

Dipl.-Ing. Hans-Günter Boy
Dipl.-Ing. Uwe Dunkhase
El.-Mstr. Dirk Maske
Dipl.-Ing. Reinhard Soboll

Elektro-Installationstechnik

Die Meisterprüfung

15., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Weitere Autoren dieses Bandes:

Dipl.-Ing. **JOHANN BARTH**

Dipl.-Ing. **RAINER HOLTZ**

Dipl.-Ing. **JOHANNES MEYER**

Dipl.-Ing. **THOMAS WÜBBE**

El.-Mstr. **PATRICK GNANENDIRAN**

Dipl.-Ing. **DETLEF PERTERMANN**

Weitere Informationen:

www.vogel-professional-education.de

ISBN 978-3-8343-3585-2

ISBN E-Book 978-3-8343-6342-8

15. Auflage. 2026

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53,54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Lektorat: Ulrike Klein, Berlin

Druck: General Nyomda Kft.

6728 Szeged, Kollegiumi ut 11/H

Gedruckt auf zertifiziertem Papier mit mineralölfreien Druckfarben

Copyright 1977, 2025 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg

Vogel Communications Group GmbH & Co. KG

Max-Planck-Straße 7/9

97082 Würzburg

Tel.: +49 931 418-0

Fragen zur Produktsicherheit: produktsicherheit@vogel.de

Vorwort

Dieses Buch erscheint in der Fachbuchgruppe *Die Meisterprüfung*. Der Band *Elektro-Installations-technik* enthält die Beschreibung, Planung und Installation elektrischer Anlagen. Schwerpunkte bilden die elektrotechnischen Normen, für deren Umsetzung in der täglichen Praxis gerade der/die Elektrotechniker-Meister/in sowohl im Handwerks- als auch im Industriebetrieb die Verantwortung trägt. Ausführlich werden die Maßnahmen zum *Schutz gegen elektrischen Schlag* und die *Installationsbestimmungen* für eine Vielzahl von elektrischen Anlagen dargestellt. Die Themenkreise *Mittelspannungsanlagen*, *Gebäudesystemtechnik*, *Blitzschutz*, *Fernmelde- und Antennenanlagen*, *Praktische Installationstechnik* und *Projektplanungsbeispiele* runden den Inhalt ab.

Das Buch ist als *Nachschlagewerk* für den in der Praxis stehenden Elektrofachmann vorzüglich geeignet; im Stichwortverzeichnis kann der Leser leicht einzelne Themen aufsuchen. Besondere Bedeutung hat der Band bei der Ausbildung zur *Meisterprüfung*.

Da zu dieser Buchreihe der Band *Mathematische und elektrotechnische Grundlagen* gehört, wurden die grundlegenden Kenntnisse auf diesen Gebieten bei den Lesern vorausgesetzt. Hierzu zählen der Umgang mit mathematischen Formeln, das magnetische und das elektrische Feld, die Grundgesetze der Gleichstrom- und Wechselstromtechnik und die grundlegenden Zusammenhänge der Drehstromtechnik. Die mit diesem Buch erreichbaren Lernziele entsprechen den Anforderungen, die der *Zentralverband der Deutschen Elektrohandwerke für die Meisterprüfung im Elektrotechniker-Handwerk* festgelegt hat.

Die heutige Form der Buchreihe ist das Ergebnis ständiger Erprobungen mit Meisterschülern des *Bundestechnologiezentrums für Elektro- und Informationstechnik e.V.* in Oldenburg und bringt die umfangreichen Erfahrungen der Autoren während ihrer Tätigkeit im Handwerk und in der Industrie zum Ausdruck. Die übersichtliche Gliederung der Fachthemen erleichtert dem Leser das Einarbeiten. Beispiele tragen zum besseren Verständnis der Fachprobleme bei.

Für dieses Buch besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.
Eine Haftung kann nicht übernommen werden.
Maßgebend sind in jedem Fall die gültigen anerkannten Regeln der Technik.

Zur 15. Auflage

Der Inhalt dieser Neuauflage wurde durch eine umfassende Überarbeitung auf den aktuellen Stand der Technik gebracht.

Oldenburg und Würzburg

Verfasser und Verlag

In der Fachbuchreihe «Die Meisterprüfung in der Elektrotechnik» sind bisher erschienen:

Behrends:	Elektrische Maschinen
Behrends / Wessels:	Formeln und Tabellen Elektrotechnik
Böttle / Boy / Clausing:	Elektrische Mess- und Regelungstechnik
Böttle / Friedrichs:	Mathematische und elektrotechnische Grundlagen
Boy / Bruckert / Wessels /	Elektrische Steuerungs- und Antriebstechnik
Meyer / Klaas / Behrends:	
Boy / Dunkhase / Maske / Soboll:	Elektro-Installationstechnik
Folkerts / Baade:	Hausgeräte-, Beleuchtungs- und Klimatechnik
Janßen / Soboll / Böttle /	Aufgaben und Lösungen Elektrotechnik
Friedrichs / Gatzke / Maske:	
Wübbe:	Telekommunikation

Folgende digitale Lernprogramme des bfe Oldenburg sind bei der Vogel Communications Group erhältlich:

Beleuchtungstechnik
 Brennstoffzellen
 Datennetzwerktechnik
 Drehstromtechnik
 KNX Installationsbus
 Elektrische Anlagen
 Elektrische Maschinen
 Elektroinstallationstechnik
 Elektromagnetismus
 Elektronik 1
 Elektronik 2
 Grundlagen der Elektrotechnik 1
 Grundlagen der Elektrotechnik 2
 Grundlagen der Elektrotechnik 3
 Grundlagen der technischen Mathematik
 IT-Sicherheit
 Kabel und Leitungen
 Leistungselektronik
 Messtechnik
 Prüfungstrainer Elektrotechnik
 Regelungstechnik
 Speicherprogrammierbare Steuerung
 Steuerungstechnik
 Wechselstromtechnik

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Elektrotechnische Normung	19
1.1 Rechtliche Grundlagen und Bestimmungen	19
1.2 Prüfzeichen	20
1.2.1 Prüfzeichen des VDE	20
1.2.2 CE-Kennzeichnung	21
1.3 VDE-Bestimmungen für die Elektroinstallation (Auswahl)	22
1.4 Die wichtigsten Begriffe zu den VDE-Bestimmungen	22
2 Schutzmaßnahmen und ihre Prüfung	25
2.1 Allgemeines	25
2.1.1 Gefährdung von Gesundheit und Leben	25
2.1.2 Brandgefahr	26
2.2 Schutz gegen elektrischen Schlag	27
2.3 Schutz durch automatische Abschaltung	27
2.3.1 Basisschutz	28
<i>Basisisolierung, Abdeckungen oder Umhüllungen, Schutzarten,</i>	
<i>Hindernisse und Anordnung außerhalb des Handbereichs</i>	
2.3.2 Fehlerschutz	30
<i>Schutzerdung, Schutzpotentialausgleich über die</i>	
<i>Haupterdungsschiene, Automatische Abschaltung im Fehlerfall</i>	
2.3.3 Zusätzlicher Schutz	31
2.3.4 Netzformen	31
<i>Schutzeinrichtungen, Schutzleiter und PEN-Leiter,</i>	
<i>Schutzmaßnahmen im TN-System, Außenleitererdschluss,</i>	
<i>Körperschluss, Schutzmaßnahmen im TT-System,</i>	
<i>Schutzmaßnahmen im IT-System</i>	
2.4 Funktionskleinspannung FELV	47
2.5 Doppelte oder verstärkte Isolierung	48
2.6 Schutztrennung	50
2.6.1 Schutztrennung mit nur einem Verbraucher	50
2.6.2 Schutztrennung mit mehr als einem Verbraucher	52
2.7 Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV	52
2.8 Prüfung der Schutzmaßnahmen	54
2.8.1 Besichtigung	54
2.8.2 Erprobung und Messung	55
2.8.3 Isolationswiderstandsmessung	56
2.8.4 Standortwiderstandsmessung	58
2.8.5 Schleifenwiderstandsmessung	59
2.8.6 Prüfung von Netzen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	62
2.8.7 Erdungswiderstandsmessung	63
2.8.8 Prüfbericht	66
2.9 Geräteprüfung nach DIN EN 50678 (VDE 0701) und DIN EN 50699 (VDE 0702)	68

2.10	Wiederkehrende Prüfungen (DIN VDE 0105-100, DGUV-Vorschrift 3)	73
3	Niederspannungserdungsanlagen und Schutzpotentialausgleich	75
3.1	Erdungsanlagen	75
3.1.1	Allgemeines	75
3.1.2	Oberflächenerder	75
3.1.3	Tiefenerder	76
3.1.4	Erdungsanlagen für Gebäude (DIN 18014)	77
3.1.5	Erdungsleitungen	78
3.1.6	Bestimmung des Erdungswiderstandes	79
3.2	Schutzpotentialausgleich	79
4	Bemessungen von Leitungen und Kabeln (DIN VDE 0100-520 und DIN VDE 0100-430)	81
4.1	Kriterien der Bemessung von Leitungen und Kabeln	81
4.2	Mechanische Festigkeit	81
4.3	Spannungsfall	82
4.4	Strombelastbarkeit von isolierten Leitungen und nicht im Erdreich verlegten Kabeln	85
4.5	Schutz von Leitungen und Kabeln gegen zu hohe Erwärmung	88
4.5.1	Schutz bei Überlast	89
4.5.2	Anordnung der Schutzorgane	90
4.5.3	Schutz bei Kurzschluss	91
4.5.4	Koordinierung von Überlast- und Kurzschlusschutz	94
4.6	Oberschwingungsströme	96
5	Leitungen und Kabel	97
5.1	Allgemeines	97
5.2	Bedeutung der Kurzzeichen	97
5.2.1	Buchstabenkurzzeichen (DIN VDE 0250)	98
5.2.2	Buchstabenkurzzeichen für harmonisierte Leitungen	99
5.3	Aderkennzeichnung (DIN VDE 0293)	100
5.4	Aderaufbau	102
5.5	Kunststoffaderleitungen	102
5.6	Signalleitungen	103
5.7	Leitungen für feste Verlegung	104
5.8	Flexible Leitungen	105
5.9	Niederspannungskabel	106
5.10	Mittelspannungskabel	107
5.11	Freileitungen	108
5.11.1	Stahl-Aluminium-Seile (Al/St)	109
5.11.2	Aldreyseile (E-AlMgSi)	110
6	Energieerzeugung und -verteilung	111
6.1	Kraftwerke	111
6.1.1	Wärme- und Wasserkraftwerke	112
6.1.2	Erneuerbare Energien	114
6.2	Energieverteilung	118

6.2.1	Netzstrukturen	118
6.2.2	Höchstspannungsnetze (HÖS)	118
6.2.3	Hochspannungsnetze (HS)	119
6.2.4	Mittelspannungsnetze (MS)	119
6.2.5	Niederspannungsnetze (NS)	119
6.3	Errichtung von Mittelspannungsanlagen	120
6.3.1	Umspannstationen	122
	<i>Mast-Umspannstationen, Gitter- und Betonmast-Umspannstationen, Gekapselte fabrikfertige Stationen</i>	
6.3.2	Mittelspannungs-Schaltanlagen	124
	<i>Metallgekapselte luftisolierte Schaltzellen, Gasisolierte Technik, Gebäudeanforderungen</i>	
6.4	Mittelspannungs-Schaltgeräte	127
6.4.1	Mittelspannungs-Trennschalter	127
6.4.2	Mittelspannungs-Lastschalter	128
6.4.3	Mittelspannungs-Leistungsschalter	129
	<i>Ölarme Mittelspannungs-Strömungsleistungsschalter, Mittelspannungs-Vakuumleistungsschalter, I_s-Begrenzer, Hochspannungssicherungen</i>	
6.5	Schutzeinrichtungen	137
6.5.1	Überstromzeitschutz	138
6.5.2	Distanzschutz	138
6.5.3	Differentialschutz	139
6.5.4	Kurzunterbrechung	140
6.5.5	Erdschlussschutz	141
6.5.6	Integrierte Leittechnik	141
6.5.7	Schutz von Leistungstransformatoren	141
	<i>Buchholzschutz, Differentialschutz für Transformatoren, Überstromzeitschutz für Transformatoren, Thermoschutz, Sicherungsauswahl für Transformatoren</i>	
6.6	Sekundärtechnik	145
6.6.1	Stromwandler	146
6.6.2	Spannungswandler	146
6.6.3	Schaltpläne zum Anschluss der Messgeräte	148
6.7	Sammelschienenanlagen in Schaltanlagen	149
6.7.1	Wahl und Anordnung der Sammelschienen	149
6.7.2	Isolatoren und Leitungsträger	150
6.7.3	Durchführungsisolatoren	151
6.8	Schutzmaßnahmen in Mittelspannungsanlagen	151
6.8.1	Schutz gegen direktes Berühren	152
6.8.2	Schutz bei indirektem Berühren	153
6.8.3	Erdungsmaßnahmen	154
6.8.4	Gemeinsame Erdungsanlagen	155
6.8.5	Überspannungsschutz bei Blitzeinschlägen	155
6.9	Mittelspannungs-Erdkabelanlagen	157
6.9.1	Allgemeines	157

6.9.2	Mittelspannungs-Kabelgarnituren	158
	<i>Verbindungs- und Abzweiggarituren für kunststoffisolierte Kabel, Erdkabelendverschlüsse für Innenräume und Freiluft</i>	
6.9.3	Verlegung von Erdkabeln	159
	<i>Transport von Erdkabeln, Verlegung von Erdkabeln in Gräben, Verlegung von Erdkabeln in Kabelkanälen und in Räumen</i>	
7	Niederspannungs-Verteilungsnetz	163
7.1	Niederspannungs-Erdkabelanlagen	163
7.1.1	Allgemeines	163
7.1.2	Erdkabelzubehör	163
7.1.3	Mindestabstände bei der Niederspannungs-Erdkabelverlegung	164
7.1.4	Erdkabel-Verteilungsnetz	164
8	Niederspannungs-Verbraucheranlagen	167
8.1	Hausanschluss	167
8.1.1	Netzanschluss	167
8.1.2	Hausanschlusseinrichtungen	167
	<i>Ausführung von Netzanschlüssen, Montage des Hausanschlussskastens, Hausanschlussbereiche</i>	
8.1.3	Hauptleitungen	170
8.1.4	Haupttromversorgungssysteme	170
8.1.5	Selektiver Hauptleitungsschutzschalter	172
8.1.6	Kurzschlussfestigkeit	173
8.1.7	Überspannungsschutz	173
8.2	Niederspannungsverteiler	174
8.2.1	Verteilerarten	174
8.2.2	Zähleranlagen	175
	<i>Belastungs- und Bestückungsvarianten von Zählerplätzen, Kommunikationseinrichtungen, Raum für Zusatzanwendungen</i>	
8.2.3	Stromkreisverteiler	179
	<i>Ausführungsvarianten</i>	
8.2.4	Baustromverteiler DIN EN 61439-4 (VDE 0660-600-4): 2013-09	182
8.2.5	Campingstromverteiler (DIN VDE 0660-600-7)	183
8.2.6	Gekapselte Verteiler	184
8.2.7	Schienen- oder Linienverteiler	185
8.3	Blindleistungskompensation	186
8.3.1	Allgemeines	186
8.3.2	Aufbau eines Blindleistungskondensators	187
8.3.3	Blindleistungskompensationsschaltungen	187
	<i>Einzelkompensation, Gruppenkompensation, Zentralkompensation</i>	
8.4	Ersatzstromversorgungsanlagen (DIN VDE 0100-551)	192
8.4.1	Mobile Ersatzstromversorgungsanlagen	192
8.4.2	Stationäre Ersatzstromversorgungsanlagen	192
	<i>Rotierende Ersatzstromversorgung, Netzumschaltung, Statische Ersatzstromversorgung, Schutzmaßnahmen, Aufstellen und Warten von Ersatzstromerzeugern</i>	
8.5	Blitzschutz	195

8.5.1	Allgemeines	196
	<i>Entstehung des Gewitters, Blitzschlag, Folgen bei Blitzeinschlag</i>	
8.5.2	Schutz von baulichen Anlagen und Personen	197
	<i>Auswahl der Schutzklasse, Äußerer Blitzschutz, Fangeinrichtungen, Ableitungsanlage, Erdungsanlage</i>	
8.5.3	Innerer Blitzschutz	201
	<i>Blitzschutz-Potentialausgleich, Trennungsabstand und Näherung, Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen</i>	
8.5.4	Prüfungen von Blitzschutzsystemen	206
8.6	Überspannungsschutz (DIN VDE 0100-443, DIN VDE 0100-534, DIN EN 62305)	206
9	Telekommunikations-, Rundfunk- und Kommunikationsnetze	209
9.1	Fernmeldeanlagen	209
9.1.1	Allgemeines	209
9.1.2	Bestimmungen, Normen	209
9.1.3	Leitungsinstallation	210
9.1.4	Leerrohrnetz	210
	<i>Allgemeiner Aufbau des Leerrohrnetzes, Regeln für den Einbau des Leerrohrnetzes, Einbaubeispiele für Rohrnetze</i>	
9.1.5	Leitungen und Kabel für Fernmeldeanlagen	216
9.1.6	Telekommunikationseinrichtungen	219
	<i>Allgemeine Festlegungen und analoge Anschluss technik, Übertragungstechnik im ISDN (Integrated Services Digital Network), NTBA, Netzabschlussgerät am Basisanschluss, IAE / UAE-Anschluss technik, ISDN-Leitungsinstallationen</i>	
9.1.7	Signal- und einfache Sprechanlagen	232
	<i>Klingel- und Summeranlagen, Türöffneranlagen, Sprechanlagen</i>	
9.1.8	Lichtrufanlagen	236
9.2	Empfangsanlagen	238
9.2.1	Analoge / Digitale Übertragung	239
9.3	DVB-T-Empfangsanlagen	239
9.3.1	Aufbau von DVB-T-Empfangsanlagen	240
9.4	Satellitenempfangsanlagen: analog und digital (DVB-S)	242
9.4.1	Empfangsanlagen für Satellitensignale	242
9.4.2	Offsetantenne (Parabolantenne)	242
	<i>Ausrichtung der Parabolantenne</i>	
9.4.3	LNB bzw. LNC	248
9.4.4	SAT-Anlagenaufbau	249
	<i>Signalverteilung, Multischaltervariante, DiSEqC – universelle Kommandosprache für SAT-Anlagen</i>	
9.5	Installation von Verteilanlagen	251
9.5.1	Normen und Vorschriften für Empfangs- und Verteilanlagen	251
9.6	Messungen in Antennenanlagen	254
9.6.1	Pegeldifferenz (Pegelschräglage)	254
9.6.2	Signal-Rausch-Abstand (C/N)	254
9.6.3	Qualitätskriterien und Messungen bei Digital-TV	254
9.6.4	Messung der Bitfehlerrate	254

9.6.5	Messung der Modulationsfehlerrate	254
9.6.6	Antennenstandrohre	256
9.6.7	Windlastberechnung	257
9.7	Erdung und Blitzschutz von Antennensystemen	258
9.7.1	Gebäude ohne Blitzschutzanlage, Antennenerdungsanlage	259
9.7.2	Potentialausgleich	261
9.7.3	Erdungsanlage	262
9.8	BK-Anlagen	264
9.8.1	Breitbandkommunikationsnetz, BK-Netz, Kabelnetz	264
9.8.2	BK-Frequenzbereiche	265
9.8.3	Fernsehen über Kabel	266
9.8.4	Rückwegfähige BK-Netzebene 4	267
9.8.5	Komponenten der Netzebene 4 (NE4)	267
9.8.6	Hausanschlussverstärker HAV	267
9.8.7	Potentialausgleich PA	268
9.9	Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen	269
9.9.1	Veränderung der Netze	269
9.9.2	Allgemeine Anforderungen in den Normen	270
9.9.3	Zentrale Verteilung der Dienste	272
9.10	Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlage nach EN 50173	273
9.10.1	Empfehlungen für Leitungen und Leitungslängen	274
9.10.2	Klassen und Kategorien	276
10	Gebäudesystemtechnik – Installationsbus KNX	281
10.1	Einführung	281
10.1.1	Grenzen der konventionellen Elektroinstallation	281
10.1.2	Vorteile des KNX-Systems	281
10.1.3	Vergleich konventionelle Installation / Installation mit KNX	283
10.1.4	Einsatzbereiche des KNX	285
10.1.5	KNX-Association	285
10.2	Technologie des KNX	286
10.2.1	Funktionsweise des KNX-Systems	286
10.2.2	Die wichtigsten Begriffe für das KNX-System	287
10.2.3	Spannungsversorgung der Busteilnehmer	288
10.3	Topologischer Aufbau des KNX-Systems	290
10.3.1	Linie (KNX)	290
10.3.2	Kopplung von Linien zu einem Bereich (KNX)	291
10.3.3	Kopplung von Bereichen	292
10.3.4	Verlegung der Busleitung	293
10.3.5	Zulässige Leitungslängen (KNX)	293
10.4	Datenübertragung	294
10.4.1	Zeitlicher Ablauf einer Datenübertragung (Bild 10.14)	294
10.4.2	Aufbau eines Telegramms	295
10.4.3	Buszugriffsverfahren	296
10.4.4	Überlagerung von Information und Versorgungsspannung	296
10.5	Buskomponenten	297
10.5.1	Busleitungstypen	297
10.5.2	Bauformen der Busgeräte	298

10.5.3	Ankopplung der Geräte an den Bus	298
10.5.4	Aufbau eines Busteilnehmers	300
10.5.5	Busankoppler (BA)	301
10.5.6	Bus-Endgerät (BE) (Anwendermodul)	302
10.5.7	Anwenderschnittstelle (AST)	303
10.5.8	Symbole für KNX-Komponenten	304
10.6	Programmierung der Busteilnehmer	304
10.6.1	Physikalische Adresse	304
10.6.2	Gruppenadresse	306
10.6.3	Anwendungsprogramm	308
10.7	Planung von KNX-Anlagen	309
10.8	Projektionierung von KNX-Anlagen	310
11	Installationsbestimmungen	311
11.1	Allgemeines über Raumarten	311
11.2	Elektrische Betriebsstätten (DIN VDE 0100–200, 729 und 731)	311
11.3	Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten (DIN VDE 100–200, 729 und 731)	312
11.4	Trockene Räume (DIN VDE 0100–200)	312
11.5	Orte mit Badewannen und Duschen	313
11.5.1	Bereichseinteilung	313
11.5.2	Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag	314
11.5.3	Betriebsmittel und deren IP-Schutzart nach EN 60529 (DIN VDE 0470)	315
11.5.4	Leitungen, Kabel und deren Verlegung	318
11.5.5	Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich	319
11.5.6	Elektrische Fußbodenheizungen	320
11.5.7	Bewegliche Bade- und Duscheinrichtungen	320
11.5.8	Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen RCD	320
11.6	Feuchte und nasse Räume (DIN VDE 0100-737 und 410)	320
11.7	Anlagen im Freien (DIN VDE 0100-737 und DIN VDE 0100-200)	321
11.8	Überdachte Schwimmbecken und Schwimmanlagen im Freien (DIN VDE 0100-702)	322
11.8.1	Schwimmbäder in Hallen	322
11.8.2	Schwimmbäder im Freien	324
11.8.3	Planungshinweise	324
11.9	Saunaanlagen (DIN VDE 0100-703)	324
11.9.1	Trockene Saunaanlagen (Heißluftsauna)	324
11.9.2	Dampfbad-Saunaanlagen	325
11.9.3	Leitungen und Betriebsmittel	325
11.9.4	Planungshinweise	325
11.10	Feuergefährdete Betriebsstätten (DIN VDE 0100-420; Richtlinien des VdS 2033)	326
11.10.1	Leitungen und Kabel	326
11.10.2	Maßnahmen zur Verhütung von Bränden	326
11.10.3	Schalter, Steckvorrichtungen, Maschinen usw.	327
11.10.4	Leuchten	327
11.10.5	Wärmegeräte	327

11.11 Landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten (DIN VDE 0100-705 und VdS-Richtlinie 2067)	328
11.11.1 Hauptschalter	328
11.11.2 Leitungen	328
11.11.3 Steckvorrichtungen	329
11.11.4 Überstromschutzorgane	329
11.11.5 Berührungsschutz gegen elektrischen Schlag	330
11.11.6 Schutzpotentialausgleich	330
11.11.7 Betriebsmittel und Verteilungen	330
11.11.8 Wärmegeräte in der Landwirtschaft	331
11.11.9 Anpassung	331
11.11.10 Elektro-Weidezaunanlagen	331
11.11.11 Maßnahmen bei Intensivtierhaltung	331
11.12 Elektrische Anlagen auf Baustellen (DIN VDE 0100-704, DGUV-Information 203-006)	332
11.12.1 Begriffe	332
11.12.2 Baustellenversorgung	332
11.12.3 Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag	334
11.12.4 Baustellenanschluss an das Versorgungsnetz und Energieverteilung	334
11.12.5 Leitungen	334
11.12.6 Installationsmaterial	335
11.12.7 Maschinen und Steuergeräte	335
11.12.8 Leuchten und Wärmegeräte	335
11.12.9 Betriebssicherheit	336
11.12.10 Baustellen-Betriebsgebäude	337
11.13 Elektrische Anlagen auf Campingplätzen (DIN VDE 0100-708)	337
11.14 Beispiele für Räume nach DIN VDE 0100	337
11.14.1 Solariumräume	337
11.14.2 Gärtnereibetriebe	338
11.14.3 Garagen	339
11.14.4 Kraftfahrzeugwerkstätten	339
11.14.5 Feuerungsanlagen mit flüssigen und gasförmigen Brennstoffen (DIN VDE 0116)	339
11.14.6 Holzbearbeitungsbetriebe (DIN VDE 0100-420) (Gesetz über technische Arbeitsmittel)	340
11.15 Bestimmungen für Leuchten und Beleuchtungsanlagen (DIN VDE 0100-559, VdS 2005)	341
11.15.1 Kennzeichen für Leuchten und Vorschaltgeräte	341
11.15.2 Niedervolt-Beleuchtungsanlagen (DIN VDE 0100-715)	344
11.15.3 Allgemeine Bestimmungen	345
11.15.4 Beleuchtungsanlagen im Freien (DIN VDE 0100-714)	346
11.16 Elektrische Anlagen in Möbeln und Einrichtungsgegenständen (DIN VDE 0100-713)	346
11.17 Ladestationen für Akkumulatoren (DIN VDE 0510)	348
11.18 Explosionsgefährdete Betriebsstätten (DIN VDE 0165)	348
11.18.1 Allgemeines über den Explosionsschutz	349
<i>Begriffserklärungen, Entstehung und Verhütung von Explosionen, Zündschutzarten für Betriebsmittel, Zoneneinteilung und Zuordnung</i>	

	<i>der Zündschutzarten, Einteilung der elektrischen Betriebsmittel entsprechend der Anwendung für verschiedene Stoffe und verschiedene explosionsgefährdete Bereiche, Kennzeichnung der Betriebsmittel</i>	
11.18.2	Allgemeine Errichtungsbestimmungen für explosionsgefährdete Betriebsstätten	356
	<i>Schutzmaßnahmen, Kabel und Leitungen, Verlegung von Leitungen, Notabschaltung, Elektrische Maschinen, Zusätzliche Bestimmungen für die Zone 0, Errichtung von eigensicheren Stromkreisen</i>	
11.18.3	Staubexplosionsgefährdete Betriebsstätten	361
	<i>Auswahl von Betriebsmitteln, Errichtungsbestimmungen in Ex-Staubbereichen, Leitungen und Kabel</i>	
11.18.4	Betrieb in explosionsgefährdeten Betriebsstätten	362
11.19	Spritzräume in Lackierereien	362
11.20	Spänebunker	363
11.21	Medizinisch genutzte Bereiche (DIN VDE 100-710)	363
11.21.1	Raumeinteilung	363
11.21.2	Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren	364
11.21.3	Schutzleiter und Schutzpotentialausgleich	364
11.21.4	Allgemeine Hinweise	366
11.22	Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art (DIN VDE 0100-718 und baurechtliche Regeln)	368
11.22.1	Hauptverteilungen	368
11.22.2	Leitungen und Betriebsmittel	368
11.22.3	Dokumentation	370
11.22.4	Prüfungen	370
11.22.5	Einzelbestimmungen für Gebäude unterschiedlicher Nutzung	370
	<i>Versammlungsstätten, Verkaufsstätten, Beherbergungsstätten, Garagen, Arbeitsstätten, Vergnügungsparks, Kirmesplätze und Zirkusse, DIN VDE 0100-740</i>	
11.23	Notbeleuchtung, Sicherheitsbeleuchtung (DIN EN 1838 – DIN EN 50172 (VDE 0108-100))	375
11.23.1	Allgemeines	375
11.23.2	Sicherheitsbeleuchtung (DIN EN 50172 (VDE 0108-100))	377
	<i>Sicherheitsbeleuchtung in Dauerbetrieb, Sicherheitsbeleuchtung in Bereitschaftsbetrieb</i>	
11.23.3	Errichten der Sicherheitsbeleuchtung	378
11.23.4	Sicherheitsbeleuchtung mit Zentralbatterieanlage – CPS-System	379
11.23.5	Sicherheitsbeleuchtung mit Gruppenbatterie-/ Gruppenversorgungsanlage – Stromversorgungssystem mit Leistungsbegrenzung (LPS-System)	379
11.23.6	Einzelbatterieanlage	380
11.23.7	Prüfungen für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen	380
12	Praktische Installation	383
12.1	Allgemeines	383
12.2	Werkzeuge und Hilfsmittel	383

12.2.1	Zu einer Grundausstattung gehörende Werkzeuge und Hilfsmittel	383
12.2.2	Zur Werkstatt gehörende Allgemeinwerkzeuge für die Metallbearbeitung und Spezialwerkzeuge	385
12.2.3	Elektrowerkzeuge	386
12.2.4	Anforderungen an Werkstätten und Prüfgeräte	388
12.3	Leitungsverlegung	390
12.3.1	Überblick	390
12.3.2	Unter- und Imputzinstallation – allgemein <i>Leitungsführungen unter und im Putz, Mauerarbeiten, Befestigungsarten unter Putz</i>	390
12.3.3	Auf- und Überputzinstallation – allgemein <i>Leitungsführungen auf Putz, Schelleneinteilung, Befestigungsarten auf Putz</i>	394
12.3.4	Hohlwand- und Betoninstallation – allgemein <i>Hohlwandinstallation, Betoninstallation</i>	400
12.3.5	Installation mit Rohren <i>Installationsmaterial für die Rohrverlegung, Verlegen von Isolierrohren unter Putz, Verlegen von Rohren auf Putz, Verlegen von Isolierrohren in Hohlwänden und Beton</i>	403
12.3.6	Installation mit Stegleitungen <i>Installationsmaterial, Stegleitungsverlegung</i>	410
12.3.7	Installation mit Feuchtraumleitungen <i>Verlegen von Feuchtraumleitungen unter Putz, Verlegen von Feuchtraumleitungen auf Putz und über Putz, Spanndrahtverlegung, Übergang von Feuchtraumleitungen auf andere Leitungen</i>	411
12.3.8	Installation in Kanälen, Rinnen und auf Pritschen <i>Kanalinstallation, Kabelrinnen, Kabelpritschen, Erwärmungsprobleme</i>	416
12.3.9	Brandschutzmaßnahmen in Kabel- und Leitungsanlagen <i>Anordnungen von Leitungswegen, Getrennte Verlegung von Versorgungs- und Steuerkabeln, Mechanischer Schutz, Schutz vor unzulässigen Temperaturerhöhungen, Funktionserhalt und Brandlast, Abschottungen</i>	423
12.3.10	Anschluss ortsveränderlicher Geräte mit beweglichen Anschlussleitungen	426
12.4	Abmanteln – Abisolieren	427
12.5	Verdrahtungen	427
12.5.1	Abzweigdosenverdrahtungen	427
12.5.2	Zählerfeldverdrahtung	428
12.5.3	Methoden der Verdrahtung elektrischer Steuer-, Regel- und Meldeanlagen	429
12.6	Leitungsverbindungen (DIN VDE 0606 bis 0613)	432
12.6.1	Schraubverbindungen	432
12.6.2	Steckverbindungen (Bild 12.80)	435
12.6.3	Quetschverbindungen	435

12.7 Zusammenfassen der Leiter von mehreren Stromkreisen (DIN VDE 0100-520)	436
13 Unfallverhütungsvorschriften (UVV)	437
13.1 Rechtliche Stellung der UVV	437
13.2 Allgemeine Vorschriften (DGUV-Vorschrift 1)	438
13.2.1 Pflichten des Unternehmers	438
<i>Allgemeine Anforderungen, Persönliche Schutzausrüstungen, Sicherheitsbeauftragte und Sicherheitsfachkräfte</i>	
13.2.2 Pflichten der Versicherten	439
13.3 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel (TRBS 1201 und 1203, DGUV-Vorschrift 3 und DIN VDE 0105-1)	439
13.3.1 Allgemeines	439
13.3.2 Prüfungen	440
13.3.3 Arbeiten an aktiven Teilen in elektrischen Anlagen	440
13.3.4 Wieder unter Spannung setzen	445
13.3.5 Arbeiten in der Nähe aktiver Teile	445
<i>Mindestabstände bei elektrotechnischen Arbeiten, Mindestabstände bei nicht elektrotechnischen Arbeiten</i>	
13.3.6 Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen	446
13.4 Arbeiten mit Schussapparaten – DGUV-Vorschrift 56	446
13.4.1 Allgemeines	447
13.4.2 Personen für die Bedienung von Schussapparaten	447
13.4.3 Munition	447
13.4.4 Werkstoffe der Eintreibstelle	447
13.4.5 Absperrungen	448
13.5 Leitern, Tritte und Gerüste (DGUV-Vorschrift 1, DGUV-Information 208-016, DIN 4420-1)	448
13.5.1 Allgemeines	448
13.5.2 Anlegeleitern	448
13.5.3 Stehleitern	449
13.5.4 Mechanische Leitern und Mehrzweckleitern	449
13.5.5 Gerüste	449
13.6 Arbeiten mit Propan bzw. Butan	451
13.7 Erste Hilfe (DGUV-Vorschrift 1)	451
13.7.1 Vorschriften nach DGUV-Vorschrift 1	451
13.7.2 Aufzeichnungen der Erste-Hilfe-Leistungen	452
13.8 Bekämpfung von Bränden (DIN VDE 0132)	452
13.9 Unfallmeldung	452
14 Installationsprojekte für Verbraucheranlagen	455
14.1 Allgemeines	455
14.2 Planungsablauf	455
14.2.1 Festlegung der Raumarten	455
14.2.2 Auswahl der Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren und Schutzpotentialausgleich	456
14.2.3 Bestimmung der Lastschwerpunkte und Festlegung der Verteilerplätze	460

14.2.4	Beleuchtungsplanung	461
	<i>Ermittlung der Beleuchtungsstärken, Festlegung der Leuchtenarten, Bestimmung der Lampenzahl und der elektrischen Leistung, Einzeichnen der Leuchten</i>	
14.2.5	Planung von Steckdosen, Lichtschaltern und Verbrauchsmitteln	462
14.2.6	Stromkreisaufteilung und Belastung	463
14.2.7	Kennzeichnung der Stromkreise und Stromkreisleitungen	465
14.2.8	Zähler- und Sicherungsverteiler	465
	<i>Übersicht, Aufzeichnung der Verteiler, Bestimmung der Sicherungs- und Schaltgerätenennströme, Bestimmung von Leitungsquerschnitt und -art</i>	
14.2.9	Aufmaßplan	468
14.2.10	Leistungsverzeichnis, Kostenangebot	468
14.3	Planungsbeispiele	470
14.3.1	Mechanische Werkstatt (siehe dazu Bilder 14.2 und 14.3 sowie Tabellen 14.3 und 14.4)	470
14.3.2	Tischlereibetrieb (siehe dazu Bilder 14.4 und 14.5 sowie Tabelle 14.5)	474
14.3.3	Wohnhaus (siehe dazu Bilder 14.6 und 14.7)	475
Normenfinder		488
Abkürzungen		494
Stichwortverzeichnis		498

1 Elektrotechnische Normung

1.1 Rechtliche Grundlagen und Bestimmungen

Auf Grundlage des **Energiewirtschaftsgesetzes** (EnWG) von 2005, mit letzter Änderung vom Februar 2017, fordert der Gesetzgeber, dass Energieanlagen so zu errichten und zu betreiben sind, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten.

In der «Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und dessen Nutzung für die Elektrizitätsversorgung in Niederspannung» oder kurz «**Niederspannungsanschlussverordnung**» (NAV) vom 01.11.2006 mit letzter Änderung vom August 2016 heißt es, dass die elektrische Anlage nur nach den Vorschriften dieser Verordnung, nach anderen anzuwendenden Rechtsvorschriften und behördlichen Bestimmungen sowie nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet, erweitert, geändert und instand gehalten werden dürfen. Die Arbeiten dürfen außer durch den Netzbetreiber nur durch ein in ein Installateurverzeichnis eines Netzbetreibers eingetragenes Installationsunternehmen durchgeführt werden. Im Interesse des Anschlussnehmers darf der Netzbetreiber eine Eintragung in das Installateurverzeichnis nur von dem Nachweis einer ausreichenden fachlichen Qualifikation für die Durchführung der jeweiligen Arbeit abhängig machen.

Laut Energiewirtschaftsgesetz wird die Einhaltung der *allgemein anerkannten Regeln der Technik* vermutet, wenn für Energieanlagen die technischen Regeln des **Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.** (VDE-Bestimmungen) beachtet worden sind.

Diese Bestimmungen befassen sich mit Festlegungen für das Errichten und Betreiben elektrischer Anlagen sowie auch für das Herstellen und Betreiben elektrischer Betriebsmittel. Sie sollen dazu dienen, Leben und Sachen auf bestmögliche Weise bei der Erzeugung, Übertragung und Anwendung elektrischer Energie zu schützen.

Zum Zeitpunkt ihrer Aufstellung geben die VDE-Bestimmungen den erreichten und allgemein anerkannten Stand der Technik wieder. Durch entsprechende Überarbeitung werden sie der technischen Entwicklung angepasst. Elektrische Anlagen sind nach dem Erscheinen neuer VDE-Bestimmungen nur dann anzupassen, wenn die neuen Bestimmungen ausdrücklich darauf hinweisen.

VDE-Bestimmungen können grundsätzlich nicht alle Sonderfälle erfassen. Es kann sogar geboten sein, in bestimmten Fällen weitergehende Maßnahmen zu treffen, um die Sicherheit elektrischer Einrichtungen zu erzielen; auch kann es unter besonderen Umständen vertretbar sein, von bestimmten Anforderungen in den VDE-Bestimmungen abzuweichen, wenn mindestens die gleiche Sicherheit erhalten bleibt.

Das **Deutsche Institut für Normung** (DIN) und der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) sind in der Deutschen Elektrotechnischen Kommission (DKE) zusammengefasst. Die VDE-Bestimmungen erhalten daher den Zusatz «DIN», z.B. DIN VDE 0100.

Die Deutsche Elektrotechnische Kommission ist als nationale Organisation für die Erarbeitung von Normen auf allen Gebieten der Elektrotechnik Mitglied in den entsprechenden europäischen und weltweiten Normungsorganisationen CENELEC (Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung), ETSI (Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen), und IEC (Internationale Elektrotechnische Kommission). Die DKE vertritt hier die deutschen Interessen und setzt die Ergebnisse der internationalen Normungsarbeit in nationale Normen um und veröffentlicht diese. Neben der nationalen Bezeichnung der elektrotechnischen Normen mit DIN VDE werden euro-

päische Normen mit EN und internationale Normen mit IEC oder auch als deutsche Norm mit DIN EN bzw. DIN IEC bezeichnet.

Der Errichter oder Betreiber elektrischer Anlagen bzw. Hersteller oder Betreiber elektrischer Betriebsmittel ist grundsätzlich für die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik selbst verantwortlich. Neben den VDE-Bestimmungen sind eine Reihe anderer Bestimmungen und Verordnungen zu berücksichtigen:

Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz (TAB): Diesen TAB liegt die genannte NAV zugrunde. Sie werden von den Netzbetreibern festgelegt und gelten für den Anschluss und den Betrieb von Anlagen, die an das Niederspannungsnetz des Netzbetreibers angeschlossen sind oder angeschlossen werden.

VdS-Richtlinien (Richtlinien der Versicherer)

Landesbauordnung mit den Verordnungen für Hochhäuser, Garagen, Feuerungsstätten, Geschäftshäuser, Versammlungsstätten und elektrische Betriebsräume.

Gewerbeordnung mit den Verordnungen für Arbeitsstätten, explosionsgefährdete Betriebsstätten und Aufzüge.

Unfallverhütungsvorschriften, insbesondere die DGUV-Vorschrift 1 «Grundsätze der Prävention» und die DGUV-Vorschrift 3 «Elektrische Anlagen und Betriebsmittel».

Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV, Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes.

1.2 Prüfzeichen

1.2.1 Prüfzeichen des VDE

Auf Antrag des Herstellers oder einer anderen interessierten Stelle führt die VDE-Prüfstelle «Zeichenprüfungen» durch und erteilt die Genehmigung zum Benutzen eines VDE-Prüfzeichens für die betreffenden Erzeugnisse.

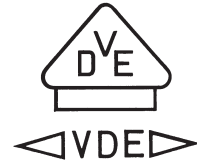
Die Prüfzeichen sind dem VDE warenzeichenrechtlich national und international als Verbandszeichen geschützt. Es gelten folgende Voraussetzungen:

- Die Erzeugnisse müssen den für sie geltenden VDE-Bestimmungen entsprechen,
- die Fertigungsstätten sind technisch einwandfrei einzurichten,
- die Erzeugnisse müssen vom Hersteller laufend durch Prüfungen überwacht werden.

Beauftragte der VDE-Prüfstelle überprüfen von Zeit zu Zeit die Fertigungsstätten

Prüfzeichen, die vom VDE erteilt werden, sind

- für elektrotechnische Erzeugnisse das VDE-Zeichen:



- für isolierte Leitungen und Kabel als Aufdruck oder Prägung das VDE-Kabelzeichen:

- für isolierte Leitungen und Kabel der VDE-Kennfaden:



- für Geräte, die den Normen für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV, Störaussendung und Störfestigkeit) entsprechen, das VDE-EMV-Zeichen:



- für die Gütebestätigung von Bauelementen der Elektronik das VDE-Elektronik-Prüfzeichen:



- für Erzeugnisse, die im Geräte- und Produktsicherheitsgesetz aufgeführt sind und die gestellten Anforderungen erfüllen, das VDE-GS-Zeichen:



(über 20 mm):



- für isolierte Leitungen und Kabel, die den CENELEC-Harmonisierungsbestimmungen entsprechen, die VDE-Harmonisierungskennzeichnung als Aufdruck oder Prägung:



oder als Kennfaden:



- für Erzeugnisse nach harmonisierten Zertifizierungsverfahren, z.B. Leuchten, das ENEC-Zeichen (VDE-Zeichen freigestellt):



1.2.2 CE-Kennzeichnung

Aufgrund europäischer Richtlinien (z.B. EU-Niederspannungsrichtlinie, EU-Richtlinie, Elektromagnetische Verträglichkeit, EU-Maschinenrichtlinie), die auch in deutsches Recht umgesetzt worden sind, ist der Hersteller und Importeur von Geräten jeglicher Art verpflichtet nachzuweisen,

dass seine Produkte unter anderem den Regeln der Technik entsprechen. Nur dann dürfen diese frei in Europa in Verkehr gebracht und gehandelt werden. Mit einer Konformitätserklärung bestätigt der Hersteller, dass das in Verkehr gebrachte Gerät alle einschlägigen Sicherheitsanforderungen erfüllt. Zu dieser Erklärung gehören z.B. folgende Dokumentationen, die 10 Jahre lang bereitzuhalten sind:

- Beschreibung des Gerätes,
- Fertigungszeichnungen und -pläne,
- Beschreibung der Funktionsweise,
- Liste der angewandten Normen und zusätzliche Nachweise,
- Ergebnisse von Konstruktionsberechnungen und Prüfungen,
- Prüfberichte.

Die produzierten Geräte werden zur Kennzeichnung mit dem sogenannten CE-Zeichen versehen, das in der folgenden Form angebracht wird (Mindesthöhe 5 mm):



1.3 VDE-Bestimmungen für die Elektroinstallation (Auswahl)

DIN VDE 0100	<i>Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V.</i>
DIN VDE 0101	<i>Errichten von Starkstromanlagen über 1000 V.</i>
DIN VDE 0105	<i>Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100 Allgemeine Festlegungen.</i>
DIN VDE 0100	<i>Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V – Teil 710 Medizinisch genutzte Bereiche.</i>
DIN VDE 0100	<i>Errichten von Starkstromanlagen bis 1000 V – Teil 718 Bauliche Anlagen für Menschenansammlungen.</i>
DIN VDE 0113	<i>Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1 Allgemeine Anforderungen (Band «Elektrische Steuerungs- und Antriebstechnik»).</i>
DIN VDE 0165	<i>Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen.</i>
DIN VDE 0185	<i>Blitzschutz.</i>
DIN VDE 0298	<i>Verwendung von Kabeln und isolierter Leitungen für Starkstromanlagen – Teil 4 Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Leitungen.</i>
DIN VDE 0701-0702	<i>Prüfung nach Instandsetzung, Änderung elektrischer Geräte – Wiederholungsprüfung elektrischer Geräte.</i>
DIN VDE 0800	<i>Fernmeldetechnik – Teil 1 Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte.</i>
DIN VDE 0855	<i>Antennenanlagen – Teil 1 Errichtung und Betrieb.</i>

1.4 Die wichtigsten Begriffe zu den VDE-Bestimmungen

1. **Starkstromanlagen.** Elektrische Anlagen mit Betriebsmitteln zum Erzeugen, Umwandeln, Speichern, Fortleiten, Verteilen und Verbrauchen elektrischer Energie.

2. **Stromverteilungsnetz.** Gesamtheit aller Leitungen und Kabel vom Stromerzeuger bis zur Verbraucheranlage (Hausanschlusskasten).
3. **Verbraucheranlagen.** Gesamtheit aller elektrischer Betriebsmittel hinter dem Hausanschlusskasten.
4. **Stromkreis.** Alle elektrischen Betriebsmittel einer Anlage, die von demselben Speisepunkt versorgt und durch dieselbe Schutzeinrichtung geschützt werden.
5. **Elektrische Betriebsmittel.** Alle Gegenstände, die zum Zwecke der Erzeugung, Umwandlung, Übertragung, Verteilung und Anwendung elektrischer Energie benutzt werden.
6. **Elektrische Verbrauchsmittel.** Betriebsmittel, die dazu bestimmt sind, elektrische Energie in andere Formen der Energie umzuwandeln.
7. **Überstrom-Schutzeinrichtung.** Einrichtungen, die dazu bestimmt ist, einen Stromkreis zu unterbrechen, wenn der Strom im Leiter des Stromkreises einen vorher festgelegten Wert für eine bestimmte Zeitdauer überschreitet.
8. **Außenleiter.** Leiter, der im üblichen Betrieb unter Spannung steht und in der Lage ist, zur Übertragung oder Verteilung elektrischer Energie beizutragen, aber kein Neutraleiter oder Mittelleiter ist.
9. **Neutraleiter (N).** Ein mit dem Mittelpunkt bzw. Sternpunkt des Netzes verbundener Leiter, der geeignet ist, zur Übertragung elektrischer Energie beizutragen.
10. **Schutzleiter (PE).** Leiter zum Schutz der Sicherheit, z.B. zum Schutz gegen elektrischen Schlag.
11. **PEN-Leiter.** Leiter, der die Funktionen von Neutral- und Schutzleiter in sich vereinigt .
12. **Aktives Teil.** Leiter oder leitfähige Teile, die bei ungestörtem Betrieb unter Spannung stehen, einschließlich Neutraleiter.
13. **Körper.** Berührbare, leitfähige Teile von Betriebsmitteln, die nicht aktive Teile sind, jedoch im Fehlerfall unter Spannung stehen können, z.B. Waschmaschinengehäuse.
14. **Bemessungsspannung** (bisher Nennspannung, entsprechende Bezeichnungen gelten u.a. auch für Strom- und Leistungsgrößen). Für eine vorgegebene Betriebsbedingung geltender Spannungswert, der im Allgemeinen vom Hersteller für ein Betriebsmittel oder eine Anlage festgelegt wird.
15. **Betriebsspannung.** Die jeweils örtlich zwischen den Leitern herrschende Spannung an einem Betriebsmittel.
16. **Schleifenwiderstand (Schleifenimpedanz).** Summe der Widerstände (Impedanzen), die in einer Starkstromanlage bei einem vollkommenen Körper- oder Kurzschluss den Strom begrenzen.
17. **Erder.** Leitfähiges Teil oder mehrere leitfähigen Teile, die in gutem Kontakt mit Erde sind und mit dieser eine elektrische Verbindung bilden.
18. **Betriebserdung.** Erdung eines Punktes des Betriebsstromkreises, wie Mittelpunkt, Sternpunkt, Neutraleiter oder Außenleiter.
19. **Erde.** Das leitfähige Erdreich, dessen elektrisches Potential an jedem Punkt vereinbarungs gemäß gleich null gesetzt wird (Bezugserde).
20. **Erdungswiderstand.** Widerstand der Erde zwischen dem Erder und der Bezugserde.
21. **Potentialausgleich.** Elektrische Verbindung, die die Körper elektrischer Betriebsmittel und fremde leitfähige Teile auf gleiches Potential bringt.

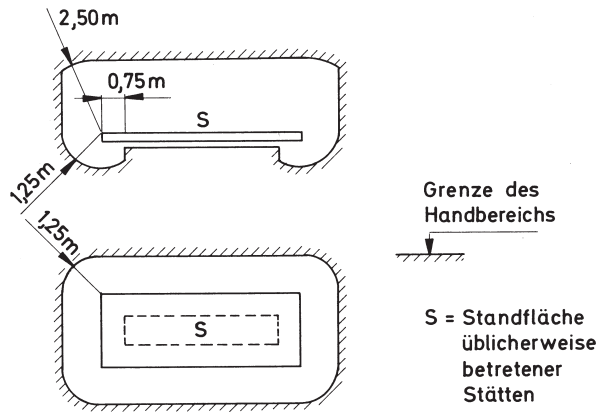


Bild 1.1 Handbereich

- 22. **Berührungsspannung.** Spannung, die zwischen gleichzeitig berührbaren Teilen während eines Isolationsfehlers auftreten kann.
- 23. **Erderspannung.** Auftretende Spannung bei Stromfluss durch einen Erder zwischen diesem und der Bezugserde (Bild 1.2).
- 24. **Schrittspannung.** Teil der Erderspannung, der vom Menschen mit einem Schritt von 1 m Länge überbrückt werden kann (Bild 1.2).
- 25. **Ableitstrom.** Strom, der in einem fehlerfreien Stromkreis zur Erde oder zu einem fremden, leitfähigen Teil fließt.
- 26. **Basisisolierung.** Isolierung von aktiven Teilen, um den grundlegenden Schutz gegen gefährliche Körperströme sicherzustellen.
- 27. **Handbereich.** Bereich, der sich von der Standfläche üblicherweise betretener Stätten aus erstreckt und dessen Grenzen mit der Hand erreicht werden können (Bild 1.1).

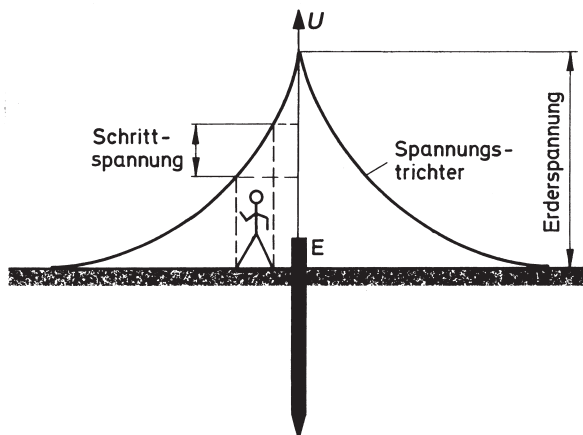


Bild 1.2 Verlauf des Erdoberflächenpotentials bei stromdurchflossenen Erden

2 Schutzmaßnahmen und ihre Prüfung

2.1 Allgemeines

Die Gefahren des elektrischen Stromes dürfen nicht unterschätzt werden.

Die unsachgemäße Anwendung der elektrischen Energie bedeutet eine *Gefährdung von Gesundheit und Leben* und/oder *Brandgefahr*.

2.1.1 Gefährdung von Gesundheit und Leben

Die direkte Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Menschen kann in Abhängigkeit von der Strombahn im Körper, von der Stromstärke und von der Stromart tödlich sein, Lähmungserscheinungen und Verbrennungen hervorrufen oder auch zu Folgeunfällen führen. Gerade der technische Wechselstrom mit Frequenzen bis 500 Hz ist besonders gefährlich, da er zu Herzkammerflimmern und Herzstillstand führen kann (bei Herzkammerflimmern kommt der Blutkreislauf zum Erliegen, der dadurch hervorgerufene Sauerstoffmangel im Gehirn führt in wenigen Minuten zum Tod).

Gemäß dem Diagramm in Bild 2.1 liegt die Wahrnehmbarkeitsschwelle eines Stromes durch den menschlichen Körper bei etwa 0,5 mA Wechselstrom.

Über die Nervenbahnen bewirkt ein Strom in dieser Größenordnung bereits ein leichtes Kribbeln. Bei etwa 5...10 mA Wechselstrom treten schon krampfartige Schmerzen in den durchströmten Körperteilen auf, mit der Hand umfasste aktive Teile kann man im Allgemeinen nicht mehr loslassen. Eine medizinisch schädliche Einwirkung ist aber noch nicht zu erwarten.

Wie aus Bild 2.1 zu ersehen ist, hängt die Wirkung stärkerer Ströme als 10 mA auf den Menschen von der Einwirkdauer ab. Fließt durch den Körper ein Strom von 40 mA, der aber durch schnelles Abschalten nur 0,1 s einwirkt, dann sind noch keine medizinisch schädliche Folgen zu erwarten. Fließt der Strom z.B. 0,5 s lang, ist zwar nicht mit Herzkammerflimmern zu rechnen, es kann aber bereits zu Lähmungserscheinungen, Atemkrämpfen und ggf. Bewusstlosigkeit kommen. Beträgt die Einwirkdauer mehr als 2 s, so muss zusätzlich mit Herzkammerflimmern gerechnet werden.

Ströme von 200 mA bleiben für den menschlichen Körper laut Diagramm (Bild 2.1) ungefährlich, wenn die Einwirkdauer nur 10 ms beträgt, dagegen ist nach einer Zeit von 1 s dieser Strom mit großer Wahrscheinlichkeit tödlich, wenn nicht sofort erfolgreiche Rettungsmaßnahmen ergriffen werden.

Beträgt der Strom durch den Körper über 500 mA, so kommt es außerdem durch die Wärmewirkung sowie auch bei einer Lichtbogenbildung zu schweren Verbrennungen. Die dabei auftretende Vergiftung des Körpers kann unter Umständen auch nach Tagen zum Tod führen. Ströme in dieser Größenordnung treten häufig bei Hochspannungsunfällen auf.

Gleichstrom ist weniger gefährlich als Wechselstrom. In kleinen Stromstärkebereichen hat erst etwa der 3-fache Gleichstrom die gleichen Folgen wie Wechselstrom. Das Herzkammerflimmern tritt bei Strömen über 150 mA auf. Größere Gleichströme führen wie bei Wechselstrom durch Wärmewirkung und Lichtbogen zu Verbrennungen.

In der Praxis stellt sich die Frage nach der maximalen Berührungsspannung, die als nicht lebensgefährlich angesehen werden kann. Da der Körperwiderstand des Menschen sehr unterschiedlich ist (etwa 600 bis 3000 Ω) und mit steigender Spannung abnimmt, lässt sich kein absolut ungefährlicher Wert, sondern nur ein für den Menschen wahrscheinlich ungefährlicher Spannungswert angeben.

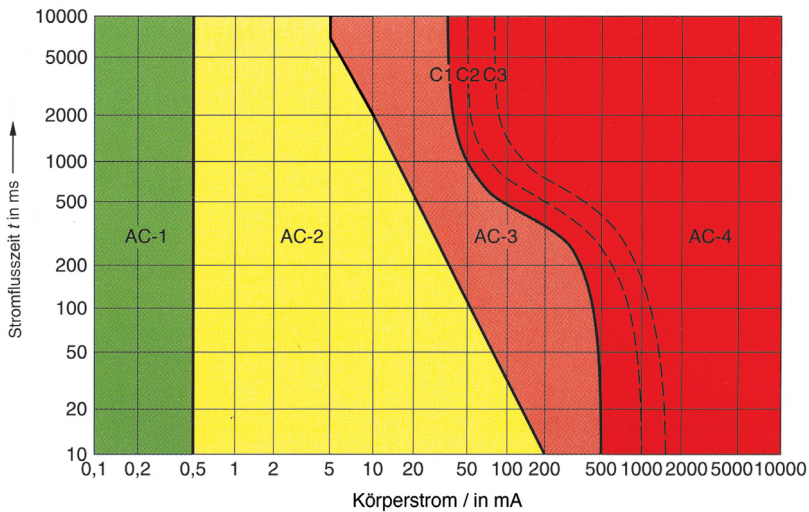


Bild 2.1 Stromgefährdungskurven, Stromfluss Hand–Hand oder Hand–Fuß bei 15 bis 100 Hz (in Bezug auf Herzkammerflimmern: Stromfluss linke Hand – beide Füße)

AC-1 Einwirkungen nicht wahrnehmbar

AC-2 keine medizinisch schädlichen Einwirkungen

AC-3 kein Herzkammerflimmern, Muskelkontraktionen, Atmungsbeschwerden

AC-4 Herzkammerflimmern mit steigender Wahrscheinlichkeit (c_1) Kurve c_2 Wahrscheinlichkeit 5% Kurve c_3 Wahrscheinlichkeit 50%; bei größeren Stromwerten Herzstillstand, Atemstillstand und Verbrennungen

In den VDE-Bestimmungen sind Spannungswerte festgelegt, die als Berührungsspannung an Betriebsmitteln auftreten dürfen, ohne dass eine Abschaltung erfolgen muss. Sie betragen für

Wechselstrom (Effektivwert): $U_L \leq 50 \text{ V}$

Gleichstrom: $U_L \leq 120 \text{ V}$

In bestimmten Fällen, z.B. in medizinisch genutzten Bereichen, sind die Spannungswerte für

Wechselstrom (Effektivwert): $U_L \leq 25 \text{ V}$

Gleichstrom: $U_L \leq 60 \text{ V}$

Treten an Betriebsmitteln höhere Berührungsspannungen auf, muss unter anderem eine schnelle Abschaltung erfolgen.

2.1.2 Brandgefahr

Brände entstehen durch Überstrom oder Kurzschluss in Leitungen oder Betriebsmitteln. Im Wesentlichen sind sogenannte unvollkommene Kurz- oder Erdschlüsse, die durch Isolationsfehler entstehen, die Hauptursache eines Brandes.

Überströme und direkte Kurzschlüsse lassen sich durch die richtige Dimensionierung der Schutzorgane beherrschen, siehe Abschnitt 4.5.

Die Isolationsfehler können durch die richtige Leitungsauswahl und durch eine sachgemäße mechanische Beanspruchung verhindert werden, siehe Abschnitt 4.3. Sie entstehen oft bei einer rissigen und brüchigen Isolation (die sich z.B. auch bei häufiger Überlast bildet). Feuchtigkeit dringt dadurch ein, und es kommt zu einem zunächst geringen Fehlerstrom durch die Isolation. Die Stromwärme führt zur Austrocknung, und der Stromfluss ist wieder unterbrochen. Dieser Vor-

gang wiederholt sich u.U. jahrelang, wobei durch kleine Funkenbildungen teilweise eine Verkohlung der Isolation eintritt, die eines Tages zu einem Lichtbogenkurzschluss führen kann, der die Entzündung leicht brennbarer Stoffe zur Folge hat.

2.2 Schutz gegen elektrischen Schlag

Die Bestimmungen für den Schutz von Personen und Nutztieren gegen elektrischen Schlag aus Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V sind in **DIN VDE 0100** festgelegt.

Eine Schutzmaßnahme besteht nach **DIN VDE 0100-410** aus der Kombination einer Basischutzvorkehrung und dem Fehlerschutz.

Basisschutz ist der Schutz gegen direktes Berühren (Schutz gegen gefährliche Körperströme im Normalbetrieb)

Fehlerschutz ist der Schutz bei indirektem Berühren (Schutz gegen gefährliche Körperströme im Fehlerfall).

Der *zusätzliche Schutz* ist ein festgelegter Teil einer Schutzmaßnahme, die unter bestimmten Bedingungen und in bestimmten besonderen Räumen, wie z.B. in Räumen mit Badewannen oder Duschen anzuwenden ist.

In jeder elektrischen Anlage müssen eine oder mehrere Schutzmaßnahmen angewendet werden. Folgende *Schutzmaßnahmen* sind erlaubt:

- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung;
- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung;
- Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines Verbrauchsmittels;
- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV

DEFINITIONEN

PELV: Protective Extra Low Voltage; Funktionskleinspannung mit elektrisch sicherer Trennung

SELV: Sicherheitskleinspannung



Bestimmte *Schutzvorkehrungen* wie z.B. «Schutz durch Hinternisse», «Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs» dürfen nur in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten angewendet werden.

Weitere Schutzvorkehrungen wie z.B. «Schutz durch nicht leitende Umgebung», «Schutz durch erdfreien örtlichen Schutzpotentialausgleich», «Schutz durch Schutztrennung» dürfen nur unter bestimmten Voraussetzungen angewendet werden.

2.3 Schutz durch automatische Abschaltung

Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung ist eine Schutzmaßnahme, bei der der Basisschutz durch eine Basisisolierung der aktiven Teile oder durch Abdeckung oder Umhüllungen erreicht wird.

Zusätzlich muss der Fehlerschutz durch den Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene und die automatische Abschaltung im Fehlerfall sichergestellt sein.

2.3.1 Basisschutz

Basisschutz ist der Schutz gegen direktes Berühren (Schutz gegen gefährliche Körperströme im Normalbetrieb). Die Maßnahmen *Isolieren*, *Abdecken* oder *Umhüllen* ergeben jeweils den vollständigen Schutz gegen direktes Berühren. Zu diesen Maßnahmen gehören auch die Schutzarten nach **DIN VDE 0470-1**.

2.3.1.1 Basisisolierung, Abdeckungen oder Umhüllungen

Beim Schutz durch Isolierung müssen die unter Spannung stehenden Teile (aktive Teile) vollständig mit einer Isolierung umgeben sein, die nur durch Zerstören entfernt werden kann. Die Isolierung muss den mechanischen, chemischen, elektrischen und thermischen Beanspruchungen standhalten. Farben, Lacke und dergleichen sind für sich allein kein ausreichender Schutz gegen direktes Berühren.

Tabelle 2.1 Tabelle mit Schutzarten nach **DIN EN 60529 (VDE 0470-1)** und Symbol nach **DIN VDE 0710**

IP	Berührungsschutz	Fremdkörperschutz	Symbol
0X	kein Schutz	kein Schutz	
1X	mit dem Handrücken	große Fremdkörper, Durchmesser größer 50 mm	
2X	mit dem Finger	mittelgroße Fremdkörper, Durchmesser größer 12 mm	
3X	mit Werkzeugen und Drähten größer 2,5 mm	kleine Fremdkörper, Durchmesser größer 2,5 mm	
4X	mit Werkzeugen und Drähten größer 1,0 mm	kornförmige Fremdkörper, Durchmesser größer 1 mm	
5X	mit Werkzeugen und Drähten größer 1,0 mm	Staubablagerung im Inneren (staubgeschützt)	
6X	mit Werkzeugen und Drähten größer 1,0 mm	Staubeintritt (staubdicht)	
IP	Wasserschutz		
X0	Kein Schutz		
X1	senkrecht fallendes Tropfwasser		
X2	schräg fallendes Tropfwasser bis 15° gegen die Senkrechte		
X3	Sprühwasser bis 60° gegen die Senkrechte		
X4	Spritzwasser allseitig		
X5	Strahlwasser		
X6	starkes Strahlwasser		

Tabelle 2.1 Tabelle mit Schutzarten nach **DIN EN 60529 (VDE 0470-1)** und Symbol nach **DIN VDE 0710** – Fortsetzung

IP	Wasserschutz	Symbol
X7	zeitweiliges Untertauchen (150...1000 mm)	
X8	dauerndes Untertauchen	
X9	Geschützt gegen die Wirkungen von Wasser mit hohem Druck, Hochdruckwasserprüfung	

Tabelle 2.2 Ergänzende Angaben nach **DIN EN 60529 (VDE 0470-1)**

Ziffer Zusätzlicher Berührungsschutz		Ziffer Ergänzende Buchstaben	
A	Handrückschutz oder Gegenständen mit Durchmesser 50 mm	H	Hochspannungs-Betriebsmittel
B	Fingerschutz gegen Finger mit Durchmesser >12 mm und bis 80 mm Länge	M	Geprüft, wenn bewegliche Teile in Betrieb sind
C	Werkzeugschutz gegen Werkzeug mit Durchmesser >2,5 mm und bis 100 mm Länge	S	Geprüft, wenn bewegliche Teile im Stillstand sind
D	Drahtschutz gegen Drähte mit Durchmesser >1 mm und bis 100 mm Länge	W	Geprüft bei festgelegten Wetterbedingungen

Bei dem Schutz durch Abdeckungen oder Umhüllungen müssen die aktiven Teile mit Abdeckungen oder Umhüllungen versehen sein, die mindestens der Schutzart IP 2X entsprechen (Tabelle 2.1). Für oben liegende, horizontale Flächen gilt IP 4X. Ausnahmen gibt es z.B. bei Lampenfassungen und Schraubsicherungen, wenn beim Auswechseln der Lampen bzw. Sicherungen größere Öffnungen entstehen. Dies gilt auch allgemein für Betriebsmittel, wenn für den ordnungsgemäßen Betrieb größere Öffnungen erforderlich sind. Es müssen aber Vorkehrungen getroffen werden, die das Berühren der aktiven Teile verhindern.

Abdeckungen und Umhüllungen müssen sicher befestigt sein; sie dürfen nur mit Hilfe eines Schlüssels oder Werkzeugs nach Abschalten der Spannung entfernt werden können.

2.3.1.2 Schutzarten

Nach **DIN VDE 0470-1** sind die Betriebsmittel je nach ihrer Schutzart gekennzeichnet. Neben der allgemeinen Kennzeichnung IP gibt die erste Ziffer den Berührungs- bzw. Staubschutz an, die zweite Ziffer den Wasserschutz. Ein zusätzlicher Buchstabe nach den Ziffern gibt den Schutzgrad für Personen gegen den Zugang zu gefährlichen Teilen an. Zusätzliche Buchstaben sind nur zu verwenden, wenn der tatsächliche Schutz höher ist als der durch die erste Kennziffer angegebene. Die zusätzlichen Buchstaben sind A (geschützt gegen Zugang mit dem Handrücken), B (geschützt gegen Zugang mit dem Finger), C (geschützt gegen Zugang mit Werkzeug) und D (geschützt gegen Zugang mit Draht). Des Weiteren kann ein ergänzender Buchstabe zusätzliche Informationen geben, wie z.B. geprüft auf schädliche Wirkungen durch Eintritt von Wasser im Betriebszustand (Buchstabe M). Für Leuchten und Installationsmaterial sind auch noch Tropfen- bzw. Gittersymbole nach **DIN VDE 0710** gebräuchlich. Die Tabellen 2.1 und 2.2 zeigen die Zusammenstellung der Schutzarten.

2.3.1.3 Hindernisse und Anordnung außerhalb des Handbereichs

Hindernisse sollen die zufällige Annäherung an aktive Teile (z.B. durch Schutzleisten, Geländer oder Gitterwände) oder das zufällige Berühren aktiver Teile (durch besondere Abdeckungen) verhindern. Sie dürfen ohne Schlüssel oder Werkzeug abnehmbar sein. Beim Schutz durch Abstand müssen die unter Spannung stehenden Teile außerhalb des *Handbereichs* angebracht sein. Diese Schutzmaßnahmen sind nur in Sonderfällen anwendbar, z.B. in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten.

2.3.2 Fehlerschutz

Fehlerschutz ist der Schutz bei indirektem Berühren (Schutz gegen gefährliche Körperströme im Fehlerfall). Zum Fehlerschutz gehören die Schutzterdung, der Schutzpotentialausgleich und die automatische Abschaltung im Fehlerfall.

2.3.2.1 Schutzterdung

Jeder Stromkreis muss einen Schutzleiter erhalten. Die Körper der elektrischen Anlage müssen mit dem Schutzleiter, je nach Anforderungen des jeweiligen Netzsystems (siehe Abschnitt 2.3.4), verbunden werden. Gleichzeitig berührbare Körper müssen über den Schutzleiter mit dem Erdungssystem verbunden werden.

2.3.2.2 Schutzpotentialausgleich über die Hauptterdungsschiene

Die genannte Maßnahme zum Fehlerschutz wurde früher Hauptpotentialausgleich genannt. Dieser Schutzpotentialausgleich muss in jedem Gebäude durchgeführt werden. Nähere Informationen sind im Abschnitt 3.2 dieses Buches enthalten.

2.3.2.3 Automatische Abschaltung im Fehlerfall

Im Falle eines Fehlers vernachlässigbarer Impedanz zwischen einem Außenleiter und einem Körper oder Schutzleiter muss eine Schutzeinrichtung den fehlerhaften Stromkreis innerhalb einer geforderten Abschaltzeit unterbrechen. Die Abschaltzeit beträgt bei einer Netzspannung von 230 V gegen Erde im:

TN-System

für Endstromkreise mit fest angeschlossenen elektrischen Verbrauchern bis 32 A und für	
Endstromkreise mit Steckdosen bis 63 A	$t \leq 0,4 \text{ s}$
für sonstige Stromkreise	$t \leq 5 \text{ s}$

TT-System

für Endstromkreise mit fest angeschlossenen elektrischen Verbrauchern bis 32 A und für	
Endstromkreise mit Steckdosen bis 63 A	$t \leq 0,2 \text{ s}$
für sonstige Stromkreise	$t \leq 1 \text{ s}$

2.3.3 Zusätzlicher Schutz

Im Zusammenhang mit dem Schutz durch automatische Abschaltung ist für Endstromkreise für den Außenbereich und Steckdosen der zusätzliche Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ gefordert.

Dieser Zusatzschutz ist für Steckdosen (Wechsel- und Drehstrom) mit einem Bemessungsstrom bis 32 A, die für Benutzung durch Laien und zur allgemeinen Verwendung bestimmt sind, vorgeschrieben. Im Außenbereich gilt diese Forderung für Endstromkreise mit fest angeschlossenen ortsveränderlichen Betriebsmitteln bis zu einem Bemessungsstrom von 32 A.

2.3.4 Netzformen

Die zulässigen Maßnahmen zum Schutz bei indirektem Berühren durch Abschaltung oder Meldung (Schutzleiterschutzmaßnahmen) unterscheiden sich im Einzelnen durch die Erdungsverhältnisse der Spannungsquelle bzw. der angeschlossenen stromführenden Netzleiter und durch die Erdungsverhältnisse der Körper der angeschlossenen elektrischen Betriebsmittel. Für die Bezeichnung der verschiedenen Systeme verwendet man Kurzzeichen, die aus mindestens 2 Buchstaben zusammengesetzt sind. Der 1. Buchstabe gibt die Erdungsverhältnisse der Spannungsquelle an. Er kann ein T oder I sein und hat folgende Bedeutung:

- T direkte Erdung von Sternpunkt oder Außenleiter (Betriebserder),
- I Sternpunkt und Außenleiter (alle aktiven Teile) sind gegen Erde isoliert oder über eine Impedanz mit Erde verbunden.

Der 2. Buchstabe gibt die Erdungsverhältnisse der Körper der Betriebsmittel an. Er kann ein T oder N sein und hat folgende Bedeutung:

- T Körper der Betriebsmittel sind direkt geerdet,
- N Körper der Betriebsmittel sind direkt mit dem Betriebserder (Sternpunkt) verbunden.

Weitere Buchstaben (nur für TN-Systeme) bedeuten:

- S Neutraleiter (N) und Schutzleiter (PE) sind getrennt verlegt,
- C Neutraleiter (N) und Schutzleiter (PE) sind in einem Leiter kombiniert (PEN-Leiter).

Die Buchstaben sind aus dem Französischen abgeleitet:

- T terre (Erde)
- I isolé (isoliert)
- N neutre (neutral)
- S séparé (getrennt)
- C combiné (kombiniert)

TN-System

Bild 2.2 enthält ein TN-S-System und Bild 2.3 ein TN-C-System. Fügt man beide Systeme aneinander, so enthält man das für die öffentliche Versorgung übliche Netz (Bild 2.4). Im Verteilungsnetz sind Schutz- und Neutraleiter kombiniert, in der Verbrauchieranlage getrennt.

TT-System

Das Prinzip des TT-Netzes zeigt Bild 2.5. Der Sternpunkt des Transformators und die Körper der Betriebsmittel sind direkt geerdet. Der Schutzleiter steht also *nicht* mit dem Neutralleiter in Verbindung.

IT-System

Im Allgemeinen ist der Sternpunkt gegenüber Erde isoliert (Bild 2.6), zur Herabsetzung von Überspannungen, von Erdschlussströmen oder zur Dämpfung von Schwingungen können Impedanzen zwischen Sternpunkt und Erde erforderlich sein.

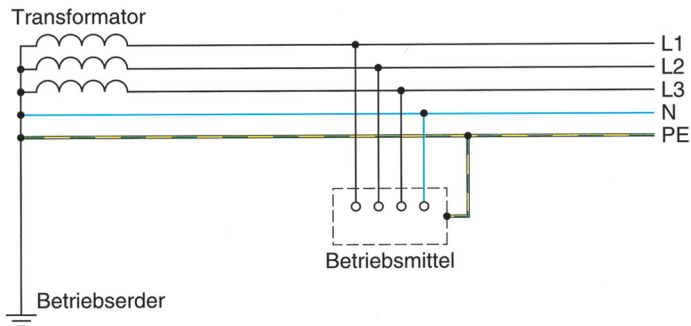


Bild 2.2 TN-S-System

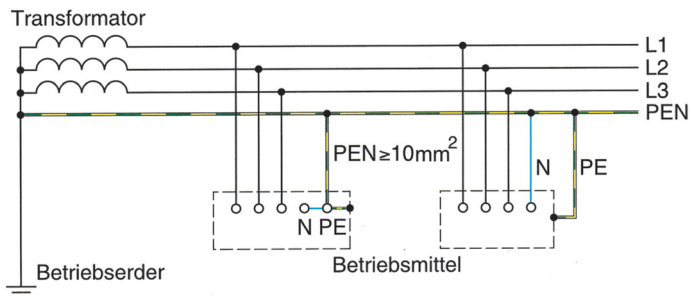


Bild 2.3 TN-C-System

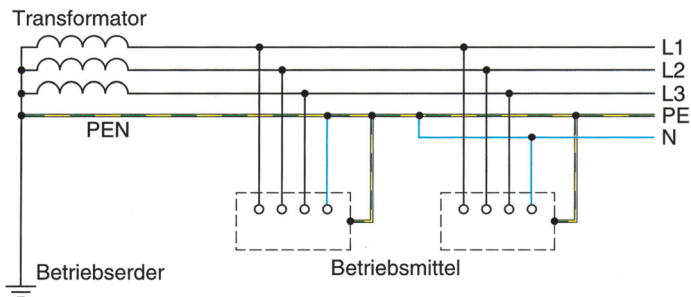


Bild 2.4 TN-C-S-System

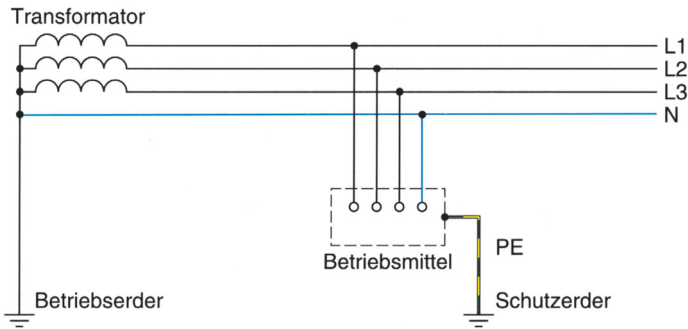


Bild 2.5 TT-System

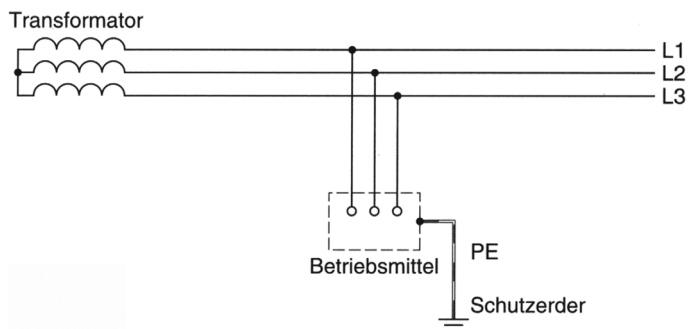


Bild 2.6 IT-System

2.3.4.1 Schutzeinrichtungen

Der Schutz bei indirektem Berühren kann in den in Abschnitt 2.3.4 beschriebenen Systemen durch besondere Schutzeinrichtungen wirksam sein. Hierzu gehören:

- Überstrom-Schutzeinrichtungen,
- Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen,
- Geräte für die Isolationsüberwachung.

Überstrom-Schutzeinrichtung

Dazu zählen Schmelzsicherungen wie DIAZED, NEOZED und NH-Sicherungen sowie auch Leitungsschutzschalter, Motorschutzschalter und Leistungsschalter. Diese Schutzeinrichtungen sind in dem Band «Elektrische Steuerungs- und Antriebstechnik» beschrieben.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (internationale Bezeichnung *RCD*, *residual current protective device*)

Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (spannungsunabhängiger FI-Schutzschalter) und die Differenzstrom-Schutzeinrichtung (spannungsabhängiger DI-Schutzschalter) bezeichnet man auch als RCD ohne Hilfsspannung bzw. RCD mit Hilfsspannung. Des Weiteren sind RCD ohne und mit Schutzleiterüberwachung zu unterscheiden.

In Netzsystemen mit vorhandenem Schutz bei indirektem Berühren können spannungsabhängige Schutzeinrichtungen mehrere Stromkreise oder in Verbindung mit Leitungsschutzschal-

tern einen Stromkreis zusätzlich gegen direktes Berühren schützen. Sollte in bestimmten Fällen der Fehlerstromschutz nach den VDE-Bestimmungen erforderlich sein, so ist nur die spannungsunabhängige Fehlerstrom-Schutzeinrichtung zulässig. In den folgenden Ausführungen wird die spannungsunabhängige Fehlerstrom-Schutzeinrichtung beschrieben.

Bild 2.7 zeigt die Schaltung einer vierpoligen Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit Schaltkontakten, Schaltschloss, Summenstromwandler, Auslöseeinrichtung und Prüfeinrichtung. Alle stromführenden Netzleiter – in einem Drehstromnetz L1, L2, L3 und N – werden durch den Schalter bzw. durch den Summenstromwandler geführt. Dieser besteht aus einem Ringkern, durch den die Netzleiter geführt werden und somit die Primärwicklung bilden. Die an die Auslösespule angeschlossene Sekundärwicklung besteht ebenfalls aus nur wenigen Windungen.

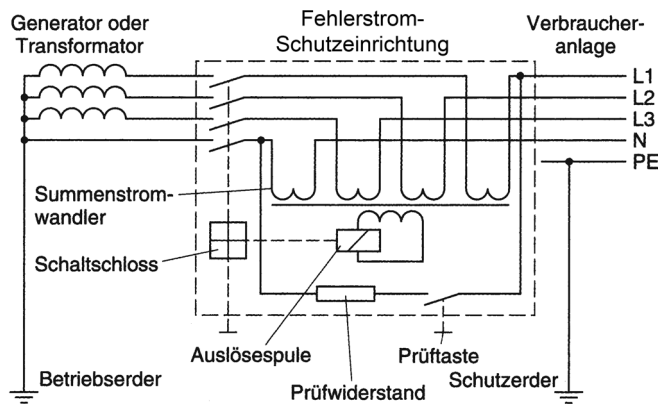


Bild 2.7 TT-System mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Bei eingeschaltetem Schalter und körper- bzw. erdschlussfreien Betriebsmitteln ist die Summe der durch den Wandler fließenden Ströme unter Berücksichtigung ihrer Richtung in jedem Augenblick gleich null. Damit bleibt der Ringkern unmagnetisiert, und in der Sekundärwicklung wird keine Spannung induziert. Andere Verhältnisse ergeben sich bei defekten Betriebsmitteln, wenn ein Fehlerstrom außerhalb des Summenstromwandlers z.B. über Erde fließt: Die Summe der Ströme im Wandler ist dann ungleich null. Damit wird durch das entstehende Magnetfeld im Kern eine Spannung in die Sekundärwicklung induziert, die in der Auslösespule einen Strom treibt und damit die Auslösung bewirkt.

Das Ansprechen des Schalters innerhalb der festgelegten Zeit erfolgt, wenn als Fehlerstrom mindestens der auf dem Schalter angegebene Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta N}$ fließt. In der Praxis lösen die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen bereits bei etwa 75% des angegebenen Bemessungsdifferenzstromes aus (die Auslösung muss nach den VDE-Bestimmungen zwischen 50 bis 100% erfolgen).

Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung enthält eine Prüfeinrichtung. Über einen Widerstand und einen dazu in Reihe liegenden Taster kann man einen Stromweg z.B. zwischen L1 und N außerhalb des Wandlers herstellen. Der dabei fließende Strom entspricht etwa dem Bemessungsdifferenzstrom der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Bei Tastendruck muss der Schalter ansprechen. Es ist zu beachten, dass mit der Betätigung der Prüftaste nur die elektromagnetische Funktion des Schalters geprüft wird, nicht jedoch die Schutzmaßnahme in dem angeschlossenen Netz.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen gibt es für verschiedene Bemessungsströme: 16 A; 25 A; 40 A; 63 A; 80 A; 100 A; 160 A. Die zugeordneten Überstrom-Schutzeinrichtungen sind ent-

sprechend den Herstellerangaben auszuwählen. Die Bemessungsdifferenzströme unterscheiden sich in den Werten: 0,01 A; 0,03 A; 0,1 A; 0,3 A; 0,5 A.

Gegenüber Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit größeren Bemessungsdifferenzströmen kann der 10-mA- und der 30-mA-Schutzschalter zusätzlich einen Personenschutz bieten, da er bei gefährlichen Körperströmen innerhalb der festgelegten Zeit abschaltet. Dies ist z.B. bei einer Schutzleiterunterbrechung gegeben, wenn bei einem Gerätekörperschluss der Schalter erst durch die Berührung durch den Menschen auslöst. Auch bei einer unbeabsichtigten Berührung eines Außenleiters kommt es zum schnellen Abschalten. Dieser Personenschutz erlaubt es jedoch nicht, auf einen Schutzleiter zu verzichten oder bedenkenlos aktive Teile zu berühren, denn der Körperstrom wird bei direkter Berührung nur durch den Körperwiderstand begrenzt, und für die Zeit bis zur Auslösung besteht Lebensgefahr, oder es muss mit Folgeunfällen gerechnet werden (z.B. von der Leiter fallen, in laufende Maschinen greifen usw.).

Die auch als Personenschutzautomaten bezeichneten zweipoligen FI-Schutzschalter mit einem Bemessungsstrom von 10 oder 30 mA schützen in Kombination mit einem Leitungsschutzschalter jeweils einen Stromkreis.

In Deutschland dürfen in Wechselstromkreisen keine Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs AC eingesetzt werden, da durch den Einsatz von elektronischen Betriebsmitteln pulsierende Gleichfehlerströme fließen können. In Stromkreisen, in denen Frequenzumrichter betrieben werden, müssen allstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B eingesetzt werden.

Die Tabelle 2.3 zeigt Bezeichnungen und Zeichen sowie Anwendungsbereiche unterschiedlicher Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen.

Tabelle 2.3 Tabelle mit Anwendungsbereichen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Anwendungsbereich von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	Bezeichnung und Symbol
Erfassung von Wechselfehlerströmen der Netzfrequenz (in Deutschland nicht zulässig)	Typ AC 
Erfassung von Wechselfehlerströmen und pulsierenden Gleichfehlerströmen der Netzfrequenz, eine korrekte Auslösung wird nur bei 50-Hz-Fehlerströmen sichergestellt	Typ A 
Erfassung von Wechselfehlerströmen und pulsierenden Gleichfehlerströmen der Netzfrequenz und Wechselfehlerströmen mit mehreren Frequenzanteilen; Hauptanteil ist immer 50 Hz	Typ F 
Erfassung von Wechselfehlerströmen und pulsierenden Gleichfehlerströmen der Netzfrequenz sowie glatten Gleichfehlerströmen und Wechselfehlerströmen ≠ Netzfrequenz	Typ B 

Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für tiefe Temperaturen, z.B. für Baustellenverteiler, tragen die Kennzeichnung:



Überspannungen in elektrischen Anlagen – z.B. infolge von Blitzeinwirkungen – verursachen Stromimpulse, die zum ungewollten Auslösen der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen führen können. Abhilfe lässt sich mit einer stromstoßfesten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erzielen, der innerhalb der zulässigen Auslösezeit verzögert anspricht. Diese Fehlerstrom-Schutzeinrichtung bietet auch die Möglichkeit der selektiven Abschaltung, wenn zwei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen – wie es gelegentlich auf Baustellen vorkommt – in Reihe geschaltet sind: Die übergeordnete, stromstoßfeste bzw. selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung löst erst aus (erlaubt ist eine Abschaltzeit $t \leq 1$ s), wenn die nachgeschaltete, unverzüglich ansprechende Fehlerstrom-Schutzeinrichtung defekt sein sollte oder die Fehlerstelle zwischen den Schutzeinrichtungen liegt. Selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind mit dem folgenden Zeichen versehen: 

Isolationsüberwachung

Die Isolationsüberwachungseinrichtung soll den Isolationswiderstand aller aktiven Teile in einem IT-System gegenüber Erde anzeigen. Bild 2.8 zeigt ein IT-Netz ($U_0 = 133$ V) mit einer einfachen Möglichkeit Erdschlüsse festzustellen: Die drei Lampen sind jeweils für 230 V ausgelegt. Bei erdschlussfreiem Netz liegt an jeder Lampe die Spannung 133 V. Hat z.B. L3 mit Erde Verbindung, dann wird die daran angeschlossene Lampe dunkler. Die anderen zwei Lampen erhalten eine höhere Spannung und werden heller. Bei vollem Erdschluss hat die Lampe an L3 keine Spannung, die beiden anderen Lampen liegen an 230 V.

Geringe Helligkeitsunterschiede der Lampen zeigen bereits einen Isolationsfehler gegen Erde an. Ein Grenzwert ist aber nicht feststellbar. Deshalb gibt es heute fast ausschließlich elektronische Überwachungseinrichtungen (Bild 2.9). Anstelle der Lampen kann man sich Widerstände vorstellen. Die Spannungsänderungen führen dann bei einem angeschlossenen elektronischen Schwellwertschalter zum Anziehen eines Relais, das dann ein Warnsignal wie Lampe oder Hupe einschaltet. Der Buchstabe Z (Scheinwiderstand) deutet darauf hin, dass nicht allein der Ohm'sche Isolationswiderstand, sondern anteilig auch der induktive und kapazitive Widerstand registriert wird.

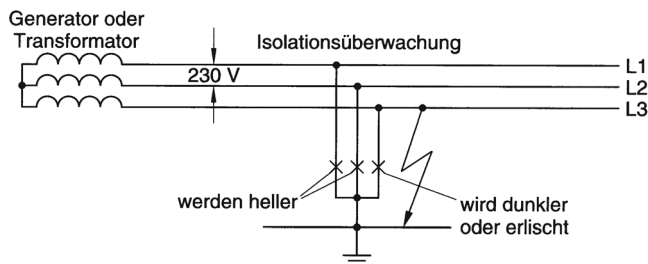


Bild 2.8 Isolationsüberwachung mit Lampen (Prinzipialschaltbild)

Es gibt auch Isolationsüberwachungseinrichtungen, die mit Gleichspannung arbeiten. Die Spannungsquelle wird über ein Relais mit einem Netzpunkt sowie mit Erde verbunden (Bild 2.10). Bei Erdschluss fließt ein Strom, und es kommt zur Anzeige.

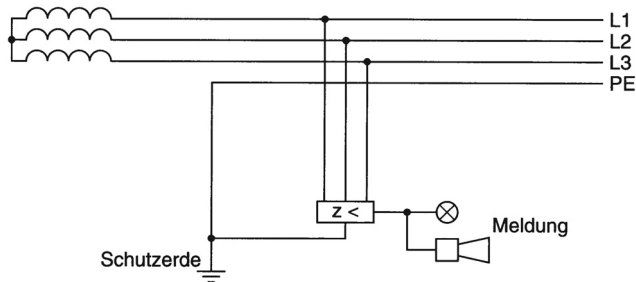


Bild 2.9 Elektronische Isolationsüberwachung

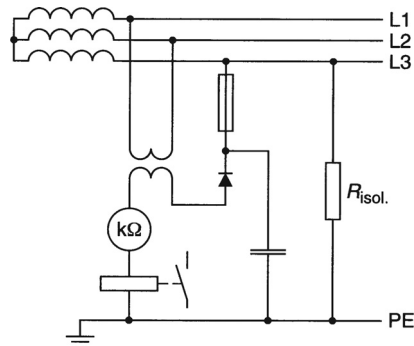


Bild 2.10 Isolationsüberwachung mit Gleichstrom

Die Isolationsüberwachungseinrichtung, die mit Erde in Verbindung steht, darf das Netz selbst nicht erden. Der Innenwiderstand ist deshalb mit mindestens 15 kΩ festgelegt. In Operationsräumen beträgt der Mindestwert 100 kΩ.

2.3.4.2 Schutzleiter und PEN-Leiter

Der *Mindestquerschnitt* der Schutzleiter muss entweder nach Tabelle 2.4 ausgewählt oder – wenn kleinere Querschnitte oder andere Materialien zur Anwendung kommen – berechnet werden.

Die aus Tabelle 2.4 ermittelten nicht genormten Querschnitte sind zu erhöhen oder zu erniedrigen, so dass sich der in der Normreihe am nächsten liegende Querschnitt ergibt. Die Werte gelten nur, wenn der Schutzleiter aus dem gleichen Material besteht wie die Außenleiter. Trifft dies nicht zu, kann durch Vergleichsrechnung der Schutzleiterquerschnitt ermittelt werden: Er muss die gleiche Leitfähigkeit wie der Querschnittswert aus der Tabelle aufweisen.

Unabhängig von Tabelle 2.4 kann der Querschnitt für den Schutzleiter auch durch eine spezielle Rechnung nach **DIN VDE 0100-540** bestimmt werden.

Der Querschnitt jedes Schutzleiters, der nicht mit den Außenleitern und Neutralleitern in einer gemeinsamen Umhüllung liegt, darf keinesfalls kleiner sein als:

- 2,5 mm² bei mechanisch geschützter Verlegung,
- 4 mm² bei ungeschützter Verlegung.

Für Aluminiumleiter ist in beiden Fällen ein Querschnitt von mindestens 16 mm² erforderlich.

Tabelle 2.4 Mindestquerschnitte für Schutzleiter

Querschnitt der Außenleiter der Anlage	Mindestquerschnitt des entsprechenden Schutzleiters
A in mm^2	A_S in mm^2
$A \leq 16$	A
$16 < A \leq 35$	16
$A > 35$	$\frac{A}{2}$

Als Schutzleiter können verwendet werden:

- Leiter in mehradrigen Leitungen und Kabeln,
- isolierte oder blanke Leiter in gemeinsamer Umhüllung mit Außenleitern und Neutralleiter, z.B. in Isolierrohren,
- fest verlegte blanke oder isolierte Leiter,
- metallene Umhüllungen bei bestimmten Kabeln z.B. der Kupferschirm beim Kabel NYCWY,
- Metallrohre oder andere Metallumhüllungen unter festgelegten Bedingungen,

In allen Fällen ist sicherzustellen, dass eine dauerhafte, durchgehende Verbindung mit ausreichender Leitfähigkeit erhalten bleibt. Gasrohre und Wasserrohre dürfen nicht als Schutzleiter verwendet werden.

Der Schutzleiter darf keine Schalteinrichtung enthalten. Zugelassen werden jedoch Klemmstellen, die für Prüfzwecke mit Werkzeug auftrennbar sind. Die Körper elektrischer Betriebsmittel dürfen, von Sonderfällen abgesehen, nicht als Schutzleiter für andere elektrische Betriebsmittel verwendet werden.

Der Mindestquerschnitt für *PEN-Leiter* ist in Abschnitt 2.3.4.3 angegeben. Er muss für die Netz-Nennspannung isoliert sein. Fremde leitfähige Teile und Umhüllungen von Kabeln und Leitungen dürfen keine PEN-Leiterfunktion übernehmen. Der PEN-Leiter darf keine Überstrom-Schutzeinrichtungen enthalten und für sich allein auch nicht schaltbar sein. Ist er zusammen mit den Außenleitern schaltbar, muss das im PEN-Leiter liegende Schaltstück beim Einschalten vor- und beim Ausschalten nacheilen.

Nach der Aufteilung des PEN-Leiters in Neutral- und Schutzleiter ist es nicht zulässig, den Neutralleiter mit einem geerdeten Teil der elektrischen Anlage oder dem Schutzleiter zu verbinden.

Aus Gründen der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) dürfen in neuen Gebäuden hinter dem Einspeisepunkt der Niederspannung keine PEN-Leiter errichtet werden.

2.3.4.3 Schutzmaßnahmen im TN-System

Der Schutzleiter (PE) und der Neutralleiter (N) dürfen nur bei fester Verlegung und einem Querschnitt von mindestens 10 mm^2 Cu bzw. 16 mm^2 Al zu einem PEN-Leiter vereinigt sein.

2.3.4.3.1 Außenleitererdschluss

Der Sternpunkt oder der PEN-Leiter muss in der Nähe des speisenden Transformators oder Generators mit einem Betriebserder verbunden werden. Der Betriebserder hat die Aufgabe, unzulässig hohe Spannungen, die bei einem Außenleitererdschluss zwischen dem PEN-Leiter und

damit auch Schutzleiter und Erde auftreten können, auf ungefährliche Werte zu begrenzen. Ohne Betriebserdung könnte die Spannung zwischen dem Schutzleiter und der Erde bei einem Außenleitererdschluss im 230/400-V-Netz maximal 230 V betragen. In Bild 2.11 ist ein Außenleitererdschluss dargestellt, bei dem als Annahme der Erdübergangswiderstand $R_E = 10 \Omega$ beträgt. Damit die Spannung am Betriebserder U_L auf 50 V begrenzt bleibt, muss der Widerstand des Betriebserders R_B etwa $2,8 \Omega$ betragen (die Leitungswiderstände bleiben unberücksichtigt):

$$\frac{R_B}{R_E} = \frac{U_L}{U_0 - U_L}$$

U_0 Nennspannung gegen geerdete Leiter

U_L dauernd zulässige Berührungsspannung

R_B Widerstand des Betriebserders

R_E kleinster angenommener Erdübergangswiderstand eines fremden leitfähigen Teiles, das nicht mit dem Schutzleiter bzw. PEN-Leiter verbunden ist und über das ein Erdschluss entstehen kann

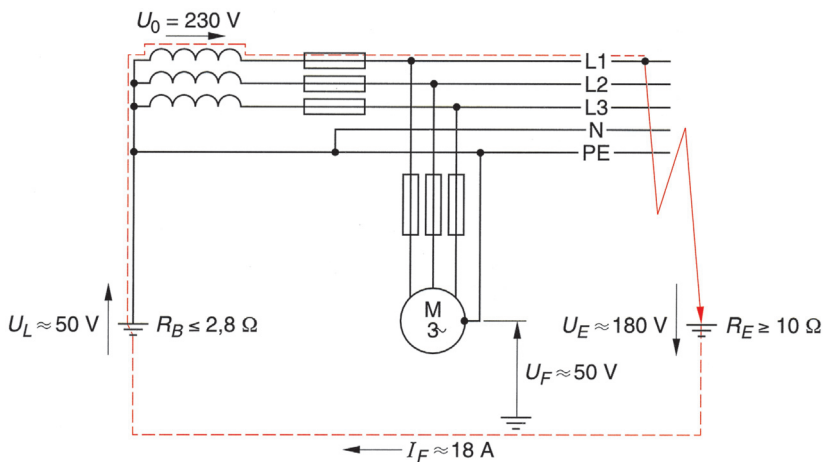


Bild 2.11 Außenleitererdschluss im TN-System

In Deutschland ist es für den Verteilungsnetzbetreiber verpflichtend, die Bedingung $R_B/R_E \leq 50 \text{ V}/(U_0 \leq 50 \text{ V})$ einzuhalten.

Der Betriebserder R_B kann aus mehreren Einzelerdern zusammengesetzt sein. Parallel geschaltet unterschreiten sie in VNB-Netzen im Allgemeinen den Wert von 1Ω . Geht man davon aus, dass der Erdübergangswiderstand der Fehlerquelle selten einen kleineren Wert als 5Ω annimmt, bleibt ein über längere Zeit fließender Erdschlussstrom ungefährlich. Erdschlussströme bewirken in TN-Systemen mit Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtungen meist noch kein Ansprechen der Sicherungen.

2.3.4.3.2 Körperschluss

In TN-Systemen gewährleisten bei Körperschluss Überstrom-Schutzeinrichtungen oder Fehler-schutzeinrichtungen den Schutz bei indirektem Berühren.

Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtungen

Bild 2.12 enthält ein Verbrauchsmittel (Drehstrommotor) mit einem vollkommenen Körperschluss. Es fließt ein Kurzschlussstrom I_K , der durch die Leitungswiderstände des Außenleiters R_L (im Bild L2), des Schutzleiters R_{PE} und des PEN-Leiters R_{PEN} sowie durch den Innenwiderstand des Transformators (R_I) begrenzt wird. Parallel zum PE- und PEN-Leiter liegende Stromwege über Erde bleiben unberücksichtigt, ihr Widerstand ist in TN-Systemen unbestimmt und im Verhältnis zum Leiterwiderstand viel größer. Die Summe der aufgezählten Widerstände nennt man Schleifenwiderstand (R_S) oder auch Schleifenimpedanz (Z_S), wenn die Induktivitäten und Kapazitäten der Netzleitungen mitberücksichtigt werden. Der Schleifenwiderstand ergibt zusammengefasst:

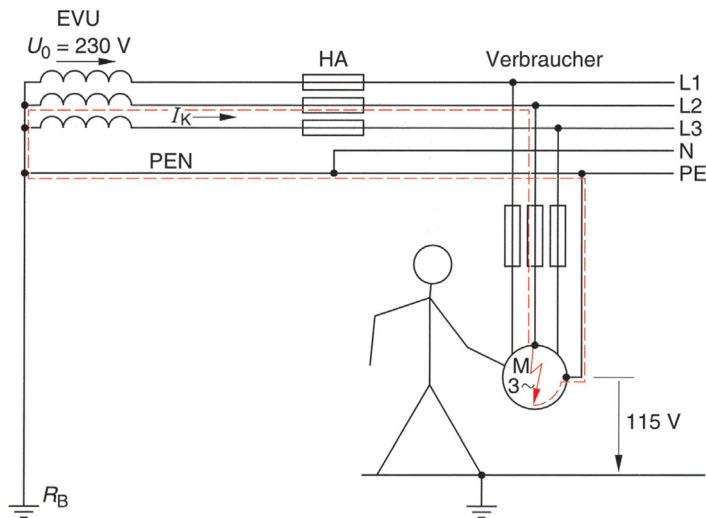


Bild 2.12 Körperschluss im TN-System

$$R_S = R_L + R_{PE} + R_{PEN} + R_I$$

- R_S Schleifenwiderstand
- R_L Leitungswiderstand des Außenleiters
- R_{PE} Leitungswiderstand des PE
- R_{PEN} Leitungswiderstand des PEN
- R_I Innenwiderstand des Transformators

Solange der Kurzschlussstrom fließt, beträgt bei gleichen Querschnitten des Außen- und PEN-Leiters die Fehlerspannung zwischen dem Körper des Verbrauchsmittels und Erde etwa 115 V. Es

ist der Spannungsfall am Schutz- und PEN-Leiter: Ein Leitungsende davon (PE) ist mit dem Körper des Motors, das andere Leitungsende (PEN) über den Betriebserder mit Erde verbunden.

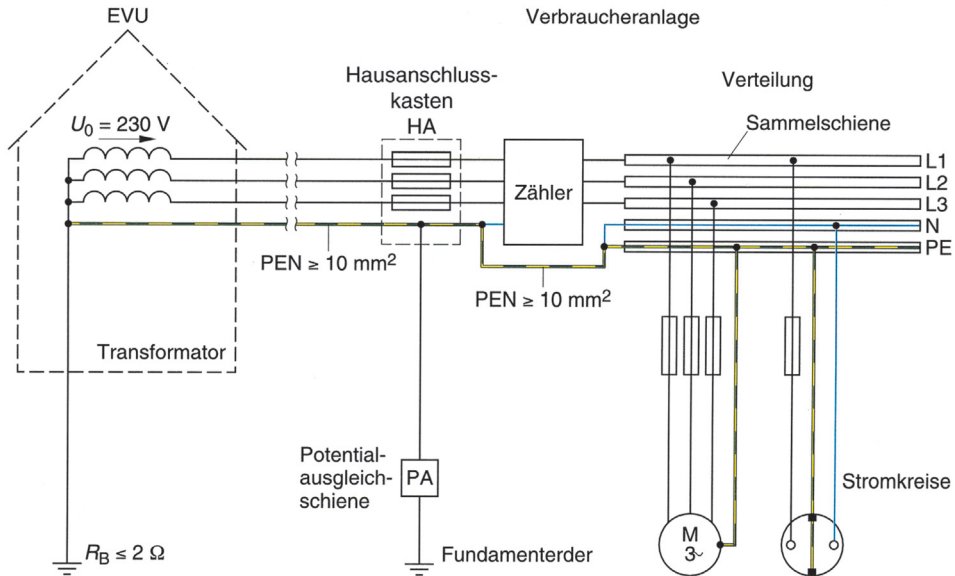


Bild 2.13 TN-System mit Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtung

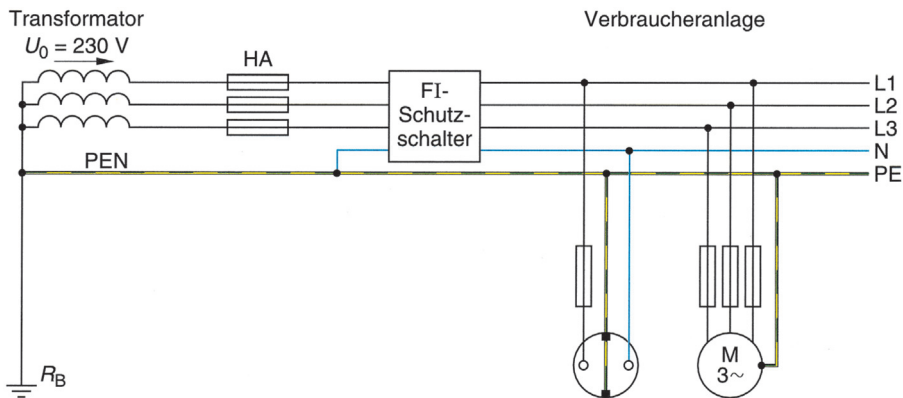


Bild 2.14 TN-System mit Schutz durch FI-Schutzschalter

Die auftretende Fehlerspannung im Körperschlussfall muss immer als lebensgefährlich angesehen werden. Nach **DIN VDE 0100** wird daher gefordert, dass bei einem vollkommenen Körperschluss eine rechtzeitige Abschaltung der vorgeschalteten Schutzeinrichtung erfolgt. Diese Forderung gilt auch bei Kurzschlüssen zwischen einem Außenleiter und dem Schutzleiter an beliebiger Stelle des Stromkreises. Die maximalen Abschaltzeiten betragen in TN-Systeme (230 V/ 400 V) 0,4 oder 5 s (Abschnitt 2.3.2.3). Es gilt folgende Bedingung:

$$R_S \leq \frac{U_0}{I_A} \text{ oder } I_K \geq I_A$$

R_S Schleifenwiderstand

I_K Kurzschlussstrom

U_0 Bemessungsspannung gegen Erde

I_A Strom, der die Schutzvorrichtung in der festgelegten Zeit abschaltet

Bild 2.13 zeigt ein TN-System für die öffentliche Versorgung mit Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtungen.

Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) kann in TN-Systemen nur in dem Netzteil mit getrenntem Schutzleiter Schutzfunktion übernehmen. Man führt die stromführenden Netzleiter durch den Schutzschalter, der Schutzleiter wird vor dem Schalter mit dem PEN-Leiter verbunden (Bild 2.14).

Die RCD schaltet vor allem bei unvollkommenen Körper- und Erdschlüssen schneller ab als Überstrom-Schutzeinrichtungen. Er mindert die Brandgefahr beim Entstehen eines Isolationsfehlers zwischen den stromführenden Netzleitern und Schutzleiter bzw. Erde, da bereits bei sehr kleinen Strömen ($I_{\Delta n}$) eine Auslösung erfolgt.

2.3.4.4 Schutzmaßnahmen im TT-System

Als Schutzeinrichtung sind im TT-System Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Überstrom-Schutzeinrichtungen zugelassen.

Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtungen

Die Impedanz der Fehlerschleife errechnet sich aus der Beziehung:

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_A}$$

Z_S Impedanz der Fehlerschleife

U_0 Nennspannung gegen Erde

I_A Strom, der die Schutzeinrichtung innerhalb der festgelegten Zeit abschaltet

In einem Stromkreis mit einem 16-A-Leitungsschutzschalter (Typ B) spricht bei dem 5-fachen Nennstrom die magnetische Auslöseeinrichtung innerhalb von 0,2 s sicher an. Soll die vorstehende Bedingung für Fehlerschleife erfüllt werden, errechnet sich folgender Wert:

$$Z_S = \frac{230 \text{ V}}{80 \text{ A}} = 2,875 \text{ } \Omega$$

Die erforderlichen niedrigen Erdungswiderstände für den Schutzleiter R_A und den Betriebserder R_B sind nur mit hohem Aufwand erzielbar. TT-Systeme mit Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtungen eignen sich daher in der Praxis nur in Ausnahmefällen (Bild 2.15). Um die Schutzmaßnahme im TT-System zu erfüllen, empfiehlt sich hier der Einbau einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

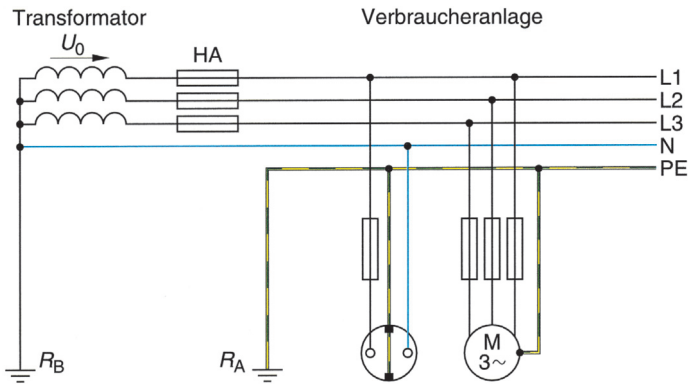


Bild 2.15 TT-System mit Schutz durch Überstrom-Schutzeinrichtung

Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Bild 2.16 zeigt ein TT-System, wie es für die öffentliche Versorgung eingesetzt wird: Die Verbraucheranlage ist durch RCD, das speisende Verteilungsnetz z.B. durch Überstrom-Schutzeinrichtungen geschützt.

Die Schutzleiter sind hier mit der Haupterdungsschiene der Verbraucheranlage verbunden, die z.B. über eine angeschlossene Erdungsanlage für Gebäude mit Erde direkt in Verbindung steht. Der Erdungswiderstand R_A errechnet sich aus der Beziehung

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N}}$$

R_A Erdungswiderstand des Erders, mit dem alle Körper verbunden sind

U_L dauernd zulässige Berührungsspannung

$I_{\Delta N}$ Bemessungsdifferenzstrom des FI-Schutzschalters

Bei mehreren Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in einer Verbraucheranlage muss für die Berechnung des Erdungswiderstandes der größte Nenndifferenzstrom eines Schalters herangezogen werden.

TT-Systeme mit Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtung sind weit verbreitet. Die direkte Erdung der Schutzleiterschiene verhindert, dass Fehlerspannungen des speisenden Verteilungsnetzes auf die Körper der Verbraucheranlage übertragen werden. In landwirtschaftlichen Betriebsstätten ist als Schutzleiterschutzmaßnahme bei Anschluss an das öffentliche Versorgungsnetz das TT-System mit Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vorzuziehen.

Bei Ersatzstromversorgungsanlagen mit einem oder mehreren Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in unmittelbarer Nähe des Generators besteht für alle Anwendungsfälle die Möglichkeit, anstelle des TT-Systems ein TN-S-System aufzubauen (Bild 2.17). Der Betriebserder R_B errechnet sich aus der Beziehung

$$R_B \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N}}$$

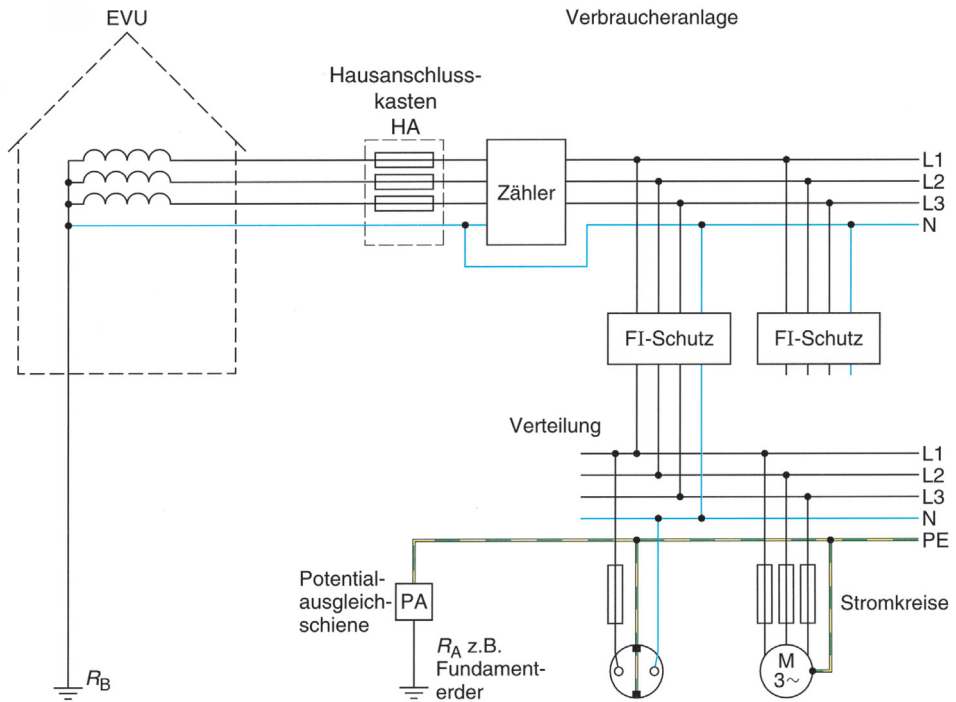


Bild 2.16 TT-System mit Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Bei Außenleitererdschluss ist damit gewährleistet, dass an R_B – also zwischen dem Schutzleiter (PE) und Erde – keine unzulässig hohe Spannung auftritt. Die spannungsführenden Leiter zwischen dem Generator und der RCD müssen erdschlussicher verlegt werden.

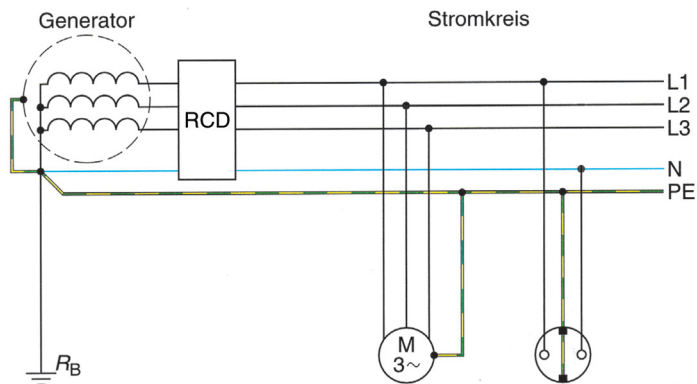


Bild 2.17 Ersatzstromversorgungsanlage mit FI-Schutzschalter

2.3.4.5 Schutzmaßnahmen im IT-System

Im IT-System darf kein aktives Teil des Netzes geerdet sein. Es sind aber Impedanzen zwischen Sternpunkt und Erde zur Herabsetzung von Überspannungen von Erdschlussströmen und zur Dämpfung von Schwingungen zugelassen.

Diese Schutzmaßnahme ermöglicht, dass bei dem 1. Körperschluss oder Erdschluss noch keine Netzabschaltung erfolgt.

Körperschluss

Bei Körperschluss eines Betriebsmittels tritt zwischen Körper und Erde eine Fehlerspannung auf, die durch die Kapazität aller aktiven Teile gegenüber Erde verursacht wird. In Bild 2.18 sind die Kapazitäten je Außenleiter zu einem Kondensator zusammengefasst. Bei Körperschluss überbrückt das Strichmännchen einen Kondensator, und je nach dem Verhältnis von I_C zu I_d erreicht die Fehlerspannung maximal den halben Wert der Netzspannung. Ist der Körper des Geräts gut geerdet, sinkt die Fehlerspannung auf ungefährliche Werte.

Die Bedingungen für den Erder R_A beschreibt die Beziehung:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_d}$$

R_A Erdungswiderstand des Erders, mit dem alle Körper verbunden sind

U_L dauernd zulässige Berührungsspannung

I_d Fehlerstrom beim ersten Fehler zwischen einem Außenleiter und dem Schutzleiter (Summe der Ableitströme)

Der Fehlerstrom I_d kann mit Hilfe eines Strommessers durch Anschluss an Außenleiter und Körper direkt gemessen werden (simulierter Fehler). Es erreicht in Netzen mit begrenzter Ausdehnung Werte der Größenordnung zwischen 0,01 A und 0,5 A.

Bild 2.19 zeigt ein IT-System mit mehreren Verbrauchsmitteln. Die Körper bzw. Schutzleiter sind über eine Potentialausgleichsschiene (PA) mit dem Schutzleiter R_A verbunden. Der Potentialausgleich bietet hier einen zusätzlichen Schutz; in bestimmten Anlagen, z.B. in Operationsräumen, ist er vorgeschrieben.

Außenleitererdschluss

Bei Außenleitererdschluss als einzigem Fehler ergibt sich noch keine unmittelbare Gefahr. Hat aber ein Verbrauchsmittel zusätzlich Körperschluss, stehen die Körper aller Verbrauchsmittel gegenüber Erde unter Spannung. Bei einem vollkommenen Erdschluss ($R_E \approx 0 \Omega$) liegt die volle Netzspannung an (Bild 2.20). Eine Überstrom-Schutzeinrichtung spricht bei den üblichen Werten für R_A noch nicht an.

Nachdem der 1. Erdschluss oder Körperschluss aufgetreten ist, muss daher eine Isolationsüberwachungseinrichtung (Abschnitt 2.3.4.1) ansprechen. Sie löst ein optisches oder akustisches Signal aus. Die Beseitigung des Isolationsfehlers ist dann umgehend erforderlich.

Tritt der 2. Fehler auf, muss die Stromversorgung automatisch abschalten. Es gelten dann die für TN- bzw. TT-Systeme festgelegten Bedingungen: Eine der Überstrom-Schutzeinrichtungen oder gegebenenfalls der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD), die jeweils den Verbrauchsmitteln direkt zugeordnet sind, muss innerhalb der festgelegten Zeit ansprechen. Die maximale Abschaltzeit in IT-Systemen ohne Neutralleiterverlegung und der Bemessungsspannung von 400 V (Spannung zwischen den Außenleitern) beträgt 0,4 s.

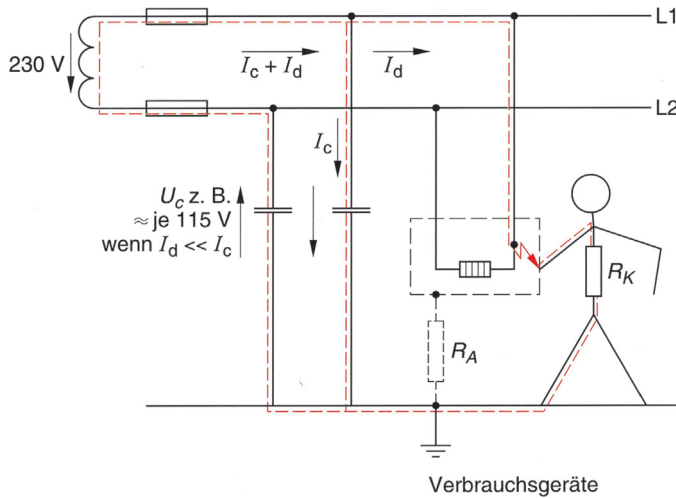


Bild 2.18 Ersatzschaltbild für ein IT-System

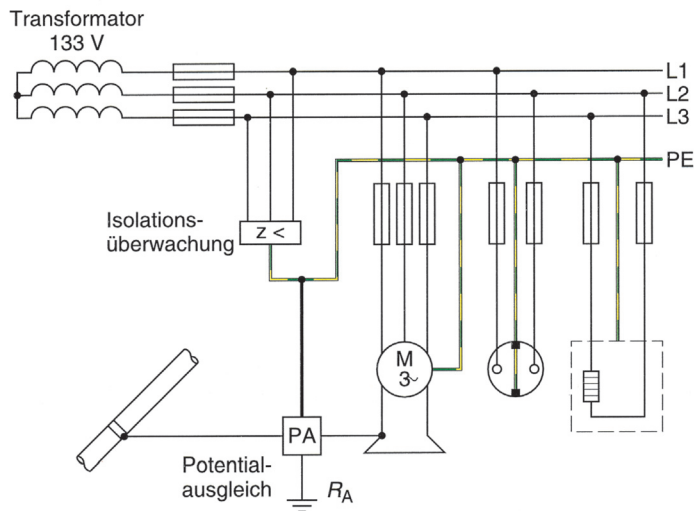


Bild 2.19 IT-System mit Schutz durch Isolationsüberwachungseinrichtung

Anwendung

Gemäß den VDE-Bestimmungen wird das IT-System mit einer Isolationsüberwachungseinrichtung in Operationsräumen und Intensivpflegestationen vorgeschrieben. Die maximal zulässige Netzspannung beträgt hier 230 V.

In Produktionsanlagen wird das IT-System bevorzugt eingesetzt, wenn ein direkter Netzausfall einen größeren Schaden am Produktionsgut zur Folge hat. Auch bei einer vom EVU abweichenden Netzspannung entscheidet man sich meist für das IT-System. In Ersatzstromversorgungsanlagen hat das IT-System neben der Schutztrennung ebenfalls größere Bedeutung.

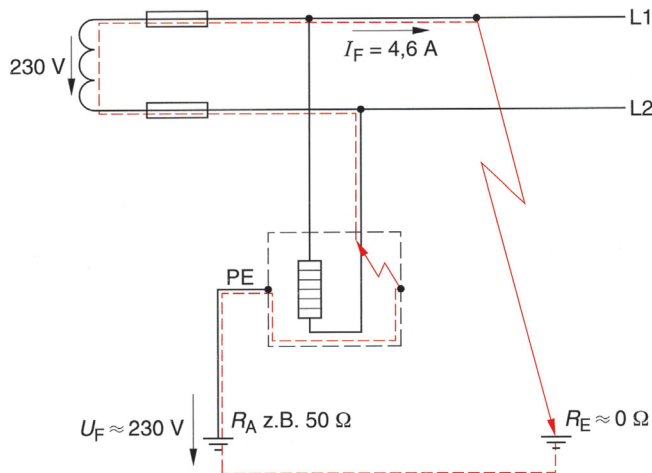


Bild 2.20 Außenleitererdschluss im IT-System

2.4 Funktionskleinspannung FELV

Wenn aus Funktionsgründen Nennspannungen bis 50 V Wechselspannung bzw. 120 V Gleichspannung benötigt werden und die Sicherheitsanforderungen für den Schutz durch Kleinspannung (SELV oder PELV) nicht erfüllt oder erforderlich sind, kommt häufig die Funktionskleinspannung (FELV) zum Einsatz.

Die Funktionskleinspannung ist keine eigenständige Schutzmaßnahme. D.h., dass bei der Anwendung der Funktionskleinspannung die Energieversorgung aus einem Transformator mit zumindest einfacher Trennung oder aus einer gleichwertigen Stromquelle erfolgen muss. Spartransformatoren, Potentiometer, Halbleiterbauelemente und ähnliche Einrichtungen sind zur Erzeugung der Kleinspannung nicht zulässig.

Für den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) ist die Isolierung der Betriebsmittel mindestens für die Bemessungsspannung des Stromkreises mit der höheren Spannung auszulegen. Die Anforderungen des Fehlerschutzes (Schutz bei indirektem Berühren) des Primärstromkreises gelten auch für die Kleinspannungsebene. Dies kann zum Beispiel eine Schutzmaßnahme zur automatischen Abschaltung der Stromversorgung sein. Hierzu müssen die Körper des FELV-Stromkreises mit dem geerdeten Schutzleiter auf der Primärseite der Stromversorgung verbunden sein.

Die Funktionskleinspannung, wie in Bild 2.21 dargestellt, hat für Steuerstromkreise eine besondere Bedeutung. Die Erdung des Sekundärkreises verhindert die Selbsteinschaltung des Schützes. Ein Körper- oder Erdschluss der spannungsführenden Leiter führt zu einer Abschaltung der Überstrom-Schutzeinrichtung. In nicht geerdeten Sekundärkreisen können Doppelkörper- oder Erdschlüsse auftreten (z.B. vor und hinter den Schaltgeräten), die zur Selbsteinschaltung führen.

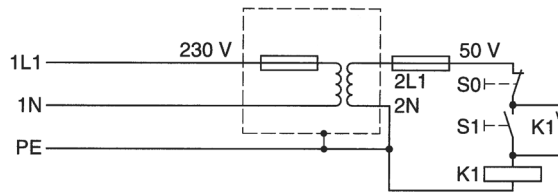


Bild 2.21 Schaltung für Funktionskleinspannung

2.5 Doppelte oder verstärkte Isolierung

Schutzzeichen:



Wirkungsweise

Das Auftreten einer unzulässigen Berührungsspannung an Betriebsmitteln wird verhindert, indem die leitfähigen Gehäuseteile (Körper), die im Fehlerfall Spannung gegen Erde annehmen könnten, durch eine zusätzliche Isolierung geschützt werden. Sind keine Körper vorhanden, erhält die sogenannte Basisisolierung (die den Schutz gegen direktes Berühren bewirkt) eine zweite Isolierung. Zugelassen sind auch verstärkte Isolierungen an aktiven Betriebsmitteln.

Ortsveränderliche Betriebsmittel (Bild 2.22)

Die Anschlussleitung darf keinen Schutzleiter, der Stecker – soweit er unlösbar mit der Leitung verbunden ist – keine Schutzkontaktstücke enthalten. Die Anschlussleitung muss als Bestandteil des Verbrauchsmittels fest mit diesem verbunden sein. Steckvorrichtungen am Verbrauchsmittel sind nur zulässig, wenn sie der DIN-Norm entsprechen.

Stecker und gegebenenfalls Gerätesteckdosen bilden fast immer mit der Anschlussleitung ein unteilbares Ganzes, d.h., Stecker und Leitung sind miteinander vergossen. Solche Anschlussleitungen dürfen ausschließlich für Geräte der Schutzklasse II verwendet werden.

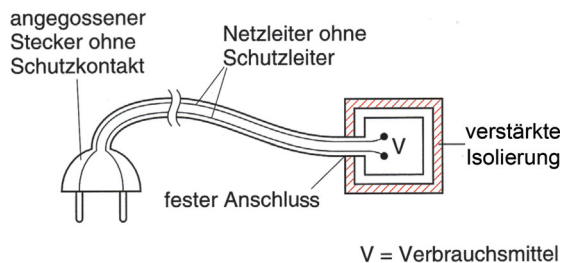


Bild 2.22 Gerät der Schutzklasse II mit flexibler Anschlussleitung

Ausnahme: Bei der Instandsetzung darf die Anschlussleitung einen Schutzleiter enthalten. Er darf jedoch keinesfalls mit dem Körper des Gerätes in Verbindung stehen, muss aber im Stecker angeschlossen werden.

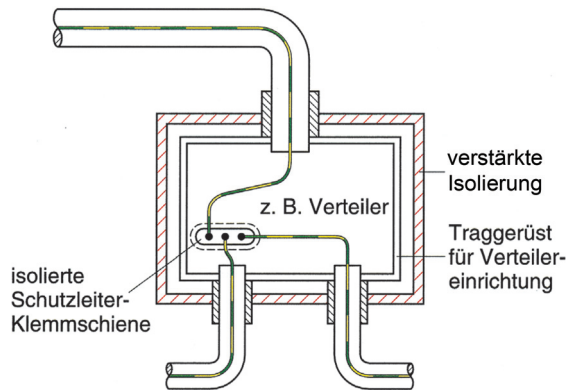


Bild 2.23 Gerät der Schutzklasse II mit Festanschluss

Ortsfeste Betriebsmittel

Auch die Zuleitungen zu ortsfesten Betriebsmitteln der Schutzklasse II müssen einen Schutzleiter enthalten (Bild 2.23). Die Schutzleiterklemme bzw. -klemmleiste muss von allen metallischen Geräteteilen isoliert angebracht sein. Enthält z.B. eine Befehlstasterkombination keine isolierte Schutzleiterklemme, ist die eingeführte Schutzleiterader zu isolieren oder mit einer isolierten Verbindungsklemme zu versehen.

Der Anschluss des Schutzleiters an metallische Teile des Betriebsmittels kann die Schutzisolation teilweise oder ganz aufheben. Unzulässig sind auch Metallverschraubungen, die durchbrechen die Schutzisolation.

Schutzmittel

Die doppelte oder verstärkte Isolierung besteht aus isolierendem Installationsmaterial, isolierende Umpressungen oder aus isolierenden Zwischenteilen in getriebenen Wellen, Gestängen und Gehäusen.

Bei elektrischen Handwerkzeugen wird die Isolation häufig aus mechanischen Gründen zusätzlich von einem Metallgehäuse umschlossen. Bild 2.24 zeigt diese sogenannte Zwischenisolation.

Die isolierenden Umhüllungen von z.B. Mantelleitungen erfüllen auch die Bedingungen der doppelten oder verstärkten Isolierung. Lack- oder Emailüberzug sowie Faserumhüllungen (auch getränkt) sind für die doppelte oder verstärkte Isolierung nicht ausreichend.

Anwendungsbeispiele

Gemäß den VDE-Bestimmungen wird die doppelte oder verstärkte Isolierung neben einigen Sonderfällen für Verbrauchsmittel vorgeschrieben, die der Haut- und Haarbehandlung dienen (bei Mensch und Tier). Hierzu gehören Rasierapparat, Haartrockner, Heizkissen, Viehschere usw. Handleuchten müssen ebenfalls Geräte der Schutzklasse II sein.

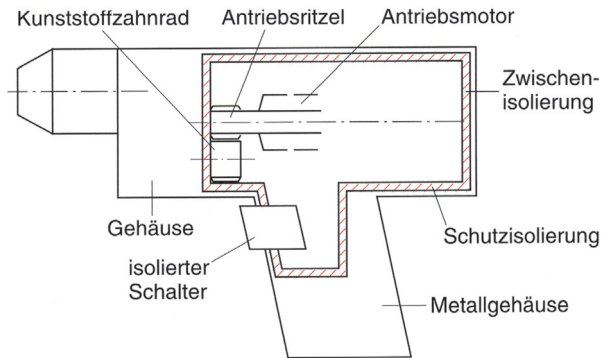
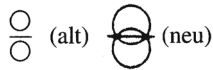


Bild 2.24 Gerät der Schutzklasse II mit Zwischenisolation

2.6 Schutztrennung

Schutzzeichen:



Wirkungsweise

Das Auftreten einer zu hohen Berührungsspannung an defekten Verbrauchsmitteln wird durch eine sog. «galvanische Trennung» des Gerätestromkreises vom speisenden Netz oder bei Generatoren von anderen Netzen verhindert. Der Gerätestromkreis bleibt erdfrei. Hierdurch kann zwischen dem Körper des defekten Geräts und Erde keine Spannung auftreten.

2.6.1 Schutztrennung mit nur einem Verbraucher

Die Schutzmaßnahme «Schutztrennung» ist nur gegeben, wenn pro Stromquelle nur ein Verbrauchsmittel gespeist wird (Bild 2.25).

Durch die Schutztrennung eines einzelnen Stromkreises sollen Gefahren beim Berühren von Körpern vermieden werden, die durch einen Fehler in der Grundisolation des Stromkreises unter Spannung gesetzt werden können.

Die aktiven Teile des Stromkreises mit Schutztrennung dürfen weder mit einem anderen Stromkreis noch mit Erde verbunden werden. Um die Gefahr eines Erdschlusses zu vermeiden, muss besonders auf die Isolierung dieser Teile gegen Erde geachtet werden, vor allem bei beweglichen Anschlussleitungen. Die aktiven Teile des Stromkreises mit Schutztrennung müssen von anderen Stromkreisen elektrisch sicher getrennt sein. Die Spannung für Stromkreise mit Schutztrennung muss kleiner als 500 V sein. Als Stromversorgung sollte bevorzugt ein Schutztrenntrafo nach **DIN VDE 0570-2-4** verwendet werden. Nach Norm muss die Stromquelle jedoch mindestens eine einfache Trennung aufweisen. Als bewegliche Leitungen sollten mittlere Gummischlauchleitungen (mindestens H07RN-F), oder schwere Gummischlauchleitungen (NSSHÖU) verwendet werden.

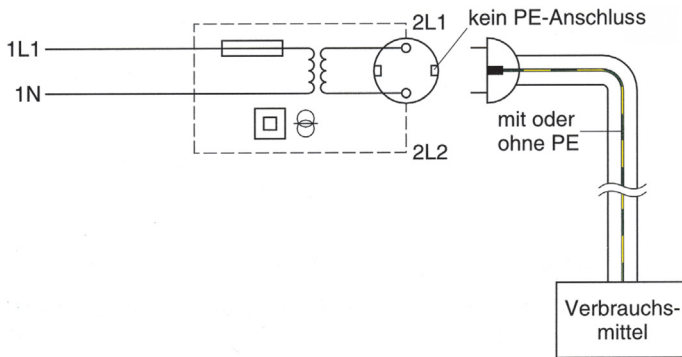


Bild 2.25 Schaltung für Schutztrennung mit einem Verbrauchsmittel

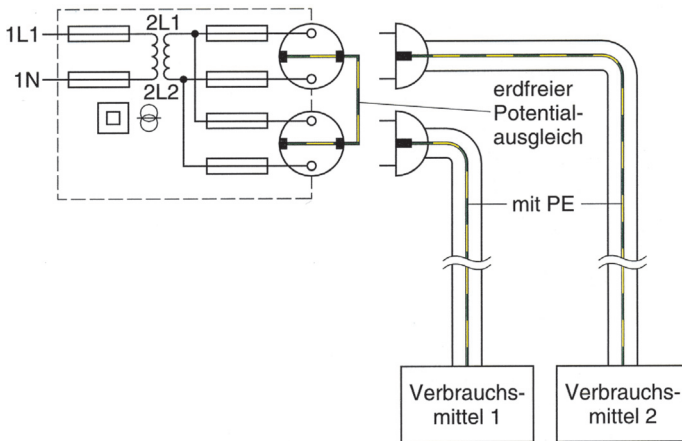


Bild 2.26 Schaltung für Schutztrennung mit mehreren Verbrauchsmitteln

Der Körper des Gerätes darf dabei nicht an einem Schutzleiter oder die Körper nicht an anderen Stromkreisen angeschlossen werden. Eine gegebenenfalls vorhandene Steckdose darf keinen Schutzleiter und keinen Schutzkontakt haben.

Anwendung

Der Schutz durch Schutztrennung ist bei elektrischen Handgeräten, wie z.B. Bohrmaschinen oder Handleuchten, erforderlich, die in beengten Räumen oder an entsprechenden Orten mit leitfähigen Wänden oder Abgrenzungen eingesetzt werden. Zu solchen Räumen und Orten zählen Kessel, Großbehälter, Montagegruben, Montagegerüste, Kräne usw. Auch elektrische Handgeräte, die unmittelbar mit Wasser in Verbindung stehen, wie z.B. die Handnassschleifmaschinen, sind durch Schutztrennung zu schützen. Ersatzweise kann man als Schutzmaßnahme in jedem Fall *Schutzkleinspannung* vorsehen. Der Transformator bzw. Generator darf grundsätzlich nur außerhalb des Gefahrenbereichs aufgestellt werden.