

AVA Documents
Document Sharing Hub

Nationales Vorwort

Diese Norm enthält das unveränderte Schriftstück HD 637 S1 „Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV“. Dieses europäische Harmonisierungsdokument wurde vom Technischen Komitee CENELEC/TC 99X (früher TC 112) „Starkstromanlagen über AC 1 kV (DC 1,5 kV)“ ausgearbeitet. Es wurde der Abstimmung unterworfen und durch CENELEC am 1. Januar 1999 angenommen.

Auf Grund einer Vielzahl von A-Abweichungen (Anhang S) und Besonderer Nationalen Bedingungen (Anhang T) wurde die Norm nicht wie ursprünglich geplant als EN 50179, sondern als HD 637 S1 veröffentlicht. Das vorliegende Harmonisierungsdokument ist der erste Versuch zur Angleichung der unterschiedlichen Praktiken für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV in Europa. Es enthält Mindestanforderungen für ausreichende Zuverlässigkeit und sicheren Betrieb einer Starkstromanlage über 1 kV.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium Komitee 222 „Errichten von Starkstromanlagen über 1 kV und deren Erdung“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig.

Die neue als VDE-Bestimmung gekennzeichnete Norm DIN VDE 0101 (VDE 0101):2000-01 war als Entwurf DIN EN 50179 (VDE 0101):1994-05 und Entwurf DIN EN 50179 (VDE 0101):1996-09 veröffentlicht worden. Nationale Stellungnahmen konnten berücksichtigt werden, soweit sie europäisch durchsetzbar waren.

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.

Entsprechend den Wünschen bei CENELEC enthält das Harmonisierungsdokument auch Regelungen über die Erdung von Starkstromanlagen. Die vorliegende Norm ersetzt deshalb nicht nur DIN VDE 0101 (VDE 0101):1989-05 „Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV“, sondern auch die Norm DIN VDE 0141 (VDE 0141):1989-07 „Erdungen für Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV“. Da DIN VDE 0141 (VDE 0141) zur Zeit auch für die Erdung anderer Anlagen gilt, genannt seien zum Beispiel DIN VDE 0210 (VDE 0210) „Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV“ und DIN VDE 0168 (VDE 0168) „Errichten elektrischer Anlagen in Tagebauen, Steinbrüchen und ähnlichen Betrieben“, wird für diese Bereiche eine sogenannte Restnorm DIN VDE 0141 (VDE 0141) herausgegeben, bis eine entsprechende Normung bei CENELEC abgeschlossen ist.

Es ist beabsichtigt, die weitergehenden Erläuterungen, die im Rahmen des Bandes 11 der VDE-Schriftenreihe vorliegen, unter Berücksichtigung der neuen DIN VDE 0101 (VDE 0101) neu herauszugeben.

Der Zusammenhang zwischen den in dieser Norm zitierten IEC-Publikationen, Europäischen Normen und den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben:

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 50014:1997 + Corr.	–	DIN EN 50014 (VDE 0170/0171 Teil 1)	VDE 0170/0171 Teil 1
EN 50015:1998	–	DIN EN 50015 (VDE 0170/0171 Teil 2)	VDE 0170/0171 Teil 2
EN 50016:1995	–	DIN EN 50016 (VDE 0170/0171 Teil 3):1996-05 DIN EN 50016/A1 (VDE 0170/0171 Teil 3/A1):1998-09	VDE 0170/0171 Teil 3 VDE 0170/0171 Teil 3/A1
EN 50017:1998	–	DIN EN 50017 (VDE 0170/0171 Teil 4)	VDE 0170/0171 Teil 4
EN 50018:1994	–	DIN EN 50018 (VDE 0170/0171 Teil 5):1995-03	VDE 0170/0171 Teil 5
EN 50019:1994	–	DIN EN 50019 (VDE 0170/0171 Teil 6):1996-03	VDE 0170/0171 Teil 6
EN 50020:1994 + Corr.	–	DIN EN 50020 (VDE 0170/0171 Teil 7):1996-04	VDE 0170/0171 Teil 7
EN 50028:1987	–	DIN VDE 0170/0171-9 (VDE 0170/0171 Teil 9):1988-07	VDE 0170/0171 Teil 9
EN 50110-1:1996 + Corr.	–	DIN EN 50110-1 (VDE 0105 Teil 1):1997-10 DIN VDE 0105-100 (VDE 0105 Teil 100):1997-10	VDE 0105 Teil 1 VDE 0105 Teil 100

(fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 50110-2:1996	–	DIN EN 50110-2 (VDE 0105 Teil 2):1997-10 DIN VDE 0105-100 (VDE 0105 Teil 100):1997-10	VDE 0105 Teil 2 VDE 0105 Teil 100
EN 50265-1:1998	–	DIN EN 50265-1 (VDE 0482 Teil 265-1):1999-04	VDE 0482 Teil 265-1
EN 50265-2-1:1998	–	DIN EN 50265-2-1 (VDE 0482 Teil 265-2-1):1999-04	VDE 0482 Teil 265-2-1
EN 50265-2-2:1998	–	DIN EN 50265-2-2 (VDE 0482 Teil 265-2-2):1999-04	VDE 0482 Teil 265-2-2
EN 50267-2-3:1998	–	DIN EN 50267-2-3 (VDE 0482 Teil 267-2-3):1998-01	VDE 0482 Teil 267-2-3
EN 60044-6:1999	IEC 60044-6:1992*)	DIN EN 60044-6 (VDE 0414 Teil 7):1999-10	VDE 0414 Teil 7
EN 60060-2:1994 + A11:1998	IEC 60060-2:1994	DIN EN 60060-2 (VDE 0432 Teil 2):1996-03 DIN EN 60060-2/A11 (VDE 0432 Teil 2/A11):1998-09	VDE 0432 Teil 2 VDE 0432 Teil 2/A11
Normen der Reihe EN 60068	Normen der Reihe IEC 60068	Normen der Reihen DIN IEC 60068 DIN EN 60068	– –
EN 60071-1:1995	IEC 60071-1:1993	DIN EN 60071-1 (VDE 0111 Teil 1):1996-07	VDE 0111 Teil 1
EN 60071-2:1997	IEC 60071-2:1996	DIN EN 60071-2 (VDE 0111 Teil 2):1997-09	VDE 0111 Teil 2
EN 60076-2:1997	IEC 60076-2:1993*)	DIN EN 60076-2 (VDE 0532 Teil 102):1997-12	VDE 0532 Teil 102
EN 60255-6:1994 + Corr.	IEC 60255-6:1988*)	DIN EN 60255-6 (VDE 0435 Teil 301):1994-11	VDE 0435 Teil 301
EN 60298:1996	IEC 60298:1990 + A1:1994	DIN EN 60298 (VDE 0670 Teil 6):1998-05	VDE 0670 Teil 6
prEN 60466:1992	IEC 60466:1987	DIN VDE 0670-7 (VDE 0670 Teil 7):1978-03	VDE 0670 Teil 7
EN 60517:1996	IEC 60517:1990 + A1:1994	DIN EN 60517 (VDE 0670 Teil 8):1998-10	VDE 0670 Teil 8
EN 60617-13:1993	IEC 60617-13:1993	DIN EN 60617-13:1994-01	–
EN 60622:1995	IEC 60622:1988 + A2:1992	DIN EN 60622:1997-05	–
EN 60623:1995	IEC 60623:1990 + A1:1992 + A2:1992	DIN EN 60623:1997-05	–
EN 60694:1996 + Corr.	IEC 60694:1996	DIN EN 60694 (VDE 0670 Teil 1000):1998-10	VDE 0670 Teil 1000
EN 60721-1:1995 + A2:1995	IEC 60721-1:1990 + A1:1992 + A2:1995	DIN EN 60721-1:1997-02	–
Normen der Reihe EN 60721-3	Normen der Reihe IEC 60721-3	Normen der Reihe DIN EN 60721-3	–
*) nicht übereinstimmend			
(fortgesetzt)			

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60865-1:1993	IEC 60865-1:1993	DIN EN 60865-1 (VDE 0103):1994-11 Berichtigung 1 zu DIN EN 60865-1 (VDE 0103 Berichtigung 1):1996-08 Beiblatt 1 zu DIN EN 60865-1 (Beiblatt 1 zu VDE 0103):1996-06	VDE 0103 Berichtigung 1 zu VDE 0103 Beiblatt 1 zu VDE 0103
EN 60896-1:1991 + A2:1992	IEC 60896-1:1987 + A1:1988 + A2:1990	DIN EN 60896-1:1992-11 DIN EN 60896-1/A2:1994-01	–
ENV 61024-1:1995	IEC 61024-1:1990*)	DIN V ENV 61024-1 (VDE 0185 Teil 100):1996-08	VDE 0185 Teil 100
EN 61082-1:1993 + A1:1995 + A2:1996	IEC 61082-1:1991 + A1:1995 + A2:1996	DIN EN 61082-1:1995-05 DIN EN 61082-1/A1:1996-05 DIN EN 61082-1/A2:1997-07	–
EN 61100:1992	IEC 61100:1992	DIN EN 61100 (VDE 0389 Teil 2):1994-06	VDE 0389 Teil 2
EN 61219:1993	IEC 61219:1993	DIN EN 61219 (VDE 0683 Teil 200):1995-01	VDE 0683 Teil 200
EN 61230:1995	IEC 61230:1993*)	DIN EN 61230 (VDE 0683 Teil 100):1996-011	VDE 0683 Teil 100
EN 61243-1:1997 + A1:1997	IEC 61243-1:1993 + A1:1997*)	DIN EN 61243-1 (VDE 0682 Teil 411):1998-05	VDE 0682 Teil 411
EN 61243-2:1997	IEC 61243-2:1995*)	DIN EN 61243-2 (VDE 0682 Teil 412):1999-05	VDE 0682 Teil 412
EN 61330:1996	IEC 61330:1995	DIN EN 61330 (VDE 0670 Teil 611):1997-08	VDE 0670 Teil 611
HD 246.2 S1:1977	IEC 60113-2:1971	–	–
HD 384.3 S2:1995	IEC 60364-3:1993*)	DIN VDE 0100-300 (VDE 0100 Teil 300):1996-01	VDE 0100 Teil 300
HD 384.4.442 S1:1997	–	DIN VDE 0100-442 (VDE 0100 Teil 442):1997-11	VDE 0100 Teil 442
HD 405.3 S1:1993	IEC 60332-3:1992	–	–
HD 464 S1:1988	IEC 60726:1982 + A1:1986*)	DIN VDE 0532-6 (VDE 0532 Teil 6)	VDE 0532 Teil 6
HD 472 S1:1989 + A1:1995	–	DIN IEC 60038:1987-05*)	–
Normen der Reihe HD 478.2	Normen der Reihe IEC 60721-2	Normen der Reihe DIN IEC 60721-2	–
HD 533 S1:1991	IEC 60909:1988*)	–	–
HD 553 S2:1993	IEC/TR 60815:1986*)	DIN VDE 0414-1 (VDE 0414 Teil 1):1994-01	VDE 0414 Teil 1
HD 602 S1:1992	IEC 60754-2:1991*)	DIN VDE 0472-813 (VDE 0472 Teil 813):1994-03	VDE 0472 Teil 813
Normen der Reihe HD 606	Normen der Reihe IEC 61034*)	DIN VDE 0472-816 (VDE 0472 Teil 816):1994-03	VDE 0472 Teil 816
–	Normen der Reihe IEC 60050	Normen der Reihe DIN IEC 60050	–
*) nicht übereinstimmend			
(fortgesetzt)			

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60287-3-1:1995	–	–
–	IEC 60331:1970	DIN VDE 0472-814 (VDE 0472 Teil 814):1991-01	VDE 0472 Teil 814
–	IEC 60478-1:1974	–	–
–	IEC 60478-2:1986	–	–
–	IEC/TR2 60479-1:1994	DIN V VDE V 0140-479 (VDE V 0140 Teil 479):1996-02	VDE V 0140 Teil 479
–	IEC 60518:1975*)	DIN 46206-3:1983-05	–
–	IEC 60724:1984 + A1:1993	–	–
–	IEC 60826:1991	DIN VDE 210-100 (VDE 210 Teil 100):1992-10	VDE 210 Teil 100
–	IEC 60949:1988	–	–
–	IEC/TR2 61634:1995	–	–
–	Normen der Reihe CISPR 18	Beiblatt 1 zu DIN VDE 0873 (VDE 0873 Beiblatt 1):1986-06 Beiblatt 2 zu DIN VDE 0873 (VDE 0873 Beiblatt 2):1990-02 Beiblatt 3 zu DIN VDE 0873 (VDE 0873 Beiblatt 3):1991-01	Beiblatt 1 zu VDE 0873 Beiblatt 2 zu VDE 0873 Beiblatt 3 zu VDE 0873
–	Normen der Reihe ISO 1996	–	–
*) nicht übereinstimmend			

Änderungen

Gegenüber DIN VDE 0101 (VDE 0101):1989-05 und DIN VDE 0141 (VDE 0141):1989-07 wurden folgende wesentliche Änderungen vorgenommen:

- Aufbau und Gliederung wurden vollständig überarbeitet und neu strukturiert, wobei wesentliche bisherige nationale Inhalte beibehalten werden konnten.
- Die Begriffe wurden weitgehend an die Vorgaben des IEC angepaßt. Die Definitionen für die Erdung wurden ergänzt. (Abschnitt 2)
- Die allgemeinen Anforderungen für das Errichten von Starkstromanlagen sind in einem eigenen Abschnitt zusammengefaßt und ausführlicher beschrieben. Für die mechanischen Anforderungen entfällt der Verweis auf DIN VDE 0210 (VDE 0210). Die Verfahren und Werte sind weitgehend übernommen worden. Anforderungen für Anlagen in erdbebengefährdeten Gebieten wurden zusätzlich aufgenommen. (Abschnitt 3)
- Durch die Verwendung der Werte aus EN 60071 ergeben sich geringe Abweichungen für die Mindestabstände in Luft bei einzelnen Nennspannungen. Bei Phasenopposition ist der 1,25fache Tabellenwert für die Mindestabstände einzuhalten. (Abschnitt 4)
- Die Anforderungen für den Einbau der Betriebsmittel sind umfangreicher und detaillierter festgelegt. Soweit vorhanden, wird auf entsprechende internationale oder Europäische Normen verwiesen. (Abschnitt 5)
- Die minimalen Schutzvorrichtungsabstände, Mindesthöhen und anderen Abstände wurden auf die kleinsten Werte, die in den verschiedenen nationalen Normen enthalten waren, vereinheitlicht. Bei Erweiterungen von bestehenden Anlagen dürfen die zum Zeitpunkt der Errichtung gültigen Anforderungen für alle Arten von Anlagen und damit für den gesamten normativen Bereich angewendet werden. Die Ausführung begehbare Flächen über aktiven Teilen wird nicht mehr beschrieben, da Innenraumanlagen in offener Bauweise mit mehr als 72,5 kV nur noch in Sonderfällen neu gebaut werden. (Abschnitt 6)
- Die Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdung durch Störlichtbögen gelten als Leitfaden und enthalten keine Nachrüstpflicht. Bei schwer brennbaren Flüssigkeits-Transformatoren der Kühlmittelart K2/K3 und Trockentransformatoren FO werden 50 % der Abstandswerte der ölgefüllten Transformatoren mit Kühlmittelart O1 gefordert. Für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren im Freien sind Erleichterungen bei der Bemessung von Auffangwannen entfallen. (Abschnitt 7)

- h) Für Steuerungssysteme wurden Grundregeln zur elektromechanischen Verträglichkeit festgelegt und Maßnahmen zur Verminderung von Störbeeinflussungen beschrieben. ([Abschnitt 8](#))
- i) 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 60479 neu festgelegt. Maßnahmen bei der Ausführung von Erdungsanlagen werden nicht mehr so detailliert beschrieben. ([Abschnitt 9](#))
- j) Für Inspektionen, Prüfungen und Übernahmen der Anlage werden erstmalig Hinweise gegeben. ([Abschnitt 10](#))
- k) Normative und informative Detailangaben zur Bemessung von Erdungs- und Blitzschutzanlagen sind getrennt aufgeführt. ([Anhänge A bis R](#))
- l) Durch gesetzliche Vorgaben sind in einzelnen europäischen Ländern abweichende Regelungen erforderlich, die in entsprechenden in dieser Norm enthaltenen A-Abweichungen festgelegt sind. ([Anhang S](#))
- m) 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 Norm angegeben sind. ([Anhang T](#))

Frühere Ausgaben

1. Fassung der Hochspannungsvorschriften (Errichtungsvorschriften):1898-07
1. Fassung der Mittelspannungsvorschriften (Errichtungsvorschriften):1899-10
2. Fassung der Hochspannungsvorschriften einschließlich der früheren Mittelspannungsvorschriften (Errichtungsvorschriften):1904-01
2. Fassung der Hochspannungsvorschriften:1904-01/Änderung:1905-01
2. Fassung der Hochspannungsvorschriften:1904-01/Änderung:1905-07
2. Fassung der Hochspannungsvorschriften/Zusammenfassung mit Niederspannungsvorschriften:1908-01
1. gemeinsame Fassung Errichtungs- und Betriebsvorschriften:1915-07
2. gemeinsame Fassung Errichtungs- und Betriebsvorschriften:1924-07
2. gemeinsame Fassung Errichtungs- und Betriebsvorschriften:1924-07/1. Änderung:1925-10
2. gemeinsame Fassung Errichtungs- und Betriebsvorschriften:1924-07/2. Änderung:1926-07
2. gemeinsame Fassung Errichtungs- und Betriebsvorschriften:1924-07/3. Änderung:1928-07
VDE 0101:1930-01
VDE 0101:1930-01/1. Änderung:1933-10-19
VDE 0101:1930-01/2. Änderung:1935-01
VDE 0101:1930-01/3. Änderung:1937-09-24
VDE 0101:1930-01/4. Änderung:1938-01
VDE 0101:1930-01/5. Änderung:1941-01
VDE 0101:1930-01/6. Änderung:1941-03
VDE 0101:1930-01/7. Änderung:1942-04
VDE 0101:1930-01/8. Änderung:1943-07
DIN 57101:1948-02
VDE 0101:1960-07
VDE 0101a:1962-09
VDE 0101b:1971-04
DIN 57101/VDE 0101:1980-11
DIN 57101 A1/VDE 0101 A1:1986-11
DIN VDE 0101 (VDE 0101):1989-05
VDE 0141:1924-01
VDE 0141:1941-07
VDE 0141:1955-07
VDE 0141:1958-11
VDE 0141:1961-06
VDE 0141:1964-02
DIN 57141/VDE 0141:1976-07
DIN VDE 0141 (VDE 0141):1989-07

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 46206-3	Anschlüsse für elektrische Betriebsmittel – Flachanschlüsse für Geräte ab 52 kV – Hauptmaße, Zuordnung
DIN EN 50014 (VDE 0170/0171 Teil 1)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Allgemeine Bestimmungen; Deutsche Fassung EN 50014:1997 + Corrigendum 1998
DIN EN 50015 (VDE 0170/0171 Teil 2)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Ölkapselung „o“; Deutsche Fassung EN 50015:1998
DIN EN 50016 (VDE 0170/0171 Teil 3)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Überdruckkapselung „p“; Deutsche Fassung EN 50016:1995
DIN EN 50016/A1 (VDE 0170/0171 Teil 3/A1)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Überdruckkapselung „p“; Änderung A1; Deutsche Fassung EN 50016:1995/prA1:1998
DIN EN 50017 (VDE 0170/0171 Teil 4)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Sandkapselung „q“; Deutsche Fassung EN 50017:1998
DIN EN 50018 (VDE 0170/0171 Teil 5)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Druckfeste Kapselung „d“; Deutsche Fassung EN 50018:1994
DIN EN 50019 (VDE 0170/0171 Teil 6)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Erhöhte Sicherheit „e“; Deutsche Fassung EN 50019:1994
DIN EN 50020 (VDE 0170/0171 Teil 7)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Eigensicherheit „i“; Deutsche Fassung EN 50020:1994
DIN EN 50110-1 (VDE 0105 Teil 1)	Betrieb von elektrischen Anlagen; Deutsche Fassung EN 50110-1:1996
DIN EN 50110-2 (VDE 0105 Teil 2)	Betrieb von elektrischen Anlagen (nationale Anhänge); Deutsche Fassung EN 50110-2:1996 + Corrigendum 1997-04
DIN EN 50265-1 (VDE 0482 Teil 265-1)	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall – Prüfungen der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader oder einem Kabel – Teil 1: Prüfgerät; Deutsche Fassung EN 50265-1:1998
DIN EN 50265-2-1 (VDE 0482 Teil 265-2-1)	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall – Prüfungen der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader oder einem Kabel – Teil 2-1: Prüfverfahren – 1-kW-Flamme mit Gas-/Luftgemisch; Deutsche Fassung EN 50265-2-1:1998
DIN EN 50265-2-2 (VDE 0482 Teil 265-2-2)	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall – Prüfungen der vertikalen Flammenausbreitung an einer Ader oder einem Kabel – Teil 1: Prüfverfahren – Leuchtende Flamme; Deutsche Fassung EN 50265-2-2:1998
DIN EN 50267-2-3 (VDE 0482 Teil 267-2-3)	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall – Prüfungen 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 gewichteten Mittelwertes von pH-Wert und Leitfähigkeit; Deutsche Fassung EN 50267-2-3:1998
DIN EN 60044-6 (VDE 0414 Teil 2):1999-10	Meßwandler – Teil 6: Anforderungen an Stromwandler für Schutzzwecke für transientes Übertragungsverhalten (IEC 60044-6:1992, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60044-6:1999
DIN EN 60060-2 (VDE 0432 Teil 2)	Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Meßsysteme (IEC 60060-2:1994); Deutsche Fassung EN 60060-2:1994
DIN EN 60060-2/A11 (VDE 0432 Teil 2/A11)	Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Meßsysteme; Änderung A11; Deutsche Fassung EN 60060-2/A11:1998
DIN EN 60068	Umweltprüfungen

DIN EN 60071-1 (VDE 0111 Teil 1)	Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:1993); Deutsche Fassung EN 60071-1:1995
DIN EN 60071-2 (VDE 0111 Teil 2)	Isolationskoordination – Teil 2: Anwendungsrichtlinie (IEC 60071-2:1996); Deutsche Fassung EN 60071-2:1997
DIN EN 60076-2 (VDE 0532 Teil 102)	Leistungstransformatoren – Teil 2: Übertemperaturen (IEC 60076-2:1993, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60076-2:1997
DIN EN 60255-6 (VDE 0435 Teil 301)	Elektrische Relais – Teil 6: Meßrelais und Schutzeinrichtungen (IEC 60255-6:1988, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60255-6:1994
DIN EN 60298 (VDE 0670 Teil 6)	Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV (IEC 60298:1990 + Corrigendum 1995 + A1:1994); Deutsche Fassung EN 60298:1996
DIN EN 60517 (VDE 0670 Teil 8)	Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen für Bemessungsspannungen von 72,5 kV und darüber (IEC 60517:1990 + Corrigendum 1995 + A1:1994); Deutsche Fassung EN 60517:1996
DIN EN 60617-2	Graphische Symbole für Schaltpläne – Teil 2: Symbolelemente, Kennzeichen und andere Schaltzeichen für allgemeine Anwendungen (IEC 60617-2:1996); Deutsche Fassung EN 60617-2
DIN EN 60617-13	Graphische Symbole für Schaltungsunterlagen – Teil 13: Analoge Elemente (IEC 60617-13:1993); Deutsche Fassung EN 60617-13:1993
DIN EN 60622	Wiederaufladbare gasdichte prismatische Nickel-Cadmium-Einzelzellen (IEC 60622:1988 + A2:1992 + Corrigendum 1992); Deutsche Fassung EN 60622:1995
DIN EN 60623	Geschlossene prismatische wiederaufladbare Nickel-Cadmium-Einzelzellen (IEC 60623:1990 + A1:1992 + A2:1992); Deutsche Fassung EN 60623:1995
DIN EN 60694 (VDE 0670 Teil 1000)	Gemeinsame Bestimmungen für Hochspannungs-Schaltgeräte-Normen (IEC 60694:1996); Deutsche Fassung EN 60694:1996 + Corrigendum
DIN EN 60721-1	Klassifizierung von Umweltbedingungen – Teil 1: Vorzugswerte für Einflußgrößen (IEC 60721-1:1990 + A1:1992 + A2:1995); Deutsche Fassung EN 60721-1:1995 + A2:1995
DIN EN 60721-3	Klassifizierung von Umweltbedingungen
DIN EN 60865-1 (VDE 0103)	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren (IEC 60865-1:1993); Deutsche Fassung EN 60865-1:1993
Beiblatt 1 zu DIN EN 60865-1 (Beiblatt 1 zu VDE 0103)	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren; Beispiele für die Berechnung
Berichtigung 1 zu DIN EN 60865-1 (Berichtigung 1 zu VDE 0103)	Berichtigungen zu DIN EN 60865-1 (VDE 0103):1994-11 (EN 60865-1:1993)
DIN EN 60896-1	Ortsfeste Blei-Akkumulatoren – Allgemeine Anforderungen und Prüfungen – Teil 1: Geschlossene Batterien (IEC 60896-1:1987 + A1:1988)
DIN EN 60896-1/A2	Ortsfeste Blei-Akkumulatoren – Allgemeine Anforderungen und Prüfungen – Teil 1: Geschlossene Batterien (IEC 60896-1:1987/A2:1990); Deutsche Fassung EN 60896 Teil 1/A2:1992
DIN EN 61082-1	Dokumente der Elektrotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (IEC 61082-1:1991 + Corrigendum 1993-11); Deutsche Fassung EN 61082-1
DIN EN 61082-1/A1	Dokumente der Elektrotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (IEC 61082-1:1991/A1:1995); Deutsche Fassung EN 61082-1:1993/A1:1995
DIN EN 61082-1/A2	Dokumente der Elektrotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (IEC 61082-1:1991/A2:1996); Deutsche Fassung EN 61082-1:1993/A2:1996

DIN EN 61100 (VDE 0389 Teil 2)	Einteilung von Isolierflüssigkeiten nach dem Brennpunkt und dem spezifischen Heizwert H_u (IEC 61100:1992); Deutsche Fassung EN 61100:1992
DIN EN 61175	Kennzeichnungen für Signale und Verbindungen (IEC 61175:1993); Deutsche Fassung EN 61175:1993
DIN EN 61219 (VDE 0683 Teil 200)	Arbeiten unter Spannung – Erdungs- oder Erdungs- und Kurzschließvorrichtung mit Stäben als kurzschließendes Gerät – Staberdung (IEC 61219:1993); Deutsche Fassung EN 61219:1993
DIN EN 61230 (VDE 0683 Teil 100)	Arbeiten unter Spannung – Ortsveränderliche Geräte zum Erden oder Erden und Kurzschließen (IEC 61230:1993, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61230:1995
DIN EN 61243-1 (VDE 0682 Teil 411)	Arbeiten unter Spannung – Spannungsprüfer – Teil 1: Kapazitive Ausführung für Wechselspannungen über 1 kV (IEC 61243-1:1993, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61243-1:1997
DIN EN 61243-2 (VDE 0682 Teil 412)	Arbeiten unter Spannung – Spannungsprüfer – Teil 2: Resistive (ohmsche) Ausführungen für Wechselspannungen von 1 kV bis 36 kV (IEC 61243-2:1995 + Corrigendum 1996, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61243-2:1997
DIN EN 61330 (VDE 0670 Teil 611)	Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung (IEC 61330:1995); Deutsche Fassung EN 61330:1996
DIN EN 61346-1	Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte, Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung – Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 61355	Klassifikation und Kennzeichnung von Dokumenten für Anlagen, Systeme und Einrichtungen (IEC 61355:1997)
DIN EN 61666	Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte – Identifikation von Anschlüssen in Systemen (IEC 61666:1997-05)
DIN IEC 60038	IEC-Normspannungen; Identisch mit IEC 60038:1983
DIN IEC 60050	Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch
DIN IEC 60068	Elektrotechnik – Grundlegende Umweltprüfverfahren
DIN IEC 60721	Elektrotechnik – Klassifizierung von Umweltbedingungen
DIN V ENV 61024-1 (VDE V 0185 Teil 100)	Blitzschutz baulicher Anlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 61024-1:1990, modifiziert); Deutsche Fassung ENV 61024-1:1995
DIN V VDE V 0140-479 (VDE V 0140 Teil 479)	Wirkungen des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere – Allgemeine Aspekte; Identisch mit IEC-Report 60479-1:1994
DIN VDE 0100-300 (VDE 0100 Teil 300)	Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V – Teil 3: Bestimmungen allgemeiner Merkmale (IEC 60364-3:1993, modifiziert); Deutsche Fassung HD 384.3 S2:1995
DIN VDE 0100-442 (VDE 0100 Teil 442)	Elektrische Anlagen von Gebäuden – Teil 4: Schutzmaßnahmen – Kapitel 44: Schutz bei Überspannungen – Hauptabschnitt 442: Schutz von Niederspannungsanlagen bei Erdschlüssen in Netzen mit höherer Spannung; Deutsche Fassung HD 384.4.442 S1:1997
DIN VDE 0170/0171-9 (VDE 0170/0171 Teil 9)	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Vergußkapselung „m“; Deutsche Fassung EN 50028:1987
DIN VDE 210-100 (VDE 210 Teil 100)	Belastung und Tragfähigkeit von Freileitungen; Identisch mit IEC 60826:1991
DIN VDE 0414-1 (VDE 0414 Teil 1):1994-01	Meßwandler, Stromwandler (IEC 60815:1987 + A1:1990, modifiziert); Deutsche Fassung HD 553 S2:1993
DIN VDE 0472-813 (VDE 0472 Teil 813)	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Korrosivität von Brandgasen (IEC 60754-2:1991, modifiziert); Deutsche Fassung HD 602 S1:1992
DIN VDE 0472-814 (VDE 0472 Teil 814)	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Isolationserhalt bei Flammeneinwirkung
DIN VDE 0472-816 (VDE 0472 Teil 816)	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen – Rauchdichte (IEC 61034-1:1990, modifiziert, und IEC 1034-2:1991, modifiziert)
DIN VDE 0532-6 (VDE 0532 Teil 6)	Transformatoren und Drosselspulen – Trockentransformatoren
DIN VDE 0620 (VDE 0620)	Steckvorrichtungen bis 400 V 25 A

DIN VDE 0670-7 (VDE 0670 Teil 7)	VDE-Bestimmung für Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Isolierstoffgekapselte Hochspannungsschaltanlagen für Spannungen bis 36 kV, fabrikfertig, typgeprüft
Beiblatt 1 zu DIN VDE 0873 (Beiblatt 1 zu VDE 0873)	Die spezifischen Eigenschaften der von Hochspannungsfreileitungen und -anlagen verursachten Funkstörungen – Teil 1: Beschreibung der physikalischen Vorgänge; Identisch mit Publikation CISPR 60018-1:1982
Beiblatt 2 zu DIN VDE 0873 (Beiblatt 2 zu VDE 0873)	Die spezifischen Eigenschaften der von Hochspannungsfreileitungen und -anlagen verursachten Funkstörungen – Teil 2: Meßverfahren und Methoden zur Bestimmung von Grenzwerten; Identisch mit CISPR 18-2:1986
Beiblatt 3 zu DIN VDE 0873 (Beiblatt 3 zu VDE 0873)	Die spezifischen Eigenschaften der von Hochspannungsfreileitungen und -anlagen verursachten Funkstörungen – Teil 3: Leitfaden zur Minimierung von Funkstörungen; Identisch mit CISPR 18-3:1986

Deutsche Fassung

Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV

Power installations exceeding AC 1 kV

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

Dieses Harmonisierungsdokument wurde von CENELEC am 1. Januar 1999 angenommen.

Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen für die Übernahme dieses Harmonisierungsdokuments 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, der Tschechischen 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

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 AC 1 kV 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 beschreiben Errichtungsmerkmale, 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	8
2 Begriffe	10
2.1 Allgemeine Begriffe	10
2.2 Anlagen	11
2.3 Arten von Anlagen	11
2.4 Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag	11
2.5 Luftstrecken	12
2.6 Steuerung und Schutz	12
2.7 Erdung	12
3 Allgemeine Anforderungen	19
3.1 Elektrische Anforderungen	19
3.1.1 Arten der Sternpunktterdung	19
3.1.2 Klassifizierung der Spannung	19
3.1.3 Betriebsstrom	19
3.1.4 Kurzschlußstrom	19
3.1.5 Bemessungsfrequenz	19
3.1.6 Korona	19
3.2 Mechanische Anforderungen	20
3.2.1 Zuglast	20
3.2.2 Montagelast	20
3.2.3 Eislast	20
3.2.4 Windlast	20
3.2.5 Schaltkräfte	20
3.2.6 Kurzschlußkräfte	20
3.2.7 Wegfall eines Leiterzugs	21
3.2.8 Schwingungen	21
3.2.9 Bemessung der Tragkonstruktionen	21
3.3 Klima- und Umweltbedingungen	21
3.3.1 Temperatur	21
3.3.2 Aufstellungshöhe und Luftdruck	21
3.3.3 Luftfeuchte	21
3.3.4 Niederschlag	21
3.3.5 Verschmutzung	22
3.3.6 Sonneneinstrahlung	22
3.4 Besondere Anforderungen	22
3.4.1 Anlagen in großen Höhenlagen	22
3.4.2 Auswirkungen von Kleinlebewesen und Mikroorganismen	23
3.4.3 Geräuschpegel	23
3.4.4 Erdbebenwirkungen	23
4 Isolation	23
4.1 Wahl des Isolationspegels	23
4.2 Nachweis der Spannungsfestigkeit	24
4.3 Mindestabstände von aktiven Teilen	24
4.4 Mindestabstände zwischen Teilen unter besonderen Bedingungen	26
4.5 Geprüfte Anschlußzonen	26

	Seite
5 Betriebsmittel	26
5.1 Gemeinsame Regeln	26
5.1.1 Allgemeines	26
5.1.2 Einbau	26
5.2 Spezielle Anforderungen	26
5.2.1 Leistungsschalter, Lasttrennschalter, Sicherungen, Sicherungs-Lasttrennschalter, Schütze, Trennschalter und Erdungsschalter	26
5.2.2 Transformatoren und Drosselpulen	27
5.2.3 Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS), metallgekapselte Schaltanlagen, isolierstoffgekapselte Schaltanlagen und andere fabrikfertige typgeprüfte Schaltanlageeinheiten	27
5.2.4 Meßwandler	27
5.2.5 Überspannungsableiter	28
5.2.6 Kondensatoren	28
5.2.7 TFH-Sperren	28
5.2.8 Isolatoren	28
5.2.9 Kabel/Leitungen	28
5.2.10 Leiter und Zubehör	30
5.2.11 Drehende Maschinen	30
5.2.12 Stromrichter	30
6 Anlagen	30
6.1 Allgemeine Anforderungen	30
6.1.1 Schaltung	31
6.1.2 Dokumentation	31
6.1.3 Transportwege	31
6.1.4 Wege und Zufahrtbereiche	32
6.1.5 Beleuchtung	32
6.1.6 Betriebssicherheit	32
6.1.7 Bezeichnungen	32
6.2 Freiluftanlagen in offener Bauweise	32
6.2.1 Schutzvorrichtungsabstände für Abdeckungen	32
6.2.2 Schutzvorrichtungsabstände für Hindernisse	32
6.2.3 Schutzvorrichtungsabstände an der äußeren Umzäunung	33
6.2.4 Mindesthöhe über begehbaren Flächen	33
6.2.5 Abstände zu Gebäuden	33
6.2.6 Äußere Umzäunungen und Zugangstüren	33
6.3 Innenraumanlagen in offener Bauweise	33
6.4 Aufstellen von fabrikfertigen typgeprüften Schaltanlagen	34
6.4.1 Allgemeines	34
6.4.2 Zusätzliche Anforderungen an gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen	34
6.5 Anforderungen an Gebäude	35
6.5.1 Einführung	35
6.5.2 Baubestimmungen	35
6.5.3 Schaltanlagenräume	36
6.5.4 Betriebs- und Instandhaltungsbereiche	36
6.5.5 Türen	36
6.5.6 Ableitung von dielektrischen Flüssigkeiten	36
6.5.7 Klimatisierung und Lüftung	36
6.5.8 Gebäude, die besondere Überlegungen erfordern	37

	Seite
6.6 Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung	37
6.7 Mast- und Turmstationen	37
7 Schutzmaßnahmen	42
7.1 Schutz gegen direktes Berühren	42
7.1.1 Allgemeines	42
7.1.2 Maßnahmen zum Schutz gegen direktes Berühren	42
7.1.3 Schutzanforderungen	43
7.2 Schutz bei indirektem Berühren	43
7.3 Schutz bei Arbeiten an elektrischen Anlagen	43
7.3.1 Einrichtungen zum Freischnalten von Anlagen oder Geräten	43
7.3.2 Einrichtungen zum Sichern gegen Wiedereinschnalten	44
7.3.3 Einrichtungen zum Feststellen der Spannungsfreiheit	44
7.3.4 Einrichtungen zum Erden und Kurzschließen	44
7.3.5 Einrichtungen zum Abdecken benachbarter, unter Spannung stehender Teile	44
7.3.6 Aufbewahrung von Einrichtungen zur Unfallverhütung	45
7.4 Schutz vor Gefährdung durch Störliehtbögen	45
7.5 Schutz gegen direkte Blitzeinschläge	45
7.6 Brandschutz	46
7.6.1 Allgemeines	46
7.6.2 Transformatoren, Drosselspulen	46
7.6.3 Kabel und Leitungen	48
7.6.4 Sonstige Betriebsmittel mit brennbarer Flüssigkeit	48
7.7 Schutz gegen Leckverlust an Isolierflüssigkeit und SF ₆	48
7.7.1 Verlust von Isolierflüssigkeit und Grundwasserschutz	48
7.7.2 SF ₆ -Leckverlust (reines SF ₆)	49
7.7.3 Betriebsstörung mit SF ₆ -Verlust und dessen Zersetzungsprodukte	49
7.8 Kennzeichnung und Beschriftung	49
7.8.1 Allgemeines	49
7.8.2 Hinweis- und Warningschilder	50
7.8.3 Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung	50
7.8.4 Anlagen mit eingebauten Kondensatoren	50
7.8.5 Rettungszeichen für Fluchtwege	50
8 Hilfeeinrichtungen und Steuerungssysteme	54
8.1 Überwachungs- und Steuerungssysteme	54
8.2 Gleichstrom- und Wechselstrom-Hilfsstromkreise	54
8.2.1 Wechselstrom-Versorgung	54
8.2.2 Gleichstrom-Versorgung	54
8.3 Druckluftanlagen	55
8.4 SF ₆ -Gas-Wartungsgeräte	55
8.5 Grundregeln zur elektromagnetischen Verträglichkeit von Steuerungssystemen	55
8.5.1 Störquellen in Hochspannungsanlagen	55
8.5.2 Maßnahmen zum Vermindern von hochfrequenten Störbeeinflussungen	56
8.5.3 Maßnahmen zum Vermindern von niederfrequenten Störbeeinflussungen	56
8.5.4 Maßnahmen zur Auswahl der Betriebsmittel	57
8.5.5 Andere mögliche Maßnahmen zur Verminderung der Störbeeinflussung	57
9 Erdungsanlagen	57
9.1 Zweck	57
9.2 Bemessung von Erdungsanlagen bei Betriebsfrequenz	57

	Seite
9.2.1 Allgemeines	57
9.2.2 Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Beanspruchung	58
9.2.3 Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung	58
9.2.4 Bemessung im Hinblick auf Berührungs- und Schrittspannungen	58
9.3 Errichtung von Erdungsanlagen	60
9.3.1 Ausführung von Erdern und Erdungsleitern	60
9.3.2 Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung hochfrequenter Beeinflussungen	61
9.3.3 Potentialverschleppung	61
9.3.4 Maßnahmen zur Erdung von Betriebsmitteln und Anlagen	61
9.4 Gemeinsame Erdungsanlagen für Hoch- und Niederspannungsnetze	61
9.4.1 Bedingungen für gemeinsame Erdungsanlagen	61
9.4.2 Versorgung von Niederspannungsanlagen innerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage	62
9.4.3 Versorgung von Niederspannungsanlagen außerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage	62
9.4.4 Getrennte Erdungsanlagen	62
9.5 Erdungsmaßnahmen gegen Blitzeinwirkungen	63
9.6 Messungen für und an Erdungsanlagen	63
9.7 Bauüberwachung und Dokumentation von Erdungsanlagen	63
9.8 Allgemeine Bemerkungen zu Kontrolle und Überwachung von Erdungsanlagen	63
9.8.1 Kontrolle durch Besichtigung	63
9.8.2 Kontrolle durch Messung oder Berechnung	63
10 Inspektion, Prüfung und Übernahme vor Ort	65
Anhang A (normativ) Werkstoffe und Mindestmaße für Erderwerkstoffe, die die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen	66
Anhang B (normativ) Bestimmung der Strombelastbarkeit von Erdungsleitern und Erdern	67
Anhang C (normativ) Berührungsspannung und Körperstrom	71
C.1 Zusammenhang zwischen Berührungsspannung und Körperstrom	71
C.2 Berücksichtigung zusätzlicher Widerstände	72
Anhang D (normativ) Beschreibung der anerkannten festgelegten Maßnahmen M	75
Anhang E (normativ) Maßnahmen an Erdungsanlagen zur Reduzierung der Auswirkungen von Hochfrequenzstörungen	77
Anhang F (normativ) Spezielle Maßnahmen zur Erdung von Betriebsmitteln und Anlagen	78
F.1 Anlagenumzäunungen	78
F.2 Rohrleitungen	78
F.3 Anschlußgleise	78
F.4 Maststationen und/oder Mastschalter	78
F.5 Sekundärstromkreise von Meßwandlern	78
Anhang G (normativ) Messung von Berührungsspannungen	79
Anhang H (informativ) Schutzmethoden gegen direkten Blitzeinschlag	80
H.1 Blitzschutzseile	80
H.2 Blitzschutzstangen	80
Anhang J (informativ) Reduktionsfaktoren von Erdseilen bei Freileitungen und metallenen Schirmen bei Erdkabeln	83
J.1 Allgemeines	83
J.2 Typische Werte für Reduktionsfaktoren von Freileitungen und Kabeln (50 Hz)	83
Anhang K (informativ) Grundlagen für die Ausführung von Erdungsanlagen	84
K.1 Spezifischer Erdwiderstand	84
K.2 Ausbreitungswiderstand	84

	Seite
Anhang L (informativ) Ausführung von Erdern und Erdungsleitern	88
L.1 Ausführung von Erdern	88
L.1.1 Oberflächenerder	88
L.1.2 Senkrechte oder schräg eingetriebene Tiefenerder	88
L.1.3 Verbinden der Erder	88
L.2 Ausführung der Erdungsleiter	88
L.2.1 Einbau der Erdungsleiter	88
L.2.2 Verbinden der Erdungsleiter	88
Anhang M (informativ) Näherungsformeln für einfache Erdungsanlagen: Geeignete Abstände zum Vermeiden gefährlicher Spannungen	89
Anhang N (informativ) Messungen für und an Erdungsanlagen	90
N.1 Messung von spezifischen Erdwiderständen	90
N.2 Messung von Ausbreitungswiderständen und Erdungsimpedanzen	90
N.3 Bestimmung der Erdungsspannung	91
N.4 Eliminierung von Fremd- und Störspannungen bei Erdungsmessungen	91
Anhang P (informativ) Einzelheiten zur Bauüberwachung und Dokumentation von Erdungsanlagen ...	94
Anhang Q (informativ) Beispiele für die Überprüfung der richtigen Planung in bezug auf die zulässige Berührungsspannung	95
Anhang R (informativ) Die Verwendung von Bewehrungsstählen in Beton für Erdungszwecke	96
Anhang S (informativ) A-Abweichungen	97
A-Abweichungen für Belgien	97
A-Abweichungen für die Schweiz	102
A-Abweichungen für Spanien	108
A-Abweichungen für Finnland	112
A-Abweichungen für Frankreich	113
A-Abweichungen für das Vereinigte Königreich	115
A-Abweichungen für Italien	120
A-Abweichungen für Schweden	121
Anhang T (normativ) Besondere Nationale Bedingungen (SNCs) und andere nationale Bestimmungen (Bestandteile nationaler Normen, Vorschriften und Verfahrensweisen)	124
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für die Tschechische Republik	125
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Dänemark	126
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Finnland	127
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Frankreich	128
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für das Vereinigte Königreich	129
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Italien	133
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für die Niederlande	137
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Norwegen	138
Besondere Nationale Bedingungen und nationale Bestimmungen für Schweden	139
Anhang U (informativ) Literaturhinweise	140

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,
- elektrischen 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.

NATIONALE ANMERKUNG: Diese Norm gilt jedoch für das Aufstellen fabrikfertiger typgeprüfter Schaltanlagen.

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
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 60721-1	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 – Staberdung
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 hoher 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 Raumdichte 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: Grundlagendokument: „Brandschutz“

2 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Begriffe:

2.1 Allgemeine Begriffe

2.1.1 Elektrisches Betriebsmittel: Alle Mittel zum Erzeugen, Umwandeln, Übertragen, Verteilen und Anwenden elektrischer Energie, z. B. Maschinen, Transformatoren, Schaltgeräte, Meßgeräte, Schutzeinrichtungen, Kabel und Leitungen, Stromverbrauchsgeräte [IEV 826-07-01].

2.1.2 Nennwert: 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: Geeigneter gerundeter Spannungswert zur Bezeichnung oder Identifizierung eines Netzes [IEV 601-01-21].

2.1.4 Bemessungswert: 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: Zone in der Umgebung von Betriebsmittel-Anschlüssen, die 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 Werkzeugs 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 Kurzschlußstroms 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 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): Teil, das Betriebsmittel gegen bestimmte äußere Einflüsse schützt und Schutz gegen direktes Berühren in allen Richtungen gewährt [IEV 826-03-12].

2.4.4 Abdeckung: Teil, das Schutz gegen direktes Berühren in allen üblichen Zugangs- oder Zugriffsrichtungen gewährt [IEV 826-03-13].

2.4.5 Hindernis: 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 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 spannungsführender Teile gleichgesetzt.

2.5.6 Mindestarbeitsabstand: Bei Arbeiten einzuhaltender Mindestabstand in Luft zwischen der arbeitenden Person – oder von ihr benutztem leitfähigem 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 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 Einflußbereichs eines Erders oder einer Erdungsanlage befindet, in dem 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 nichtisolierter Leiter, der in Beton eingebettet ist, der 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 Teils 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 Teils 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 verlegt ist; im allgemeinen bis etwa 1 m. Er kann z. B. aus Band, Rundmaterial oder Seil bestehen und als Strahlen-, Ring- oder Maschenerder oder als 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 Bauwerks mit leitenden Eigenschaften, das in Beton eingebettet ist, der 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 Ausbreitungswiderstands 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, das aber alle Anforderungen eines Erders erfüllt, ohne den ursprünglichen Zweck zu beeinträchtigen.

ANMERKUNG: Beispiele für natürliche Erder sind 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 Teils, das nicht zu den spannungsführenden Teilen gehört, um Personen vor gefährlichen Körperströmen zu schützen.

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

2.7.11.3 Blitzschutzerdung: Erdung zur Ableitung eines Blitzstroms 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 Erdschlußspule 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 Fehlerstroms 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.

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 Leerlauf- Berührungsspannung U_{ST} (maximal mögliche Berührungsspannung): Leerlaufspannung des Berührungsstromkreises, 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 Widerstands 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): Berührbares, leitfähiges Teil eines elektrischen Betriebsmittels, das normalerweise nicht unter Spannung steht, jedoch im Fehlerfall unter Spannung stehen kann [IEV 826-03-02].

2.7.14.7 Fremdes leitfähiges Teil: Leitfähiges Teil, das nicht zur elektrischen Anlage gehört, jedoch ein elektrisches Potential, einschließlich des Erdpotentials, einführen kann [IEV 826-03-03].

2.7.14.8 PEN-Leiter: 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 2.3e).

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).

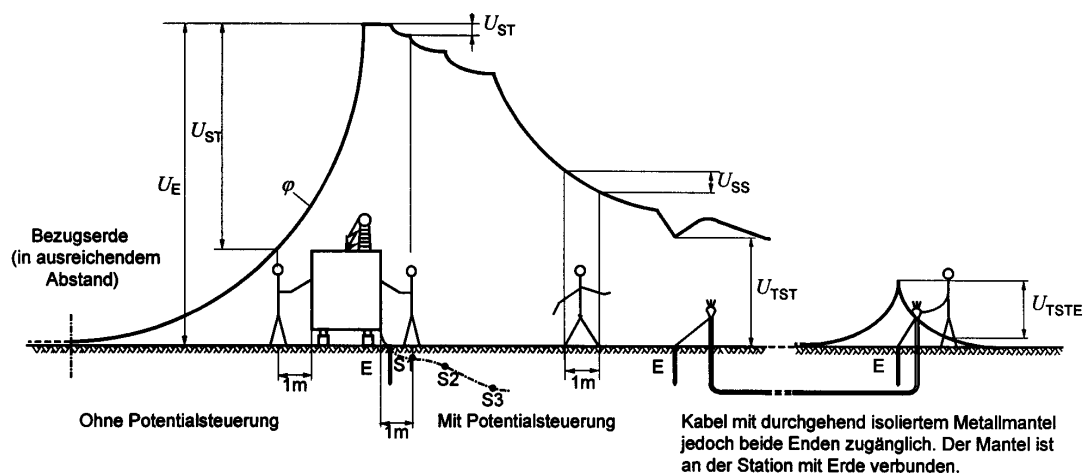
Das ist bei einpoligen Erdfehlern

- 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).

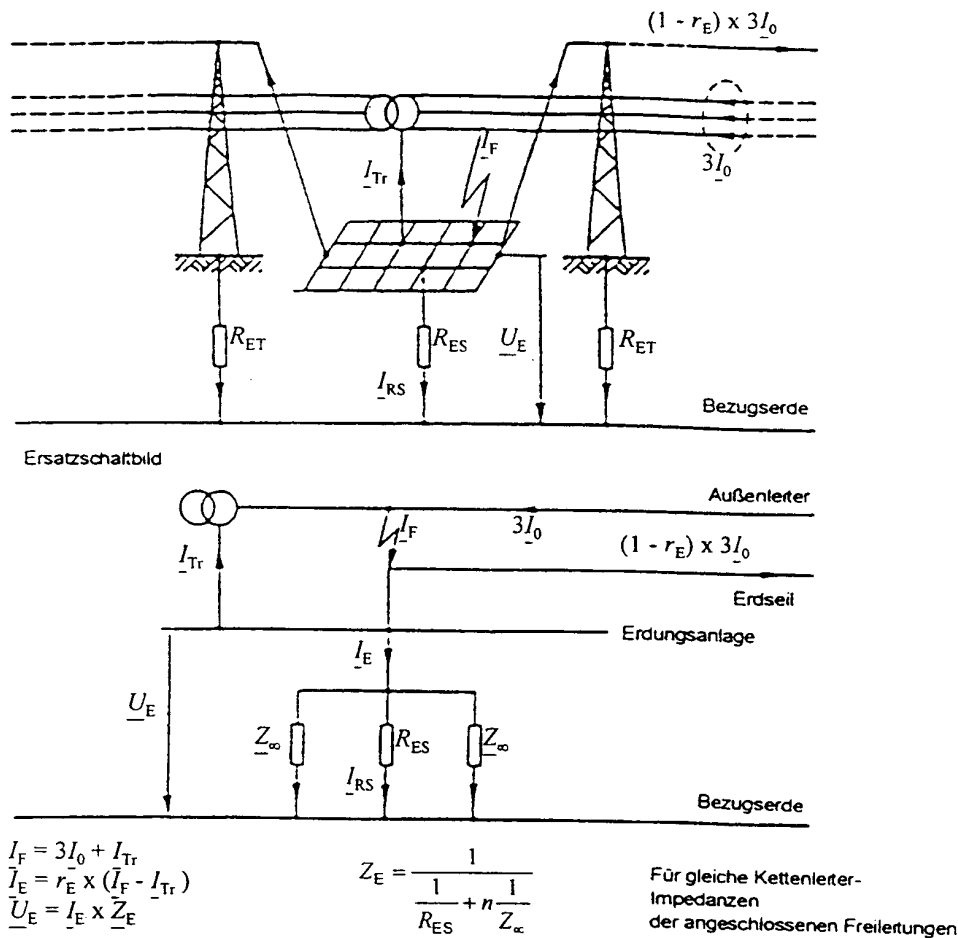
ANMERKUNG: Der Erdungsstrom ist der Teil des Erdfehlerstroms I_F , durch den die Potentialanhebung der Erdungsanlage verursacht wird. Zur Bestimmung von I_E siehe auch Anhang N (informativ).

2.7.15.4 Reduktionsfaktor r : Verhältnis des Erdungsstroms 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	Potentialsteuerer (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	Erdflächenpotential

Bild 2.1: Beispiel für den Verlauf des Erdflächenpotentials und für die Spannungen bei stromdurchflossenen Erden



- $3I_0$ 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 Maschenerders fließender Strom
- r_E Reduktionsfaktor der Freileitung
- R_{ES} Ausbreitungswiderstand des Maschenerders
- R_{ET} Ausbreitungswiderstand des Mastes
- Z_∞ Kettenleiterimpedanz der Freileitungen
- 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

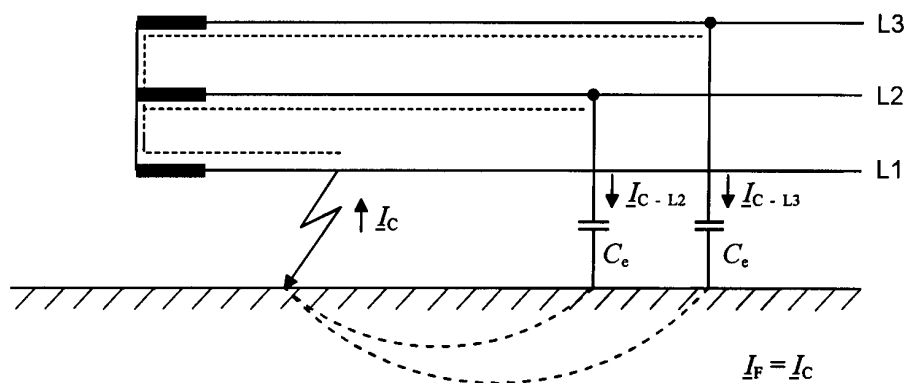


Bild 2.3 a: Erdfehlerstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt

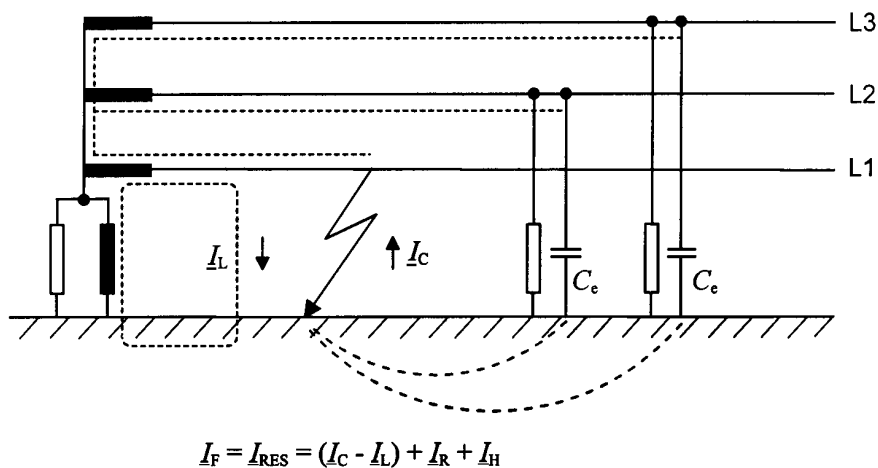


Bild 2.3 b: Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlußkompensation

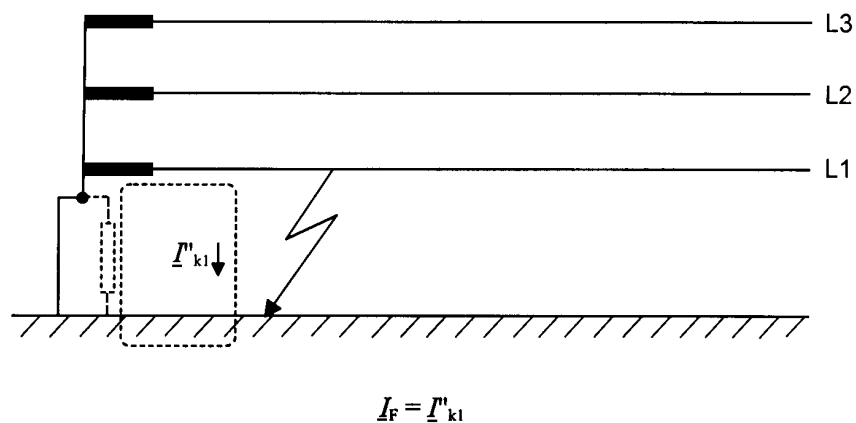


Bild 2.3 c: Erdfehlerstrom in einem Netz mit niederohmiger Sternpunktterdung

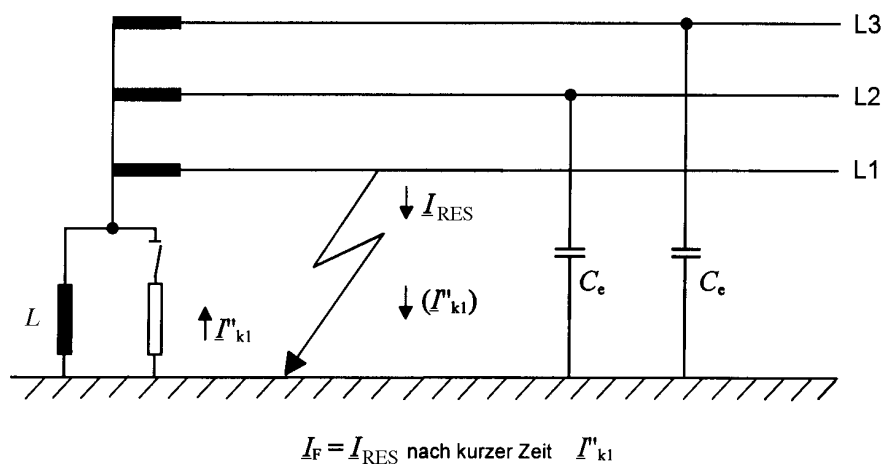


Bild 2.3 d: Erdfehlerstrom in einem Netz mit Erdschlußkompensation und vorübergehender niederohmiger Sternpunktterdung

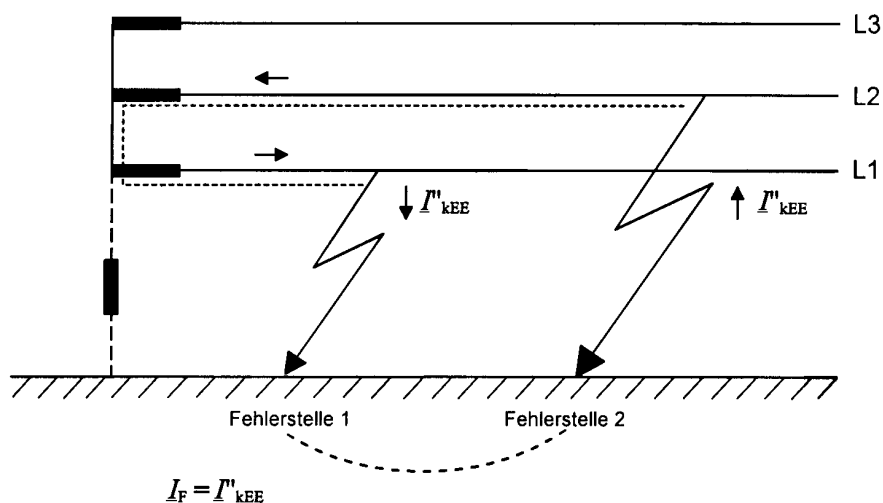


Bild 2.3 e: Doppelerdschlußstrom in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlußkompensation

- I_F Erdfehlerstrom
- I_C Kapazitiver Erdungsstrom
- I_L Summe der Ströme paralleler Erdschlußlöschspulen
- I_R Ableitstrom
- I_H Oberschwingungsstrom
- I_{RES} Erdschlußreststrom
- I''_{k1} 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 Kurzschlußstroms 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 Erdschlußzustands 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.

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 in den Berichten 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,
- $+5\text{ °C}$ 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.

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 1000 m über NN nicht überschreitet, brauchen Änderungen des Luftdrucks nicht berücksichtigt zu werden (siehe auch 3.4.1).

3.3.3 Luftfeuchte

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

- 70 % für die Klasse „Luftfeuchte 70 %“,
- 95 % für die Klasse „Luftfeuchte 95 %“.

3.3.3.2 Freiluft: Der Mittelwert der relativen Luftfeuchte 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 Rauheis 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 Isolatorenauswahl 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 1000 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 1000 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 2000 m über NN.

ANMERKUNG 1: Betriebsmittel, die in Aufstellungshöhen von mehr als 1000 m über NN eingesetzt werden, sind so auszuwählen, daß sie den dielektrischen Prüfungen standhalten, die in Höhenlagen unter 1000 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 Feuchte 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 1000 m über NN ist der für Leiter in Luft bei bestimmungsgemäßem Betrieb zulässige Strom für je 100 m über 1000 m um 0,2 % zu vermindern.

3.4.1.2 Abstände

Für Anlagen in Aufstellungshöhen von mehr als 1000 m über NN sind die in den [Tabellen 4.1 bis 4.3](#) von Abschnitt 4 angegebenen Mindestabstände für je 100 m über 1000 m um 1,4 % zu vergrößern.

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 errichtet 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 Überspannungs-Schutzeinrichtungen 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 1000 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 (vgl. 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.

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

Spannungsbereich	Nennspannung des Netzes	Höchste Spannung für Betriebsmittel	Bemessungs-Kurzzeitwechselspannung	Bemessungs-Blitzstoßspannung 1,2/50 µs	Mindestabstand (N) 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 ($52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$)

Spannungs- bereich	Nennspannung des Netzes U_n (Effektivwert) kV	Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m (Effektivwert) kV	Bemessungs- Kurzzeitwechsel- spannung (Effektivwert) kV	Bemessungs- Blitzstoß- spannung 1,2/50 μs (Scheitelwert) 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⁾ 230	450 550	900 1100
	132	145	185 ⁴⁾ 230 275	450 550 650	900 1100 1300
	150 ¹⁾	170	230 ⁴⁾ 275 325	550 650 750	1100 1300 1500
	220	245 ⁵⁾	325 ⁴⁾ 360 395 460	750 850 950 1050	1500 1700 1900 2100
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 ($U_m \geq 300 \text{ kV}$)

Spannungs- bereich	Nenn- spannung des Netzes	Höchste Spannung für Betriebs- mittel	Bemes- sungs- Schaltstoß- spannung	Mindestabstand Leiter/Erde		Bemes- sungs- Schaltstoß- spannung	Mindestabstand Leiter/Leiter	
	U_n (Effektivwert)	U_m (Effektivwert)	Leiter/ Erde	Leiter/ Kon- struktion	Stab/ Kon- struktion (N)	Leiter/ Leiter	Leiter/ Leiter parallel	Stab/ Leiter
			250/2 500 μ s			250/2 500 μ s		
	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
C	275	300	750	1600	1900	1125	2300	2600
			850	1800	2400	1275	2600	3100
	380	420	950	2200	2900	1425	3100	3600
			1050	2600	3400	1575	3600	4200
	480	525	1050	2600	3400	1680	3900	4600
			1175	3100	4100	1763	4200	5000
	700	765	1425	4200	5600	2423	7200	9000
			1550	4900	6400	2480	7600	9400

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, sind 75 % der Mindestabstände nach den [Tabellen 1 bis 3](#) als Mindestmaß einzuhalten.

4.4.5 Bei Bruch einer Teilkette in einer Mehrfach-Isolatorenkette sind 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 Sternpunktisolation ist unter Berücksichtigung der Sternpunktterdung 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 Schaltzustands 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.

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 in den [Abschnitten 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 Schutzeinrichtungen 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 Kurzschlußstroms 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 Schutzeinrichtungen 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 Begrenzungsdröseln 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 Frequenzuteilung 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 „Beregnungsprüfung“ 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 bestimmungsgemäßigem 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 Schleppleitungen) 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 Trassenverlaufs ist die im Kurzschlußfall in die Fernmeldeanlage induzierte Spannung zu berechnen (siehe z. B. CCITT/ITU-Empfehlungen). Es kann erforderlich sein, 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/Leitungen 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 Steigetrassen 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 Leitungstrossen (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 Leitungstrossen (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.

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 Betriebs 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, so 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.

NATIONALE ANMERKUNG: Die zitierten Normen befinden sich in Überarbeitung. Daher wird auf die Festlegungen zur Dokumentation von Anlagen, Systemen und Betriebsmitteln verwiesen. Zu dieser Dokumentation existieren die Normen der Reihen DIN EN 60617, DIN EN 61082, DIN EN 61346 sowie die Normen DIN EN 61175, DIN EN 61355 und DIN EN 61666.

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 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 Zufahrtbereiche

Die Breite von Wegen und Zufahrtbereichen 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 sichergestellt 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 sind 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 errichtet 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).

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 1800 mm betragen die Schutzvorrichtungsabstände $B_1 = N$.
- Für Maschendraht, Gitter oder feste Wände mit Öffnungen mit einer Mindesthöhe von 1800 mm und einer Schutzart IP1XB betragen die Schutzvorrichtungsabstände $B_2 = N + 100$ mm für Bemessungsspannungen über 52 kV.
- Für Maschendraht, Gitter oder feste Wände mit Öffnungen mit einer Mindesthöhe von 1800 mm und einer Schutzart von IP2X betragen die Schutzvorrichtungsabstände $B_3 = N + 80$ 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 1800 mm sowie für Leisten, Ketten oder Seile betragen die Schutzvorrichtungsabstände $O_2 = N + 300$ 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 1200 mm bis 1400 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) $C = N + 1000$ mm,
- Maschendraht, Gitter (Höhe siehe 6.2.6) $E = N + 1500$ 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 $H = N + 2250$ mm (mindestens 2500 mm) einzuhalten (siehe Bild 6.3). Die Höhe H gilt für den größten Leiterdurchhang (siehe Abschnitt 3).

NATIONALE ANMERKUNG: Für den größten Durchhang ist der größere der Werte zu berücksichtigen, der sich entweder bei -5 °C und Eislast (siehe 3.2.1) oder bei der zulässigen Leiterendtemperatur ergibt.

- Die obere Kante eines geerdeten Isolatorsockels muß mindestens eine Höhe von 2250 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 begehbar ist;
- $N + 500$ mm, wenn das Dach bei spannungsführenden Leitern nicht begehbar ist;
- O_2 in seitlicher Richtung vom Dachende, wenn bei spannungsführenden Leitern das Dach begehbar 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 nach 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 1800 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 1800 mm sowie für Leisten, Ketten oder Seile betragen die Schutzvorrichtungsabstände mindestens

$O_1 = N + 200$ 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 1200 mm bis 1400 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.

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 werden Schaltanlagen, die der [IEC 60466](#) entsprechen, als Innenraumanlagen in offener Bauweise angesehen.

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 eingebaut 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 gasisierte 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, gasisierte metallgekapselte Schaltanlagen in einer sauberen Umgebung zu montieren.

Für Freiluftaufstellung können während der Montage- und Instandhaltungsarbeiten provisorische Schutzeinrichtungen zum Schutz der gasisierten 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 gasisierten 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 gasisierten metallgekapselten Schaltanlagen und den Transformatoren;
- Transformatoren, die durch Kabel an die gasisierten 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 errichtet werden.

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.