

INGENIEUR.
FERNSTUDIUM

1210-01/60

GESTER

**NIEDERSPANNUNGS-
LEITUNGEN**

1

HERAUSGEBER
INGENIEURSCHULE FÜR
STARKSTROMTECHNIK
„HANNO GÜNTHER“ VELDEN-
HOHENSCHÖPPING

Herausgeber:
Ingenieurschule für Starkstromtechnik
„Hanno Günther“ Velten - Hohenschöpping

Niederspannungsleitungen

Lehrbrief 1

2. Auflage

von

Ing. Johannes Gester

Bestell - Nr. 1210 - 01/60

1960

Zentralstelle für Fachschulausbildung
– Bereich Maschinenbau, Elektrotechnik, Leichtindustrie –
Dresden

Alle Rechte vorbehalten

Nur für den internen Gebrauch im Ingenieur-Fernstudium

Ag 616/ 246 /60

Offsetdruck: Druckerei „Thomas Müntzer“ Bad Langensalza. V/12/6

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	
1.1 Der Begriff "Starkstromleitung" und die Abgrenzung der Niederspannung	1
1.2 VDE-Bestimmungen für Leitungen und Leitungsanlagen	3
1.21 Allgemeines über die VDE-Vorschriften	3
2. Leitungsmaterial	
2.1 Leiterwerkstoffe	6
2.2 Werkstoffe für Isolierhüllen und Ummantelung	9
2.3 Leiterquerschnitte	13
2.4 Leitungsarten und -bezeichnungen	13
2.41 Blanke Leitungen	13
2.42 Isolierte Leitungen	14
3. Kunststoffkabel	17
3.1 Belastbarkeit und mechanische Festigkeit	24
3.11 Allgemeines	24
3.12 Belastbarkeit isolierter Leitungen	25
3.13 Belastbarkeit von Freileitungen	29
3.14 Belastbarkeit der Starkstromkabel	29
3.2 Schutz der Starkstromleitungen vor unzulässiger Erwärmung bei Überlastungen und Kurzschlüssen	39
3.21 Allgemeines und Zuordnung der Stromsicherungen zu den Querschnitten	39
3.22 Der Kurzschlußstrom	43
3.23 Wirkungsweise, Charakteristik und Auswahl der Sicherungen, der magnetischen und der thermischen Auslöser	48
3.24 Anwendungsgebiet der Sicherungen, der magnetischen und der thermischen Auslöser	54
4. Verlegung von Starkstromleitungen	
4.1 Allgemeines über Leitungsverlegung	60
4.2 Offene Verlegung	62
4.3 Verlegung von Leitungen in Rohren	64
4.32 Verlegung der Rohrarten	65

	Seite
4.4 Verlegung von Rohrdrähten	73
4.5 Verlegung von Stegleitungen	74
4.6 Horizontales Installationssystem	77
4.7 Verlegen von Feuchttraumleitungen	81
4.8 Verlegung von Panzeradern	83
4.9 Verlegung von Kunststoffkabeln	84
4.91 Richtlinien für die Auswahl der Kunststoffkabel	89
4.92 Löt- und Schweißarbeiten an Kunststoffkabeln und Kunststoffleitungen	90
5. Installationen in besonders gefährdeten Räumen	
5.1 Allgemeines	92
5.2 Feuchte und durchtränkte Räume	92
5.3 Heiße Räume	94
5.4 Räume, wo ätzende Dünste auftreten	94
5.5 Feuchtgefährdete Räume	95
5.6 Explosionsgefährdete Räume	95
Antworten und Lösungen	98
Formelzusammenstellung	100
Literaturnachweis	100

1. Einleitung

1.1 Der Begriff "Starkstromleitung" und die Abgrenzung der Niederspannung

Elektrische Leitungen dienen zur Übertragung elektrischer Energie vom Stromerzeuger bis zum Stromverbraucher. In weitläufigem Sinne bezeichnet man sämtliche Leitungen der elektrischen Anlagen außerhalb der Kraftwerke, Umspannwerke und Verteilungsschaltanlagen als Leitungsanlagen, die übrigen Teile der elektrischen Anlagen sind im weitläufigen Sinne Schaltanlagen. Letztere werden in einer gesonderten Lehrbriefreihe beschrieben.

Starkstromleitungen sind nach VDE 0250 sämtliche isolierten Leitungen für Nennspannungen von 200 V aufwärts, die mit Spannungen von 1000 V und darüber geprüft werden. In den Bereich der Starkstromleitungen gehören auch Starkstromkabel nach VDE 0255, 36.0270 und 36.0271 sowie Leitungen für die Verlegung im Freien nach VDE 0100, Freileitungen nach VDE 0210 und Fahrleitungen nach VDE 0240. Zur Abgrenzung der Stoffgebiete wird eine Unterteilung zwischen Hoch- und Niederspannungsleitungen vorgenommen. Freileitungen und Starkstromkabel gehören vorwiegend in das Gebiet der Hochspannungsleitungen, sie werden deshalb in der Lehrbriefreihe "Hochspannungsleitungen" besonders beschrieben.

VDE unterscheidet nur zwischen Anlagen unter 1000 V und Anlagen von 1000 V und darüber. Sämtliche Anlagen unter 1000 V bezeichnet man allgemein als Niederspannungsanlagen und infolgedessen die Leitungen für Spannungen bis 1000 V als Niederspannungsleitungen.

In der Praxis sind in Niederspannungsanlagen folgende Spannungen vorherrschend:

In Gleichstromanlagen:

Leiter gegen Erde	Leiter gegen Leiter
110 V	110 V
220 V	220 V
(550 V)	440 V
(750 V)	

550 V und 750 V nur für Bahnanlagen.

In Drehstromanlagen:

Leiter gegen Erde	Leiter gegen Leiter
125 V	125 V
220 V	220 V
380 V	380 V
	500 V

Bevorzugte Spannungen sind für Gleichstrom 220 V und 440 V, für Drehstrom 220 V und 380 V. Spannungen von 550 und 750 V kommen nur für Gleichstrombahnanlagen in Frage. Niederspannungsleitungen sind für Fernübertragung nicht geeignet, weil der Bau und Betrieb einer Fernübertragung nur für hohe Leistungen bei hohen Spannungen wirtschaftlich tragbar ist. Sie werden in den Lehrbriefen 2 und 3 in Berechnungsbeispielen näheres darüber kennenlernen. Niederspannungsleitungen verwendet man deshalb nur für Installationen von Fabriken, Wohnhäusern und landwirtschaftlichen Gebäuden sowie für kurze Hauptleitungen von der Umspannstation bis zu den Häusanschlüssen.

Der erste Lehrbrief soll Ihnen die Anleitung zur richtigen Auswahl der Leitungsarten bei Entwurfsarbeiten vermitteln.

Das Leitungsmaterial sowie die Schraub-, Klemm- und die Schweißverbindungen werden in knapper Form auch mit behandelt. Einiges wird Ihnen aus Ihrer praktischen Tätigkeit bekannt sein.

1.2 VDE-Bestimmungen für Leitungen und Leitungsanlagen

1.21 Allgemeines über die VDE-Vorschriften

Das Vorschriftenwerk Deutscher Elektrotechniker (VDE) ist hervorgegangen aus den Vorschriften des ehemaligen Verbandes Deutscher Elektrotechniker, Herausgeber in der Deutschen Demokratischen Republik ist die Kammer der Technik, Berlin NW 7, Clara-Zetkin-Str. 128.

Die VDE-Bestimmungen werden in folgende fünf Gruppen eingeteilt:

a) Vorschriften

Vorschriften sind Bestimmungen, die eine Gefährdung von Leben oder Gesundheit von Personen und Nutztieren, sowie Brände, Sachschäden und Betriebsstörungen unmittelbar oder mittelbar verhindern sollen. Die Vorschriften bestehen aus grundsätzlichen Forderungen und den zu ihrer Erfüllung notwendigen Bau-, Prüf- und Anwendungsbestimmungen.

b) Regeln

Regeln sind Bestimmungen, von denen unter eigener Verantwortung in Einzelfällen abgewichen werden kann, wenn besondere Gründe dies rechtfertigen.

c) Leitsätze

Leitsätze sind Bestimmungen, deren Beachtung empfohlen wird und die nach Bewährung in Form von Regeln oder Vorschriften herausgegeben werden sollen.

d) Bestimmungen für probeweise verwendbare Erzeugnisse
Bestimmungen für probeweise verwendbare Erzeugnisse sind Vorschriften, Regeln oder Leitsätze, die das Anwenden neuartiger Bauweisen und Werkstoffe unter Mitverantwortung des Herstellers ermöglichen, wenn die Erfahrungen noch nicht so umfassend sind, daß ein sofortiges Ändern der bestehenden oder das Aufstellen neuer endgültiger VDE-Bestimmungen bereits möglich ist.

e) Übergangsbestimmungen

Übergangsbestimmungen sind Vorschriften, Regeln oder Leitsätze, die vorübergehende Änderungen der Rohstofflage berücksichtigen und die entweder nach Bewährung als "normale VDE-Bestimmungen" übernommen oder nach Eintreten der früheren Verhältnisse außer Kraft gesetzt werden sollen.

In den VDE ist in Jahrzehntelanger Arbeit und Erfahrung - unter Berücksichtigung der neuesten theoretischen Erkenntnisse - alles das zusammengefaßt, was für die Herstellung elektrischer Geräte, Leitungen und Maschinen sowie bei der Errichtung und dem Betrieb elektrischer Anlagen zu beachten ist.

Für den Ingenieur, der im Anlagenbau tätig ist, sind die Errichtungsvorschriften für Starkstromanlagen besonders wichtig. Die wichtigsten Vorschriften müssen Sie stets im Kopfe haben. Sie sollen diese jedoch nicht auswendig lernen, sondern stets beim Bau oder Entwurf einer Anlage praktisch anwenden und in Ihrem Kollegenkreis darüber diskutieren. Auf diese Weise prägt man sich die Vorschriften am besten ein.

Jeder Elektriker und besonders jeder Elektro-Ingenieur muß wissen, daß das VDE Gesetzeskraft nach GB1 1953, S. 436, § 2 hat. Bei Brand oder Unfallschaden wird die Schuldfrage mit ihren oft schwerwiegenden straf- und zivilrechtlichen Folgen in erster Linie danach beurteilt, ob die VDE-Bestimmungen eingehalten oder nicht eingehalten worden sind.

1.22 Die wichtigsten Herstellungsvorschriften für Starkstromleitungen bis 1000 V und Errichtungsvorschriften für Leitungsanlagen bis 1000 V

Die VDE-Vorschriften über Starkstrom-Leitungen und -Leitungsanlagen nehmen im VDE einen breiten Raum ein.

In der Gruppe 1 des VDE (Starkstromanlagen) sind für den

Leitungsbau wichtige Vorschriften enthalten.

Die Gruppe 2 des VDE (Starkstromleitungen) erfaßt als wichtigste Gruppe sämtliche Herstellungs- und Prüfvorschriften für die Leistungsfertigung sowie die Vorschriften für den Leitungsbau.

In der Gruppe 4 der VDE-Bestimmungen sind die Regeln für die Durchführung von Prüfungen an isolierten Leitungen und Kabeln enthalten. Für Starkstromleitungen unter 1000 V sind folgende VDE-Bestimmungen besonders wichtig:¹⁾

VDE 0100, Vorschriften nebst Ausführungsregeln für die Errichtung von Starkstromanlagen unter 1000 V einschließlich der Übergangsvorschrift VDE 0100 Ü.

VDE 0250 Vorschriften für isolierte Starkstromleitungen

VDE 0252 Vorschriften für umhüllte Leitungen

VDE 0255 Vorschriften für Papierbleikabel in Starkstromanlagen

VDE 0265 Vorschriften für Gummibleikabel und Kunststoffbleikabel in Starkstromanlagen

VDE 36.0270 Vorschriften für Starkstromkabel ohne Metallmantel bis 10 kV für Innenräume

VDE 36.0271 Vorschriften für Starkstromkabel ohne Metallmantel für Verlegung in Innenräumen und Erde bis 1 kV

VDE 36.0272/2.57 Vorschriften für probeweise verwendbare Starkstromkabel bis 10 kV

In den Vorschriften für Leitungen sind fast ausschließlich und in den Vorschriften für Kabel größtenteils Angaben für die Leitungen und Kabel herstellende Industrie enthalten.

Bis zum Jahre 1928 wurden Kabel und Leitungen in einer Vorschrift behandelt. Die weitere Entwicklung auf dem Gebiet der Leitungs- und Kabeltechnik machte es jedoch notwendig, die Vorschriften für isolierte Leitungen von denen der Starkstromkabel zu trennen.

¹⁾ Es ist zu beachten, daß in jedem Fall die letzte Ausgabe einer Vorschrift einschließlich der dazugehörigen Ergänzungsbücher maßgebend ist.

Die Verwendung neuer Werkstoffe (thermoplastische Kunststoffe) erforderte eine weitere Unterteilung der Vorschriften. In den Vorschriften für die Starkstromkabel sind sämtliche Belastungstafeln für Starkstromkabel enthalten. Diese Tafeln haben neben der Errichtungsvorschrift VDE 0100 für Sie – als künftige Ingenieure des Starkstromanlagenbaues – die größte Bedeutung.

Die Herstellungsvorschriften sind in erster Linie für die herstellende Industrie bestimmt, sie müssen Ihnen jedoch ebenfalls bekannt sein. Auszüge aus den eben genannten Vorschriften werden diesem Kapitel nicht beigefügt, sondern es wird in den folgenden Lehrbriefen jeweils auf die VDE-Vorschriften hingewiesen.

2. Leitungsmaterial

2.1 Leiterwerkstoffe

Für Starkstromleitungen werden als Leiterwerkstoffe nur Metalle, die einen hohen Leitwert besitzen, verwendet. Solche Metalle sind Kupfer und Aluminium. In geringem Maße (Ausnahmefälle) wird auch Eisen (Stahl) und Zink verwendet.

Leiterwerkstoffe für Freileitungen müssen eine hohe und Leiterwerkstoffe für isolierte Leitungen eine genügende mechanische Festigkeit und chemische Beständigkeit besitzen. Für isolierte Leitungen sind diese Eigenschaften beim Kupfer und auch beim Aluminium in ausreichendem Maße vorhanden. Werden an Freileitungen besonders hohe Anforderungen in bezug auf mechanische Festigkeit und chemische Beständigkeit gestellt, so werden geeignete Legierungen für die Leiter verwendet.

Vor 25 Jahren wurden isolierte und blanke Leitungen fast ausschließlich und Freileitungen ebenfalls zum überwiegenden Teil aus Kupfer hergestellt. Kupfer hat bekanntlich einen

sehr günstigen spezifischen Widerstand.

Nach VDE 0201 darf für weichgeglühten Draht

$$\rho = \frac{1}{57} = 0,01754 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \quad \text{und}$$

für kaltgereckten Draht (Freileitungen)

$$\rho = \frac{1}{56} = 0,01786 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \text{ bei } 20^\circ\text{C}$$

nicht überschritten werden.

Obwohl bei Kupfer die Korrosionsgefahr gering ist, greift Schwefel das Kupfer stark an. Aus diesem Grunde muß bei Gummiisolierung wegen des notwendigen Schwefelgehaltes der Kupferdraht gut verzinnt sein. Anstelle des Zinnüberzuges kann auch eine Umhüllung aus Kunststofffolie oder Baumwolle genommen werden. Kupfer ist heute für die Elektrotechnik ein außerordentlich wertvolles Material und wird deshalb nur noch für Leitungen für besondere Zwecke verwendet. Anstelle des Kupfers wird jetzt für Starkstromleitungen zum Überwiegenden Teil Aluminium verwendet. Bezuglich der elektrischen Leitfähigkeit folgt es dem Kupfer. Aluminium ist überall in genügender Menge vorhanden und kann auf Grund jahrelanger Erfahrungen für verschiedene Leitungsarten in den Querschnitten von 2,5 bis 25 mm² eindrähtig und von 25 bis 500 mm² mehrdrähtig betriebssicher und zu tragbaren Preisen hergestellt werden.

Nach VDE 0202 darf der spezifische Widerstand ρ für Aluminiumleiter im weichgeglühten Zustand höchstens

$$\rho = \frac{1}{36} = 0,02778 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \text{, für isolierte Leitungen höchstens}$$

$$\rho = \frac{1}{34} = 0,02941 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \text{ bei } 20^\circ\text{C betragen. Der Mittelwert liegt bei}$$

$$\rho = \frac{1}{35} = 0,0286 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} .$$

Vorteilhaft wirkt sich bei Aluminium das geringe spezifische Gewicht aus. Diese Tatsache führte im Freileitungsbau zuerst dazu, als Leitermaterial anstelle des Kupfers Aluminium zu verwenden.

Wegen der großen Zugbeanspruchung verwendet man im Freileitungsbau Stahl-Aluminiumleiter (St-Al) oder Leiter aus einer Legierung von Aluminium, Magnesium und Silizium (Aldrey). Letztere besitzt hohe Zugfestigkeit, ist sehr korrosionsbeständig und wird für Hoch- und Niederspannungsleitungen oft verwendet.

An verletzten Oberflächen tritt beim Aluminium verstärkt Korrosion auf. Es ist deshalb günstig, die Oberfläche des Aluminiums glatt zu polieren. Aluminium läßt sich sehr schwer löten, weil sich bei Erwärmung mit dem Sauerstoff der Luft sehr schnell eine Oxydhaut bildet. In der Praxis wird Aluminium entweder geklemmt oder besser geschweißt. Ungeeignet sind Aluminiumleiter für die Verwendung in Gruben mit schlagenden Wettern und in explosionsgefährdeten Räumen. Für die Leiter sämtlicher Gummischlauchleitungen wird höhere mechanische Festigkeit gefordert. Sie werden deshalb aus Kupfer hergestellt.

Im übrigen sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, daß gemäß der Verordnung über die Verwendung volkswirtschaftlicher wichtiger Materialien vom 28. Mai 1953 § 2 und § 4 (GBl. S. 795) in der DDR Kupfer bis auf wenige Ausnahmen durch Aluminium ersetzt werden muß. Nähere Angaben können Sie dem Zentralblatt Nr. 36 vom 11. 9. 54 entnehmen.

Wegen der geringeren Leitfähigkeit des Aluminiums muß der Querschnitt des Aluminiumleiters bekanntlich größer als jener des Kupferleiters gewählt werden. Beachten Sie Tafel 1.

Tafel 1

Verhältnisse Aluminium/Kupfer:

κ : El. Leitfähigkeit 35:56 = 0,63

F: Querschnitt 56/35 = 1,6

d: Durchmesser 1,6:1 = 1,27

γ : spez. Gewicht 2,7/8,9 = 0,3

Gewicht der widerstands-gleichen Al-Leitung (2,7 . 1,6) : 8,9 = 0,5

In Verbindung zweier verschiedener Metalle bildet unter Einfluß von Feuchtigkeit ein galvanisches Element. Die elektrolytische Spannung zwischen den Metallen bewirkt einen Stromfluß, der Kontaktkorrosion hervorruft.

Die elektrolytische Spannung für Cu beträgt + 0,34 V, für Al - 1,28 V bezogen auf eine Wasserstoffelektrode.

Für den Freileitungsbau werden daher hauptsächlich Alu-Kupfer-Schellenklemmen oder Novalcu-Klemmen verwendet, um Aluminiumleitungen mit Kupferleitungen betriebssicher zu verbinden. Dies wird dadurch erreicht, daß man die Aluminiumleitung mit Klemmenteilen aus Aluminium und die Kupferleitung mit Klemmenteilen aus Kupfer festklemmt. Die Berührungsstelle dieser beiden Metalle ist in die Klemme selbst verlegt und durch eine luft- und wasserdichte Isolierschicht gegen atmosphärische Einflüsse geschützt. Diese Klemmen können für Reinaluminium und auch für Aldrey- und Stahl-Aluminiumleitungen verwendet werden.

In Schaltanlagen wird jetzt Kupfer und Aluminium unter Beifügung von Korrosionsschutzmitteln direkt verklemmt. Näheres siehe Lehrbrief Schaltanlagen 1.

2.2 Werkstoffe für Isolierhüllen und Ummantelung

Sämtliche Starkstromleitungen, außer Freileitungen und Leitungen im Freien, müssen mit einer Isolierhülle und einer Ummantelung umgeben sein. Die verschiedenen Verwendungs-

zwecke für elektrische Leitungen machen es erforderlich, daß die Isolation den jeweiligen Anforderungen angepaßt wird.

In der Leitungs- und Kabelindustrie ist die Entwicklung und Verbesserung der Isolierstoffe die vordringlichste Aufgabe.

Der Ingenieur des Starkstromanlagenbaues muß die Isolierstoffe und deren Eigenschaften ebenfalls kennen, damit er bei der Projektierung von Leitungsanlagen in der Lage ist, das geeignete Leitungsmaterial zu wählen.

Es ist notwendig, daß Isolierhüllen einen hohen spezifischen Widerstand besitzen. Man gibt den spezifischen Widerstand der Isolierstoffe als Widerstand eines Würfels von 1 cm Kantenlänge an. Er wird in $\frac{\Omega \text{cm}^2}{\text{cm}} = \Omega \text{cm}$ gemessen.

In Tafel 2 sind spezifische Widerstände ρ in Ωcm für die wichtigsten Isolierstoffe angegeben (nach Nitzsche, Pfestdorf und Strecker).

Tafel 2

Werkstoff	spezifischer Widerstand in Ωcm
Papier	10^9
Hartgewebe	$10^{10} - 10^{12}$
Hartpapier	$10^{10} - 10^{13}$
Buna	$10^{14} - 10^{15}$
Hartgummi	$10^{12} - 10^{18}$
Weichgummi	10^{15}
verschiedene vollsynthetische organische Kunststoffe	$10^{12} - 10^{16}$

Die Angaben erfolgen nur in Zehnerpotenzen, da spezifische Isolationswiderstände je nach Art, Reinheit und Zusammensetzung stark schwanken. Der Widerstand der Isolierhülle ist vom Querschnitt und von der Länge der Leitung abhängig. Für Einleiterkabel kann der Isolationswiderstand nach folgender Formel berechnet werden:

$$R_{is} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot 2,3 \lg \frac{D}{d} [\Omega] \quad (1)$$

Hierin bedeuten: ρ = spezifischer Isolationswiderstand in Ωcm
 d = Leiterdurchmesser
 D = Durchmesser unterm Bleimantel
 L = Länge des Kabels in km

Die Tatsache, daß die Widerstandswerte für die Isolation nicht unendlich groß sind, führt dazu, daß in elektrischen Leitungen, die unter Spannung stehen auch dann ein kleiner Strom fließt, wenn kein Verbraucher angeschlossen ist.

Dieser Strom ist jedoch sehr klein. Man nennt ihn Ableitungsstrom.

Die Isolierhülle einer Leitung muß genügend elastisch und mechanisch fest sein, da die Leitungen bei der Verlegung verschiedenen Beanspruchungen ausgesetzt sind. (z.B. Zug, Druck, Biege-, Dreh- und Schlagbeanspruchung).

Isolierhüllen für Leitungen müssen auch unempfindlich gegen Temperaturschwankungen und - je nach Verwendungszweck - auch feuersicher sein. Gegen mechanische Beschädigung werden über die Isolierhüllen der Leitungen noch Ummantelungen angebracht. Bei den Ummantelungen kommt es aber nicht auf hohen Isolationswiderstand, sondern auf hohe Festigkeit an. Als Werkstoff für Isolierhüllen der Starkstromleitungen wurde früher fast nur Naturkautschuk, später synthetischer Kautschuk oder ein Gemisch beider verwendet. Als Werkstoff für Isolierhüllen von Starkstromkabeln bis 1000 V verwendete man früher ausschließlich Kautschuk oder getränktes Papier.

Nach VDE 0208 werden die Gummimischungen in Gruppen eingeteilt:

Gummi GIa und GIb für Aderisolation,
 Gummi GIIa und GIIb für Innenmantel und
 Gummi GIIIa, IIIb und IIIc für Außenmantel.

¹⁾ Nach VEB Kabelwerke Oberspree (KWO) Werkkatalog 3

Für die Herstellung von Aderisolierungen sind Gummimischungen mit spezifischen Widerständen von $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ bei 20°C ausreichend.

In den letzten Jahren wurden aufgrund neuer Erkenntnisse auf chemischem und technischem Gebiete eine Anzahl neuer Leitungen und Kabel entwickelt, bei denen anstelle des früher verwendeten Gummis thermoplastische Kunststoffe verwendet werden. Kautschuk und thermoplastische Kunststoffe werden nahtlos um den Leiter gepreßt.

Als Werkstoff für die Ummantelung verwendet man jetzt neben Gummi und Metall in großem Umfang Kunststoffe, die entweder als Kunststofffolie aufgewickelt, oder als thermoplastischer Kunststoff aufgespritzt werden. Thermoplastische Kunststoffe (Polymerisate des Vinylchlorids) sind Mischungen von chemischen Verbindungen, die bei Wärme formbar sein müssen, bei Kälte jedoch nicht zu hart und spröde sein dürfen.

Entsprechend dem Leitungsaufbau werden nach VDE 209 die Polyvinylchlorid-Mischungen in drei Gruppen eingeteilt:

Kunststoff Y I für Aderisolierung,
Kunststoff Y II für Innenmantel,
Kunststoff Y III für Außenmantel.

Für Y I ist ein Mindestisolationswiderstand $5 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ bei 20°C festgelegt. Die Berechnung des Ableitungsstromes für so hohe Isolationswiderstände zeigt ihnen folgendes Beispiel:

Lehrbeispiel 1

Ein Einleiterkabel von 500m Länge wird an eine Spannung von 1000 V gelegt. Der Querschnitt des Kabels ist 150 mm^2 , der Leiterdurchmesser 15,8 mm, die Isolationsstärke 1,5 mm.

Wie groß ist der Isolationswiderstand des Kabels, und wie groß ist der Ableitungsstrom, der auch dann fließt, wenn kein Verbraucher angeschlossen ist?

Übung: $R = 150 \text{ mm}^2$, $d = 15,8 \text{ mm}$, $\delta = 1,5 \text{ mm}$, $D = d + 2\delta$
 $D = 15,8 + 3 = 18,8 \text{ mm}$, $L = 0,5 \text{ km}$, $\rho = 10^9 \Omega \text{ cm}$.

Lösung:

$$R_{is} = \frac{\rho}{2\pi} \cdot L^{2,3} \lg \frac{D}{d}$$

$$R_{is} = \frac{10^9}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5} 2,3 \lg \frac{18,8}{15,8}$$

$$R_{is} = \frac{10^9}{3,14} \cdot 2,3 \cdot 0,077 = \frac{56 \text{ M}\Omega}{=====}$$

$$\text{Der Ableitungsstrom } i_A = \frac{U}{R_{is}} = \frac{10^3}{56 \cdot 10^6} = \frac{0,018 \text{ mA}}{=====} = 18 \mu\text{A}$$

Würde eine Anlage wird der Ableitungsstrom mit wachsendem Umlaufumfang des Netzes und unter Einfluß von Feuchtigkeit größer, wird aber bei guter Isolation der Anlage 1 mA kaum übersteigen. Wenn die Isolation der Anlage gut ist, hat der Ableitungsstrom keine praktische Bedeutung. Der Isolationswiderstand wird zur Überprüfung von Starkstromanlagen mit Hilfe des Kurbelinduktors gemessen.

1.3 Leiterquerschnitte

In den VDE 0100, § 20 ist eine einheitliche Querschnittsreihe festgelegt. Sie wird in mm^2 angegeben und von sämtlichen Herstellerbetrieben eingehalten.

0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95
100	150	185	240	300	400	und 500.							

1.4 Leitungsarten und -bezeichnungen

1.4.1 Blanke Leitungen

Blanke Leitungen finden nur Verwendung als Freileitungen, Leitungen im Freien, Erdleitungen und evtl. als Leitungen in elektrischen Betriebsräumen, z.B. Akkumulatorenräumen.

Innerhalb von Gebäuden sind nach VDE 0100, § 24 ungeerdete blanke Leitungen mit Ausnahme von Kranschleifleitungen unzulässig. Eine Ausnahme bilden nur solche Räume, in denen die Isolierhülle durch chemische Einflüsse zerstört wird. Die Leitungen müssen dann gegen Berührung hinreichend geschützt werden. Dasselbe gilt auch für Kranschleifleitungen. Nach Möglichkeit sollen blanke Leitungen auch in geschlossenen Höfen, Gartenlokalen usw. vermieden werden. Oft erhalten blanke Leitungen einen Anstrich, um die Polarität oder Phasenfolge kenntlich zu machen. Dort, wo sie chemischen Einflüssen ausgesetzt sind, müssen sie mit einem Schutzanzstrich versehen werden. Weiteres über blanke Leitungen finden Sie in den Lehrbriefen über Schaltanlagen und Freileitungen.

2.42 Isolierte Leitungen

1. Allgemeines

Die größte Verwendung finden isolierte Leitungen bei Gebäudeinstallationen und für Anschlüsse ortsveränderlicher Verbraucher. Bei Fernleitungen finden isolierte Leitungen nur als Kabelleitungen Anwendung. Je nach Verwendungszweck werden die verschiedenartigsten isolierten Leitungen hergestellt. Man unterscheidet nach VDE zwei große Gruppen von Leitungen:

1. Leitungen für feste Verlegung
2. Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Verbraucher

Innerhalb der beiden Gruppen gibt es wiederum verschiedenartige Leitungen. Entscheidend ist, ob die Leitungen in trockenen oder feuchten Räumen verlegt werden, oder ob sie chemischen Einflüssen ausgesetzt sind. Während für Leitungen in trockenen Räumen einfache Schutzhüllen (Mantel) genügen, muß die Schutzhülle für Leitungen in nassen oder chemisch gefährdeten Räumen stärker sein und aus ent-

nprochendem Material hergestellt sein. Angaben über die Stärke der Schutzhüllen und Mäntel von Leitungen finden Sie in VDE 0250 und 0252, von Kabeln in VDE 0255, 0265, 0270, 0271 und 0272. Die Nennwanddicke der gemeinsamen Aderumhüllung steigt mit dem Querschnitt der Leiter. Für Stärke und Material der Isolierhüllen (Aderisolation) sind Feuchtigkeit und chemische Einflüsse von außen bedeutungslos. Für die Nennwanddicke der Isolierhüllen ist in erster Linie die Höhe der Spannung, teilweise auch der Querschnitt der Leitung maßgebend. Angaben über Nennwanddicken der Isolierhüllen finden Sie ebenfalls in VDE 0250, 0255, 0265, 0270 und 0271.

Für Leitungsmaterial, welches starker Hitze ausgesetzt ist, wird für Isolierhüllen und Mäntel hitzebeständiger Werkstoff (z.B. Asbest u.dgl.) verwendet. Die sich aus dem vorholtenden Aufbau ergebenden Leitungstypen werden durch Kurzzeichen gekennzeichnet. Sie sind in VDE 0250 und 0252 festgelegt.

Der erste Buchstabe jeder Kurzbezeichnung ist N und bedeutet "Normen". Die übrigen Buchstaben bezeichnen den Aufbau und den Werkstoff der Leitung. Z.B. bedeuten:

G = Gummimischung,
Y = thermoplastischer Kunststoff,
A = Ader,
U = Umhüllung,
F = feindrähtig,
FF = feinstdrähtig usw.

Neben einadrigen isolierten Drähten werden bekanntlich auch mehradrige isolierte Leitungen hergestellt.

Nach VDE 0250 müssen die mehradrigen isolierten Leitungen durch folgende Farben gekennzeichnet sein:

bei 2 Adern hellgrau/schwarz,
bei 3 Adern hellgrau/schwarz/rot,
bei 4 Adern hellgrau/schwarz/rot/blau,
bei 5 Adern hellgrau/schwarz/rot/blau/schwarz.

Außerdem müssen isolierte Leitungen den Firmenkennfaden enthalten. Die Herstellerbetriebe sind verpflichtet, bei der Leitungsfertigung die VDE-Vorschriften genau einzuhalten. (VDE 100 § 19).

Sie wählen dann bei der Bearbeitung eines Projektes einer elektrischen Anlage die für einen bestimmten Zweck vorgeschriebene Leitung aus. Es muß also schon bei der Projektierung der Anlage bekannt sein, wie die Räume, in denen die Leitungen verlegt werden sollen, beschaffen sind und welchem Zweck sie dienen.

Viele der Leitungen, die in der Starkstromtechnik verwendet werden, sind Ihnen aus Ihrer praktischen Tätigkeit her bekannt, so daß darauf verzichtet werden kann, jede der einzelnen Leitungsarten hier ausführlich zu behandeln. In Tafel 3 sind nahezu sämtliche Starkstromleitungen, die zur Zeit in der DDR gefertigt werden sowie deren Aufgabe und Verwendungsbereich aufgeführt. Bei Projektierungen von Niederspannungsanlagen werden Sie noch oft Tafel 3 benötigen.

1. Kunststoffkabel

Zur Gruppe der Starkstromleitungen für feste Verlegung gehören auch die Starkstromkabel. Über Hochspannungskabel erwähnt ein besonderer Lehrbrief. Die Niederspannungs-Kunststoffkabel werden in diesem Lehrbrief mit behandelt. Für Papierbleikabel werden wertvolle Rohstoffe benötigt, w.w.N. Blei, Harz, Öl und Papier. Diese Rohstoffe können eingespart werden, wenn für die Isolierhüllen und Mäntel der Kabel Kunststoffe verwendet werden.

Während man bei Leitungen der Kunststoffisolierung sofort große Bedeutung beigemessen hatte und seit etwa 20 Jahren Kunststoffe verwendet, ging man in der Kabeltechnik erst später dazu über, Kunststoff zu verwenden. Untersuchungen haben ergeben, daß organische Stoffe in mehr oder weniger starkem Maße Feuchtigkeit aufnehmen und diffundieren lassen. Bei Starkstromkabeln ging man erst dazu über, den Bleimantel durch einen Kunststoffmantel zu ersetzen. Wenn man sich überlegt, daß Papier in besonders hohem Maße hygroskopisch ist, d.h. Feuchtigkeit begierig aufnimmt, so sieht man sofort ein, daß bei Verwendung von Kunststoffmänteln die Aderisolierung aus thermoplastischem Kunststoff besser ist.

Heute stellt man die Kunststoffkabel für Innenraum- sowie für Erdverlegung, mit thermoplastischen Kunststoffmantel und thermoplastischer Isolierhülle für Spannungen von 1 kV bis 10 kV her, d.h. sie sind bis 10 kV genormt.

Kunststoffkabel finden heute schon ausgedehnte Verwendung, und mit der Vervollkommnung der technischen Eigenschaften der Kunststoffe wird sich der Anwendungsbereich noch bedeutend erweitern. So sind heute in verschiedenen Kabelwerken der Deutschen Demokratischen Republik Einleiter-Kunststoffkabel auch für höhere Spannungen als 10 kV entwickelt worden.

Während man für Kunststoffkabel mit niedrigen Spannungen für Isolierhüllen und für Mantel PVC verwendet, nimmt man als Kunststoff für Isolierhüllen bei höheren Spannungen Polyätylen. Letzteres hat bessere elektrische Eigenschaften als PVC. Bei der Verlegung von Kunststoffkabeln ist zu beachten, daß die niedrigste Kabeltemperatur bei Verlegung + 4°C nicht überschreiten darf. Bei niedriger Temperatur muß eine vorherige Anwärmung der Kabel in einem etwa 20° bis 25°C warmen Raum erfolgen. Je nach der Kabellänge etwa 36 bis 48 Stunden.

Kunststoffkabel können als Ein- und Mehrleiterkabel hergestellt werden. Die Aufbauskizze eines Mehrleiterkunststoffkabels zeigt Bild 1.

Kunststoffkabel für höhere Spannungen (6 kV und 10 kV) erhalten eine geschirmte Aderoberfläche. Letztere ist eine elektrisch leitende Schicht, die zur Abschirmung des elektrischen Feldes einer jeden Ader dienen soll und damit zur Erhöhung der Spannungsfestigkeit des Kabels beiträgt. Eine ausführliche Behandlung dieses Gebietes folgt im Lehrbrief "Starkstromkabel" bei der Betrachtung des Höchstädtter Kabels. Zum Schutz gegen mechanische Beanspruchungen erhalten die Kabel eine Bewehrung. Meistens genügt eine Stahlbandbewehrung, die aus zwei gegenläufig in Schraubenlinienform aufgebrachten Lagen Stahlband besteht. Kabel mit Stahlbandbewehrung dürfen nicht auf stärkeren Zug beansprucht werden. Anstelle der Stahlbandbewehrung B können Kabel bei höheren Zugbeanspruchungen eine Zugdrahtbewehrung aus verzinkten Flachdrähten (F) oder aus verzinkten Runddrähten (R) erhalten. Die Runddrahtbewehrung ist für höhere Zugbeanspruchungen geeignet. Zum Schutz gegen korrodierende Einwirkungen wird auf die Bewehrung eine Außenumhüllung oder Bedeckung aufgebracht. Sie besteht aus einer Jutenumspinnung, die mit einem Überguß harter Masse versehen ist.

Imminraumkabel erhalten zur Herabsetzung der Brandgefahr keine Außenumhüllung aus vorgetränkter Jutebespinnung, sondern nur über der Bewehrung einen Rostschutzanzstrich (R) aus Bitumenlack.

Die Tafeln 4, 5 und 5^a geben eine Typenübersicht der Kunststoffkabel nach den VDE-Vorschriften unter Berücksichtigung des Typenbereinigungsprogrammes in der Deutschen Demokratischen Republik. Es sei hier besonders darauf hingewiesen, daß die Entwicklung auf dem Gebiet der Kunststoffkabel sehr schnell vorwärts geht. Es ist daher ratsam, sich auf diesem Gebiet ständig durch Rückfragen im Kabelwerk zu orientieren. Ferner muß man auch laufend Erkundigungen nach neuen VDE-Vorschriften einholen. In den VDE-Vorschriften sind weitere Angaben über Bauarten und Verwendung der Kunststoffkabel enthalten, die im Lehrbrief infolge des begrenzten Umfangs nicht aufgenommen werden können.



Bild 1 Aufbau des Kunststoffkabels NAYYBA

T a f e l 4
Erdkabel ohne Metallmantel

Nr. Nr. Kv	Benennung (Aufbau)	Kurz- zeichen	Ader- zahl	Leiter Nennquer- schn. mm ²	Werk- stoff	Stan- dard bzw. Vorschr.
6 1	Kunststoffkabel mit Stahlband- bewehrung und Schutzhülle	NYYBA	1 ⁺)	50 bis 300		
			2	4 " 25		
			3	1,5 " 185	Cu	
			4	1,5 " 185		
	Kunststoffkabel mit offener Runddrahtbeweh- rung u. Schutzh. Runddrahtbewehrung u. Schutzh. Runddrahtbewehrung u. Schutzh. Runddrahtbewehrung u. Schutzh.	NAYYBA	1 ⁺)	50 " 300		
			2	4 " 25		
			3	2,5 " 185	Al	
			4	2,5 " 185		
10	Kunststoffkabel (Mehrmantelka- bel) mit Stahl- bandbewehrung u. Schutzhülle	NEYYBA	1	50 bis 300		
			2	1,5 " 25		
			3	1,5 " 185	Cu	
			4	1,5 " 185	Al	
	Kunststoffkabel (Mehrmantelka- bel) mit offener Runddrahtbewehr. und Schutzhülle	NEYYROA	1	50 " 300		
			2	2,5 " 25		
			3	2,5 " 185	Al	
			4	2,5 " 185		
6 10	Kunststoffkabel mit konzentri- schem Schutzo. Mittelpunktilt.u. Kunststoffmantel	NYuRY(PR) NYuFY(PR) ⁺⁺)	1	50 bis 300		
			2	1,5 " 25		
			3	1,5 " 185	Cu	
			1	50 bis 300		
		NAYuRY(PR) NAYuFY(PR) ⁺⁺)	2	2,5 " 25	Al	
			3	2,5 " 185		
			1	70 bis 300		
	Kunststoffkabel mit geschirmter Aderoberfläche, konzentrischem Schirm und Kunststoffmantel	NAHYuRY(PR) NAHYuFY(PR) ⁺⁺)			Cu	
		NAHYuRY(PR) NAHYuFY(PR) ⁺⁺)			Al	

+¹) nur für Gleichstrom

++) Mittelleiter bzw. Schirm je nach gefordertem elektrischen Querschnitt offen oder geschlossen

VDE 360271

VDE 360272

T a f e l 5

Innenraumkabel ohne Metallmantel

Benennung (Aufbau)	Kurz- zeichen	Ader- zahl	Leiter Nennquer- schn. mm ²	Werk- stoff	Stand- ard bzw. Vorschr.	
Kunststoffkabel mit verstärktem Kunststoffmantel	NYY	1	120 bis 300	Cu	VDE 360271	
		2	1,5 " 25			
		3	1,5 " 185			
		4	1,5 " 185			
	NAYY	1+	120 bis 300	Al		
		2	1,5 " 25			
		3	1,5 " 185			
		4	1,5 " 185			
Kunststoffkabel mit Stahlbandbe- wöhrung und Rost- schutzanstrich	NYYB-R	1+	50 bis 300	Cu	VDE 360271	
		2	4 " 25			
		3	2,5 " 185			
		4	2,5 " 185			
	NAYYB-R	1+	50 " 300	Al		
		2	4 " 24			
		3	2,5 " 185			
		4	2,5 " 185			
Kunststoffkabel mit Runddrahtbe- wöhrung, Gegen- wördel und Rost- schutzanstrich	NYYRG-R	1+	50 bis 300	Cu	VDE 360271	
		2	1,5 " 25			
		3	1,5 " 185			
		4	1,5 " 185			
	NAYYRG-R	1+	50 bis 300	Al		
		2	2,5 " 25			
		3	2,5 " 185			
		4	2,5 " 185			
Kunststoffkabel (Mohrmantelka- bel) mit Stahl- b. Bew. und Rost- schutzanstrich	NEYYB-R	3	50 bis 185	Cu	VDE 360271	
	NAEYYB-R	4	50 bis 185	Al		

Tafel 5a

Innenraumkabel ohne Metallmantel

Nennspg. kV	Benennung (Aufbau)	Kurzzeichen	Ader- zahl	Leiter Nennquer- schn. mm ²	Werk- stoff	Stand- ard bzw. Vors.	
1	Kunststoffkabel (Mehrmantelkab.) mit Runddraht- bewehrung, Gegen- wendel und Schutz- anstrich	NEYYRG-R	3	50 bis 185	Cu	VDE 360271	
		NAEYYRG-R	4	50 bis 185	Al		
1	Kunststoffkabel (Mehrmantelk.) mit verstärktem Kunststoffmän- tel	NEYY	3	50 bis 185	Cu		
		NAEYY	4	50 bis 185	Al		
1	Kunststoffkabel mit konzentr. Schutz oder Mit- telpunktleiter	NYuRY(PR)	1	50 bis 300	Cu	VDE 360271	
		NYuFY(PR) ⁺	2	1,5 bis 25			
		NYuRY(PR)	3	1,5 bis 185			
		NAYuRY(PR)	1	50 bis 300	Al		
		NAYuFY(PR) ⁺	2	1,5 bis 25			
		NAYuRY(PR)	3	1,5 bis 185			
6	Kunststoffkabel mit geschirmter Aderoberfläche, konzentr. Schirm und Kunststoff- mantel	NHYuRY(PR)	1	70 bis 300	Cu	VDE 360271	
		NHYuFY(PR) ⁺			Al		
		NAHYuRY(PR)	1	70 bis 300	Cu		
		NAHYuFY(PR) ⁺			Al		
10	Kunststoffkabel mit geschirmter Aderoberfläche, konzentr. Schirm und Kunststoff- mantel	NHYuRY(PR)	1	70 bis 300	Cu	VDE 360271	
		NHYuFY(PR) ⁺			Al		
		NAHYuRY(PR)	1	70 bis 300	Cu		
		NAHYuFY(PR) ⁺			Al		

⁺ Mittelleiter bzw. Schirm je nach geforderten
elektrischen Querschnitt offen oder geschlossen

Die für die Kunststoffkabel verwendeten Kunststoffe haben bei niedrigen Temperaturen und geringer Konzentration eine sehr hohe chemische Beständigkeit gegenüber vielen Säuren und Basen. Der Korrosionsschutz wird deshalb hauptsächlich zur Erhaltung der Bewehrung benötigt.

Zusammenfassung

Starkstromleitungen dienen zur Übertragung elektrischer Energie. Sie können als Freileitungen oder Leitungen im Freien blank verlegt werden. In Sonderfällen dürfen auch blanko Leitungen in Räumen verlegt werden, z.B. dort, wo die Isolierhülle durch chemische Einflüsse zerstört wird oder in Hallen die Schleifleitungen für Transportanlagen. Diese Leitungen müssen jedoch genügend gegen Berührung geschützt sein.

Isolierte Starkstromleitungen sind nach VDE 0250 sämtliche Leitungen, die für Nennspannungen von 200 V aufwärts mit Spannungen von 1000 V und darüber geprüft werden.

Starkstromkabel werden wegen ihres besonderen Verwendungsweises nach besonderen Vorschriften hergestellt. Der Aufbau isolierter Starkstromleitungen ist sehr unterschiedlich. Er richtet sich vorwiegend danach, welche Feuchtigkeits- und welchen chemischen Einflüssen die Leitungen nach ihrer Verlegung ausgesetzt sind. Als Material für Isolierhüllen und Mäntel werden vorwiegend Gummimischungen oder thermoplastische Kunststoffe verwendet. Die verschiedenen Leitungstypen und Kabel werden mit Kurzzeichen benannt.

Ü b u n g e n

1. Warum ist Aluminium als Leiterwerkstoff für Freileitungen gut geeignet?
2. Warum darf Kupfer mit Aluminium nur in trockenen Räumen unmittelbar zusammengeklemmt werden?

3. Warum wird nach den VDE-Bestimmungen für isolierte Kupferleitungen keine Verzinnung gefordert, wenn die Isolierhülle aus thermoplastischen Kunststoffen besteht?
4. In welchen VDE-Vorschriften finden Sie Angaben über die Nennwanddicken der Isolierhüllen und Mäntel isolierter Leitungen?
5. Warum erhalten Innenraumkabel keine getränkte Außenummühlung?
6. Was erhalten Innenraumkabel anstelle der Außenummühlung als Korrosionsschutz?
7. Warum ist für Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Verbraucher Aluminium nicht zugelassen?

3. Mechanische Festigkeit, Belastbarkeit und Schutz der Leitungen

3.1 Belastbarkeit und mechanische Festigkeit

3.11 Allgemeines

Jede elektrische Anlage muß betriebssicher sein. Dazu sind zwei Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Die Leitungen dürfen sich nicht unzulässig erwärmen.
2. Die Leitungen müssen genügend mechanisch fest sein.

Nach VDE 0100, § 20 sind die Querschnitte der elektrischen Leitungen so auszuwählen, daß sie genügende mechanische Sicherheit bieten und keine unzulässigen Temperaturen annehmen können.

Unzulässige Erwärmung des Leiters führt zur Zerstörung der Isolation und des Leiters selbst und kann zu Bränden von Gebäuden usw. führen. Die unzulässige Erwärmung wird hauptsächlich durch den Leiterstrom hervorgerufen. Sie kann aber

muß bei normaler Belastung eintreten, nämlich bei hoher Umgebungstemperatur.

Für die Wahl des Leiterquerschnittes ist in erster Linie der Leiterstrom maßgebend. Die Stromdichte ist eine von Werkstoff, Verlegungsart, Temperatur usw. abhängige Erfahrungswahl.

Die Stromdichte ergibt sich aus

$$i_s = \frac{I}{F} \quad \left[\frac{A}{mm^2} \right] \quad (2)$$

Hierin bedeuten: I = Belastungsstrom in A und

F = Querschnitt des Leiters in mm^2 .

Die werden ohne weiteres einsehen, daß z.B. Freileitungen höher belastbar sind, als in Rohr verlegte isolierte Leitungen.

Während bei Freileitungen die Stromwärme ohne weiteres abgeführt wird, staut sich die Stromwärme in der im Rohr enthaltenen Luft. Die erwärmte Luft kann als Luftpolster betrachtet werden, welches die Wärmeableitung vom Leiter an die Außenluft erschwert. Für in der Erde verlegte Kabel liegen in den meisten Fällen günstigere Verhältnisse vor als bei in Rohren verlegten isolierten Leitungen.

1.12 Belastbarkeit isolierter Leitungen

Damit die Isolierhülle keinen Schaden erleidet, darf bei isolierten Leitungen die maximale LeiterTemperatur t_L von $60^{\circ}C$ nicht überschritten werden. Legt man als höchste Raumtemperatur t_u normalerweise mit $25^{\circ}C$ zugrunde, so kann die Übertemperatur des Leiters

$$t_{\dot{u}} = t_L - t_u = 60 - 25 = 35^{\circ}C \text{ betragen.}$$

Die Übertemperatur $t_{\dot{u}}$ wird als Grenzerwärmung des Leiters bezeichnet.

Die ist maßgebend für die Belastbarkeit isolierter Leitungen. Bei höherer Umgebungstemperatur muß die Belastbarkeit

der Leitung nach Formel 3 herabgesetzt werden.

$$I_1 = I \sqrt{\frac{t_{u_1}}{t_u}} \quad (3)$$

Hierin bedeuten: I = Strombelastung bei normaler Umgebungstemperatur

I_1 = Strombelastung bei erhöhter Umgebungstemperatur

t_u = normale Übertemperatur entsprechend 25°C Umgebungstemperatur

t_{u_1} = Übertemperatur entsprechend einer höheren Umgebungstemperatur

Man nennt $\frac{t_{u_1}}{t_u} = f$ den Belastungsreduktionsfaktor.

Nach VDE 0100, § 20 werden für die Belastbarkeit isolierter und umhüllter Leitungen 3 Gruppen unterschieden:

Gruppe 1: Bis zu 3 Leitungen in Rohren, Rohdrähten.

Gruppe 2: Kabelähnliche Leitungen, Panzeradern, frei in Luft verlegte mehradrige Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Stromverbraucher (einschließlich Leitungstrossen).

Gruppe 3: Einadrige frei in Luft verlegte Leitungen, wobei die Leitungen mit Zwischenraum von mindestens Leitungsdurchmesser verlegt sind und einadrige Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Stromverbraucher.

In Tafel 6 sind die bei Dauerbelastung zulässigen Stromstärken für die Leitungen der 3 Gruppen aufgeführt.

Tafel 6

Belastbarkeit für isolierte Leitungen mit Kupfer- und Aluminiumleitern nach VDE 0100 § 20

Nominalquerschnitt mm ²	Gruppe 1		Gruppe 2		Gruppe 3	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
	A	A	A	A	A	A
0,75	-	-	13	-	16	-
1	12	-	16	-	20	-
1,5	16	-	20	-	25	-
2,5	21	16	27	21	34	27
4	27	21	36	29	45	35
6	35	27	47	37	57	45
10	48	38	65	51	78	61
16	65	51	87	68	104	82
25	88	69	115	90	137	107
35	110	86	143	112	168	132
50	140	110	178	140	210	165
70	-	-	220	173	260	205
95	-	-	265	210	310	245
120	-	-	310	245	365	285
150	-	-	355	280	415	330
185	-	-	405	320	475	375
240	-	-	480	380	560	440
300	-	-	555	435	645	510
400	-	-	-	-	770	605
500	-	-	-	-	880	690

Für die Werte in Tafel 6 ist eine Grenzerwärmung (Übertemperatur) des Leiters von 35°C zugrunde gelegt.

Tafel 7

Seilquerschnitt mm ²	Kupfer A	Reinalu A	Aldrey A	Stahlaluminium 1:6 1:4 1:3 A A A			Stahl A
				90	-	-	
16	115	92	88	90	-	-	45
25	151	121	115	125	-	-	61
35	174	149	142	145	225	-	75
50 (1)	234	187	178	170	300	-	93
50 (2)	231	185	176	-	-	-	-
70	282	226	215	235	355	-	115
95	357	283	269	290	440	-	135
120	411	329	313	345	505	-	154
150	477	382	363	400	560	-	173
185	544	435	414	455	650	-	-
240 (3)	630	502	479	-	-	-	-
240 (4)	641	513	488	530	770	-	-
300	747	598	568	615	-	-	-
350	-	-	-	-	-	680	-
450	-	780	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	800	-	-
210	630	520	28 mm Ø				
400	1200	1000	42 mm Ø	Hohlseil			

(1) 7drähtig (1 Lage) (3) 37drähtig (3Lg.)
(2) 19drähtig (2 Lagen) (4) 61drähtig (3Lg.)

3.13 Belastbarkeit von Freileitungen

Für blanke Leitungen bis 50 mm^2 Kupferquerschnitt oder 70 mm^2 Aluminiumquerschnitt gelten die Werte der Gruppe 3 in Tafel 6. Für blanke Leitungen größerem Querschnittes sowie Fahr- und Freileitungen gilt Tafel 6 nicht. Derartige Leitungen sind so zu bemessen, daß sie durch den höchsten vorkommenden Betriebsstrom keine für den Betrieb oder die Umgebung gefährliche Temperatur annehmen.

Für Freileitungsseile kann man als maximale Übertemperatur 40° C annehmen. Da die Leitungstemperatur bei Sonnenbestrahlung erfahrungsgemäß etwa 40° C beträgt, ist dann die Leiter temperatur 80° C .

Bei Leiter temperaturen über 80° C verringert sich die Zugfestigkeit des Seiles.

Im Winter kann die Übertemperatur ohne weiteres auf 60° C erhöht werden und damit kann die für $t_u = 40^\circ \text{ C}$ angegebene Strombelastung um rund 20 % überschritten werden. In Tafel 7 sind die bei Dauerbelastung zulässigen Stromstärken für Freileitungswerkstoffe bei einer Übertemperatur von 40° C aufgeführt.

3.14 Belastbarkeit der Starkstromkabel (Niederspannungskabel)

Nachdem Sie die Gesichtspunkte für die Belastbarkeit von isolierten Leitungen und von Freileitungen kennengelernt haben, soll die Belastbarkeit der Starkstromkabel betrachtet werden, wofür grundsätzlich die gleichen Gesichtspunkte wie bei isolierten Leitungen maßgebend sind.

Damit die Isolierhülle keinen Schaden erleidet, darf eine maximale Leiter temperatur nicht überschritten werden.

Die einwandfreie Isolierhülle ist bei Starkstromkabeln außerst wichtig.

Eine besondere große Rolle spielt für die Belastbarkeit der Starkstromkabel noch die Höhe der Spannung. Bei Starkstromkabeln höherer Spannung muß die LeiterTemperatur zur Erhaltung der Isolationsgüte herabgesetzt werden. (Eine ausführliche Berechnung von Starkstromkabeln finden Sie in Lehrbrief Hochspannungsleitungen).

Die Belastbarkeit der Starkstromkabel ist außerdem noch von der Bauform des Kabels und von der Verlegungsart abhängig. Mit steigender Leiterzahl nimmt die Belastbarkeit ab. Da die maximalen LeiterTemperaturen bei Papierbleikabel und Kunststoffkabel unterschiedlich sind, ist auch die Belastbarkeit dieser 2 Kabelarten verschieden.

Belastbarkeit der Kabel in Erde

Für die Belastbarkeit des Kabels im Erdboden wird im allgemeinen Sandboden mittlerer Feuchtigkeit vorausgesetzt und eine Umgebungstemperatur t_u von 20°C angenommen. Die Verlegungstiefe ist nach Bild 2 durchschnittlich 70 cm. Am Leiter herrscht die höchste Temperatur t_L , in ca. 50 cm Entfernung herrscht als tiefste Temperatur die Umgebungstemperatur.

Für die Kabel bis 1000 V sind folgende maximale Leiter- und Übertemperaturen zulässig:

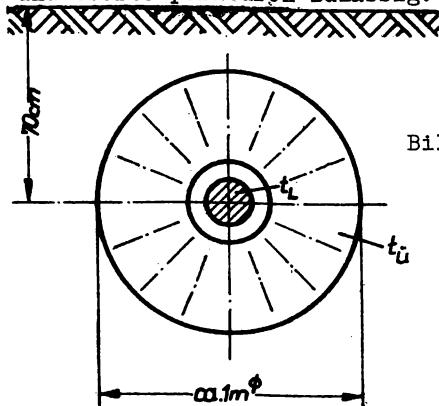


Bild 2 Wärmefeld eines Starkstromkabels bei Erdverlegung

a) Papierbleikabel $t_L = 65^{\circ}\text{C}$,

$$t_{\text{ü}} = 65 - 20 = 45^{\circ}\text{C.}$$

b) Kunststoffkabel $t_L = 55^{\circ}\text{C}$,

$$t_{\text{ü}} = 55 - 20 = 35^{\circ}\text{C.}$$

Die zulässigen Strombelastungen entsprechend den zulässigen Leitertemperaturen sind für Kabel bis 1000 V in den Tafeln 8 und 9 enthalten.

Der Belastungstafel 9 ist eine Leiterübertemperatur von $t_{\text{ü}} = 35^{\circ}\text{C}$ bei der Verlegung eines Kabels in der üblichen Verlegungstiefe von 70 cm in Erde zugrunde gelegt.

Bei Anhäufung mehrerer Kabel in Kanälen oder Rohrblöcken sowie bei Verlegung mehrerer Kabel in einem Graben in mehreren Lagen übereinander muß die zulässige Belastbarkeit von Fall zu Fall festgesetzt werden.

Bei Einleiterkabeln und bei aussetzendem Betrieb muß gleichfalls die zulässige Belastbarkeit von Fall zu Fall festgesetzt werden.

Wenn mehrere Kabel in einem Graben nebeneinander liegen, so sind nach VDE 0255 § 12 die Werte in Tafel 9 entsprechend den Werten in Tafel 9a zu vermindern, die für den üblichen Abstand der Kabel in Ziegelsteindicke (etwa 7 cm) errechnet sind. Gesondert verlegte Mittelleiter bleiben hierbei unberücksichtigt.

Tafel 8

Auszug aus VDE 0255/7.51 § 12 (Papierbleikabel)

Strombelastbarkeit von Einleiter-Gleichstromkabeln sowie
von 1 kV-Zweileiter-, Dreileiter- und Vierleiter-Gürtelkabeln

1 Nenn- quer- schnitt d.Leiters	2 Einleiterkabel	3 Zweileiter -	4 Belastbarkeit in A	5 Drei- und Vierleiter- kabel	6	7
1,5	-	-	30	-	25	-
2,5	-	-	40	30	35	25
4	65	50	50	40	45	35
6	85	70	65	50	60	45
10	110	90	90	70	80	65
16	155	125	120	95	110	90
25	200	160	155	125	135	110
35	250	200	185	150	165	130
50	310	250	235	190	200	160
70	380	305	280	225	245	195
95	460	370	335	270	295	235
120	535	430	380	305	340	270
150	610	490	435	350	390	310
185	685	550	490	390	445	335
240	800	640	570	455	515	410
300	910	730	640	510	590	470
400	1080	865	760	610	700	560
500	1230	985	-	-	-	-
625	1420	1140	-	-	-	-
800	1640	1310	-	-	-	-
1000	1880	1500	-	-	-	-

Temp.-
Erhöhung $t_{ü} = 45^{\circ} \text{ C}$

In den Tafeln 9 und 10 ist die Strombelastbarkeit für Kabel ohne Metallmantel (Kunststoffkabel bis 1 kV) enthalten.

Tafel 9
- Auszug aus VDE 0271 § 13 -

Strombelastbarkeit von 1 kV-Einleiter-, Zweileiter-, Drei-
leiter- und Vierleiter-Gürtelkabel

1 Nennquer- mehnitt d. Leiters	2 mm ²	3 Belastbarkeit in A (Richtwerte) Einleiterkabel	4 Zweileiter	5 Drei- u. Vierl. Kabel	6	7	
		Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5		25	-	20	-		
2,5		35	25	30	20		
4		45	35	40	30		
6		60	45	50	40		
10	Die Belastbarkeit ist nach Ausfüh- rungs- und Werk- stoffart der Be- wehrung besonders festzulegen.	80	60	70	55		
16		105	80	90	70		
25		135	105	120	90		
35		160	130	145	115		
50		210	160	180	140		
70		255	195	225	170		
95		305	235	270	205		
120		360	280	315	245		
150		410	315	360	280		
185		465	360	410	315		
240		540	415	470	370		
300		615	475	545	420		

Tafel 9a
Belastbarkeit bei Anhäufung von Kabeln

Anzahl der Kabel im Graben	2	3	4
Prozent der Belastbarkeit nach Tafel 9	80	75	70

Werden die Kabel in Luft verlegt, so ist die Wärmeableitung infolge des Wärmeübergangswiderstandes ungünstiger. In Luft verlegte Kabel dürfen daher nur ca. 80 % von dem eines in Erde verlegten Kabels belastet werden.

Tafel 10

- Auszug aus VDE 36.0270 § 13 -

Belastungstafel für Ein-, Zwei-, Drei- und Vierleiterkabel für 1 kV bei Einzelverlegung in Luft

1 Nenn- quer- schnitt mm ²	2 Einleiterkabel ¹⁾	3	4 Zweileiterk.	5	6 Drei- u. Vier- leiterkabel	7
1,5	-	-	20	-	15	-
2,5	-	-	25	20	20	15
4	45	-	35	25	30	25
6	60	45	45	35	40	30
10	80	60	60	45	55	40
16	110	85	80	60	70	55
25	140	110	105	85	95	70
35	175	135	130	100	115	90
50	215	165	165	130	145	110
70	275	215	205	160	180	140
95	335	260	250	190	220	170
120	390	300	295	225	260	200
150	420	345	335	260	295	230
185	515	395	380	295	340	260
240	600	465	445	345	395	305
300	695	540	500	395	450	360
400	830	640	590	470	540	430
500	950	730	-	-	-	-
625	1100	850	-	-	-	-
800	1280	990	-	-	-	-
1000	1470	1130	-	-	-	-

1) Die Belastungswerte gelten nur für Gleichstrom; für Wechselstrom ist die Belastbarkeit nach der Ausführung und Werkstoffart der Bewehrung besonders festzulegen.

Bei Belastungstafel ist eine Leiterübertemperatur von 35°C bei einer Umgebungstemperatur von 20°C zugrunde gelegt, wenn eine Verlegung der Kabel in einem ausreichenden Abstand voneinander eingehalten wird. Bei Verlegung mehrerer Kabel nebeneinander soll der Abstand der Kabel voneinander mindestens die einfache, bei Verlegung übereinander mindestens gleich der doppelten Kabeldicke (jedoch nicht geringer als 3 cm) sein.

Bei enger Zusammenlegung und bei Verlegung von Kabeln in Kanälen oder in der Nähe von Heizrohren muß die zulässige Belastbarkeit von Fall zu Fall festgelegt werden. Das gleiche gilt für aussetzenden Betrieb.

Bei höhere Umgebungstemperaturen gelten die Umrechnungswerte nach Formel 3 wie nachstehend aufgeführt.

Umgebungstemperatur 25°C	30°C	35°C	40°C
Umrechnungswert	0,92	0,85	0,75

Mehrere, dicht beieinanderliegende, in Luft verlegte Kabel beeinflussen sich gegenseitig thermisch. Bei solchen Annäherungen von Kabeln ist die Belastung der in Luft verlegten Kabel weiterhin nach folgender Aufstellung zu ermitteln: (Siehe VDE 0270 § 13)

Anzahl der Kabel:	3	6
Kabelzwischenraum = Kabeldurchmesser	95 %	85 %
Kein Zwischenraum (gegenseitige Berührung)	80 %	75 %

Bei in Luft verlegten Starkstromkabeln wird eine Umgebungstemperatur von 20°C zugrunde gelegt. Bei abweichenden Umgebungstemperaturen muß der zulässige Belastungsstrom ebenso wie bei isolierten Leitungen nach Formel 3 umgerechnet werden.

Werden in Industrieanlagen, z.B. in großen Maschinenräumen usw. Kabel verlegt, so kommt es oft vor, daß ein oder mehrere Kabel in einem gemeinsamen abgedeckten Kabelkanal verlegt werden. Bei Kabeln, die in Kanälen verlegt werden, ist die Wärmeableitung sehr ungünstig, weil sich die Luft im Kanal erwärmt und als Luftpolster wirkt. Hier sei an die Verlegung isolierter Leitungen in Rohr erinnert. Überraschungsmäßig kann man für Kabelkanäle

mit einem Kabel 65 %,
mit mehreren Kabeln 60 %,
für in Rohr verlegte Kabel 60 %

der Strombelastungen nach Tafel 8 und 9 einsetzen. Besonders ungünstige Verhältnisse liegen vor, wenn Kabel der Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind. Nach Möglichkeit soll das durch zweckmäßige Verlegung vermieden werden. Der Sonnenbestrahlung ausgesetzte Kabel können höchstens bis zu 50 % der in Tafel 8 und 9 angegebenen Werte belastet werden.

5. Spitzenbelastung und aussetzender Betrieb

Die Belastung ist in elektrischen Anlagen oft sehr schwankend. Spitzenbelastungen treten meist innerhalb sehr kurzer Zeiträume auf, während in den übrigen Zeiten die Belastung geringer ist. Diese hohen Belastungen erfordern aber unwirtschaftlich hohe Querschnitte. Sind die Spitzenzeiten - d.h. deren Dauer und zeitliche Folge - bekannt, so kann die zulässige Belastung der Leitung erhöht werden, wenn die Gewähr dafür vorhanden ist, daß der aussetzende Betrieb bzw. die schwache Belastung so lange dauert, daß eine ausreichende Abkühlung der Leitung stattfinden kann. Bei Starkstromkabeln können erfahrungsgemäß für kurzzeitige Spitzenbelastungen die Werte der Tafeln 8, 9 und 10 nach folgender Aufstellung erhöht werden:

<u>Dauer der Belastung</u>	<u>Zulässige Stromüberlastg.</u>
15 Minuten	1,65 fach
30 "	1,40 fach
60 "	1,30 fach
120 "	1,20 fach

Bei Freileitungen mit aussetzendem Betrieb können die in Tafel 7 angegebenen Strombelastungen um etwa 35 % erhöht werden.

6. Mechanische Festigkeit

Die mechanische Festigkeit der Leitung ist mit einer wichtigen Voraussetzung für den störungsfreien Betrieb der elektrischen Anlage. Eine genügende mechanische Festigkeit ist sowohl für isolierte Leitungen als auch für blanken Leitungen erforderlich. Bei isolierten Leitungen für feste Verlegung tritt die mechanische Beanspruchung praktisch nur bei der Verlegung auf. Leitungen, die für den Anschluß ortsfestlicher Verbraucher bestimmt sind, werden stark auf Biegung beansprucht. Aus diesem Grunde sind für solche Leitungen bekanntlich nur fein- oder feinstdrillierte Leiter zugelassen.

Die stärkste mechanische Beanspruchung tritt bei Freileitungen und zwar auf Zug auf. (Siehe Lehrbrief Hochspannungsleitungen) Die mechanische Festigkeit ist auch aus Gründen des Unfall- und Brandschutzes sehr wichtig.

Durch eine angebrochene Leitung kann es an der Bruchstelle zu hoher Erwärmung und schließlich zur Lichtbogenbildung kommen, und dadurch kann ein Brand entstehen.

Werner ist bei unterbrochenem Nulleiter der Schutz gegen Überspannung und zu hoher Berührungsspannung nicht mehr vorhanden (Siehe Lehrbrief 3).

(Die nach VDE 0100, § 20 und 22 mit Rücksicht auf mechanische Sicherheit und zulässige Erwärmung vorgeschriebenen Mindestquerschnitte sind in Tafel 11 aufgeführt).

Tafel 11

Mindestquerschnitte für isolierte und blanke Leitungen

Art der Leitungen	Mindestquerschnitte mm ²	
	Cu	Al
Leitungen an und in Beleuchtungskörpern	0,75	
Pendelschnüre, runde Zimmerschnüre, leichte und mittlere Gummischlauchleitungen	0,75	
Andere ortsveränderliche Leitungen	1	
Festverlegte isolierte Leitungen und festverlegte umhüllte Leitungen sowie Bleikabel	1,5	2,5
Schutzleitungen	wenn geschützt verlegt, mindestens	1,5
50 % der Leitung	wenn ungeschützt verlegt, mindestens	4
Festverlegte isolierte Leitungen in Gebäuden und im Freien, bei denen der Abstand der Befestigungspunkte 1 m bis 20 m beträgt	4	6
Blanke Leitungen in Gebäuden u. im Freien	4	6
Blanke Leitungen bei Verlegung in Rohr	1,5	2,5
Freileitungen für Spannungen unter 1000 V mit Spannweiten bis zu 35 m	6	16
Freileitungen in allen anderen Fällen	10	25
		16 St-Al

1.2 Schutz der Starkstromleitungen vor unzulässiger Erwärmung bei Überlastungen und Kurzschläüssen

1.2.1 Allgemeines und Zuordnung der Stromsicherungen zu den Querschnitten

Allmäßliche Starkstromleitungen einschließlich der Freileitungen und Kabel müssen vor Überlastungen, häufigen kurzzeitigen Überlastung und besonders vor den Auswirkungen der Kurzschlüsse geschützt werden. Aus Ihrer praktischen Tätigkeit wissen Sie, daß Kurzschlüsse durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden können und folglich unvermeidlich sind.

Nach VDE 0100, § 20 A wird deshalb vorgeschrieben: Leitungen und Kabel sind gegen zu hohe Erwärmung durch Anwendung strom- oder temperaturabhängiger, selbsttätig wirkender Schalt- oder Regelgeräte oder durch andere gleichwertige Maßnahmen zu schützen.

Der Schutz der Leitung kann durch Sicherungen oder durch entsprechende Schaltgeräte, die mit magnetischer Auslösung bzw. mit thermischer Auslösung oder mit beiden Auslöseorganen versehen sind, erfolgen. Damit der Schutz wirksam ist, müssen die Sicherungen oder die Überstromschalter dem Querschnitt angepaßt werden. Nach VDE 0100, § 20 A ist deshalb für jeden Querschnitt nach Tafel 12 die höchste zulässige Sicherung vorgeschrieben.

Tafel 12

Sicherungsstromstärken für die einzelnen Leiterquerschnitte isolierter Leitungen und Kabel zum Schutze gegen Überlastung mit Ausnahme von Selbstschaltern mit einstellbarem, thermisch verzögertem Auslöser.

Nennquerschnitt		Nennstrom der Stromsicherung		
Cu mm ²	Al mm ²	Gruppe 1 A	Gruppe 2 A	Gruppe 3 A
0,75	-	-	10	10
1	-	6	10	15
1,5	2,5	10	15	20
2,5	4	15	20	25
4	6	20	25	35
6	10	25	35	50
10	16	35	50	60
16	25	50	60	80
25	35	60	80	100
35	50	80	100	125
50	70	100	125	160
70	95	-	160	200
95	120	-	200	225
120	150	-	225	260
150	185	-	260	300
185	240	-	300	350
240	300	-	350	430
300	400	-	430	500
400	500	-	-	600
500	-	-	-	700

Beachten Sie, daß die Stromsicherung nicht den Verbraucher, sondern vor ihr liegenden Anlagenteil schützen soll.

Bei der Auswahl der Sicherungen sind ebenfalls die verschiedenen Verlegungsarten zu berücksichtigen. Es sind also in Tafel 12 ebenso wie in Tafel 6 die Leitungen in 3 Gruppen eingeteilt. Wenn Sie Tafel 6 mit Tafel 12 vergleichen, so werden Sie feststellen, daß die Belastungsstromstärke der Leitung höher als die Stromstärke der vorgeschriebenen Sicherung ist. Z.B. beträgt bei Aluminiumleitungen von 16 mm^2 der Gruppe 1 der Belastungsstrom 51 A, während nur eine Sicherungsgröße 35 A verwendet werden darf. Aus Sicherheitsgründen ist eine Reserve von 16 A vorgesehen. Um Leitermaterial einzusparen, wurde vom VDE eine Übergangsvorschrift herausgegeben, nach der eine höhere Absicherung der Leitungen vorgenommen werden kann. Diese Maßnahme war zunächst kriegsbedingt notwendig und ist heute aus Gründen des sparsamsten Materialverbrauches gerechtfertigt.

Nach der Übergangsvorschrift VDE 0100 Ü, § 20 A wird die Grenzerwärmung des Leiters von 35°C nahezu voll ausgenutzt. In dieser Vorschrift ist also keine Sicherheit gegen Belastungsstöße, kurzzeitige Überlastungen und zeitweilig höhere Umgebungstemperaturen mehr berücksichtigt. Es ist infolgedessen nicht zu empfehlen, Leitungen nach VDE 0100 Ü abzusichern, wenn diese Leitungen in Räumen liegen, wo höhere Umgebungstemperaturen als 25°C herrschen.

Dagegen kann eine Absicherung nach VDE 0100 Ü ohne weiteres erfolgen, wenn die Umgebungstemperaturen stets unter 25°C bleiben (Kellerräume, Fleischereien usw) bzw. wenn man mit aussetzendem oder kurzzeitigem Betrieb rechnen kann. Die letztgenannten Betriebsfälle kommen sehr häufig vor. Nach VDE 0100 Ü kann für jeden Querschnitt die nächsthöhere als nach Tafel 12 angegebene Sicherung gewählt werden.

1. II. 111 4 mm² nach Tafel 12, Gruppe 1: Sicherung 20 A.
Nach VDE 0100 Ü, Gruppe 1: Sicherung 25 A.
Aluminium 16 mm² nach Tafel 12, Gruppe 2: Sicherung 50 A.
Nach VDE 0100 Ü, Gruppe 2: Sicherung 60 A.

VDE 0100, § 20 schreibt weiter vor:

Regel 1: "Bei Kabeln können Stromsicherungen gewählt werden, deren Nennstrom bis zum zulässigen Wert für Dauerbelastung der Kabel nach den einschlägigen Bestimmungen betragen darf." D.h. mit anderen Worten, für die Nennströme der Sicherungen bei Kabeln sind die Nennströme der Tafel 8, 9 und 10 maßgebend.

Regel 4: "Stromsicherungen, die nur dem Kurzschlußschutz einer Leitung dienen, können 3 Stufen höher gewählt werden, als die den Querschnitten nach Tafel 12 zugeordneten Sicherungen."

Nach Regel 2 sind Sicherungen an allen Stellen anzubringen, wo sich der Querschnitt nach der Verbrauchsstelle hin verjüngt. Schützen davorliegende Sicherungen den schwächeren Querschnitt vorschriftsmäßig mit, so können weitere Sicherungen entfallen. Nach Regel 3 können die Stromsicherungen für den verjüngten Querschnitt auch dann entfallen, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind. Eine Leitungslänge von 1m darf von der Abzweigstelle nicht überschritten werden, und die vorgeschaltete Stromsicherung darf höchstens 3 Stufen stärker sein, als es dem Querschnitt der verjüngten Leitung nach Tafel 12 entspricht.

Die verjüngte Leitungslänge von 1m kann ferner überschritten werden, wenn im Kurzschlußfallen mindestens der fünfzehnfache Nennstrom der vorgeschalteten Sicherung fließt, oder der Widerstand der hinter dieser Stromsicherung liegenden Leiterschleife darf das kurzzeitige Ansprechen der Sicherung nicht verhindern. Diese Forderung gilt als erfüllt, wenn der Spannungsabfall in der Leiterschleife

bei Nennstrom 3,5 % nicht überschreitet.

Nach (2) muß eine rechnerische Überprüfung durchgeführt werden.

5.22 Der Kurzschlußstrom

Die Kenntnis des Kurzschlußstromes ist in manchen Fällen für die vorschriftsmäßige Absicherung von Bedeutung. Bei langen Ausläuferleitungen in Freileitungsnetzen wird der Kurzschlußstrom oft verhältnismäßig klein, so daß der fünfzehnfache Nennstrom nach VDE 0100, § 20 A, Regel 3 bei Kurzschluß nicht erreicht wird. Bei sehr langen Leitungen kann es auch vorkommen, daß die Sicherungen bei Kurzschläüssen stark verzögert ansprechen und dadurch die Bedingungen der Nullung als Schutzmaßnahme nicht erfüllt werden. (Siehe Lehrbrief 3).

Zur Berechnung des Kurzschlußstromes in Niederspannungsverteilungsleitungen muß die Netzspannung und der gesamte Leitungswiderstand vom Umspanner, Generator usw. bis zur Kurzschlußstelle bekannt sein. (Die ausführliche rechnerische Behandlung der Kurzschlußvorgänge erfolgt in der Lehrbriefreihe "Schaltanlagen" (Lb. 3)).

Der innere Widerstand des Umspanners oder Generators evtl. auch einer stationären Batterie kann mit Ausnahme sehr kleiner Einheiten vernachlässigt werden.

1. Kurzschlußströme in Gleichstromanlagen

Bei Kurzschläüssen in Gleichstromdreileiteranlagen kann entweder der Kurzschluß zwischen den beiden Außenleitern oder zwischen einem Außenleiter und dem Mittelpunktleiter eintreten. Der Kurzschlußstrom wird dann nach den Formeln 4 und 5 berechnet.

Bei Kurzschluß zwischen den Außenleitern ist

$$I_k = \frac{U}{2 \cdot \sum R_L} \quad [A] \quad (4)$$

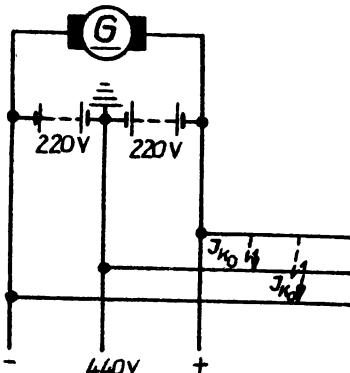


Bild 3

Ersatzschaltbild eines kurzgeschlossenen Gleichstromnetzes

Bei Kurzschluß zwischen einem Außenleiter und dem Mittelpunktleiter ist

$$I_{ko} = \frac{U_0}{\sum R_L + \sum R_o} \quad [A] \quad (5)$$

Hierin bedeuten:

U = Spannung zwischen den Außenleitern in V. (Nach Bild 3: 440 V)

U_0 = Spannung zwischen Außen- und Mittelpunktleiter in V (Nach Bild 3: 220 V).

$\sum R_L$ = Summe aller Widerstände des Außenleiters von der Erzeugungsanlage bis zur Kurzschlußstelle in Ω .

$\sum R_o$ = Summe aller Widerstände des Mittelpunktleiters von der Erzeugungsanlage bis zur Kurzschlußstelle in Ω .

2. Kurzschlußströme in Drehstromanlagen

Bei Kurzschlüssen in Drehstromanlagen sind drei Kurzschlußfälle nach Bild 4 möglich. Die Kurzschlußströme der drei Kurzschlußfälle sind verschieden.

Zwischen zwei Leiter herrscht die verkettete Spannung U , zwischen Leiter und Nulleiter herrscht die Sternspannung

$$U_0 = \frac{U}{\sqrt{3}}.$$

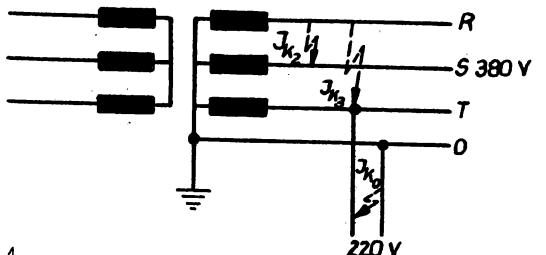


Bild 4

Wirkatzschaltbild eines kurzgeschlossenen Drehstromnetzes mit kurzgeschlossenem Lichtnetz

Triipoliger Kurzschluß

Unabhängig von der Schaltung des Stromerzeugers, kann man sich die Kurzschlußstelle als einen Verbraucher vorstellen, welcher in Stern geschaltet ist. Jede Leitung (Phase) besitzt gegenüber dem Kurzschlußsternpunkt die Phasenspannung $\frac{U}{\sqrt{3}}$.

Letztere wird auch als Sternspannung bezeichnet. Der Kurzschlußstrom wird durch den Widerstand je Phase (eines Leiters) begrenzt. Der Kurzschlußstrom wird damit bei dreipoligem Kurzschluß

$$I_{K_3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sum R_L} \quad [A] \quad (6)$$

Zweipoliger Kurzschluß:

Bei dem zweipoligen Kurzschluß wird der kurzgeschlossene Anlageteil mit der Spannung U gespeist und der Kurzschlußstrom durch den Widerstand der Leiterschleife d.h. den Mitterwiderstand zweier Phasen begrenzt.

$$I_{K_2} = \frac{U}{2 \sum R_L} \quad [A] \quad (7)$$

Einpoliger Kurzschluß:

Der einpolige Kurzschluß in Niederspannungsanlagen ist der Kurzschluß zwischen einem Außenleiter und dem Sternpunktleiter.

Dieser Fall tritt auch bei einphasigen Wechselstromverteilungsleitungen im Anschluß an Drehstrom (Lichtleitungen) auf.

Der kurzgeschlossene Anlageteil wird von der Phasenspannung gespeist und der Kurzschlußstrom durch den Widerstand der Leitung und des Sternpunktleiters begrenzt.

Beide Widerstände stellen eine Reihenschaltung nach Bild 5 dar.

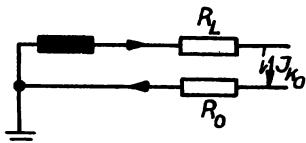


Bild 5 Ersatzschaltbild eines einpoligen Kurzschlusses

Der Kurzschlußstrom ist dann .

$$I_{ko} = \frac{U}{\sqrt{3} (\sum R_L + \sum R_0)} \quad [A] \quad (8)$$

In den Gleichungen 6, 7 und 8 bedeuten:

U = Leiterspannung in Volt (Nach Bild 4: 380 V).

$\sum R_L$ = Gesamtwiderstand eines Außenleiters vom Umspanner bis zur Kurzschlußstelle.

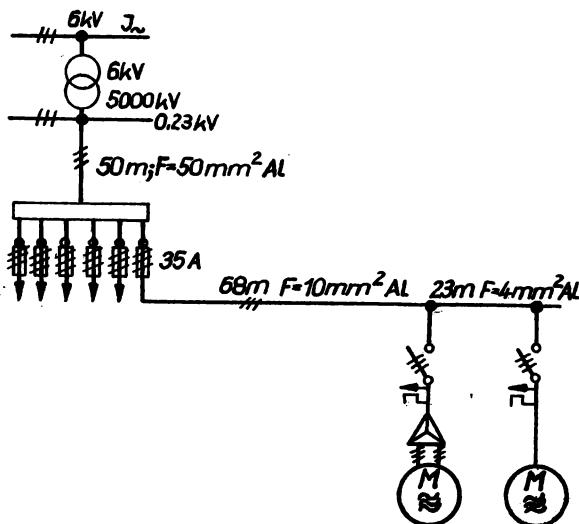
$\sum R_0$ = Gesamtwiderstand des Nulleiters vom Umspanner bis zur Kurzschlußstelle.

Bei der Berechnung wird man meistens zu hohe Werte erhalten, weil Übergangswiderstände usw. nicht mit berücksichtigt worden sind. Man kann sie angenähert berücksichtigen, indem man die errechneten Ströme mit 0,8 multipliziert.

Lehrbeispiel 2

In einer Industrieanlage ist ein Drehstrommotor (Motor 1) über ein 68 m langes Aluminiumkabel an die Kraftverteilung angeschlossen (siehe Bild 6). Der Querschnitt des Kabels

beträgt 10 mm^2 . Er ist mit 35 A abgesichert und ist in bezug auf Strombelastung reichlich gewählt. Es ist daher geplant, einen neuen, 23 m entfernten Motor (Motor 2) mit am Ende des Kabels anzuschließen. Es soll nun überprüft werden, ob es zulässig ist, ein Kabel von 4 mm^2 Al für den zweiten Motor ungesichert an das 10 mm^2 starke Kabel anzuschließen. Die Leiter-Spannung der Anlage beträgt 220 V.



Wid 6 Übersichtsschaltbild zum Lehrbeispiel 2

Ü s u n g :

Nach VDE 0100, § 20 A, Regel 3 kann die Stromsicherung in diesem Falle wegfallen, wenn bei Kurzschluß zwischen zwei Leitungen mindestens der fünfzehnfache Nennstrom fließt. Der Widerstand des gesamten Kurzschlußkreises beträgt im ungünstigsten Fall:

$$\text{Hauptleitung } R_L = \frac{1}{\text{z. F.}} = \frac{50}{34 \cdot 50} = 0,03 \Omega$$

Der Leitwert für Aluminium = 34

$$\text{Kabel } 10 \text{ mm}^2 \quad R_L = \frac{68}{34 \cdot 10} = 0,2 \Omega$$

$$\text{Kabel } 4 \text{ mm}^2 \quad R_L = \frac{23}{34 \cdot 4} = 0,17 \Omega$$

Der Gesamtwiderstand einer Leitung

$$\sum R_L = 0,03 + 0,2 + 0,17 = 0,4 \Omega$$

Der theoretische Kurzschlußstrom beträgt damit

$$I_K = \frac{U}{2 \cdot \sum R_L} = \frac{220}{2 \cdot 0,4} = 275 \text{ A.}$$

mit den Übergangswiderständen usw. annähernd

$$I_K' = 0,8 \cdot 275 = 220 \text{ A}$$

Bei einer Sicherung von 35 A müßte der Kurzschlußstrom jedoch

$$I_K'' = 15 \cdot 35 = 525 \text{ A} \text{ betragen.}$$

Die Leitung darf also nicht ungesichert abgezweigt werden. Abgesehen davon würde man schon aus praktischen Gründen eine Sicherung einbauen, damit die Leitung jederzeit spannungsfrei gemacht werden kann.

3.23 Wirkungsweise, Charakteristik und Auswahl der Sicherungen, der magnetischen und der thermischen Auslöser

Als Leitungsschutz in Lichtanlagen genügt bekanntlich der Einbau von Stöpselsicherungen, deren Schmelzdraht bei Kurzschlüssen oder unzulässigen Überlastungen schmilzt, wodurch der kurzgeschlossene Anlageteil von der einspeisenden Leitung getrennt wird.

Auf so einfache Weise ist es nicht immer möglich, elektrische Anlagen zu schützen. In dem Lehrbrief 4 der Lehrbriefreihe Schaltanlagen werden Sie erfahren, daß in Hochspannungsanlagen je nach Art und Größe der Anlage umfangreiche Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Der Schutz von Niederspannungsanlagen ist zwar einfacher als der Schutz von Hochspannungsanlagen, es sind aber trotzdem gewisse Kenntnisse und Erfahrungen notwendig, wenn man einen einwandfreien Leitungs- oder Motorschutz erzielen will.

Vor allem kommt es in ausgedehnten Anlagen darauf an, selektiv zu schützen, d.h., die Störung mit Sicherheit auf den kleinstmöglichen Anlageteil zu beschränken.

Es gibt 3 Arten von Schmelzsicherungen:

- a) die schnell unterbrechende flinke Sicherung
- b) die vollträge Sicherung.

Wld 7 zeigt Ihnen die Auslösekennlinien der 2 Sicherungsarten der Stöpselsicherungen. Die Auslösezeiten der Sicherungen sind besonders im Überstrombereich sehr unterschiedlich. Im Kurzschlußbereich hingegen werden die Unterschiede wegen der sehr kleinen Auslösezeiten praktisch bedeungslos.

Zum Schutz von Hauptleitungen - besonders zum Schutz starker Kabel - werden oft anstelle der Stöpselsicherungen Niederspannungshochleistungssicherungen (kurz NH-Sicherungen) verwendet. NH-Sicherungen sind kurzschlußfester als Stöpselsicherungen. Infolge des kleinen Leitungswiderstandes sind die Kurzschlußströme in Haupt- und Verteilungsleitungen oft sehr hoch.

Die Auslösekennlinien der NH-Sicherungen sind stromabhängig und verlaufen ähnlich wie die Kennlinien der Stöpselsicherungen. Im Kurzschlußbereich sind die Abschaltzeiten noch kürzer als bei Stöpselsicherungen.

Das ist vorteilhaft, weil der Kurzschlußstrom infolge der kurzen Zeit stark reduziert wird.

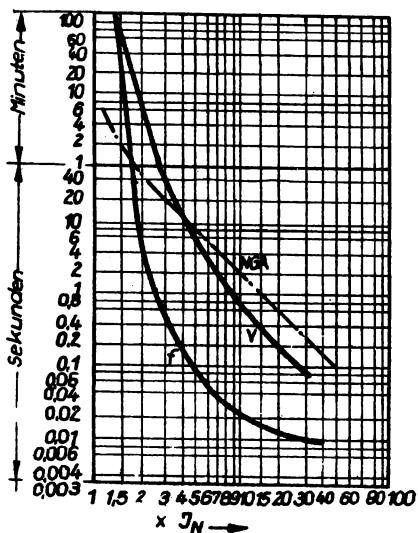


Bild 7 Kennlinie einer f = flinken und v = vollträgen Stöpselsicherung im Vergleich mit der Kennlinie einer NGA-Leitung in Rohr

Bild 8 zeigt Ihnen die Auslösekennlinie einer trägen Griff-sicherung (NH-Sicherung) im Vergleich zu den Kennlinien einer flinken und einer trügen Stöpselsicherung.

Nach VDE 0100, § 20 A werden zum Schutz von Leitungen und Kabeln nur allgemein Sicherungen oder selbsttätig wirkende Schaltgeräte gefordert. Wenn Sie jedoch die Auslösekennlinien genau studiert haben, dann werden Sie ohne weiteres einsehen, daß trüge Sicherungen infolge ihrer höheren Abschmelzzeiten besser als flinke Sicherungen die thermische Reserve der Leitungen ausnützen.

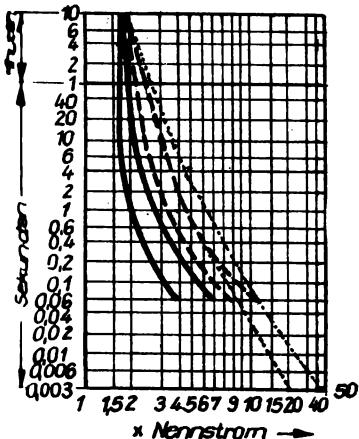


Bild 8

Strom-Zeit-Kennlinien für Sicherungen

Wie Sie im Bild 7 sehen, paßt sich die Kennlinie der volltrügen Sicherung am besten der Belastungskennlinie der Leitung an. Bei kleinen Überströmen - etwa bis $1,8 \cdot I_N$ - werden die Abschmelzzeiten der beiden trügen Sicherungen mehr groß. Daher sind trüge Sicherungen als Überlastungsschutz bei kleinen Überlastungen nicht geeignet. Flinke Sicherungen sprechen zwar bei kleinen Überlastungen in kürzeren Zeiten an, sie sind aber trotzdem noch kein einwandfreier Überlastungsschutz. Trüge Sicherungen sind als Haupt- oder Gruppensicherungen gut geeignet. Außerdem sind sie als Kurzschlußschutz in Motoranlagen vorteilhaft, weil sie infolge ihrer Abschmelzzeit bei Einschalstromspitzen nicht sofort ansprechen.

Anstelle der Sicherungen können auch elektromagnetische Auslöser verwendet werden. Die magnetischen Auslöser haben gegenüber Sicherungen den Vorteil, daß sie stets eine nullpolige Abschaltung gewährleisten. In Niederspannungsanlagen werden oft stromabhängige Auslöser, noch häufiger über magnetische Schnellauslöser verwendet.

Der stromabhängige Auslöser ist mit einem Zeitwerk kombiniert, welches so ausgeführt ist, daß die mit der Höhe des Überstromes wachsende Zugkraft eines Magneten eine Ver-

kürzung der Ablaufzeit verursacht. Die Auslösekennlinien sind infolgedessen in Abhängigkeit von xi_N ähnlich wie bei Sicherungen stromabhängig.

Stromabhängige Auslöser können folglich wie Sicherungen als Leitungsschutz verwendet werden. Stromabhängige Auslöser sind kein vollkommener Motorschutz, da sie im unteren Überlastungsbereich zu träge sind.

Der magnetische Schnellauslöser, der nicht auf Zeit eingestellt werden kann, spricht bei festeingestellten Überströmen sofort unverzögert an. Der Einstellbereich beträgt etwa das fünf- bis zehnfache des Nennstromes. Dieser Schutz ist ein reiner Kurzschlußschutz und wird am meisten verwendet. Zum Schutz von Motoren und oft auch zum Schutze hochwertiger Kabel muß dieser Schutz noch mit einem thermischen Schutz kombiniert werden.

Der thermische Auslöser soll besonders auf schädliche Erwärmungen, die durch kleinere Überlastungen oder durch Laststöße verursacht werden, ansprechen. Er ist besonders als Motorschutz gedacht. Während bei Sicherungen und magnetischen Auslösern im Bereich der kleinen Überlastungen die Abschaltung ziemlich träge erfolgt, erfaßt ein thermisches Glied (Bimetall oder Schmelzlotauslöser) die kleinen Überlastungen besser. Wird das thermische Meßglied vom Motorstrom oder von einem diesem proportionalen Strom durchflossen, so erwärmt es sich gleichzeitig unter gleichen Umständen wie der Motor oder das Kabel.

Wie Sie aus den Grundlagen der E-Technik wissen, besteht für die Wärmeentwicklung des Stromes die Beziehung

$$Q = I^2 \cdot R_L \cdot t.$$

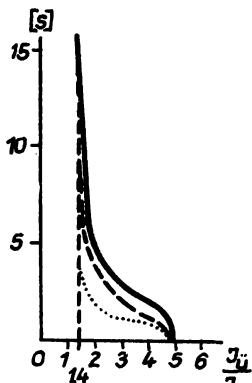


Bild 9 Kennlinie des strom-abhängigen Relais (3 Relais mit gleicher Kurzschlußauslösung, aber verschiedener Überstromauslösung)

Unter Beachtung der Forderung, daß der thermische Schutz in erster Linie bei Motoren angewendet werden soll, gilt nach VDE 0665, daß, bezogen auf 20°C Raumtemperatur und betriebs-warmen Motor, die thermische Auslösung bei 1,05-fachen Nennstrom des Motors innerhalb von 2 Stunden nicht ansprechen darf. Bei 1,2-fachen Nennstrom muß der thermische Auslöser innerhalb 2 Stunden mit Sicherheit ansprechen und bei 1,5-fachem Nennstrom muß derselbe innerhalb von 2 Minuten die Abschaltung bewirken.

Als Kurzschlußschutz werden thermische Auslöser in der Regel nicht verwendet. Sie werden – wie schon gesagt – mit magnetischen Schnellauslösern kombiniert; oder es wird dem thermischen Auslöser als Kurzschlußschutz eine träge Sicherung vorgeschaltet.

Magnetische und thermische Auslöser werden direkt an Leistungsschaltern angebaut. Sie werden meistens unmittelbar vom Strom der Leitung durchflossen.

Bei sehr hohen Stromstärken werden die Auslöser an Stromwandler angeschlossen. Die Auslösung bewirkt dann der proportionale Wandlerstrom. Wichtig ist es, noch darauf hinzuweisen, daß mit den eben genannten Leistungsselbstschaltern die Leitungen besser als bei Verwendung von Sicherungen ausgenutzt werden. Z.B. ist für Kupfer 16 mm², Gruppe 1, nach Tafel 12 die

höchstzulässige Sicherung 50 A,
höchstzulässige Stromstärke 65 A.

Wird ein Schalter mit einstellbarer Überstromauslösung verwendet, so kann die Leitung mit 65 A belastet werden, sofern der Schalter dementsprechend eingestellt ist. Werden jedoch nur Sicherungen verwendet, so muß bei 65 A Belastung mindestens eine Sicherung von 60 A eingebaut werden. Für eine Sicherung von 60 A muß nach Tafel 12 der Querschnitt 25 mm^2 betragen. Diese Hinweise über Sicherungen und Auslöser mögen hier genügen. Eine ausführliche Beschreibung folgt in dem Lehrbrief über Schutzrelais (Schaltanlagen 4).

3.24 Anwendungsgebiet der Sicherungen, der magnetische und der thermischen Auslöser

Tafel 13

<u>Auslöseart</u>	<u>Anwendung</u>
Flinke Stöpselsicherung	Hauptsächlich als Verteilungsstromkreissicherung in Hausinstallationen mit überwiegender Lichtbelastung. Flinke Sicherungen sollen nicht vorträge Sicherungen geschaltet werden!
Vollträge Stöpselsicherungen	Als Haupt- und Gruppensicherung in industriellen Anlagen, wo (infolge des Anlaufstromes von Motoren usw.) mit großen Stromstößen gerechnet werden muß. Ferner als Kurzschlußsicherungen für Motoren mit hohen Anlaufströmen.
NH-Sicherungen	In Anlagen, wo hohe Kurzschlußströme und hohe Nennströme auftreten. Meistens als Haupt- oder Gruppensicherungen an Niederspannungsschalttafeln. Ferner als Kurzschlußsicherungen für große Motoren. Für träge und flinke Sicherungen gelten hier die gleichen Grundsätze wie für Stöpselsicherungen.
Stromabhängige elektromagnetische Auslöser	Als Leitungsschutz für Zuleitungen zu Haupt- und Unterverteilungen, Kabel usw.
Elektromagnetische Schnellauslöser	Als Kurzschlußschutz für Motoren in Verbindung mit dem thermischen Schutz, ferner als Kurzschlußschutz für Leitungen, besonders Hauptleitungen.

Thermische Auslöser

Als thermischer Schutz für Motoren bei geringen Überlastungen oder Laststößen. Ferner als Überlastungsschutz wichtiger Kabel.

In bezug auf Selektivität von Sicherungen ist noch zu beachten:

- a) Hintereinandergeschaltete flinke Sicherungen sollen in Verbraucherrichtung um 2 Stromstufen abgestuft werden.
- b) Hintereinandergeschaltete träge Sicherungen sind um eine Stromstufe abzustufen.
- c) Träge Sicherungen sind stets vor flinke Sicherungen zu schalten.
- d) Als Vorsicherungen für Kleinselbstschalter (Motorschutzschalter) sind träge Sicherungen zu verwenden.
(Kurzschlußschutz)

Lehrbeispiel 3

Eine Fabrik soll eine elektrische Anlage nach Bild 10 erhalten. Die Spannung der Anlage soll 380/220 V sein. (Drehstromanlage mit Sternpunktleiter). Für die Hauptleitung vom Umspanner bis zur Hauptverteilung ist Kunststoffkabel NAYYBA vorgesehen. Für die Lichtleitung (Leitung 1) soll NYA in Rohr verwendet werden. Für die Kraftübertragung (Leitungen 2, 3 und 4) sollen Kunststoffkabel NAYYB-R verlegt werden. Die Querschnitte der Leitungen und auch die dazugehörigen Sicherungen sind nach Strombelastung zu wählen. Die Leitung 4 liegt zum größten Teil in einem Raum, dessen Umgebungstemperatur 40°C beträgt. Das Hauptkabel wird in Erde, die übrigen Kabel frei in Luft verlegt.

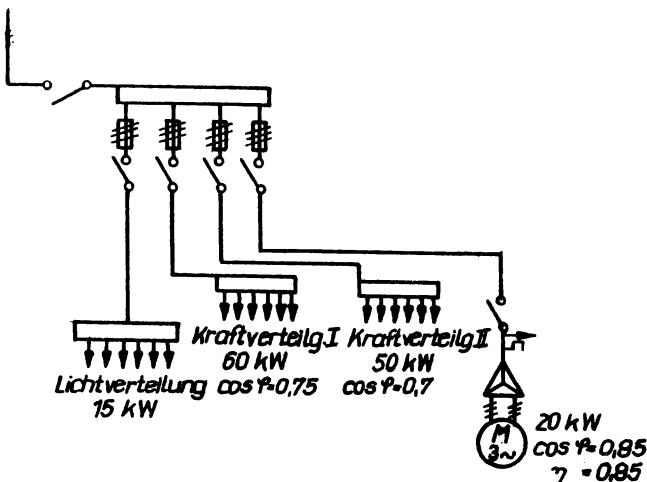


Bild 10. Übersichtsschaltbild zu Lehrbeispiel 3

L ö s u n g :

Zuerst sind die Leiterströme nach den Ihnen aus den Grundlagen der Elektrotechnik bekannten Formeln zu berechnen.

$$\text{Leitung 1: } I_1 = \frac{N_W}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{15000}{380 \cdot \sqrt{3}} = 23 \text{ A}$$

Bis zur Lichtverteilung ist die Spannung 380 V.

$$\text{Leitung 2: } I_2 = \frac{N_W}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} = \frac{60000}{380 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,75} = 121 \text{ A}$$

$$\text{Leitung 3: } I_3 = \frac{50000}{380 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,7} = 108 \text{ A}$$

$$\text{Leitung 4: } I_4 = \frac{N_A}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{20000}{380 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 0,85} = 42 \text{ A}$$

N_A = mechanische Leistung, die der Motor abgibt!

Der Gesamtstrom für das Hauptkabel beträgt dann

$$I_g = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 25 + 121 + 108 + 42 \text{ A}$$

$$I_g' = \underline{\underline{294 \text{ A}}}$$

Praktisch wird dieser hohe Strom im Hauptkabel nie auftreten, weil niemals sämtliche Motoren gleichzeitig und voll belastet sind. In diesem Falle kann erfahrungsgemäß mit 2/3 dieses Gesamtstromes gerechnet werden.

$$I_g' = 294,0 \cdot 0,66 = 194 \text{ A.}$$

Es ergeben sich folgende Querschnitte und Sicherungen:

Laut Aufgabenstellung soll für die Hauptleitung und auch für die Kraftleitungen Kunststoffkabel mit Al-Leiter verlegt werden.

1. Die Hauptleitung $I_g' = 194 \text{ A}$
nach Tafel 9 für die Erdverlegung der
Querschnitt
 $F = \underline{\underline{95 \text{ mm}^2 \text{ Al}}}$

Sicherung NH-Patronen 200 A, träge

2. Kraftverteilung I $I = 121 \text{ A}$
nach Tafel 10 für Luftverlegung
 $F = \underline{\underline{70 \text{ mm}^2 \text{ Al}}}$, Sicherung: Stöpselsicherung
125 A, träge.

3. Kraftverteilung II $I = 108 \text{ A}$ nach Tafel 10
für Luftverlegung $F = \underline{\underline{50 \text{ mm}^2 \text{ Al}}}$, Sicherung:
Stöpselsicherung 100 A, träge.

Diese kleine Stromüberschreitung von 8 A ist bei der voll-trägen Sicherung im Hinblick auf den Anschlußwert bedeutungslos.

4. Leitung Motor 4 I = 42 A

Hier muß die höhere Umgebungstemperatur von 40°C berücksichtigt werden. Nach Tafel 10 wählt man vorerst $F = 25 \text{ mm}^2$, normal belastbar, 70 A.

Reduzierte Belastung

$$I_1 = I \cdot \sqrt{\frac{t_{u_1}}{t_u}} = 70 \cdot \sqrt{\frac{15}{35}} = 70 \cdot 0,665 = 45,8 \text{ A}$$

Die Übertemperaturen betragen bei: $I_1 = 45,8 \text{ A}$

$$t_{u_1} = t_L - t_u; t_{u_1} = 55 - 20 = 35^\circ\text{C}$$

$$t_{u_1} = t_L - t_{u_1}; t_{u_1} = 55 - 40 = 15^\circ\text{C}$$

Das 25 mm² Kabel kann in dem Raum von 40°C noch mit 45,8 A belastet werden. Der gewählte Querschnitt vom 25 mm² genügt also.

Dazu eine Stöpselsicherung 50 A, träge.

5. Lichtleitung

Für die Lichtleitung kommt NYA in Rohr zur Verlegung

$$I = 22,8 \text{ A}$$

Nach Tafel 12, Gruppe 1 wird $F = 10 \text{ mm}^2$ Al gewählt. Dazu eine Stöpselsicherung 25 A träge.

Nach VDE 0100 Ü würde $F = 6 \text{ mm}^2$ genügen.

Bei gegebener Länge der Leitung ist für die Querschnittswahl aus Gründen der wirtschaftlichen Übertragung noch der Spannungsverlust zu berücksichtigen. Die Berechnung des Spannungsverlustes wird im nächsten Lehrbrief behandelt.

Zusammenfassung

Aus Gründen der Betriebssicherheit muß der Querschnitt der Leitungen so gewählt werden, daß sich diese bei genügender mechanischer Festigkeit beim Stromdurchgang nicht unzulässig

sig erwärmen. Die mechanische Sicherheit wird durch die Einhaltung der vorgeschriebenen Mindestquerschnitte gewährleistet.

Um unzulässige Erwärmung der Leitungen zu vermeiden, müssen die vom VDE festgelegten Bestimmungen über die Grenz- oder Übertemperaturen für isolierte Leitungen und Kabel eingehalten werden. Nach diesen Übertemperaturen wurden die Belastungstafeln für isolierte Leitungen und Kabel aufgestellt.

Bei höheren Umgebungstemperaturen als 20° bzw. 25°C muß der Querschnitt entsprechend dem nach Formel 3 errechneten Strom gewählt werden. Wichtig ist ferner die richtige Wahl zwischen flinken oder trägen Sicherungen.

Leistungsschalter mit elektromagnetischen und thermischen Auslösern sollte man bei höheren Strömen bevorzugen, weil nur mit diesen Schaltern der wirksamste Schutz erzielt wird und außerdem wertvolles Leitungsmaterial eingespart werden kann.

Ü b u n g e n

8. Warum sind in Rohr verlegte isolierte Leitungen am wenigsten belastbar?
9. Wie wirken sich von der normalen Umgebungstemperatur abweichende Umgebungstemperaturen auf die Belastbarkeit der Leitungen aus?
10. Was ist bei Querschnittsverjüngungen hinsichtlich der Absicherung zu beachten?
11. Warum ist eine träge Sicherung als alleiniger Motorschutz ungeeignet?
12. Warum sollen flinke Sicherungen niemals vor träge Sicherungen geschaltet werden?
13. Eine 300 m lange Freileitung wird direkt über Schalter und Sicherungen an einen Umspanner angeschlossen.

Die Spannung der Anlage beträgt 380/220 V. Der Querschnitt der Leitung 50 mm^2 Al, der Querschnitt des Sternpunktleiters 25 mm^2 Al.

Berechnen Sie den Kurzschlußstrom, der auftritt, wenn am Ende der Leitung ein Außenleiter mit dem Sternpunktleiter kurzgeschlossen sind.

14. Wählen Sie den Querschnitt und die Sicherung einer kurzen Motorleitung. Die mechanische Leistung des Motors beträgt 15 kW, der $\cos \varphi = 0,9$ und der Wirkungsgrad $\eta = 0,86$, die Spannung der Anlage 220 V. Es muß mit Umgebungstemperaturen von 35°C gerechnet werden.

4. Verlegung von Starkstromleitungen

4.1 Allgemeines über Leitungsverlegung

Die verschiedenenartigen Leitungen, deren Aufbau und Verwendungsbereich in Tafel 3 zusammengefaßt wurden, erfordern eine fachmännische Verlegung, wobei die Leitungsart und die Beschaffenheit der Räume zu beachten sind. Die Vorschriften über Leitungsverlegung in Starkstromanlagen sind in VDE 0100, §§ 21 - 37 aufgeführt.

§ 21a schreibt vor: Festverlegte Leitungen müssen durch ihre Lage oder durch besondere Verkleidung vor mechanischer Beschädigung geschützt sein; soweit sie unter Spannung gegen Erde stehen, ist im Handbereich stets eine besondere Verkleidung zum Schutz gegen mechanische Beschädigung erforderlich.

! Eine Ausnahme hiervon sind festverlegte Leitungen in elektrischen Betriebsräumen, abgeschlossenen elektrischen Betriebsräumen und Betriebsstätten. (Siehe §§ 28d und g sowie § 50a).

Für Erfüllung dieser Vorschriften gibt es verschiedene Möglichkeiten:

1. Die Leitung wird so im Raume verlegt, daß eine mechanische Beschädigung normalerweise ausgeschlossen ist.
Diese Verlegungsart wird bei offenen Leitungen angewandt.
2. Die Leitungen erhalten mechanisch widerstandsfähige Rohre oder Schutzverkleidung. (Siehe § 26)
3. Die Leitung besitzt durch ihren Aufbau genügend mechanische Widerstandsfähigkeit, wie es z.B. bei Rohrdrähten, Mantelleitungen, Starkstromkabel usw. der Fall ist.

Finden die Leitungen besonders hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt (z.B. in Fabriken, Fußböden usw.), so gelingt die mechanische Widerstandsfähigkeit normaler Rohre, Rohrdrähte usw. nicht. Die Leitungen müssen dann noch durch Schutzrohre oder Schutzverkleidungen geschützt werden. Bei ihrer Verlegung von Leitungen kommt es darauf an, daß der vom Hersteller gerantierte Isolationswert erhalten bleibt und nicht durch Beschädigung bei der Montage herabgesetzt wird. Nach Fertigstellung der Anlage bzw. bei Inbetriebnahme derselben, ist unbedingt eine Isolationsprüfung durchzuführen. In den weiteren Kapiteln dieses Abschnittes wird die Verlegung von Leitungen unter 1000 V in knapper Form behandelt. Mehreres finden Sie im Handbuch der Elektrotechnik von Warhulin/Nell, Band II, Abschnitt D, Fachbuchverlag Leipzig. (Die Verlegung von Freileitungen wird in dem Lehrbrief über Freileitungen mit behandelt)

4.2 Offene Verlegung

Unter offener Verlegung versteht man die Verlegung isolierter Leitungen NGA, NGAW und NYA auf Isolierkörpern. (Porzellanrollen, Porzellanglocken u. dgl.). Wie in Kapitel 1.41 schon erwähnt wurde, müssen offene Leitungen so verlegt werden, daß mechanische Beschädigungen normalerweise ausgeschlossen sind. Offen verlegte Leitungen müssen im Handbereich, d.h. bis 2,5 m Abstand vom Fußboden, eine Schutzverkleidung durch Installationsrohre erhalten. Es darf darüber hinaus auch keine Berührung von der Seite aus, z.B. von Treppen, Galerien usw. möglich sein.

Die offene Verlegung kann in trockenen Räumen, feuchten Räumen und auch im Freien angewendet werden. Innerhalb von Gebäuden findet diese Verlegungsart infolge vieler Mängel (Staubfänger, schlechter Schutz, Durchhängen, schlechtes Aussehen und dergleichen) nur noch in Kellern, Lagerräumen usw. Anwendung. Die offene Verlegung hat aber wie jede andere Verlegungsart ihre besondere Vorteile.

In Fabrikräumen wird die Leitungsführung oft durch die Deckenbauart erschwert. In solchen Fällen kann die offene Verlegung vorteilhafter sein. Es kann auch der Querschnitt nach VDE 0100, § 20 und 20a besser ausgenutzt und damit wertvolles Leitermaterial eingespart werden. Sehr starke Querschnitte ab 95 mm^2 werden bekanntlich nicht mehr in Rohr verlegt. Man hat dann die Wahl zwischen Starkstromkabel und NGA bzw. NYA in offener Verlegung. Die offene Verlegung ist entschieden billiger und führt zu erheblichen Materialeinsparungen. Bei der Projektierung von Niederspannungsanlagen für Fabriken sollte deshalb aus volkswirtschaftlichen Gründen die offene Verlegung mehr als bisher angewendet werden.

Bei der Verlegung offener Leitungen ist noch folgendes zu beachten:

1. Um den Leitungsdurchhang möglichst klein zu halten,

sollen die Befestigungsstellen für die Leitungen an der Wand 90 cm voneinander entfernt angeordnet werden. Bei der Leitungsführung an der Decke soll ein Abstand von 150 cm nicht überschritten werden.

Nach VDE 0100, § 21,5 wird für den Abstand isolierter Leitungen von der Wand in Gebäuden mindestens 1 cm, im Freien mindestens 2 cm gefordert.

2. Im Freien müssen offen verlegte Leitungen mindestens 2,5 m vom Erdboden entfernt sein. Wo aber beladene Wagen verkehren, muß der Mindestabstand vom Erdboden nach VDE 0100, § 23,4 mindestens 6 m betragen. Bei Deckendurchführungen müssen gemäß VDE 0100, § 24,1 die Leitungen in Rohr verlegt werden. Bei Wanddurchführungen genügen entsprechend weite Kanäle.
3. Die Verlegung offener Leitungen bis 6 mm² erfolgt auf Porzellanklemmen oder gewöhnlichen Rollen in trockenen Räumen, bzw. auf Rollen mit großer Oberfläche in feuchten Räumen.

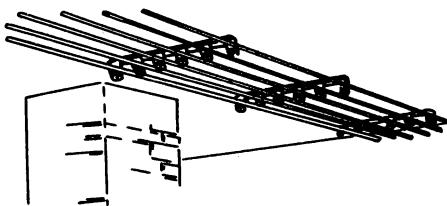


Bild 11 Leitungsverlegung auf Rollen

4.3 Verlegung von Leitungen in Rohren

4.31 Allgemeines über Installationsrohre und deren Verlegung

Die Verlegung isolierter Leitungen in Rohren war bisher bei Gebäudeinstallationen am meisten gebräuchlich. Es werden verschiedene Arten von Installationsrohren hergestellt, die sich aber mit Ausnahme der PVC-Rohre¹ nur für die Verlegung in trockenen Räumen eignen. Für die Verlegung kommen gegenwärtig folgende Rohrarten in Betracht:

1. Imprägniertes Papierrohr
2. Isolierrohr mit verbleitem Eisenmantel
3. Gummirohr
4. Stahlrohr
5. Stahlpanzerrohr
6. Peschelrohr (Steckrohr)
7. Thermoplastische Rohre
8. Copexrohr

Die Installationsrohre werden für folgende lichte Weiten hergestellt:

9, 11, 13,5, 16, (21), 23, 29, 36, (42) und 48 mm.

Die eingeklammerten Werte gelten für Stahl und Stahlpanzerrohre. An Installationsrohre werden folgende Anforderungen gestellt:

1. Genügende mechanische Festigkeit
2. Hohe Feuersicherheit
3. Chemische Unempfindlichkeit
4. Weitgehende Temperaturunabhängigkeit
5. Gute Verarbeitungsmöglichkeit

Die Wahl der Rohrart richtet sich nach den jeweiligen örtlichen Erfordernissen.

¹⁾ Diese Rohre werden größtenteils aus Polyvinylchlorid hergestellt und PVC-Rohre genannt. Sie wurden nach 1945 entwickelt.

Für die Verlegung in Rohr sind folgende 2 Punkte wichtig:

1. Die Rohre müssen so verlegt sein, daß sich in ihnen kein Wasser ansammeln kann.
2. Die lichte Weite der Rohre muß so groß gewählt werden, daß die Drähte ohne Beschädigung eingezogen werden können. (Siehe Tafel 14)

Für NYA-Leitungen kann die Rohrweite eine Stufe kleiner als die Tafel vorschreibt gewählt werden, In Wechselstromanlagen dürfen einzelne Leitungen nicht in Rohren mit Metallmantel verlegt werden, weil in dem Mantel Spannungen induziert und Induktionsströme hervorgerufen werden, was eine u.U. beträchtliche Erwärmung des Mantels zur Folge haben kann.

4.32 Verlegung der Rohrarten

1. Imprägnierte Papierrohre

Die Verwendung dieser Rohre ist nach den Übergangsvorschriften VDE 0100 Ü IV/52 nur für die Verlegung unter Putz in trockenen Räumen zulässig, Papierrohr ist mechanisch nicht sehr widerstandsfähig und läßt sich nicht gut biegen. Es wird deshalb nur selten und nur für gerade Strecken verwendet.

2. Isolierrohr mit verbleitem Eisenmantel (Verlegung auf Putz)

Diese Rohrart wurde in den Vorkriegsjahren allgemein für Installationen in trockenen Räumen verwendet.

Es wird heute zum Teil durch thermoplastische Rohre verdrängt. Eine Verlegung von Isolierrohren mit Metallmantel ist nur für die Verlegung auf Putz gerechtfertigt und wird für solche Räume bevorzugt, wo man diese Rohre nicht als unschön empfindet. (Z.B. Fabrikräume, Lagerräume usw., ebenso bei Nachinstalltionen in Altbauten).

Tafel 14
Zuordnung der Leitungen zu den Rohrweiten der Falz- und Gummirohre
(DIN 49048)

Leiter- quer- schnitt mm ²	1 NGA			2 NGA			3 NGA			4 NGA o.			5 NGA u.			1 NL			1 NGA		
	über Putz	unter Putz	über Putz																		
1,5	-	-	11	13,5	13,5	16	16	23	23	23	11	13,5	13,5	16	16	16	16	16	16	16	16
2,5	-	-	13,5	16	16	16	16	23	23	23	13,5	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
4	11	13,5	16	23	23	23	23	29	29	29	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
6	11	13,5	16	23	23	23	23	29	29	29	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
10	13,5	16	23	23	23	23	23	29	29	29	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
16	13,5	16	23	23	23	23	23	29	29	29	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
25	16	23	29	36	36	36	36	48	48	48	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
35	23	23	36	36	36	36	36	48	48	48	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
50	23	23	36	48	48	48	48	48	48	48	36	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
70	23	29	48	48	48	48	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	29	36	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120	29	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	36	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
185	36	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bei NYA Leitungen kann die Rohrweite eine Stufe tiefer gewählt werden.

Die Rohre werden einheitlich in Längen von 3 m geliefert. Sie werden durch Metallmuffen miteinander verbunden. Zum Biegen der Rohre dienen eigens dafür bestimmte Biegezangen, die den einzelnen Rohrweiten entsprechen. Für scharfe Ecken sind Winkelstücke zu verwenden. Vor dem Einschieben des Rohres in Winkel und T-Stücke, Schalter und Abzweigdosen ist der Metallmantel in einer Länge von 0,5 bis 1 cm zu entfernen. Für Leitungsabzweige werden entweder Porzellan-abzweigdosen (U-Dosen) mit festeingebauten Klemmen oder verbleite Dosen mit festen Rohrstützen und einzusetzendem Klemmring verwendet. Porzellandosen werden vorwiegend in Wohn- und Kontorräumen, verbleite Dosen dagegen in Fabrik-, Kellerräumen usw. benutzt. Zur Befestigung der Rohre dienen Rohrschellen, die in einem Abstand von 60-80 cm an die Wand genagelt oder geschraubt werden.

Die Leitungsführung soll so sein, daß sich nirgends Wasser in den Rohren ansammeln kann.

Verlegung unter Putz

Für die Verlegung unter Putz sollte man aus volkswirtschaftlichen Gründen möglichst kein Isolierrohr mit Metallmantel mehr verwenden. Der Metallmantel ist nur als mechanischer Schutz bei Installationen auf Putz gerechtfertigt. Für die Verlegung unter Putz gibt es genügend andere Rohrarten ohne Metallmantel. Sie kommt hauptsächlich für Neu- und Umbauten in Frage, vor allem aber dort, wo die Schönheit eines Raumes durch Leitungen auf Putz beeinträchtigt würde. Die Rohre werden nach Möglichkeit in die Mauerfugen oder in vorbereitete Nuten gelegt und sollen mit dem Mauerwerk bündig liegen. Für die Unterputzverlegung sind Winkel- oder T-Stücke nicht zu verwenden, denn die Leitungsdrähte muß man jederzeit ohne Schwierigkeit auswechseln können. In langen Strecken müssen deshalb auch in gewissen Abständen Durchgangsdosen (verbleite Dosen) eingebaut werden. Auf große Bögen ist besonders zu achten, siehe Bild 12.

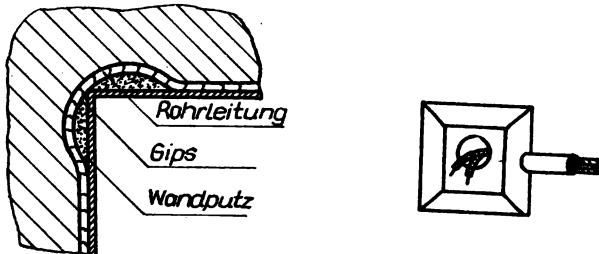


Bild 12 Schlanker Bogen an einer Ecke

Für Abzweige kommen ausschließlich verbleite Dosen in Betracht. Die Rohre werden auch durch Stahlstifte oder Rohrhaken an der Mauer befestigt. Schalter und Steckvorrichtungen können bei Unterputzinstallationen in hierfür in die Wand eingesetzte verbleite Dosen (Schalterdosen) eingebaut werden. Das Rohr wird in diese Holzdübel eingeführt. Eine Darstellung sehen Sie in Bild 13.

Zur Einsparung des wertvollen Bleis erhalten die Eisenmäntel der Rohre Überzüge aus anderen Metallen oder auch Lacküberzüge.

Bild 13 Holzdübel mit Leitungsdurchführung für Steckdose

3. Gummirohr

Gummirohre werden fast ausschließlich für die Verlegung unter Putz verwendet. Sie besitzen keinen Metallmantel und werden ebenfalls in Längen von 3 m geliefert. Gummirohre lassen sich wegen ihrer guten Biegsamkeit besser als

Isolierrohre verlegen. Außerdem kann Gummirohr leicht allen Krümmungen angepaßt werden. Bei kleinen Krümmungen findet man über dem Rohr Wendel aus verzinktem Eisendraht. Diese Wendel werden eng gewickelt, auf das Rohr gebracht und dann auseinandergezogen, so daß zwischen 2 Windungen ca. 1 cm Abstand entsteht. Durch diese Wendel wird dem weichen Rohr die notwendige Festigkeit gegeben, die zur Vermeidung von Knicken erforderlich ist. Für die Verlegung mit Gummirohr werden meist Abzweigdosen aus Isolierstoff verwendet. In Ausnahmefällen können aber auch verbleite Dosen benutzt werden. Gummirohre sind für die Verlegung in Räumen mit Temperaturen über 35°C ungeeignet, weil infolge der höheren Temperatur der Alterungsprozeß schneller als sonst vor sich geht.

4. Stahl- und Stahlpanzerrohre

Beide Rohrarten werden dort verwendet, wo ein erhöhter mechanischer Schutz der Leitungen erforderlich ist. Sie können an Wänden und Decken offen oder auch unter Putz verlegt werden. Oft werden sie auch im Flußboden und in Kanälen verlegt oder fest eingemauert. Vielfach werden sie auch für Installationen an Maschinen, z.B. Werkzeugmaschinen, an Kränen oder in explosionsgefährdeten Räumen benutzt. Sie eignen sich auch besonders gut bei Deckenübergängen. Beide Rohrarten unterscheiden sich durch die isolierende Auskleidung. Im Gegensatz zum Stahlpanzerrohr wird das Stahlrohr ohne Auskleidung hergestellt. Trotz des höheren Isolationswertes der Auskleidung wird heute aus wirtschaftlichen Gründen das billige Stahlrohr verwendet. Früher wurde das Stahlpanzerrohr auch in feuchten Räumen verlegt. Heute ist es dort durch die Feuchtraumleitungen (NRU) verdrängt worden. Die Verbindung der Stahlrohre erfolgt durch Schraubmuffen. Dosen und Geräte werden ebenfalls mit dem Rohr verschraubt.

Beim Übergang von einer Rohrweite auf eine andere Rohrweite werden Reduzierstücke verwendet. Die Stahlpanzermuffe und den Reduziernippel zeigt Bild 14.



Bild 14 Stahlpanzermuffe mit Reduziernippel

Das Stahlrohr wird auch als Steckrohr hergestellt, bei dem die Verbindung durch Steckmuffen aus Stahl erfolgt. Zum Biegen des Rohres werden besondere Biegevorrichtungen benutzt. Rechtwinklige Bogen werden auch fabrikationsmäßig hergestellt.

5. Peschelrohr

Hierunter versteht man geschlitztes oder gefalztes Stahlrohr. Es weist fast die mechanische Festigkeit wie Stahlrohr auf, ist aber weit billiger als dieses. Die Montage wird einfacher, da jegliches Gewindeschneiden entfällt. Peschelrohr hat keine Auskleidung. Es ist innen und außen mit eingebranntem Lack überzogen. Es wird in lichten Weiten von

8, 14, 18, 26, 37 mm

hergestellt. Peschelrohr wird ausschließlich in trockenen Räumen verlegt. Es ist besonders geeignet für Installationen in Maschinenfabriken, Lagerräumen, Schalthäusern und trockenen Kellerräumen. Eine Verlegung in explosionsgefährdeten Räumen oder in solchen Räumen, wo chemische Einflüsse zu erwarten sind, ist verboten.

Zur Befestigung der Rohre werden Rohrschellen oder Haken verwendet. Werden mehrere Rohre nebeneinander verlegt,

so ist die Verwendung von Schlitzbandeisen zu empfehlen. An der Decke wird es auf zweckmäßig aufgeschlitzten Eisenbügeln verlegt. (Siehe Bild 15).

Bei waagerechter Verlegung an der Wand werden Tragschichten verwendet.

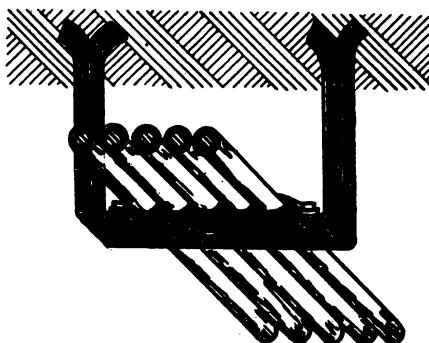


Bild 15 Verlegung
von Peschelrohr auf
Schlitzzeisenbügeln

6. Thermoplastische Rohre

Anstelle der üblichen Isolierrohre mit Metallmantel und vielfach auch anstelle der Peschel- sowie Stahlpanzerrohre können heute auch thermoplastische Rohre verwendet werden. (PVC-Rohre)

Sie sind unter verschiedenen Namen wie Dezilith- und Vindurohr zu haben. Die Herstellungslängen der Rohre betragen 3 - 4m. Der besondere Vorteil der PVC-Rohre liegt in der vielseitigen Verwendungsmöglichkeit. Infolge der Eigenschaften des Kunststoffes können diese Rohre für Installationen über sowie unter Putz, in feuer- und explosionsgefährdeten Räumen, im Freien, sowie in feuchten und chemisch gefährdeten Räumen verlegt werden.

Die Richtlinien für die probeweise Zulassung wurden am 7. 7. 50 von der KdT herausgegeben. Je nach Verwendung werden diese Rohre für 3 verschiedene Druckfestigkeiten hergestellt. Die Druckfestigkeit ist auf den PVC-Rohren ver-

merkt. Die Verwendung der 3 Stufen ist folgende:

Druckfestigkeit in kp/cm²

Verwendung:

0,5

In trockenen Wohn- und Geschäftsräumen ohne besondere mechanische Gefährdung.

2,5

Im Freien sowie in feuchten Räumen, durchtränkten und ähnlichen Räumen.

6

In feuer- und explosionsgefährdeten Betriebs- und Lagerräumen.

Ein weiterer Vorteil der thermoplastischen Rohre ist die hohe Durchschlagfestigkeit von ca. 5 kV/mm.

Werden PVC-Rohre in feuchten oder chemisch gefährdeten Räumen verlegt, so können die ohnehin schon straffsitzenden Muffen noch zusätzlich mit einer Spezialmasse abgedichtet werden.

Bei der Verwendung von PVC-Rohren muß beachtet werden, daß sie bei Temperaturen über 40°C weich werden. Daher können sie nur in Räumen verlegt werden, in denen die Temperatur von 35°C nicht überschritten wird.

Bei der Verlegung ist ferner noch zu beachten, daß die PVC-Masse bei Temperaturen unter 0°C hart und spröde wird. PVC-Rohre sollen daher nicht bei Temperaturen unter 0°C verlegt werden. Ist das Rohr jedoch verlegt, so wirken sich die tiefen Temperaturen nicht ungünstig aus; es sei denn, es muß mit Stoßbeanspruchungen gerechnet werden. In solchen Fällen müßten die PVC-Rohre noch einen besonderen Schutz erhalten. Die Rohre wurden bisher noch nicht nach den

VDE - Normen hergestellt.

Die Maßhaltigkeit dieser Rohre ist zur Zeit noch nicht so einwandfrei wie bei den übrigen Rohrarten.

Zur Herstellung eines Bogens muß das Rohr vorher auf eine Länge von 20 - 30 cm mit der Lötlampe erwärmt werden. Zur Vermeidung von Faltenbildung empfiehlt sich eine vorherige Einfüllung von warmen Sand. Bei der Verlegung langer gerader Strecken über Putz muß berücksichtigt werden, daß die Längenausdehnung dieser Rohre etwa 7 x so groß wie bei Stahlrohren ist. Es müssen dann Dehnungsbögen vorgesehen werden. Man kann wohl jetzt schon sagen, daß Kunststoff-Rohre - insbesondere PVC-Rohre in Zukunft in größerem Umfange als bisher verwendet werden. Der Grund dafür ist die Einsparung volkswirtschaftlich wichtiger Rohstoffe, insbesondere Stahl, ferner die vielseitige Verwendbarkeit. Sämtliche bei der Montage zu beachtenden Einzelheiten sind einem von der KdT im Juli 1953 herausgegebenen Merkblatt für die Verlegung von Kunststoffrohren zu entnehmen.

7. Copex-Rohre

Dieses Rohr wird wegen seiner Biegsamkeit oft auch als Copex-Schlauch bezeichnet. Es ist ein metallbewehrtes Installationsrohr und hat isolationstechnisch und mechanisch ähnliche Eigenschaften wie Isolierrohr mit Metallmantel. Infolge des höhren Preises ist seine Verwendung gering. Copex-Rohr wird besonders dort verwendet, wo viele Bogen vorkommen, z.B. bei Anschlüssen an Maschinen, aber nur dort, wo es gegen Schlag und Stoß geschützt liegt.

4.4 Verlegung von Rohrdrähten

Der Rohrdraht ermöglicht wegen seines geringen Durchmessers eine unauffällige Installation auf Putz. Der Rohrdraht ist deshalb zur Verlegung in bereits eingerichteten Wohn- und Büroräumen geeignet, in denen eine Verlegung unter Putz ohne besonderen Arbeitsaufwand oder große Störung nicht

mehr möglich ist. Besonders gut geeignet ist Rohrdräht für solche Räume, die noch tapiziert werden. Nachdem der Rohrdräht mit Tapete überklebt ist, fällt er sehr wenig auf. Rohrdrähte werden in Längen bis 50 m, zu großen Ringen zusammengerollt, geliefert. Rohrdrähte können auch unter Putz verlegt werden, jedoch nur die Typen mit M (z.B. NRAM usw. siehe Tafel 3). Auf Putz werden Rohrdrähte direkt an der Wand verlegt und mit Schellen befestigt. Der Abstand der Befestigungsschellen soll 50 cm nicht überschreiten. Das Biegen des Rohrdrähtes erfolgt mit Spezialbiegezangen. Zum Richten des Drahtes werden Geraderichter nach Bild 16 verwendet.

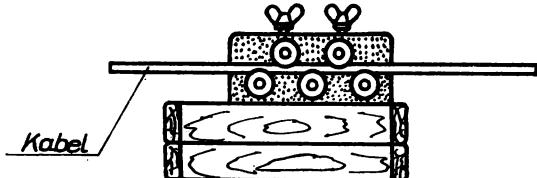


Bild 16 Geraderichter für kabelähnliche Leitungen

Beim Abmanteln darf der Rohrdräht nur leicht eingeritzt werden, damit der Beidraht und die Isolation nicht beschädigt werden. Für Abzweige sind, besonders für Rohrdräht hergestellte, Spezialabzweigdosen zu verwenden. Damit die Forderung nach VDE 0100, §3b erfüllt ist, muß bei der Einführung des Rohrdrähtes in die Abzweigdose darauf geachtet werden, daß der Metallmantel bis unter die Abdeckklappe der Dose reicht.

4.5 Verlegung von Stegleitungen

Die Stegleitung wird oft Impu-Leitung genannt, weil sie vorwiegend für die Verlegung im Putz bestimmt ist. Sie ist aus 2 oder 3 in einer Ebene angeordneten Kupferleitern aufgebaut. Siehe Bild 17.

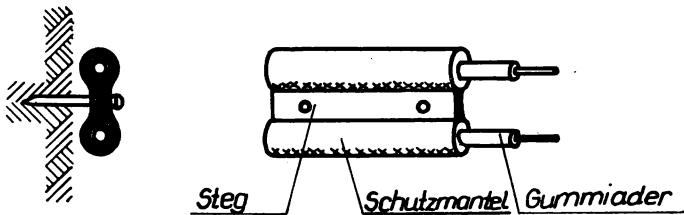


Bild 17 Stegleitung oder Impuleitung

Nach VDE 0160 Ü/49 kann diese Leitung in oder unter Putz verlegt werden. Eine Verlegung der Leitung auf Putz ist unzulässig, weil dann der mechanische Schutz der Putzschicht für die Leitung fehlt. Unzulässig ist auch das Aufnageln der Leitungen auf Kehrleisten oder an Wänden in Holzbaracken.

In den Hohlräumen des Fehlbodens über der Zimmerecke dürfen Stegleitungen verlegt werden. Der große Vorteil bei der Verlegung von Stegleitungen im Putz ist der Wegfall der üblichen Stemmvorarbeiten. Die dadurch erzielten Ersparnisse an Arbeitszeit ist beachtlich. Abgesehen davon, daß diese Leitungen ohne Metallmantel hergestellt werden, fallen auch noch die Installationsrohre bei der Verlegung von Stegleitungen fort.

Für Stegleitungen werden besondere Abzweig- und Apparatedosen hergestellt. Diese Dosen werden als Flachbau-Installationsmaterial bezeichnet. Die Tiefe der Abzweig- und Schalterdosen wurde der Putzstärke von 15 mm angepaßt. Sie sind also so flach ausgeführt, daß sie weitgehend in der Putzschicht Platz finden und die Stemmarbeiten normalerweise wegfallen. Eine Abzweigdose zeigt Bild 18.

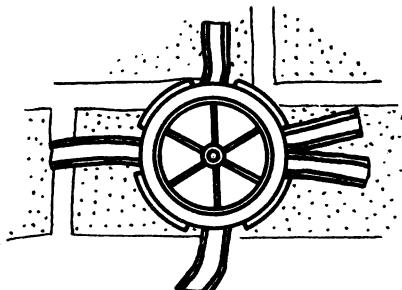


Bild 18 Abzweigdose unter Putz mit Putzscheibe

Die Apparatedosen sind für Schalter, Steckdosen usw. bestimmt. Die Apparate- und Abzweigdosen werden genau so wie die Stegleitungen auf das rohe Mauerwerk durch Dübel oder Gips, neuerdings auch durch Kleben montiert. Die Befestigung der Leitung erfolgt durch Bandschellen oder Stahlstifte.

Damit die einwandfreie Installation der Flachbauteile gewährleistet ist, muß als Voraussetzung eine gleichmäßige Einhaltung der 15 mm Putzstärke garantiert sein. Es hat sich in der Praxis jedoch gezeigt, daß die Stärke des Putzes oft nicht gleichmäßig ist, sondern stellenweise stark voneinander abweicht. Diese Tatsache wirkt sich ungünstig für die Verwendung der Flachbauteile aus.

Es besteht nun die Möglichkeit, daß bisher übliche Unterputzmaterial für Rohrinstallationen zu verwenden. Um jedoch ein einheitliches Material für beide Installationsmethoden (Rohr- und Stegleitung) zu erhalten, wurde ein drittes, das halbversenkte Installationsmaterial entwickelt. Die halbversenkten Bauteile haben bezüglich der Abdeckung etwa den gleichen Aufbau als das übliche Unterputz-Material für Rohrinstallationen, die Einbauhöhe hingegen liegt zwischen letzteren und der Flachbauweise. Die Einbauhöhe

des halbversenkten Installationsmaterials macht daher wieder Stemmarbeiten notwendig. Ferner ist das halbversenkte Installationsmaterial viereckig, was sich beim Ausstemmen etwas nachteilig auswirkt.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß nach der Installation von Stegleitungen eine sofortige und gründliche Überprüfung der Anlage zu empfehlen ist, da nach dem Verputzen oder Tapezieren der Wände ein nachträgliches Auswechseln der Leitung ohne Beschädigung der Wand nicht mehr möglich ist.

Die Installation mit Stegleitung ist gegenüber der Verlegung mit Rohrleitungen nicht als Ersatzinstallation aufzufassen, sondern es handelt sich hierbei um eine vollwertige Installationsmethode, die, wenn sie richtig ausgeführt wird, auch den VDE-Vorschriften entspricht. Ein Nachteil gegenüber der Rohrleitungsininstallation besteht nur darin, daß keine Möglichkeit der Auswechslung von Drähten gegeben ist. Demgegenüber steht der große Vorteil der Einsparung an Arbeitszeit und Kosten.

4.6 Horizontales Installationssystem

Mit dem sprunghaften Ansteigen des Wohnungsbaues ergab sich als Forderung die Rationalisierung und Industrialisierung des Bauablaufes. Diese Forderung besteht auch bei der Errichtung der elektrischen Installationsanlagen. Man hat in letzter Zeit völlig neue Wege auf dem Gebiet der Installationstechnik beschritten und muß das künftig noch mehr als bisher tun. In jedem Falle kommt es darauf an, schneller und billiger zu installieren und soweit als möglich eine werkstattmäßige Vorfertigung einzubeziehen. Die Installationstechnik muß sich aber auch der Bautechnik anpassen. Zweifellos ist die Stegleitungsininstallation bereits eine neue Installationsmethode. Sie ist aber nur dort zweckmäßig, wo eine ausreichende Putzschicht vorhanden ist (mind. 10, besser 15 mm).

Bei der Großplattenbauweise werden die Großplatten bereits mit einer Putzschicht von 5 mm angeliefert. Das Einkratzen der Stegleitungen in diese 5 mm starke Putzschicht ist unzweckmäßig, das Ausstemmen der Kanäle für Isolierrohre praktisch unmöglich.

Diese Schwierigkeiten werden mit Hilfe des horizontalen Installationssystems überwunden. Bei diesem System werden die Leitungen nicht innerhalb der Wohnung verlegt, sondern auf dem Rohfußboden der darüberliegenden Wohnung. Die Speisung der Brennstelle in den einzelnen Räumen erfolgt von einer zentralen Deckendose aus. Die Einspeisung der zentralen Deckendose kann über eine Ringleitung erfolgen. Die Sicherungen, Zähler usw. werden im Flur eingebaut.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, daß im Flur oder im Vorsaal der Wohnung ein Zentralklemmverteiler eingebaut wird. Von dem Zentralklemmverteiler aus, der mit Sicherungen ausgerüstet ist, werden in Form eines Strahlnetzes die Leitungen zu den einzelnen Brennstellen gelegt. (Bild 19)

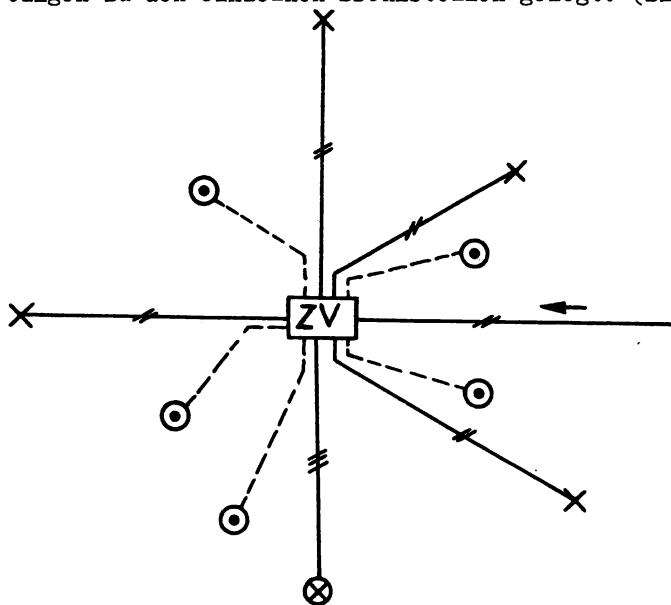


Bild 19

Die Leitungsverlegung für die zu installierende Wohnung erfolgt ebenfalls auf dem Fußboden der darüberliegenden Wohnung.

Aus Gründen der mechanischen Festigkeit verwendet man für die horizontale Installation keine Stegleitungen, sondern NYM-Leitungen, 2 oder 3 x 2,5 mm² Al. Erst wenn die Leitung auf dem Rohfußboden verlegt ist, wird der schwimmende Estrich aufgebracht.

Zur Vermeidung der bisher üblichen Schalter und Schalterleitungen kann man bei diesem Installationssystem Fernschalter und Drucktaster verwenden. Die Fernschalter, welche sich für Aus- und Serienschaltung eignen, werden im Zentralverteiler montiert. Der Fernschalter schließt die Kontakte für die Starkstromleitung, er wird aber selbst durch die Drucktaster mittels Schwachstrom gesteuert. Durch die Betätigung der Drucktaster mit Schwachstrom werden die sonst notwendigen Schalterleitungen durch dünne Schwachstromleitungen ersetzt, die besser in der Wand verlegt werden können. Weiterhin ist eine vollkommene Sicherung gegen gefährliche Berührungsspannung gegeben. Diese Taster können daher auch in Baderäumen installiert werden.

Für die Steckdosen wird ein getrennter Stromkreis angeordnet. Das entspricht in jedem Falle einer modernen Wohnung. Bei dem horizontalen Installationssystem legt man meistens eine Steckdoseningleitung, die vom Zentralverteiler aus gespeist wird. (Siehe Bild 20)

Für die Horizontal-Installation wurde vom VEB Elektroinstallation Luckenwalde eine Fußleistensteckdose hergestellt. (Bild 21) Durch diese Steckdose ist man in der Lage, die NYM-Leitung auf dem Fußboden auszulegen und an jeder Steckdose in dem Schaft derselben hochzuführen. Die Steckdosenleitung wird also nicht mehr in die Wand gelegt.

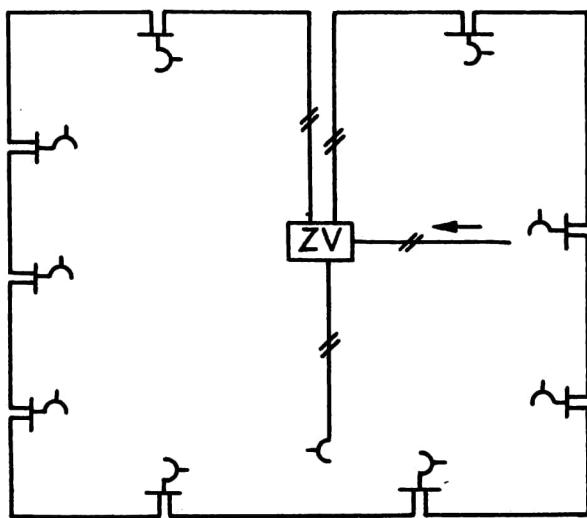


Bild 20

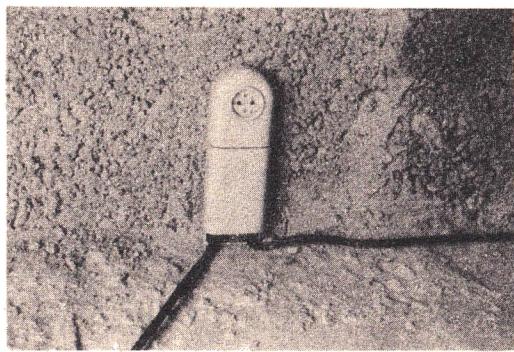


Bild 21

Als einzige Ausnahme erhält die Küche eine gesonderte Steckdose; die 1 m über dem Fußboden angebracht wird. Diese Steckdose erhält eine separate Leitung vom Zentralverteiler.

Es sei abschließend nochmals darauf hingewiesen, daß das horizontale Installationssystem infolge Einfachheit, Sicherheit und seinen geringen Kostenaufwand für die industrielle Bauweise gut geeignet ist. Es ist zur Zeit das modernste Installationssystem.

4.7 Verlegen von Feuchtraumleitungen

Für feuchte Räume sind die bisher beschriebenen Leitungsarten nicht geeignet. Zu diesem Zwecke wurde eine kabelähnliche Leitung entwickelt, die mit einem besonderen Bleimantel und einer Umhüllung versehen ist. Diese Leitung nennt man Anthygronleitung (NBU)

Aus Tafel 3 können Sie ersehen, daß mit dem Ziel der Einsparung des wertvollen Rohstoffes Blei auch andere Arten von Feuchtraumleitungen entwickelt wurden. Eine dieser Ausführungsarten ist der Rohrdraht mit Umhüllung (NRU). Diese Leitungen bestehen bekanntlich aus normalen Rohrdraht NRAM, über dessen Metallmantel sich noch eine chemisch widerstandsfähige Schutzhülle (Baumwollumspinnung) mit Anthygronmasse befindet. Die andere Art ist die Mantelleitung NGM oder NYM. Mantelleitungen können ebenfalls zur Verlegung in feuchten und durchtränkten Räumen verwendet werden. Da diese Leitungen nur Schutzhüllen aus Kunststoff oder Gummi haben, wird durch sie Blei, Eisen, Zink usw. eingespart. Bei Verlegung der Mantelleitungen ist besonders darauf zu achten, daß die Leitungen nicht durch Befestigungsmittel beschädigt werden.

Feuchtraumleitungen

Sie werden in feuchten und durchtränkten Räumen und für Installationen im Freien sowie in feuergefährdeten Räumen verwendet. Zur direkten Verlegung in die Erde sind Feuchtraumleitungen nicht zugelassen. Mantelleitungen sind nur in feuchten oder feuergefährlichen Räumen zugelassen; sie müssen dort mit Schellen unmittelbar an der Wand befestigt werden. Feuchtraumleitungen werden ferner verwendet in explosionsgefährdeten Betriebsstätten und in schlagwettergefährdeten Grubenräumen.

Damit die Feuchtraumleitung ihren Zweck erfüllt, muß sie sorgfältig verlegt werden. In Abzweigdosen, Schaltern usw. wird die Leitung durch einen Schraubverschluß nach Bild 22 eingeführt und abgedichtet.

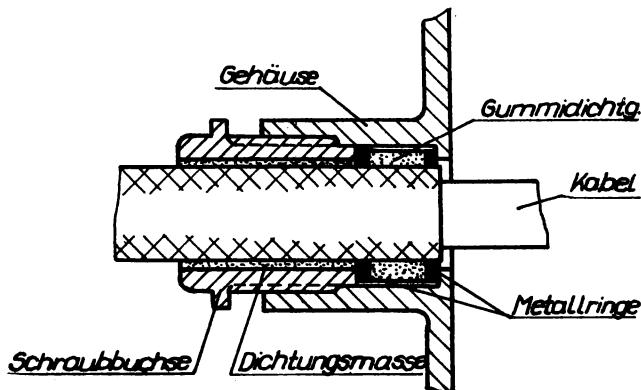
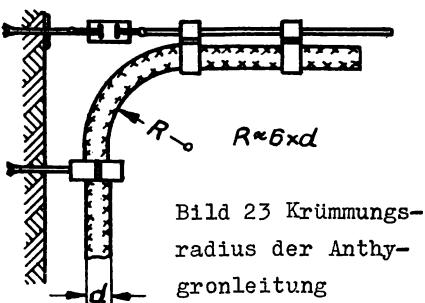


Bild 22 Schraubverschluß für Feuchtraumleitung

Der Hohlraum zwischen Leitung und Schraubbuchse ist noch mit einem Spezialkitt (Gurokitt) auszufüllen. (Siehe Bild 22) Die Feuchtraumabzweigdosen, -schalter usw. werden aus Isolierstoffen hergestellt und erhalten keramische Einsätze. Sämtliche Abzweigdosen sind mit Erdungsklemmen versehen. Sie werden zur Verbindung der Beidrähte verwendet. Die Befestigung der Anthygronleitungen geschieht

mittels Doppelschellen unmittelbar an der Wand oder mit Abstandschellen in etwa 1cm Entfernung von der Wand. Letztere Verlegungsart ist häufiger und besonders bei nassen Wänden zu bevorzugen.

Für diesen Fall sind Schellen aus Isolierstoff (Guroschellen) zu empfehlen. Der Schellenabstand soll 50 cm nicht überschreiten. Die Leitungen werden mit der Hand gebogen. Ähnlich wie beim Starkstromkabel gilt auch hier als kleinster Krümmungsradius etwa der sechsfache äußere Durchmesser der Leitung. Siehe Bild 23.



Bei Wand- und Deckendurchführungen sind Schutzrohre zu verwenden, die neben dem mechanischen Schutz ein leichtes Auswechseln der Leitung gewährleisten. Die Abmantelung der Leitung muß so vorsichtig wie bei Rohrdraht erfolgen.

Feuchtraumleitung kann auch im Freien verlegt werden, z.B. über Höfe usw. Bei dieser Verlegung ist ein Spanndraht erforderlich, an den die Leitung mit Hilfe von Schellen angehängt wird. Die Spanndrahtverlegung ist auch in manchen Fabrikräumen erforderlich, da dort oft durch Behinderung eine normale Leitungsführung erschwert wird.

Nachdem die Leitung verlegt ist, sind die Teile der Leitungsanlage, die nicht aus Isolierstoff bestehen, mit einem Schutzanzstrich aus Speziallack zu versehen. Dieser erhöht die Lebensdauer der Anlage.

4.8 Verlegung von Panzeradern

Panzeradern werden nur dort verlegt, wo die Leitungen sehr hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind.

(Z.B. an Maschinen, Krananlagen usw.) Die Verwendung von Panzeradern gilt nur für trockene Räume. Die Befestigung erfolgt durch Schellen.

Nach VDE 0100, § 216 dürfen Panzeradern auch an Maschinen, die provisorisch im Freien aufgestellt werden, verlegt werden.

Eine Verwendung der Panzeradern als bewegliche Leitung ist unzulässig, weil die Schutzdrähte leicht brechen und in die Gummiisolation eindringen können.

Für die Auswahl der Leitungen in und an Maschinen ist der Einfluß des Öls, dessen Emulsionen und auch des Kühlmittels (Bohrwasser) besonders zu beachten.

Gummiisierte Leitungen werden von diesen Stoffen angegriffen. Die Kunststoffisolation besitzt dagegen große Beständigkeit gegen chemische Zerstörung durch Schmier- und Kühlmittel.

4.9 Verlegung von Kunststoffkabeln

Da über Starkstromkabel noch ein besonderer Lehrbrief folgt, wird in diesem Kapitel nur die Verlegung von Kunststoffkabeln bis 1000 V in Innenräumen behandelt.

Sämtliche Kunststoffkabel müssen beim Transport und bei der Verlegung sorgfältiger als Bleikabel behandelt werden, da sie in bezug auf Knickung, Verdrehung und Zug eine geringere Festigkeit als Bleikabel besitzen.

Bei der Verlegung von Kunststoffkabeln ist zu beachten, daß als niedrigste Kabeltemperatur $+4^{\circ}\text{C}$ nicht unterschritten werden darf.

Ist die Verlegung bei niedrigen Temperaturen nicht zu vermeiden, so muß eine vorherige Anwärmung der Kabel in einem ca. $20-25^{\circ}\text{C}$ warmen Raum erfolgen. Die Dauer der Anwärmung soll je nach Kabellänge 36-48 Stunden betragen. Ist das Kabel verlegt, so sind tiefe Temperaturen unschädlich.

Man soll aber auch bei der Verlegung im Sommer die Kabel vor starker Sonnenbestrahlung schützen, um für die Kabelmäntel schädliche Temperaturen zu vermeiden. (ca. 70°C)

Innenraumkabel dürfen nicht unmittelbar an feuchten Wänden befestigt werden oder auf feuchten Böden liegen. Die Kabel müssen entweder einen Abstand von einigen cm von der Wand haben, oder sie werden mit ca. 2cm Abstand von der Wand auf feuersicheren Registern untergebracht. Die Register können, wie Bild 24 zeigt, aus Beton oder Winkeleisen hergestellt werden.

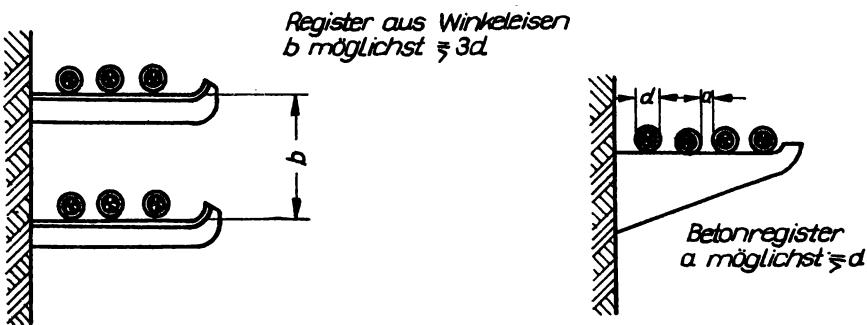


Bild 24 Kabelverlegung auf Registern

Schwere Kabel können auch nebeneinander auf Tragbrücken verlegt werden. Die Tragbrücken werden - wie Bild 25 zeigt - an der Decke von Fabrik- oder Kellerräumen befestigt.

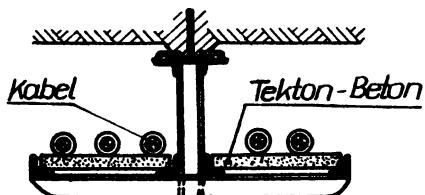


Bild 25 Kabelverlegung auf Tragbrücken

Bei der Verlegung mehrerer Kabel nebeneinander muß der Belastungsreduktionsfaktor nach Kapitel 1.31 beachtet werden. Wird der Abstand $a = 0$, so ist die elektrische Belastbarkeit am geringsten. Die Befestigung der Kabel kann durch Band- oder Holzschellen nach Bild 26 erfolgen.

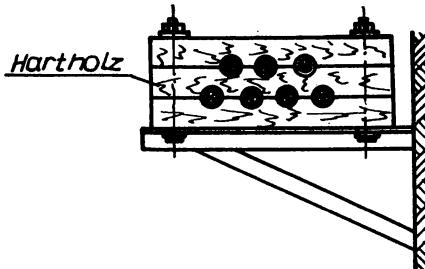


Bild 26

Befestigung der Kabel durch Holzschellen

Für Holzschellen soll möglichst Hartholz verwendet werden, das gegen Feuer und Fäulnis imprägniert wird.

Bei Fabrikinstallationen kommt es oft vor, daß Kabel nach der Mitte des Raumes verlegt werden müssen. In solchen Fällen müssen die Kabel in Kanäle verlegt werden. Ein festes Einmauern des Kabels ist nicht statthaft. Es kann auch vorkommen, daß Kabel an Maschinen durchgeschleift werden.

(Siehe Bild 27)

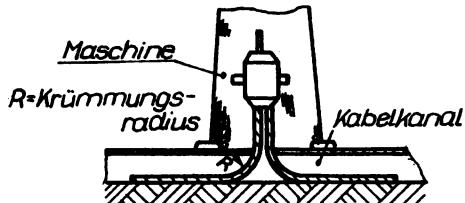


Bild 27 Kabeldurchschleifung bei Maschinen

Hierbei ist besonders auf den Krümmungsradius des Kabels zu achten. Bei Kunststoffkabeln muß der Krümmungsradius mindestens

$$R = 20 \times d,$$

bei Papierbleikabeln

$$R = 15 \times d \text{ sein.}$$

$$d = \text{Außendurchmesser des Kabels}$$

Die Kanäle müssen demzufolge tief genug sein. Wird das Kabel an den Maschinen hochgeführt, so muß es mit Schutzrohren versehen werden.

Für Wanddurchführungen müssen ebenfalls Schutzrohre verwendet werden. Der Durchmesser des Schutzrohres soll mindestens das 1,5-fache des Kabeldurchmessers betragen. Die Kabel können im Kanal an den Wänden sowie auf den Boden verlegt werden. Damit sich im Kanal kein Wasser anstauen kann, muß der Kanal entweder mit einem Gefälle von mindestens 1:1000 angelegt, oder mit einem Sickerloch versehen werden. Die Kabelverlegung im Kanal zeigt Bild 28.

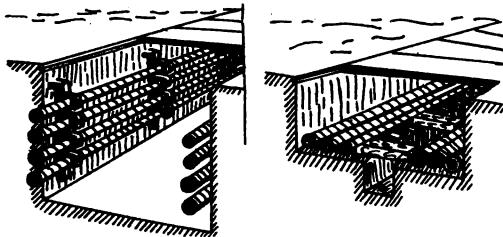


Bild 28 Kabelverlegung im Kanal

Bei der Verlegung mehrerer Systeme können zur besseren Ausnutzung des Kanalraumes die Kabel an den Wänden und auf dem Boden des Kanals verlegt werden. Bei Kanalverlegung und besonders bei Verlegung mehrerer Systeme im Kanal muß die Belastungsreduktion beachtet werden.

Besitzen die Kabel eine brennbare Jutenumhüllung, so ist diese vor Innenraumverlegung zu entfernen. Dies gilt jedoch nicht für chemische Betriebe, da die Juteschicht dort als Korrosionsschutz dient. In trockenen Räumen verwendet man normalerweise Kabel ohne Jutenumhüllung. Trotzdem wird

aber die Stahlbandbewehrung mit einem Rostschutzanstrich aus Bitumlack versehen. Die Kunststoffe haben eine hohe chemische Beständigkeit gegenüber den meisten Säuren und Laugen. Der Anstrich dient deshalb in erster Linie zum Schutz der Bewehrung. Die Bewehrung bleimantelloser Kabel ist gut zu erden. Bei Stahlbandbewehrung müssen beide Bänder geerdet werden. Für Kabelverbindungen und für Anschlüsse können dieselben Muffen und Endverschlüsse wie für Papierbleikabel verwendet werden. Bei Kabeln mit Kunststoffisolierung (Y-Typ) kann in trockenen Innenräumen auf Endverschlußgehäuse verzichtet werden. Für größere Fabrik-Installationen mit Leitungsverlegung in Kanälen ist der Übersicht halber die Anfertigung eines Kanalplanes sehr zu empfehlen.

In die Kanäle können anstelle des Kabels auch NGA- oder NYA-Leitungen in Stahlrohr verlegt werden. Abgesehen davon, daß bei Kabelverlegung der Kostenaufwand etwas höher ist, bringt die Kabelverlegung gegenüber der Stahlrohrverlegung einige Vorteile:

1. Höhere Strombelastbarkeit
2. Leichte Auswechselbarkeit der Kabel
3. Werden Stichleitungen von Maschine zu Maschine gelegt, so muß an jeder Maschine eine Klemmdose angebaut werden. Das Kabel wird dann von Maschine zu Maschine durchgeschleift und an den Klemmdosen angeschlossen. Die Klemmdosen ermöglichen eine schnelle Beseitigung von Störungen, da bei Ausfallen einer Kabelstrecke zwei Klemmdosen durch NSH-Leitung überbrückt werden können.
4. Schnellere und leichtere Montage gegenüber der starren Stahlrohrverlegung.

4.91 Richtlinien für die Auswahl der Kunststoffkabel

Um bei der Projektierung immer die richtige Wahl der Kabeltypen zu treffen, wurden vom VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) Richtlinien für die Auswahl von Starkstromkabeln erarbeitet. Für die Innenräume zu verlegende Kabel sind daher folgende Fragen zu beantworten:

1. Werden die Kabel in trockenen oder feuchten Räumen verlegt?
2. Sind die Räume explosions- und sprengstoffgefährdet gemäß VDE 0165 und 0165 B bzw. 0166?
3. Werden die Kabel in Kanälen (begehbar oder nichtbegehbar) verlegt?
4. Liegen die Kabel in diesen Kanälen dauernd oder nur zeitweilig im Wasser?
5. Wie hoch ist die Umgebungstemperatur?
6. Liegt das Kabel allein?
7. Wie ist das Kabel verlegt? (Auf Registern, über- oder nebeneinander angeordnet, direkt an der Wand befestigt, auf die Sohle des Kanals gelegt usw.)
8. Wieviel Parallelkabel sind vorhanden?
9. Wie groß ist der Abstand der einzelnen Kabel voneinander?
10. Wie wird das System angeordnet, wenn Einleiterkabel verwendet werden? (Nebeneinander oder im Dreieck)
11. Wieviel Systeme können parallel gelegt werden?
12. Wie sollen die als Generatorkabel verwendeten Einleiterkabel gegen die dynamischen Kurzschlußwirkungen geschützt werden? (Durch Fixierung mittels Hartholzschenkeln, Schellen aus unmagnetischem Material oder durch

Schellen aus Stahlband bei gemeinsamer Befestigung von in Dreieck angeordneten Kabeln).

13. Ist bei Häufung von Kabeln für ausreichende Kühlung der Kabel gesorgt?
14. Werden die Kabel senkrecht hochgeführt?
15. Wie groß ist die Niveau-Differenz?
16. Sollen die Kabel wegen evtl. auftretender aggressiver Dämpfe oder Gase mit einem verstärkten Korrosionsschutz versehen werden?

4.92 Löt- und Schweißarbeiten an Kunststoffkabeln und Kunststoffleitungen

An kunststoffisierten Kabeln und Leitungen müssen Löt- und Schweißarbeiten so ausgeführt werden, daß die Kunststoffisolation nicht über 120° C erhitzt wird, da bei höherer Temperatur die Isolation zerstört wird. Das gilt auch für kurzzeitige Erhitzungen.

Lötarbeiten und Verzinnung des Leiters dürfen daher nicht mit offener Flamme, sondern nur mit Lötkolben ausgeführt werden.

Werden an kunststoffisierten Leitungen oder Kabeln Schweißarbeiten ausgeführt, so muß natürlich mit offenen Flammen gearbeitet werden. Es müssen dann allerdings entsprechende Maßnahmen getroffen werden, damit die Kunststoffisolation nicht zerstört wird.

Massive Leiter können in offenen Formen mit Spritzdrüsen geschweißt werden. Eine besondere Kühlung ist dabei nicht erforderlich. Bei Schweißarbeiten an kunststoffisierten Seilleitern ist auf beiden Seiten dicht vor der Isolation mittels wassergetränkter Filzstreifen (etwa 560x25x5 mm) zu kühlen. (Siehe Bild 29).

Die Filzstreifen müssen jedoch – bevor sie auf den blanken Leiter gewickelt werden – ausgedrückt werden.

Vor dem Filzstreifen müssen noch Flammenschutzblicke angebracht werden (Bild 29).

Damit der Leiter gut austrocknen kann, sind diese Filzstreifen etwa 3-5 Minuten nach der Schweißung zu entfernen. Bei Schweißungen an senkrecht angeordnetem Leiterseil muß ferner die Isolation dicht unter der Schweißstelle auf ca. 150 mm Länge aufgetrennt und nach unten gebogen werden. (Siehe Bild 29) Nach Abnahme des Filzstreifens muß die Kunststoffisolation wieder um den Leiter gelegt und bandagiert werden.

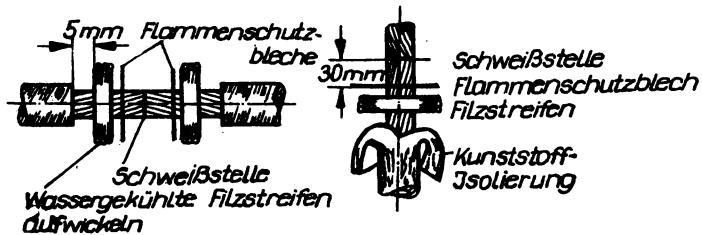


Bild 29 Schweißanordnung für ein Kunststoffkabel

Ü b u n g e n

15. Warum sollen PVC-Rohre bei einer Temperatur unter 0°C nicht verlegt werden?
16. Was muß beachtet werden, wenn PVC-Rohre in langen geraden Strecken auf Putz verlegt werden?
17. Warum dürfen Stegleitungen nicht auf Putz verlegt werden?
18. Warum dürfen Feuchtraumleitungen nicht in die Erde gelegt werden?
19. Dürfen Kunststoffkabel fest eingemauert werden?
20. Welche Leitungen kommen für die Horizontal-Installation in Frage?

5. Installationen in besonders gefährdeten Räumen

5.1 Allgemeines

Besonders gefährdete Räume sind sämtliche feuchten und durchtränkten Räume, besonders heiße Räume; Räume, wo ätzende Dünste auftreten, feuergefährdete und explosionsgefährdete Räume.

Infolge der starken chemischen Beanspruchung des Leitungs- und Installationsmaterials - besonders aber wegen der erhöhten Unfallgefahr - sind für solche Räume eine Anzahl von Zusatzvorschriften und Ausnahmebestimmungen herausgegeben worden. In gefährdeten Räumen muß neben dem geeigneten Leitungsmaterial auch das dazu geeignete Installationsmaterial verwendet werden.

Grundsätzlich gilt für sämtliche gefährdeten Räume die Regel, Leitungen, Sicherungen, Schalter, Steckdosen usw. nur dann zu installieren, wenn sie in diesen Räumen unbedingt erforderlich sind.

Steckdosen und Schalter sollen, soweit es möglich ist, außerhalb dieser Räume untergebracht werden. In gefährdeten Räumen sind besondere Schutzmaßnahmen, wie Erdung, Nullung und Kleinspannung auch bei Spannungen unter 250 V gegen Erde durchzuführen. Näheres über die Schutzmaßnahmen und über Projektierung von Schutzeinrichtungen erfahren Sie im Lehrbrief 3.

5.2 Feuchte und durchtränkte Räume

Der Begriff eines feuchten Raumes ist nicht immer durch den Verwendungszweck des Raumes bestimmt. Während einer Waschküche von jedermann ohne weiteres als feuchter Raum angesehen werden muß, kann beispielsweise ein Keller so trocken sein, daß man ohne weiteres Isolierrohr verwenden

kann. Es gibt trockene, aber auch ziemlich feuchte Keller. Der Feuchtigkeitsgrad des Raumes muß schon vor der Projektierung festgestellt werden.

Das erforderliche Leitungs- und Installationsmaterial ist Ihnen bereits bekannt. Nach VDE 0100, § 31 müssen alle nicht geerdeten Leitungen, die nach feuchten, durchtränkten und ähnlichen Räumen führen, allpolig abtrennbar sein.

Durch diese Vorschrift soll die Fehlersuche erleichtert werden. Außerdem können Stromverluste, die infolge des Fehlers auftreten, vermieden werden. Das allpolige Abtrennen kann entweder mit Hilfe eines Schalters oder auch durch Herausnahme der Sicherungen erreicht werden. Es ist daher empfehlenswert, für solche Räume eigens Sicherungen vorzusehen.

Für landwirtschaftliche Räume, Stallungen, Molkereien, Futterküchen usw. empfiehlt es sich, die Leitungen an der Außenseite der Gebäude zu verlegen und nur kurze Zuleitungen zu den einzelnen Verbraucherstellen zu führen. Anstelle der teureren Feuchtraumleitung kann dort, wo es möglich ist, auch die offene Verlegung angewendet werden. Nach § 31.4 darf zur Zeit in landwirtschaftlichen Betrieben für offene Verlegung nur NGAW verlegt werden. In chemisch gefährdeten Räumen hat sich bei offener Verlegung auch NYA gut bewährt. Nach Möglichkeit sollen in den genannten landwirtschaftlichen Räumen Schalter und Steckdosen außerhalb des Raumes angebracht werden. In Stallungen sind nur Stangeschalter aus Isolierstoff zulässig.

In feuchten Räumen müssen die Steckdosen mit Schutzkontakt versehen sein. Für den Anschluß an ortsveränderliche Verbraucher ist nur NSH oder NMH zugelassen. Stromverbraucher, z.B. Motoren, Heizgeräte usw. müssen so eingerichtet sein, daß sie zum Zwecke der Wartung spannungslos gemacht werden können.

Installationen in Baderäumen sind infolge der erhöhten Unfallgefahr besonders sorgfältig auszuführen. Schalter und Steckdosen dürfen in Baderäumen nicht vorhanden sein. Eine einzige Ausnahme bilden Einbauschalter für Heißwasserspeicher, die durch den versenkten Einbau gegen mechanische Beschädigung geschützt sind. Das Betätigungsorgan des Schalters muß unbedingt aus Isolierstoff bestehen. Für sämtliche der Berührung zugänglichen Anlageteile sind die besonderen Schutzmaßnahmen für Niederspannungsanlagen anzuwenden. (Siehe VDE 0140) In sämtlichen feuchten Räumen müssen die Fassungen aus Isolierstoff bestehen.

Schaltfassungen sind infolge ihrer gedrängten Bauweise mit Rücksicht auf Kriechströme verboten. In feuchten Räumen müssen Feuchtraumleuchten mit Schutzglas verwendet werden.

5.3 Heiße Räume

Heiße Räume sind im allgemeinen wie feuchte und durchtränkte Räume zu betrachten, da Schweiß den elektrischen Widerstand des Körpers herabsetzt und deshalb die gleichen Gefahren wie in feuchten Räumen bestehen. Bei der Wahl der Leitungen muß noch beachtet werden, daß Gummi dauernd nur ca. 50°C und thermoplastische Kunststoffe nur ca. 35°C vertragen. Es muß dann NGAU in Isolierrohr oder auf Rollen verlegt werden.

5.4 Räume, wo ätzende Dünste auftreten

Für solche Räume gelten an sich die gleichen Vorschriften wie für feuchte und durchtränkte Räume. Die Leitungen müssen allerdings entsprechend den dort herrschenden Verhältnissen einen besonderen Schutzanstrich erhalten. Sind die Dünste derart aggressiv, daß mit Zerstörung der Isolierhülle in kurzer Zeit gerechnet werden muß, so ist eine offene Verlegung auf Isolierrollen ratsam. Die offenen Leitungen müssen ebenfalls einen Schutzanstrich erhalten.

5.5 Feuergefährdete Räume

Nach der Begriffserklärung VDE 0100, § 2n bezeichnet man als feuergefährdete Betriebsräume und Lagerstätten solche Räume, in denen leicht entzündbare Gegenstände hergestellt, angehäuft oder verarbeitet werden.

Feuergefährdete Räume sind beispielsweise Spinnereien, Scheunen, Mühlen, Heuböden und Aufbewahrungsräume für Nitrozellulose. Maschinenräume von Tischlereien gelten meistens auch als feuergefährdete Räume, hauptsächlich dann, wenn die Absaugung der Späne umzureichend ist oder wenn auch Holz darin gelagert wird.

In feuergefährdeten Räumen ist die Verlegung blanker Leitungen mit Ausnahme von Erdleitungen verboten. Isolierte Leitungen müssen in Rohren (Rohre mit Metallmantel oder PVC-Rohre), als Kabel oder als kabelähnliche Leitungen verlegt werden. Bei der Verlegung von Installationsrohren müssen geschlossene Isolierrohrdosen (verbleite Dosen) verwendet werden. Bei Kabelverlegung ist die Verwendung des Kabelmantels als Rückleiter nicht gestattet.

In Drehstromanlagen sollen für feuergefährdete Räume möglichst Kurzschlußläufermotoren verwendet werden. Werden Motoren mit Stromwender oder mit Schleifringen verwendet, so ist die geschützte Bauart (Schutzart P 20 nach DIN 40050) erforderlich.

5.6 Explosionsgefährdete Räume

Explosionsgefährdete Räume sind nach VDE 0100, § 35 solche Räume, in denen Sprengstoffe, Schießmittel, Zündmittel und Feuerwerkskörper hergestellt, bearbeitet oder aufgespeichert werden. Ferner werden als explosionsgefährdet solche Räume bezeichnet, wo nach den örtlichen Verhältnissen Gase, Dämpfe oder Staube entstehen, die mit der Luft ein explosives Gemisch bilden. In Fällen, wo die Explosionsgefährdung nicht eindeutig ist, trifft die Arbeitsschutzzinspektion

die Entscheidung.

Für die Errichtung elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Betriebsstätten und Lagerräumen gelten die Leitsätze VDE 0165/I.47. Diese Leitsätze sind jedoch nicht für Räume anwendbar, in denen Spreng- und Zündstoffe hergestellt werden oder sich Staube entwickeln, die an sich explosiv sind. Für diese gilt VDE 0166 "Vorschriften für elektrische Anlagen in sprengstoffgefährdeten Räumen und Betriebsstätten".

In explosionsgefährdeten Räumen ist die Verlegung von blanken Leitungen verboten.

Isolierte Leitungen müssen in Stahlrohr oder in PVC-Rohr verlegt werden. Peschelrohr ist unzulässig. Es dürfen auch Kabel oder kabelähnliche Leitungen verlegt werden. Der Mantel der Kabel darf jedoch nicht als Rückleiter verwendet werden. Zur Einsparung von Blei und Stahl ist die Verwendung der PVC-Rohre zu empfehlen.

Nach VDE 0165, § 4c müssen elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen so ausgeführt werden, daß die betriebsmäßige Höchsttemperatur von Anlageteilen durch ausreichende Bemessung der Leitungsquerschnitte oder durch selbstdämmende Begrenzung der Temperatur stets genügend weit unter der Zündtemperatur des explosiven Gemisches liegt. In explosionsgefährdeten Räumen müssen explosionssichere Apparate und Motoren verwendet sowie sämtliche Beleuchtungskörper mit starker Überglocke versehen werden.

Die Überglocke muß auch die Fassung mit abschließen. Es sind natürlich auch Schnurpendel verboten.

Steckdosen sollen möglichst vermieden werden, geht dies nicht an, so müssen diese mit Schalter verriegelt werden, damit die Stecker nur im spannungslosen Zustand eingesetzt und gezogen werden können.

Zum Anschluß ortswanderlicher Geräte dürfen nur schwere

Gummischlauchleitungen (NSH) oder Leitungen gleichwertiger Bauart verwendet werden.

Im Zusammenhang mit den Vorschriften über explosionsgefährdete Räume ist das Studium der Lehrbriefe über Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik zu empfehlen.

Ü b u n g e n

21. Warum müssen elektrische Anlagen in feuchten Räumen allpolig abtrennbar sein?
22. Warum sind Leitungen aus thermoplastischen Kunststoffen für heiße Räume ungeeignet?
23. Warum müssen in feuergefährdeten Räumen anstelle der Porzellanabzweigdosen verbleite Isolierrohrdosen verwendet werden?

Antworten und Lösungen

1. Die Aluminiumleitung gleichen Leitwertes wiegt nur halb so viel wie die Kupferleitung. Wegen des geringeren Gewichts können die Traversen der Tragmasten schwächer sein. Wird Aluminium mit Mg und Si legiert, so ist es sehr fest und korrosionsbeständig.
2. Weil in trockenen Räumen Kontaktkorrosion nicht auftreten.
3. Thermoplastische Kunststoffe enthalten im Gegensatz zu Gummi keine Schwefelzusätze und eine Zerstörung des Kupfers durch Schwefel kann daher nicht stattfinden.
4. In den VDE 0250, 0255, 0265, 36.0270, 36.0271.
5. Getränktes Außenumhüllung ist gut brennbar. Zur Herabsetzung der Brandgefahr muß bei Innenraumverlegung die Jute vorher entfernt oder es muß Kabel ohne Außenumhüllung verlegt werden.
6. Innenraumkabel erhalten anstelle der Außenumhüllung einen Rostschutzanstrich aus Bitumenlack.
7. Aluminium ist wegen der geringen mechanischen Festigkeit für Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Verbraucher nicht zugelassen.
8. Bei in Rohr verlegten isolierten Leitungen erwärmt sich die Luft im Rohr und erschwert dadurch die Wärmeableitung.
9. Bei steigender Umgebungstemperatur wird die Belastbarkeit der Leitung herabgesetzt.
10. Die Querschnittssicherung kann bei Querschnittsabstufung entfallen, wenn die Bedingungen nach VDE 0100, § 20, Regel 3 erfüllt sind.
11. Träge Sicherungen haben entsprechend ihren Auslösekennlinien sehr lange Abschaltzeiten und verhindern infolgedessen bei kleineren Überbelastungen unzulässige Erwärmung.

mungen des Motors nicht.

12. Träge Sicherungen werden wegen der Selektivität vor flinke Sicherungen geschaltet.

13. $I_{ko} = 415 \text{ A}$

14. $I = 51 \text{ A}$, $F = 35 \text{ mm}^2$ Al oder 25 mm^2 Cu, Sicherung 60 A

Wenn Sie einen thermischen Auslöser gleichzeitig als Überlastungsschutz mit für die Leitung verwenden, so genügt $F = 25 \text{ mm}^2$ Al bzw. 16 mm^2 Cu.

15. Thermoplastische Kunststoffe - so auch PVC-Rohre - werden bei niedrigen Temperaturen spröde.

16. Die Längenausdehnung der PVC-Rohre ist etwa 7x so groß wie bei Stahlrohren. Aus diesem Grunde müssen bei langen Strecken Dehnungsbögen verwendet werden.

17. Stegleitungen sind nur für Unterputzverlegungen bestimmt. Der mechanische Schutz wird durch den Putz hinreichend gewährleistet. Bei Aufputzverlegung fehlt dieser Schutz.

18. Feuchtraumleitungen sind nicht so korrosionsfest wie Erdkabel.

19. Kunststoffkabel, wie überhaupt sämtliche Starkstromkabel, dürfen nicht fest eingemauert werden, weil die Fehlerfeststellung und das Aushwechseln des Kabels ohne Beschädigung unmöglich ist.

20. NYM-Leitungen.

21. Elektrische Anlagen in feuchten Räumen müssen allpolig abtrennbar sein, um die Fehlersuche zu erleichtern und Stromverluste bei Isolationsfehlern zu vermeiden.

22. Thermoplastische Kunststoffe werden bei Temperaturen über 40°C weich.

23. Verbleite Isolierrohre sind mechanisch fester als Porzellanabzweigdosen und schließen die Abzweigklemmen vollständig von außen ab.

Formelzusammenstellung

$$(1) R_{1s} = \frac{\rho}{2\pi L} 2,3 \lg \frac{D}{d} [\Omega] \quad I_{Ko} = \frac{U_0}{\sum R_L + \sum R_o} [A] \quad (5)$$

$$(2) i_s = \frac{I}{F} \left[\frac{A}{mm^2} \right] \quad I_{K3} = \frac{U}{\sqrt{3} \sum R_L} [A] \quad (6)$$

$$(3) I_1 = I \sqrt{\frac{t_{u1}}{t_u}} [A] \quad I_{K2} = \frac{U}{2 \cdot \sum R_L} [A] \quad (7)$$

$$(4) I_K = \frac{U}{2 \cdot \sum R_L} [A] \quad I_{Ko} = \frac{U}{\sqrt{3} (\sum R_L + \sum R_o)} [A] \quad (8)$$

Literaturnachweis

KWO Werkkatalog, Heft 3

Deutsche Elektrotechnik, Band 5, 1951

Kunststoffe in der Kabeltechnik von Obering. Dörfel

KWO Bauvorschrift für Verlegung und Montage von bleimantel-
losen Starkstromkabeln

Der Motorschutz von Obering. Blaschke, Verlag Technik, Bln.

AEG Hilfsbuch für elektrische Licht- und Kraftanlagen,

Verlag Giradet, Essen

BBC Handbuch für Sohlanlagen, Mannheim

Handbuch der Elektrotechnik von Ing. Varduhn und Dr. Ing.

Nell, Band II, Fachbuchverlag Leipzig

Werkleiterhandbuch, Beitrag, Niederspannungsanlagen von
Ing, Gester, Berlin

Lehrbuch zur Vorbereitung für die Ablegung der Meister-
prüfung im Elektro-Installateur-Handwerk von Friedrich Bode.

