern.
F.4	(Veröffentlichung A 1-93, § 10, § 11) Der zweite Absatz gilt in Finnland nicht, da der spezifische Erdwiderstand hoch ist.

Nationale Bestimmungen

Die folgenden nationalen Bestimmungen (Bestandteil nationaler Normen, Vorschriften oder Verfahrensweisen) sind erforderlich, um einige Vorschriften von nationalen Normativen widerzuspiegeln, die hauptsächlich Sicherheitsaspekte betreffen:

<u>Abschnitt</u>	<u>Bestimmung</u>
7.6.1 7.6.2.4	Die für den Feuerschutz bei öffentlichen Gebäuden und Gebäuden in der Nähe abgeschlossener elektrischer Betriebsstätten maßgeblichen nationalen Vorschriften sind in der Veröffentlichung A 1-93, § 12 angeführt.
Tabelle 6	(Veröffentlichung A 1-93, § 10) Aus Erfahrung sind in Finnland für X größere Werte als 2 gebräuchlich.

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Frankreich**Nationale Bestimmungen**

Die folgenden nationalen Bestimmungen (Bestandteil nationaler Normen, Vorschriften oder Verfahrensweisen) sind erforderlich, um einige Vorschriften von nationalen Normativen widerzuspiegeln, die hauptsächlich Sicherheitsaspekte betreffen:

<u>Abschnitt</u>	<u>Bestimmung</u>
4.4.5	Für Anlagen nach Regelung II: Diese Bedingung (75 %) gilt nicht für Hochspannungsverteilungsnetze < 50 kV.
Anhang F	Für Anlagen nach Regelung II: Die Bedingungen der Französischen Normen NF C 13-100 und NF C 13-103 für Erdungsanlagen sind als ausreichend zu betrachten.

Seite 152
HD 637 S1:1999

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für das Vereinigte Königreich
Nationale Bestimmungen

Die folgenden nationalen Bestimmungen (Bestandteil nationaler Normen, Vorschriften oder Verfahrensweisen) sind erforderlich, um einige Vorschriften von nationalen Normativen widerzuspiegeln, die hauptsächlich Sicherheitsaspekte betreffen:

Abschnitt Bestimmung

- 4.3 Mindestabstände sind in Tabelle 3 im BS 7354:1990 enthalten, wovon der wesentliche Teil im folgenden wiedergegeben ist. Diese Werte unterscheiden sich von denen der Tabellen 1, 2 und 3 in Abschnitt 4.3.

Tabelle 3 aus BS 7354:1990 (ohne Anmerkungen)

1	2	3	4	5	6
Nennspannung/ BIL/SIL	Sollabstand Leiter/Erde	Sicherheits- abstand bei Arbeiten (senkrecht)	Sicherheits- abstand bei Arbeiten (waagrecht)	Obere Kante eines ge- erdeten Iso- latorsockels	Leiter gegen Leiter
kV	m	m	m	m	m
6,6 / 75 / -	0,5	2,9	2,3	2,1	0,25
11 / 95 / -	0,5	2,9	2,3	2,1	0,25
33 / 170 / -	0,5	2,0	2,3	2,1	0,43
66 / 325 / -	0,7	3,1	2,5	2,1	0,78
132 / 550(650) / -	1,1	3,5	2,9	2,1	1,4
275 / 1050 / 850	2,1	4,8	3,9	2,4	2,4
400 / 1425 / 1050	2,8	5,5	4,6	2,4	3,6

BIL: Bemessungs-Blitzstoßspannung, SIL: Bemessungs-Schaltstoßspannung

- 5.2.1 Die Praxis bezüglich der Anschlüsse an Betriebsmitteln ist in der EA Technischen Spezifikation 41-16 festgelegt und unterscheidet sich von den Abmessungen, die in IEC 60518 enthalten sind. Die wesentlichen Unterschiede sind:

Anschlußbolzen müssen aus glatten Bolzen ohne Gewinde bestehen, mit einem Durchmesser wie folgt:

Durchmesser (mm)	20	30	40	50	60
Mindestlänge (mm)	65	80	100	100	100

Rohrleiter müssen einen der folgenden Außendurchmesser haben:

Durchmesser (mm)	20	30	40	50	60
------------------	----	----	----	----	----

- 6.1.3.2 Die Praxis bezüglich Zugangswege innerhalb von Freiluftanlagen ist im Anhang C von BS 7354:1990 angegeben, worin die Sicherheitsabstände der Tabelle 3 dieser Norm (siehe 4.3) gefordert sind.

Der Transport von Betriebsmitteln außerhalb von Zugangswegen wird durch die Sicherheitsregeln des Betreibers geregelt. Abschnitt A10 im Anhang A von BS 6867:1987 legt hierzu die nationalen Anforderungen fest:

- A 10 Arbeit in Schaltanlagen und Stationen, die blanke, unter Spannung stehende Teile enthalten

- A 10.1 **Sicherheitsabstand zu spannungsführenden Teilen**
Bei Arbeiten in Schaltanlagen mit blanken, spannungsführenden Teilen muß, wenn nicht das ganze Betriebsmittel abgeschaltet ist, der Bereich, der für die Durchführung der Arbeiten spannungslos geschaltet ist, so weit wie möglich mit Abdeckungen* oder Absperrungen abgegrenzt werden, daß der Mindestarbeitsabstand vom nächsten blanken Leiter zur Erde oder zur Arbeitsplattform oder zum Zugangsweg den Werten in Anhang C von BS 7354:1990 (siehe 4.3) entspricht.
- A 10.2 Wenn die Arbeit nicht ausgeführt werden kann, ohne daß die Erde, die Arbeitsplattform oder der Zugangsweg verlassen wird, dann muß der Mindestarbeitsabstand zum nächsten, blanken spannungsführenden Teil auch von dieser Arbeitsstelle eingehalten werden.
- A 10.3 Wenn die Arbeit derart ist, daß diese Abstände nicht ausreichend sind, um Gefahr zu vermeiden, dann müssen andere angemessene Vorkehrungen getroffen werden, um die erforderliche Sicherheit zu erreichen.
- A 10.4 Die Abdeckungen* oder Absperrungen dürfen nicht durch Bauteile, die elektrische Betriebsmittel oder Leiter tragen, gestützt werden und an ihnen dürfen auch keine Schilder angebracht sein. Am Boden muß der so definierte Arbeitsbereich tagsüber durch grüne Fähnchen und nachts durch grüne Lichter, die auf einzelnen Stützen innerhalb des sicheren Bereiches in einer Höhe von 610 bis 915 mm befestigt sind und nicht mehr als 6 m voneinander Abstand haben, gekennzeichnet sein. An angrenzenden unter Spannung stehenden Hochspannungseinrichtungen müssen Warnschilder angebracht werden.
- A 10.5 **Gebrauch von transportablen Leitern und langen Gegenständen in Bereichen von blanken, spannungsführenden Leitern**
- A 10.5.1 Tragbare Leitern müssen geprüft und dürfen nicht länger als für die auszuführende Arbeit notwendig sein.
- A 10.5.2 Tragbare Leitern und lange Gegenstände dürfen nicht ohne die Erlaubnis einer autorisierten Person, die den Arbeitsausführenden in der Handhabung anleitet, benutzt werden. Der Transport und die Aufstellung solcher Leitern muß dann nur unter direkter Aufsicht des Arbeitsausführenden erfolgen; und wenn die Leiter wieder zu Boden gebracht ist, darf sie nur in waagerechter Haltung so nah wie möglich über dem Boden getragen werden.
- A 10.5.3 Tragbare Leitern, die für den Zugang zu festen Aufstiegen, deren Ende oberhalb des Bodens liegen, vorgesehen sind, müssen von einer autorisierten Person mit einem Vorhängeschloß in ihrer Position verriegelt werden, wenn auf dem entsprechenden Anlagenteil gearbeitet wird.
- A 10.5.4 Alle tragbaren Leitern in Schaltanlagen und Stationen müssen, wenn sie nicht in Gebrauch sind, an einer geeigneten Befestigungsvorrichtung sicher verschlossen sein.
- A 10.5.5 Wenn Kräne oder andere Einrichtungen, wie vorgefertigte Gerüste, in oder aus einer Schaltanlage gebracht werden, muß der Fahrweg von einer autorisierten Person bestimmt werden. Kräne müssen so bald wie möglich an das Erdungssystem der Anlage angeschlossen werden. Eine autorisierte Person muß dem verantwortlichen Arbeitsausführenden die Grenzen des Arbeitsbereiches solcher Einrichtungen nennen. Danach darf die entsprechende Einrichtung nur innerhalb dieser Grenzen aufgebaut und bewegt werden und dies nur unter direkter Aufsicht der für die Arbeitsdurchführung verantwortlichen Person.

* ANMERKUNG: Der Begriff Abdeckung wird in BS 6867 in der Bedeutung einer wirksamen starren Absperrung verwendet. Das ist unterschiedlich zu 2.4.4 definiert.

6.2

Sowohl die Anordnung zwischen den Feldern als auch die Anordnung zwischen Betriebsmitteln und Sammelschienen ist durch die Sicherheitsabstände in den Spalten 3 und 4 von Tabelle 3 aus BS 7354:1990 (siehe 4.3) festgelegt. Durch dieses Konstruktionsprinzip sind Abdeckungen und Hindernisse, wie im dritten Satz gefordert, nicht notwendig.

Seite 154
HD 637 S1:1999

6.2.3

Üblicherweise sind die Abstände zu Umzäunungen in UK anders festgelegt. Es wird davon ausgegangen, daß es möglich sein sollte, außerhalb des Anlagenzaunes zu arbeiten, ohne daß Anlagenteile abgeschaltet werden müssen. Zu jedem Punkt des Zaunes muß deshalb der Sicherheitsabstand eingehalten werden. Dies bedeutet Abstände, wie sie in Bild T.UK.1 gezeigt sind, mit Werten, die auf BS 7354:1990, Tabelle 3 (siehe 4.3) beruhen.

Abstände zu Freileitungen sind in den EA Technischen Bestimmungen 43-8, Ausgabe 2 von 1988: "Abstände für Freileitungen" und deren Ergänzungen, enthalten.

Folgende Abstände werden für Freileitungen in Schaltanlagen angewendet:

Beschreibung des Abstandes	Mindestarbeitsabstand (m) Systemspannung (kV)				
	< 33	66	132	275	400
Blanke, unter Spannung stehende Metallteile, z. B. Transformatoranschlüsse, Verbindungsleitungen, elektrische Leiter, usw. auf Freileitungskonstruktionen zu jedem Teil, auf dem eine Person stehen könnte, einschließlich Leitern, Plattformen usw.	4,3	4,3	Kontrollierte Zone mit Anwendung von Sicherheitsregeln		
Elektrische Leiter zu jedem Teil, auf dem eine Person stehen könnte, einschließlich Leitern, Plattformen usw.	3,0	3,2	3,6	4,6	5,3
Elektrische Leiter zu jedem Teil zu dem der Zugang nicht notwendig ist und auf dem eine Person nicht stehen oder eine Leiter dagegen lehnen kann.	0,8	1,0	1,4	2,4	3,1

6.2.4

Die Praxis in UK ist in BS 7354:1990, Tabelle 3 (siehe 4.3) enthalten. Die Höhe, die der Höhe H in Abbildung 6.3 entspricht, ist in Spalte 3 gegeben und die geforderte Mindesthöhe über begehbaren Flächen in Spalte 5.

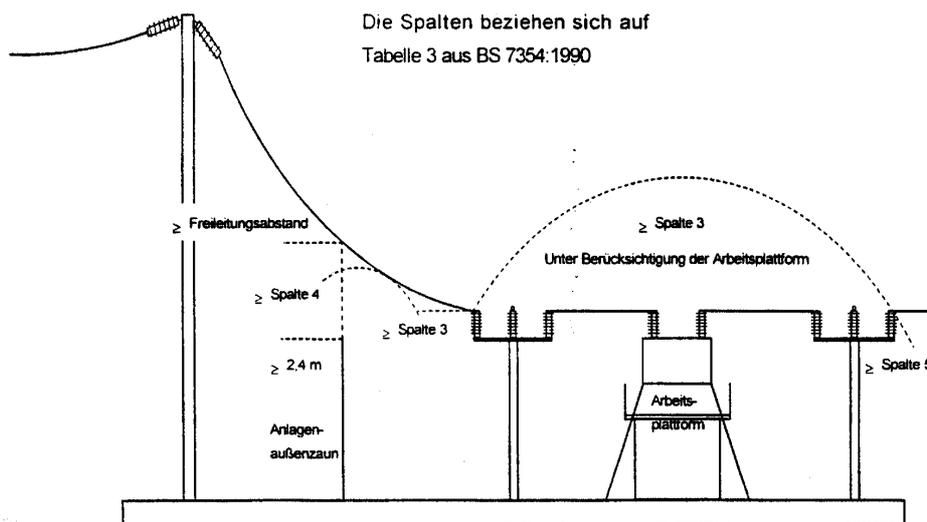


Bild T.UK.1: Abstände entsprechend der Praxis im Vereinigten Königreich

- 6.2.5 Die Praxis in UK ist in BS 7354:1990, Tabelle 3 (siehe 4.3) enthalten. Für die drei Bedingungen, die bei Dächern gelten, sind folgende Richtlinien zu berücksichtigen:
- (a) bei begehbaren Dächern
Der senkrechte Abstand ist in Spalte 3 der Tabelle angegeben
 - (b) bei nicht begehbaren Dächern
Der Abstand ist in Spalte 2 der Tabelle angegeben
 - (c) vom Dachrand bei begehbaren Dächern
Der waagerechte Abstand ist in Spalte 4 der Tabelle angegeben
- Fenster sind in BS 7354:1990 nicht extra erwähnt. Hierfür werden die Abstände aus Spalte 3 und 4 geeignet angewendet.
- 9.2.1 Tragbare Erdungsgarnituren, die in offenen Hochspannungsanlagen eingesetzt werden, müssen mit EA Technischen Bestimmungen 41-21 übereinstimmen.
- Die grundlegenden Anforderungen enthalten folgendes:
- Die Garnitur soll aus Klemmen, Erdseilen, Anschlußpolen und Anschlußbuchsen bestehen. Diese Einzelkomponenten müssen zu Erdungsgarnituren zusammengesetzt werden können, wobei die Garnitur einem Mindeststrom von 17,5 kA (Effektivwert) für eine Zeitdauer von 2 s standhalten muß. Ausgenommen davon sind Garnituren zum Anschluß an Leiter mit 10 mm Durchmesser. Hier muß die Auslegung der Leiter/Garnituren-Kombination für mindestens einem Strom von 13,1 kA und 2 s Dauer erfolgen. Die folgenden Anforderungen sind standardisiert (aus Gründen der Austauschbarkeit und der Sicherheit):
- (i) Die Größe der Erdungs- und Anschlußklemmen
 - (ii) Strom/Zeit-Grenzwerte
 - (iii) Flexible Leiter mit Anschlüssen
 - (iv) Grundsätzliche Anforderungen an Leitungs- und Erdungsendklemmen
 - (v) Anschlußbuchsen
 - (vi) Anschlußpole
 - (vii) Verbindungen zwischen Klemmen, Anschlüssen am Leiter, Buchsen und Polen
- Die Auswahl und Anwendung von Erdungseinrichtungen wird durch die Sicherheitsvorschriften der zuständigen Versorgungsbehörde vorgegeben. Ein für UK typisches Vorschriftenwerk ist im Anhang zu BS 6626:1985 und BS 6867:1987 enthalten. Die kompletten Vorschriften hier aufzuführen, würde zu umfangreich sein, jedoch die Regel 10 ist in diesem Anhang unter 6.1.3.2 aufgeführt.
- Anhang B
Tabelle B.1 Die Angabe von 254 °C für Kupfer ist in Tabelle 13 von BS 7430:1991 enthalten. Dies muß anstelle von 234,5 °C für Kupfer verwendet werden.
- Tabelle F.1 18.3 von BS 7430:1991 und 11.2.3 von EA Technische Bestimmung 41-24 legen fest, daß metallische Garnituren, die mit isolierten Kettengliedern verbunden sind, geerdet werden sollten.
- Tabelle F.4 Bezogen auf den dritten Abschnitt schreibt EA Technische Bestimmung 41-27 eine Feuchtigkeitsprüfung unter normalen Einsatzbedingungen für Isolatoren vor, wobei mit einer 2,5fachen Leiter/Erd-Spannung geprüft wird.
- Tabelle F.5 Die Praxis in UK ist in der EA Technischen Bestimmung 50-18 und in der Projektierungsregel S15 enthalten. Diese geben an, daß alle Windungsanschlüsse von Meßwandlern herausgeführt und an einem zugänglichen Platz zu einem Klemmbrett geführt werden (außerhalb der Metallumhüllungen). Die notwendigen Verbindungen zur Erde müssen an diesem Klemmbrett mit einer entsprechenden Kennzeichnung hergestellt werden, damit die Verbindungen nicht irrtümlich wieder entfernt werden können.

Seite 156
HD 637 S1:1999

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Italien

Nationale Bestimmungen

Die folgenden nationalen Bestimmungen (Bestandteil nationaler Normen, Vorschriften oder Verfahrensweisen) sind erforderlich, um einige Vorschriften von nationalen Normativen widerzuspiegeln, die hauptsächlich Sicherheitsaspekte betreffen. Diese Festlegungen sind:

Norma CEI 11-1	Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Norme generali. Italienische Norm für Erzeugungs-, Übertragungs- und Verteilungsanlagen von elektrischer Energie. Allgemeine Regeln.
Norma CEI 11-4	Esecuzione delle linee elettriche aeree. Italienische Norm für das Errichten von Freileitungen.
Norma CEI 11-18	Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Dimensionamento degli impianti in relazione alle tensioni. Italienische Norm für Erzeugungs-, Übertragungs- und Verteilungsanlagen von elektrischer Energie. Anlagenkonstruktion hinsichtlich Spannungen (Sicherheitsabstände in Starkstromanlagen mit Nennwechselspannung > 1 kV).

Abschnitt	Bestimmung
2.5.5	(Norma CEI 11-18, art. 1.2.05, 1.2.06, 3.1.03, 3.1.06, A 3.01, A 3.02 e fig. 1) Die Gefahrenzone ist der Bereich, der durch den Schutzabstand (Gefahrenabstand) d_g begrenzt wird. Diesem entspricht der Mindestabstand N , vergrößert um einem entsprechenden Sicherheitszuschlag. ANMERKUNG: Die Werte von d_g sind in der oben erwähnten Norm (siehe Tabelle 3.1.03a, 3.1.03b und Bild T.IT.1) angegeben.
2.7.14.5	<u>Bestimmung</u> Ein durch die Verbindung von örtlichen Erdungsanlagen hergestelltes Erdungssystem, das sicherstellt, daß durch den geringen gegenseitigen Abstand dieser Erdungsanlagen keine gefährlichen Berührungsspannungen auftreten. Solche Systeme bewirken eine Verteilung der Erdfehlerströme in der Weise, daß die Erdungsspannung der örtlichen Erdungsanlage reduziert wird. Solch ein System bildet eine Quasiäquipotentialfläche. Diese Bedingung ist auf das Übertragungs- und Verteilungsnetzwerk der Elektrizitätsversorgungsunternehmen begrenzt, z. B. in konzentrierten städtischen Gebieten.
3.1.1	(Norma CEI 11-1, art. 2.1.07) In Netzen mit Nennspannungen über 100 kV muß der Sternpunkt direkt geerdet sein.
6.1.3.1	(Norma CEI 11-18, art. 3.1.11 e fig. 5)
6.1.3.2	Die Transportwege müssen mindestens 700 mm breiter sein als die Transporteinheiten.
Bild 6.5	Der minimale Abstand zu Fahrzeugen muß $T = d_g$ (Schutzabstand) sein.
6.2.1	(Norma CEI 11-18, art. 3.1.07 e fig. 2)
Bild 6.1	Für Abdeckungen aus Isoliermaterial dürfen die Schutzvorrichtungsabstände B_1 , B_2 und B_3 nicht kleiner sein als der Schutzabstand d_g . Die Mindesthöhe für Abdeckungen muß 2 000 mm betragen.
6.2.2	(Norma CEI 11-18, art. 3.1.07, fig. 2)
6.3	Die Schutzvorrichtungsabstände O_1 oder O_2 müssen mindestens 1 250 mm plus den Schutzabstand d_g betragen.
Bild 6.1	
Bild 6.4	
6.2.4	(Norma CEI 11-18, art. 3.1.02, 3.1.03, 3.1.04, 3.1.05, 3.1.06, A 3.01, A 3.02 e fig. 1)
6.2.5	Die Mindesthöhe von aktiven Teilen ohne Schutzvorrichtungen über begehbaren Flächen muß $d_{VV} = d_g + 2\,250$ mm, mindestens (3 000 mm + 10 mm / kV U) betragen.
Bild 6.1	
Bild 6.3	Die gleichen Anforderungen gelten, wenn blanke Leiter Gebäude kreuzen, deren Dach bei spannungsführenden Leitern begehbar ist.
Bild 6.4	

ANMERKUNG: $U = U_n$ für Nennspannung < 132 kV

$U = U_n / \sqrt{3}$ für Nennspannungen ≥ 132 kV

Die Werte von d_{VV} sind in der oben erwähnten Norm (siehe Tabelle 3.1.03a, 3.1.03b und Bild T.IT.1) angegeben.

- 7.1 (Norma CEI 11-18, Capitolo 3)
- 7.1.3 Wird hinsichtlich der Anforderungen an Abstände auf Unterabschnitte von Abschnitt 6 (6.2.1, 6.2.2, 6.2.3, 6.2.4, 6.2.5, 6.3 und relevante Bilder) verwiesen, gelten die gleichen Abweichungen, wie sie für die Unterabschnitte gelten.
- 7.3
- Bild 6.3
- Als Schutzabstände müssen mindestens die Sicherheitsabstände d_{VV} (vertikaler Abstand) und d_{VO} (horizontaler Abstand) zwischen den aktiven Teilen und der Oberfläche der Plattform eingehalten werden, auf der das Bedienungspersonal stehen kann.
- ANMERKUNG: Die Werte für d_{VV} und d_{VO} sind in der oben erwähnten Norm (siehe Tabelle 3.1.03a, 3.1.03b und Bild T.IT.1) angegeben.
- 7.7.1.1 (Norma CEI 11-1, art. 2.2.02)
- Die Maßnahmen zum Schutz gegen Leckverlust von Flüssigkeit (z. B. Auffangwannen oder undurchlässige Fußböden mit ausreichend hohen Schwellen) müssen für Innenraum- und Freiluftanlagen angewendet werden, wenn die Flüssigkeitsmenge im Transformator mehr als 500 kg beträgt.
- 9.2.4.2 Die Anwendung der Anforderungen nach 9.2.1 ergibt die Grundausslegung der Erdungsanlage. Diese Auslegung könnte dann als eine typgeprüfte Ausführung bei vergleichbaren Randbedingungen angesehen werden. Das Flußdiagramm in Bild 9.2 zeigt den üblichen Lösungsweg. Lösungsbeispiele für Sonderfälle, die vom Pfad des rückfließenden Fehlerstromes abhängen, sind im Anhang Q (informativ) angegeben.
- Für die Werte der zulässigen Berührungsspannungen U_{Tp} ist Bild 9.1 zu verwenden. Zusatzwiderstände können nach Anhang C unter der Bedingung berücksichtigt werden, daß der Zutritt zur Schaltanlage nur auf zutrittsberechtigte Personen begrenzt und es nicht wahrscheinlich ist, daß gefährliche Potentiale außerhalb des Schaltanlagebereichs übertragen werden. Diese Anforderung bezüglich der Berührungsspannungen wird als erfüllt angesehen, wenn eine der beiden Voraussetzungen C erfüllt ist:
- C1: Die betreffende Anlage ist Teil eines Globalen Erdungssystems.
- C2: Die durch Messung oder Berechnung ermittelte Erdungsspannung überschreitet nicht den 1,5fachen Wert der zulässigen Berührungsspannung nach Bild 9.1.
- Der übrige Text von 9.2.4.2 muß unverändert bleiben.
- 9.3.4 Alle Körper und fremde leitfähige Teile müssen geerdet werden; in speziellen Fällen müssen isolierte Bereiche geschaffen werden.
- Andere leitfähige Teile sollten, sofern dies angemessenen ist, geerdet werden, z. B. wegen Lichtbögen, induktiver und kapazitiver Kopplung.
- Ausführliche Hinweise zur Erdung von Anlagenumzäunungen, Rohrleitungen, Anschlußgleisen usw. können dem Anhang F (normativ) entnommen werden.
- Tabelle 6 In TT-Systemen mit einer Fehlerdauer von $t_F \leq 5$ s muß die Anforderung für gemeinsame Erdungsanlagen bezüglich der Spannungsbeanspruchung $U_E \leq 500$ V betragen.
- F.4 (Norma CEI 11-1, art. 4.1.01 e 4.1.02, Norma CEI 11-4, art. 2.1.13)
- Entsprechend der in Italien befolgten Praxis und der oben erwähnten italienischen Normen ist die Erdungsanlage von Mast- und Turmstationen ausreichend, wenn die Erder mit einer Elektrodenoberfläche von mindestens $0,25$ m² (für Anlagen bis 30 kV) und mindestens $0,5$ m² (für Anlagen über 30 kV) hergestellt sind.

Seite 158
HD 637 S1:1999

Erder und Erdungsleiter aus Kupfer müssen einen Querschnitt von mindestens 16 mm² und aus anderem Material von mindestens 50 mm² haben.

Bei metallischen Masten ist es zulässig, für die Verbindung vom Betriebsmittel zur Erdungsanlage den Mast als Erdungsleiter zu verwenden.

Netzspannung U_m (Effektivwert)		Isolationspegel		Schutzabstand d_g	Sicherheitsabstand	
U_n (Effektivwert)	Bemessungs-Kurzzeitwechselspannung (Effektivwert)	Bemessungs-Blitzstoßspannung (Scheitelwert)	d_{vv}		d_{vo}	
kV	kV	kV	kV	mm	mm	mm
3,6	3	10	20	150	3 030	2 000
			40			
7,2	6	20	40	150	3 060	2 000
			60			
12	10	28	60	150	3 100	2 000
			75			
17,5	15	38	75	180	3 150	2 000
			95	200		
24	20	50	95	220	3 200	2 000
			125	280		
36	30	70	145	340	3 300	2 000
			170	400		
52	45	95	250	600	3 450	2 000
72,5	66	140	325	780	3 660	2 030
145	132	185	450	1 090	3 770	2 340
		230	550	1 310		2 560
		275	650	1 520		2 770
170	150	230	550	1 310	3 870	2 560
		275	650	1 520		2 770
		325	750	1 670		2 920
245	220	275	650	1 520	4 270	2 770
		325	750	1 670		2 920
		360	850	1 840		3 090
		395	950	2 070		3 320
		460	1 050	2 300	4 500	3 550

Auszug aus der Italienischen Norm: Norma CEI 11-18 (1983)

Tabelle 3.1.03 a

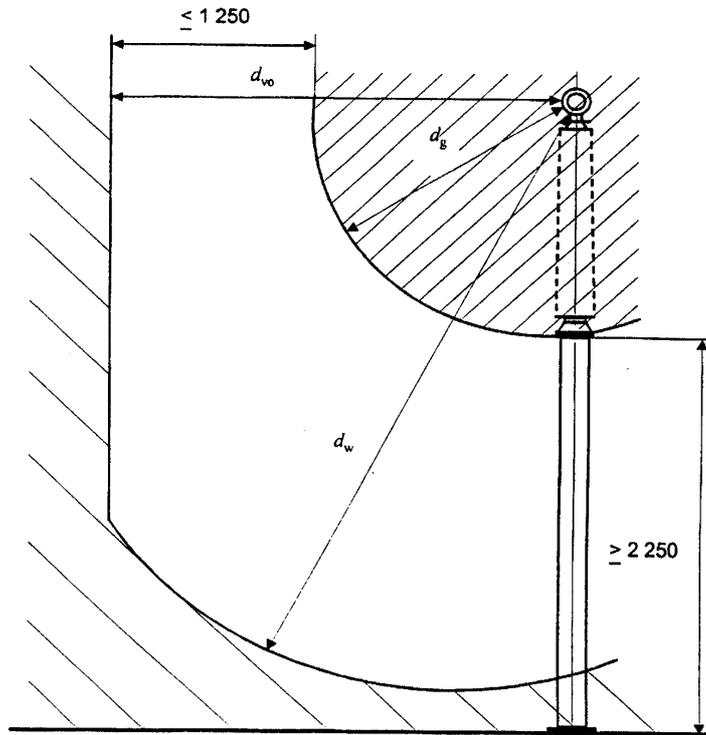
Gefahrenzonen und Schutzabstände für den Spannungsbereich ≤ 300 kV

Netzspannung U_m (Effektivwert)		Isolationspegel		Schutzabstand d_g	Sicherheitsabstand	
U_n (Effektivwert)	Bemessungs-Schaltstoßspannung (Scheitelwert)	Bemessungs-Blitzstoßspannung (Scheitelwert)	d_{vv}		d_{vo}	
kV	kV	kV	kV	mm	mm	mm
420	380	950	1 050	3 340	5 590	4 590
			1 175			
		1 050	1 175	3 940	6 190	5 190
			1 300			
		1 425				

Auszug aus der Italienischen Norm: Norma CEI 11-18 (1983)

Tabelle 3.1.03 b

Gefahrenzonen und Schutzabstände für den Spannungsbereich > 300 kV



- d_g = Schutzabstand
- d_{vv} = vertikaler Sicherheitsabstand
- d_{vo} = horizontaler Sicherheitsabstand

Bild T.IT.1

Seite 160
HD 637 S1:1999

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für die Niederlande

Besondere Nationale Bedingungen

Die unten aufgeführten Besonderen Nationalen Bedingungen gelten für die Niederlande und sind dort normativ:

<u>Abschnitt</u>	<u>Besondere nationale Bedingung</u>
6.2.4	Im ersten Aufzählungsstrich: Die Mindesthöhe beträgt $H = N + 2\,500$ mm (mindestens 2 750 mm). Im zweiten Aufzählungsstrich: Der tiefste Punkt einer Isolierung darf nicht niedriger als 2 500 mm sein.
Bild 6.1	Die Mindesthöhe beträgt $H = N + 2\,500$ mm (mindestens 2 750 mm).
Bild 6.2	Der Abstand in $\textcircled{2}$ muß 2 500 mm betragen.
Bild 6.3	Der Abstand 2 250 muß 2 500 betragen. Die Mindesthöhe beträgt $H = N + 2\,500$ mm (mindestens 2 750 mm).

Die Besonderen Nationalen Bedingungen sind in der Durchschnittsgröße der erwachsenen männlichen Bevölkerung begründet.

Nationale Bestimmung

Die Anforderungen der Niederländischen Vorschrift NEN 1041, Abschnitt 2 „Zusätzliche Anforderungen“, Anhang F „Isolierte Leiter zum Einsatz in Hochspannungsanlagen“ und Anhang G „Anforderungen an Gebäude in elektrischen Betriebsstätten und an abgeschlossene elektrischen Betriebsstätten innerhalb von Gebäuden und in Freiluft“ sind weiterhin in den Niederlanden anwendbar.

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Norwegen

Die unten aufgeführte Besondere Nationale Bedingung gilt für Norwegen und ist dort normativ:

Abschnitt Besondere Nationale Bedingung

Bild 6.1 Freiluft $O_2 \geq N + 2\ 500\ \text{mm}$

Seite 162
HD 637 S1:1999

Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Schweden

Besondere Nationale Bedingungen

Die unten aufgeführten Besonderen Nationalen Bedingungen gelten für Schweden und sind dort normativ:

<u>Abschnitt</u>	<u>Besondere Nationale Bedingung</u>
3.2.1	In Schweden sollten die folgenden Kombinationen benutzt werden: 0° C mit Eis und Wind.
3.2.4	Die Windlast muß in Übereinstimmung mit der schwedischen Norm SS 421 01 66 berechnet werden.
3.2.9	Die Stützkonstruktionen müssen in Übereinstimmung mit der schwedischen Norm SS 421 01 66 bemessen sein.
3.3.1.2	In Nordschweden treten gelegentlich minimale Umgebungstemperaturen von -50° C auf.
4.3.4	In Tabelle 1 müssen die höheren Werte der Bemessungs-Steh-Blitzstoßspannung benutzt werden.
6.1.5	In Innenraumanlagen sind Notbeleuchtung und nachleuchtende Bänder vorgeschrieben.
6.5.4	Die in der Norm ausgeführte Maximallänge des Fluchtweges (10 m) mit einem Ausgang ist nur dann gültig, wenn die Fehlerabschaltzeit ≤ 150 ms ist und die Schaltgeräte die Störlichtbogenprüfung erfolgreich bestanden haben und außerdem alle in SS - IEC 60298 ausgeführten Kriterien erfüllen. Wenn diese Bestimmungen nicht erfüllt sind, muß die Maximallänge des Fluchtweges mit nur einem Ausgang auf die Hälfte der angegebenen Länge (5 m) begrenzt werden.

Anhang U (informativ)

Literaturhinweise

1. CIGRÉ technical brochures: The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations (Rigid and flexible bus-bars); CIGRÉ Study Committee 23 (Substations); Working Group 23-11, April 1996; Brochure No. 105, CIGRÉ, 21 rue d'Artois, 75008 Paris, France
2. CCITT/ITU-Empfehlungen; Internationale Fernmeldeunion, Place des Nations, CH-1211 Genf 20
3. CIGRÉ Report 23-07 (1972): Adaption of substations to their environment both in urban and rural areas, including noise problems and oil pollution of subsoil; 1972 Session Paper, Group 23 (Substations)
4. CIGRÉ Working Group 23-03: Handling of SF₆ and its decomposition products in gas insulated switchgear