

Strombelastbarkeit und Schutz von Kabeln, Leitungen und Stromschienen bei Überstrom

Der Schutz von Kabeln, Leitungen und Stromschienen ist nicht nur unter dem Gesichtspunkt der unzulässig hohen Erwärmung (Brandgefahr) zu betrachten, sondern auch unter dem Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit des betreffenden Stromkreises, d.h., Schutzeinrichtungen sollten nicht unnötig auslösen.

Hinweis:

Selektivität sollte bei der Projektierung im Vordergrund stehen.

Überstrom-Schutzeinrichtungen müssen in allen Leitern, geerdet oder ungeerdet, vorgesehen werden. In Schutzleitern (einschließlich PEN-Leiter) und Potentialausgleichsleitern, d. h. in allen Leitern mit Schutzfunktion (Schutz gegen elektrischen Schlag), dürfen keine Überstrom-Schutzeinrichtungen vorgesehen werden. Jedoch müssen diese Leiter bei Kurzschluss durch die Schutzeinrichtungen in den anderen Leitern geschützt sein. Diese Schutzeinrichtungen müssen nur die Abschaltung des überlasteten, nicht jedoch die aller übrigen Leiter bewirken, es sei denn, dass dadurch eine Gefahr entstehen kann.

Der Schutz bei Überlast und Kurzschluss ist auch ohne Schutzeinrichtungen gegeben, wenn die Stromquelle nur einen Strom liefert, der die Strombelastbarkeit I_z der Leiter nicht überschreitet, z. B. bei Klingeltransformatoren, Schweißtransformatoren und bestimmte Arten thermoelektrischer Generatoren.

Überstrom-Schutzeinrichtungen dürfen in Neutralleitern von TT- und TN-Systemen entfallen, wenn:

- der Querschnitt des Neutralleiters gleich dem Querschnitt des Außenleiters ist,
- der Querschnitt des Neutralleiters kleiner als der des Außenleiters ist.

Dabei müssen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden:

- Der Neutralleiter ist durch die Schutzeinrichtung im Außenleiter bei Kurzschluss geschützt und
- der Höchststrom im Neutralleiter bei Normalbetrieb überschreitet nicht die Strombelastbarkeit I_z des Neutralleiters. Dies setzt voraus, dass die Verbraucher möglichst gleichmäßig auf die Außenleiter verteilt angeschlossen werden müssen.

In allen übrigen Fällen sind Überstrom-Erfassungseinrichtungen im Neutralleiter erforderlich, die eine Abschaltung der Außenleiter, nicht aber unbedingt des Neutralleiters, herbeiführen.

In IT-Systemen muss im Neutralleiter jedes Stromkreises eine Überstromerfassung vorgesehen werden, außer:

- der betrachtete Neutralleiter wird durch eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung geschützt oder
- dieser Stromkreis wird durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung geschützt, deren Bemessungsfehlerstrom (Nennfehlerstrom) höchstens das 0,15-fache der Strombelastbarkeit des betreffenden Neutralleiters beträgt und alle Leiter einschließlich des Neutralleiters abschaltet.

Der Schutz bei Überstrom wird in den Normen unterteilt in:

- Zuordnung von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Überlast und bei Kurzschluss nach DIN VDE 0100-430, DIN VDE 0100-473 und Beiblatt 5 zu DIN VDE 0100 und
- Strombelastbarkeit isolierter Kabel/Leitungen unter Berücksichtigung von Verlegebedingungen, Häufung, Leiter- und Isoliermaterial nach DIN VDE 0100-430, Beiblatt 1:91-11, DIN VDE 0298-4:79-11, DIN VDE 0298-2:79-11¹⁾, DIN VDE 0276 Teil 2 unter Berücksichtigung von DIN VDE 0276 Teil 100, Strombelastbarkeit von Stromschienen nach DIN 43 670 (Aluminium) bzw. DIN 43 671 (Kupfer) und Strombelastbarkeit von isolierten und blanken Leitern in Schaltgerätekombinationen nach DIN VDE 0660 Teil 507, die als PTSK ausgeführt werden.

Hinweis:

¹⁾DIN VDE 0298-2 ist jedoch seit 31.12.1995 ungültig geworden.

Belastungswerte sind jetzt direkt in den einzelnen Normen für Kabel enthalten. Da DIN VDE 0298-2 von der Physik her nicht falsch ist, darf sie auch weiterhin angewendet werden.

Zuordnung von Schutzeinrichtungen

Schutz bei Überlast

Überlastströme in den einzelnen Leitern müssen unterbrochen werden bevor die Isolierung, die Anschluss- und Verbindungsstellen sowie die Umgebung eine schädliche Erwärmung erleiden.

Ein Schutz bei Überlast muss - vorausgesetzt die vorgeschaltete Schutzeinrichtung kann den Schutz nicht übernehmen - bei jeder

Minderung der Strombelastbarkeit vorgesehen werden, z. B. bei

- Verkleinerung des Leiterquerschnitts (Parallelleiter kleinerer Querschnitte werden nicht als Minderung betrachtet, z. B. $2 \times 35 \text{ mm}^2$ statt $1 \times 85 \text{ mm}^2$),
- Änderung der Verlegung,
- Änderung des Aufbaus der Kabel bzw. Leitungen.

Die Länge der Leitung mit verminderter Strombelastbarkeit spielt dabei keine Rolle. Keinesfalls gilt, dass bei kurzen Leitungen die Querschnitte bei unverändertem Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung vermindert werden können. Die Praxis zeigt jedoch, dass auf kurzen Strecken ($\leq 1 \text{ m}$) bei geänderten Verlegebedingungen oder anderen Umgebungstemperaturen keine Reduzierung der Strombelastbarkeit berücksichtigt werden muss.

Der Schutz bei Überlast darf beliebig im Leitungszug angeordnet werden, wenn weder Abzweige noch Steckvorrichtungen vorhanden sind und ein Schutz bei Kurzschluss vorhanden ist, oder das Leiterstück nicht länger als 3 m, kurzschluss- und erdschlussicher verlegt ist, und sich in der Nähe keine brennbaren Stoffe befinden.

Der Schutz bei Überlast darf entfallen (gilt z. B. nicht in feuer- und explosionsgefährdeten Bereichen),

- wenn mit dem Auftreten von Überlastströmen nicht gerechnet werden muss und weder Abzweige noch Steckvorrichtungen vorhanden sind, z. B. für Verbindungen zwischen Stromquelle (Trafo, Generator) und Schaltanlage,
- in Hilfsstromkreisen,
- in öffentlichen Verteilungsnetzen, oder
- wenn die vorgeschaltete Schutzeinrichtung den Schutz noch übernehmen kann.

Beachte:

Bei IT-Systemen sind vorgenannte Erleichterungen nur bedingt möglich.

Der Wegfall von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Überlast wird aus Sicherheitsgründen empfohlen bei:

- Erregerstromkreisen
- Speisung von Hubmagneten
- Sekundärkreisen von Stromwandlern
- Stromkreisen die der Sicherheit dienen, z. B. Feuerlöscheinrichtungen

Eine Überlastmeldeeinrichtung wird hierfür empfohlen.

Bei der Auswahl von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Überlast gelten folgende wichtigen Bedingungen, die jedoch nicht immer den vollständigen Schutz bei Überlast garantieren:

Bedingung 1:

$$I_b \leq I_r \leq I_z$$

Bedingung 2:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

I_b Betriebsstrom des Stromkreises

I_z Zulässige Strombelastbarkeit nach Beiblatt 1 zu DIN VDE 0100-430 oder DIN VDE 0298-4 oder DIN VDE 298-2 oder DIN VDE 0273 Teil 603 und Teil 1000

I_r Bemessungsstrom (Nennstrom) der Schutzeinrichtung,

I_2 Strom, der zur Auslösung unter festgelegter Bedingung führt (großer Prüfstrom)

Der Bemessungsstrom (Nennstrom) der Schutzeinrichtung bzw. der eingestellte Wert darf gleich dem Wert der zulässigen Strombelastbarkeit I_z sein.

Dabei gilt für:

- Leitungsschutzschalter mit Charakteristik B, C, D und die Charakteristik A: $I_2 \leq 1,45 \cdot I_r$
- Leistungsschalter: $I_2 \leq 1,35 \cdot I_r$
- Sicherungen: $I_2 \leq 1,45 \cdot I_r$
- thermisch verzögertes Überlastrelais: $I_2 \leq 1,25 \cdot I_r$

Bei einstellbaren Schutzeinrichtungen entspricht I_r dem eingestellten Wert.

Schutz bei Überlast parallel geschalteter Leiter

Wenn parallel geschaltete Leiter durch eine gemeinsame Schutzeinrichtung zum Schutz bei Überlast geschützt werden, gilt als Strombelastbarkeit I_z die Summe der einzelnen I_z -Werte, wenn

- die elektrischen Eigenschaften (Werkstoff von Leiter, Isolation und Querschnitt) sowie
- die Verlegebedingungen (Häufung, Länge)

übereinstimmen und keine Abzweige vorhanden sind. Innerhalb von Schaltgerätekombinationen dürfen Abgänge vorhanden sein.

Schutz bei Kurzschluss

Schutz bei Kurzschluss besteht dann, wenn Schutzeinrichtungen vorgesehen sind, mit denen die Kurzschlussströme unterbrochen werden, ehe eine für die Isolierung, die Anschluss- und Verbindungsstellen sowie die Umgebung schädliche Erwärmung bzw. schädliche mechanische Wirkungen hervorgerufen wird.

Der Schutz bei Kurzschluss ist gewährleistet, wenn das Ausschaltvermögen der Überstrom-Schutzeinrichtung mindestens dem maximal vorkommenden Kurzschlussstrom an der Einbaustelle entspricht. Falls diese Voraussetzung nicht erfüllt werden kann, ist ein Back-up-Schutz erforderlich.

Der Schutz bei Kurzschluss muss vorgesehen werden:

- Am Anfang jedes Stromkreises
- Bei reduzierter Kurzschlussbelastbarkeit, z. B. bei Querschnittsminderung, an Abzweigen oder bei Änderung der Isolation der Leiter.

Die Schutzeinrichtung zum Schutz bei Kurzschluss darf im Zuge des zu schützenden Leiterteils um maximal 3 m versetzt werden, wenn für das davor liegende Leiterteil mit reduzierter Kurzschlussbelastbarkeit folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. Die Gefahr eines Kurzschlusses ist unter normalen Betriebsbedingungen nahezu ausgeschlossen.
2. Die Gefahr von Feuer- und Personenschäden ist auf ein Mindestmaß begrenzt.

Auf den Schutz bei Kurzschluss darf vollständig verzichtet werden in

- Kabeln bzw. Leitungen, die eine Verbindung zwischen Stromquelle (Trafo, Generator) mit der Schaltanlage herstellen, wobei eine Schutzeinrichtung in der Schaltanlage vorhanden sein muss (Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss und Überlast),
- Stromkreisen deren Unterbrechung eine Gefährdung mit sich bringen würde,
- bestimmten Messstromkreisen (z. B. Stromwandlerkreise),
- öffentlichen Verteilungsnetzen bei in Erde verlegten Kabeln oder bei Freileitungen,
- Stromkreisen, in denen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden:
 - die Gefahr eines Kurzschlusses ist auf ein Mindestmaß begrenzt und
 - die Leiter befinden sich nicht in der Nähe brennbarer Baustoffe.

Als einzuhaltende Bedingungen für den Schutz bei Kurzschluss gilt:

$$q = \frac{\sqrt{t} \cdot I_a}{k}$$

- q Leiterquerschnitt in mm²
- I_a Effektivwert des Stroms bei Kurzschluss in A, entspricht dem Strom, der die Schutzeinrichtung innerhalb der Zeit t zum Abschalten bringt, bzw. der Strom, der aufgrund der Schleifenimpedanz maximal zum fließen kommt.
- t Abschaltzeit in s, wegen des Schutzes gegen elektrischen Schlag (Schutz gegen gefährliche Körperströme) max. 0,1 s bis 5 s.

Wenn der Kurzschlussstrom aus der Schleifenimpedanz ermittelt wurde, ist die entsprechende Abschaltzeit aus den Sicherheitskennlinien zu entnehmen und in die Formel einzusetzen.

- k Materialkoeffizient
 - für PVC-isolierte Cu-Leiter 115 A • √s/mm²
 - für PVC-isolierte Al-Leiter 76 A • √s/mm²
 - für gummiisolierte CU-Leiter 141 A • √s/mm²

Beachte:

Die Gleichung zur Berechnung des Leiterquerschnitts ist nur bis zu einer Abschaltzeit von maximal 5 s anwendbar. Daraus ergibt sich die Forderung, dass Kurzschlüsse innerhalb von 5 s abgeschaltet werden müssen.

Hinweis:

Nur "impedanzlose" Fehler müssen betrachtet werden (nur Berücksichtigung der Leitungsimpedanz).

Bei koordiniertem Schutz brauchen die 5 s nicht eingehalten zu werden. Zu beachten ist jedoch der Schutz gegen gefährliche Körperströme bei dem eine Abschaltzeit zwischen 0,1 s und 5 s je nach Art des Stromkreises und der Höhe der Spannung nicht überschritten werden darf. Beide Anforderungen ergeben, dass die Kabel- bzw. Leitungslänge ein wesentlicher Faktor für die Erfüllung der Abschaltbedingung ist.

Für die Berechnung der maximal zulässigen Länge nach der Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss unter Berücksichtigung der Leitertemperatur im Betriebs- und Kurzschlussfall gilt für Drehstromverbraucher:

$$l_z = \frac{\frac{U_0 \cdot 10^3}{I_{\text{kerf}}} - Z_v}{Z'}$$

- l_z Maximal zulässige Kabellänge (Entfernung) nach der Schutzeinrichtung in m
- U_0 Spannung gegen Erde bzw. geerdeten Leiter in V
- I_{kerf} Erforderlicher Kurzschlussstrom in A, der zum Abschalten der Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss führt, innerhalb der Zeit, in der der Leiter nicht unzulässig hoch erwärmt wird und unter Beachtung des "Schutzes gegen gefährliche Körperströme" innerhalb von 0,1 bis 5 s
- Z_v Schleifenimpedanz von der Stromquelle (Trafo) bis zur Schutzeinrichtung in $m\Omega$
- Z' Schleifenimpedanz für 1 m Kabel/Leitung nach der Schutzeinrichtung in $m\Omega/m$

Für Wechselstromverbraucher gilt:

$$l = \frac{\chi \cdot q \cdot 10^{-3} \left(\frac{U_0 \cdot 10^3}{I_{\text{kerf}}} - Z_v \right)}{2}$$

- χ Leitwert in $m\Omega/mm^2$
- q Querschnitt in mm^2
- 2 Faktor für Umrechnung Länge/Entfernung;
bei halbem Rückleiter ist 3 einzusetzen.

Berücksichtigung der Durchlass- I^2t -Werte von Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss

Bei sehr kurzen Abschaltzeiten ($\leq 0,1$ s) der Schutzeinrichtung (z. B. wenn der auftretende Kurzschlussstrom aufgrund kleiner Impedanzen sehr groß ist bzw. bei strombegrenzenden Schutzeinrichtungen, z. B. Sicherungen) muss in Wechselstrom- und Drehstromkreisen wegen der Gleichstromkomponente des Kurzschlussstroms der vom Hersteller der

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss angegebene oder zu erfragende I^2t -Wert berücksichtigt werden. Daraus ergeben sich Probleme bei Schutzeinrichtungen, die in $\leq 0,1$ s abschalten, z.B. bei Leistungsschaltern und Leitungsschutzschaltern.

Es gilt:

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot q^2$$

I Effektivwert des Stroms bei vollkommenem Kurzschluss
(Durchlassstrom) in A

t Abschaltzeit in s

k Materialkoeffizient

q Querschnitt in mm²

Cu-Leiter mm ²	Isolierung			
	PVC (k=115) A ² · s	Gummi (k=141) A ² · s	VPE, EPR (k=143) A ² · s	II K (k=134) A ² · s
0,5	3,306 · 10 ³	4,97 · 10 ³	5,112 · 10 ³	4,489 · 10 ³
0,75	7,439 · 10 ³	11,183 · 10 ³	11,502 · 10 ³	10,100 · 10 ³
1	13,225 · 10 ³	19,881 · 10 ³	20,449 · 10 ³	17,956 · 10 ³
1,5	29,756 · 10 ³	44,732 · 10 ³	46,010 · 10 ³	40,401 · 10 ³
2,5	82,656 · 10 ³	124,3 · 10 ³	127,8 · 10 ³	112,225 · 10 ³
4	211,6 · 10 ³	318,1 · 10 ³	327,2 · 10 ³	287,3 · 10 ³
6	476,1 · 10 ³	715,7 · 10 ³	736,2 · 10 ³	646 · 10 ³
10	1 322,5 · 10 ³	1 988,1 · 10 ³	2 044,9 · 10 ³	1 795,6 · 10 ³
16	3 385,6 · 10 ³	5 089,5 · 10 ³	5 234,9 · 10 ³	4 596,7 · 10 ³
25	8 265,6 · 10 ³	12 426 · 10 ³	12 781 · 10 ³	11 223 · 10 ³
35	16 200 · 10 ³	24 354 · 10 ³	25 050 · 10 ³	21 996 · 10 ³
50	33 063 · 10 ³	49 703 · 10 ³	51 123 · 10 ³	44 890 · 10 ³
70	64 803 · 10 ³	97 417 · 10 ³	100 200 · 10 ³	87 984 · 10 ³
95	119 356 · 10 ³	179 426 · 10 ³	184 552 · 10 ³	162 053 · 10 ³
120	190 440 · 10 ³	286 286 · 10 ³	258 566 · 10 ³	258 566 · 10 ³
150	297 563 · 10 ³	447 323 · 10 ³	460 103 · 10 ³	404 010 · 10 ³
185	452 626 · 10 ³	680 427 · 10 ³	699 867 · 10 ³	614 544 · 10 ³
240	761 760 · 10 ³	1 145 146 · 10 ³	1 177 862 · 10 ³	1 034 266 · 10 ³
300	1 190 250 · 10 ³	1 789 290 · 10 ³	1 840 410 · 10 ³	1 616 040 · 10 ³
400	2 116 000 · 10 ³	3 180 960 · 10 ³	3 271 840 · 10 ³	2 872 960 · 10 ³
500	3 306 250 · 10 ³	4 970 250 · 10 ³	5 112 250 · 10 ³	4 489 000 · 10 ³

Zusammenstellung der $k^2 \cdot q^2$ -Werte für isolierte Leiter. Die Werte sind mit den Durchlass- I^2t -Werten der Schutzeinrichtungen zu vergleichen.

Koordinierter Schutz bei Überlast und Kurzschluss

Der Schutz bei Überlast und Kurzschluss darf durch eine gemeinsame Überstrom-Schutzeinrichtung realisiert werden. Hierbei ist die Leitungslänge nicht relevant. Da jedoch der "Schutz gegen gefährliche Körperströme" berücksichtigt werden muss, ist diese Erleichterung nur dort zutreffend,

- wo Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA verwendet werden, bzw.
- in IT-Systemen mit Schutz durch Meldung, z. B. durch Isolations-Überwachungseinrichtungen und zusätzlichem Potentialausgleich.

Erd- und kurzschlussichere Leiter - kurzschlussfeste Leiter

Bei den Begriffen "erd- und kurzschlussicher" sowie "kurzschlussfest" treten in der Praxis häufig Verwechslungen auf. Die nachfolgende Betrachtung macht die technischen Unterschiede deutlich und soll helfen Verwechslungen zukünftig auszuschließen.

Erd- und kurzschlussicher:

Als "erd- und kurzschlussicher" gilt eine Leiterverlegung (Kabel, Leitungen und blanke Leiter), bei der durch eine besondere Ausführung der Verlegung oder durch Verwendung besonderer Isoliermaterialien (z.B. Isolierungen mit höherer mechanischer Festigkeit) das Auftreten von Kurz- oder Erdschlüssen (Körperschlüssen) unter üblichen Betriebsbedingungen vermieden werden kann.

D. h., aufgrund der besonders sorgfältigen Verlegung (und natürlich auch besonders sorgfältig hergestellter Anschlüsse) werden Kurz- oder Erdschlüsse in diesem Bereich ausgeschlossen.

Kurzschlussfest:

Als "kurzschlussfest" werden elektrische Verbindungen, aber auch Betriebsmittel (z.B. Schaltgeräte) bezeichnet, die aufgrund vorgeschalteter Schutzeinrichtungen gegen die Auswirkungen von Kurzschlüssen geschützt sind (z. B. Back-up-Schutz). Als "kurzschlussfest" kann ein Leiter oder Betriebsmittel auch bezeichnet werden, wenn die vorgeschaltete Stromquelle nur einen solchen Kurzschlussstrom liefert, der nicht die Kurzschlussfestigkeit der angeschlossenen Betriebsmittel überschreitet. D. h., jeder Kurzschluss auf einem "kurzschlussfesten" Leitungstück wird durch eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung abgeschaltet, bzw. überschreitet nicht die Werte der Kurzschlussfestigkeit der Betriebsmittel. Das setzt natürlich voraus, dass die Schutzeinrichtung für den in der Anlage größtmöglichen Kurzschlussstrom ausgewählt wurde.

Ungeachtet dessen, dass die Begriffe "erd- und kurzschlussicher" in den Normen nicht mehr verwendet werden, gibt es für Verbindungen, die nicht gegen Kurzschluss geschützt sind - was nur in Ausnahmefällen erlaubt ist - folgende Anforderungen:

Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss dürfen entfallen,

- bei Leitungen oder Kabeln, die Generatoren, Transformatoren, Gleichrichter oder Akkumulatorenbatterien mit ihrer Schaltanlage verbinden.
- bei Stromkreisen deren Unterbrechung den Betrieb der Anlage gefährden könnten.
- bei bestimmten Messstromkreisen.
- in öffentlichen Verteilungsnetzen für in Erde verlegte Kabel und für Freileitungen.
- bei Leitungen oder Kabeln, die so ausgeführt sind, dass die Gefahr eines Kurzschlusses auf ein Mindestmaß begrenzt ist, was durch folgende drei Bedingungen erreicht werden kann:
 - Verlegelänge nicht größer als 3 m,
 - Verstärkung des Schutzes gegen äußere Einflüsse, z.B. Verlegung in einem Schutzrohr,
 - Gefahr von Feuer oder Personenschäden sind auf ein Mindestmaß begrenzt und das Kabel oder die Leitung befindet sich nicht in der Nähe brennbarer Baustoffe.

Bei allen drei Bedingungen wird eine entsprechend geschützte Verlegung der Leitungen bzw. Kabel vorausgesetzt.

Nach DIN EN 60 439-1 (VDE 0660 Teil 500): 1994-04 gilt:

Innerhalb eines Schaltfelds dürfen Leiter zu nachgeschalteten Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss für die verminderte Kurzschlussbeanspruchung, die auf der Ausgangsseite dieser Schutzeinrichtung auftreten kann, bemessen werden; vorausgesetzt die Verbindung ist so ausgeführt, dass unter üblichen Betriebsbedingungen weder ein Kurzschluss noch ein Erdschluss auftreten kann.

Dies kann nach DIN EN 60 439-1/A1 durch die in der Tabelle aufgeführten Leiter- und Verlegearten erreicht werden.

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Leiterart	Anforderungen
Blanke Leiter (z.B. Schienen) oder basisisolierte einadrige Leiter, z.B. H07V-U (z.B. nach IEC 227-3, DIN VDE 0281-3 (VDE 0281 Teil 3)).	Gegenseitige Berührung oder Berührung mit leitfähigen Teilen (Körpern) ist zu verhindern, z.B. durch Abstandhalter.
Basisisolierte einadrige Leiter mit einer zulässigen Betriebstemperatur von $\geq 90\text{ °C}$ (nach IEC 245-3, DIN VDE 0250-1 (VDE 0250 Teil 1), Tabelle 2) oder wärmebeständige PVC-isolierte Leiter nach IEC 227-3.	Gegenseitige Berührung ohne Druck oder Berührung von leitfähigen Teilen (Körpern) ohne Druckeinwirkung ist zugelassen, jedoch keine Verlegung über scharfe Kanten. Die Gefahr einer mechanischen Beschädigung muss verhindert sein. Diese Leiter dürfen nur so belastet werden, dass eine Betriebstemperatur von 70 °C nicht überschritten wird.
Leiter mit Basisisolierung, z.B. H07V-U (z.B. Leiter nach IEC 227-3, DIN VDE 0281-3 (VDE 0281 Teil 3)) mit einem zusätzlichen mechanischen Schutz, z.B. einzeln mit Isolierschlauch überzogen oder einzeln in Kunststoffrohren verlegt.	
Leiter, deren Isolierung eine sehr hohe mechanische Festigkeit hat, z.B. ETFE-isolierte Leiter (z.B. nach DIN VDE 0250-106 (VDE 0250 Teil 106)) oder doppelt isolierte Leiter z.B. NSGAFöu (bemessen für die Verwendung bis 3 kV, z.B. Kabel nach IEC 502, DIN VDE 0250-602 (VDE 0250 Teil 602)).	Keine zusätzlichen Anforderungen, wenn die Gefahr einer mechanischen Beschädigung verhindert ist.
Ein oder mehradrige Kabel, z.B. NYY (z.B. nach IEC 245-4 oder IEC 227-4, DIN VDE 0271 (VDE 0271)).	
max. zulässige Länge bis zur nachgeschalteten Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss: 3 m	

Leiterart und Anforderungen an die Verlegung für Leiter vor Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss innerhalb von Schaltfeldern.

Strombelastbarkeit

Nachfolgend sind die für die Installationspraxis relevanten Bestimmungen mit den entsprechenden Anforderungen aufgeführt.

DIN VDE 0100-430, Beiblatt 1:

Diese Bestimmung enthält Strombelastbarkeitstabellen und Zuordnungen von Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast für häufig vorkommende Verlegearten, vorwiegend in Wohngebäuden bei einer Leiterumgebungstemperatur von 25 °C .

DIN VDE 0298-4:

Diese Bestimmung gilt für alle üblichen Verlegearten von Kabel bzw. Leitungen in Luft, vorwiegend in Wohn- und Bürogebäuden, wobei zwischen fest verlegten Leitungen, flexiblen Leitungen sowie Leitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit unterschieden wird.

Die zulässige Strombelastbarkeit I_z ist abhängig vom Reduktionsfaktor f , der außer vom Material und der Isolierung des Leiters abhängig ist von der

- Umgebungstemperatur (f_1) (DIN VDE 0298-4),
- Häufung (f_2) (DIN VDE 0298-4),
- Leiterzahl (f_3) (DIN VDE 0298-4).

Der Gesamtumrechnungsfaktor beträgt demnach:

$$f_{\text{ges}} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

DIN VDE 0298-2 gilt für Kabel bei Verlegung in Luft bzw. Erde mit U_0/U von 0,6/1 kV bis 18/30 kV und bedingt auch für Leitungen (NYM).

Die Strombelastbarkeit ist außer vom Material und von der Isolierung des Leiters abhängig von:

- Umgebungstemperatur (f_{L1} , f_{E1}),
- Häufung, Verlegeart (f_{L2} , f_{E2}),
- Leiterzahl (f_{L3} , f_{E3}),
- Verlegung in Erde (f_{E4}).

Daraus ergibt sich ein Gesamtumrechnungsfaktor:

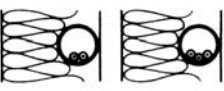


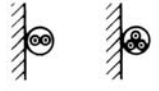
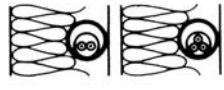
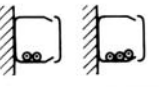


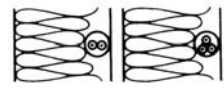
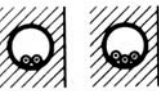
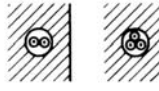
$$\begin{aligned} \text{in Erde: } f_{E\text{ges}} &= f_{E1} \cdot f_{E2} \cdot f_{E3} \cdot f_{E4} \\ \text{in Luft: } f_{L\text{ges}} &= f_{L1} \cdot f_{L2} \cdot f_{L3} \end{aligned}$$

Hinweis:


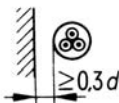
Als Ersatz für DIN VDE 0298-2 gibt es DIN VDE 0276-603. In dieser Bestimmung sind jedoch nur noch Strombelastbarkeitswerte für Kabel in Luft und Erde enthalten. Die dazugehörigen Umrechnungsfaktoren sind in DIN VDE 0276-1000 zu finden, wobei sich die Strombelastbarkeit auf die gleiche Weise (mit den Faktoren $f_{..}$) ermitteln lässt.

*Verlegeart A, B1, B2 und C siehe nebenstehende Tabelle: ⇒
Strombelastbarkeit von Kupferleitungen und -kabeln. Dauerbetrieb bei 30 °C
Umgebungstemperatur, zulässige Betriebstemperatur 70 °C.*

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Isolierwerkstoff	PVC															
Bauartkurzzeichen ²⁾	NYM, NHXMH, NYBUY, NHYRUZY, NYIF, NYIFY, SIENOPYR, SIFLA, H07V-U, H07V-R, H07V-K															
Zulässige Betriebstemperatur	70 °C															
Umgebungs-temperatur	30 °C ³⁾															
Anzahl der belasteten Adern	2		3		2		3		2		3		2		3	
Verlegeart	A				B1				B2				C			
	In wärmedämmenden Wänden				auf oder in Wänden oder unter Putz											
					in Elektroinstallationsrohren oder -kanälen								direkt verlegt			
	 Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr ^{4) 7)}				 Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr auf der Wand ⁵⁾				 Mehradrige Leitung im Elektroinstallationsrohr auf der Wand oder auf dem Fußboden				 Mehradrige Leitung auf der Wand oder auf dem Fußboden ⁶⁾			
 Mehradrige Leitung im Elektroinstallationsrohr ⁷⁾				 Aderleitungen im Elektroinstallationskanal auf der Wand				 Mehradrige Leitung im Elektroinstallationskanal auf der Wand oder auf dem Fußboden				 Einadrige Mantelleitungen auf der Wand oder auf dem Fußboden				
 Mehradrige Leitung in der Wand				 Aderleitungen, einadrige Mantelleitung, mehradrige Leitungen im Elektroinstallationsrohr im Mauerwerk ⁸⁾								 Mehradrige Leitung, Stegleitung in der Wand oder unter Putz ⁹⁾				
Bemessungsquerschnitt q_r	Strombelastbarkeit I_z , und Bemessungsstrom I_r der Überstromschutzeinrichtung mit $I_2 \leq 1,45 \cdot I_2$ in A															
mm ²	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r
1,5	15,5	13	13	13	17,5	16	15,5	13	15,5	13	14	13	19,5	16	17,5	16
2,5	19,5	16	18	16	24	20	21	20	21	20	19	16	26	25	24	20
4	26	25	24	20	32	32	28	25	28	25	26	25	35	35	32	32
6	34	32	31	25	41	40	36	35	37	35	33	32	46	40	41	40
10	46	40	42	40	57	50	50	50	50	50	46	40	63	63	57	50
16	61	50	56	50	76	63	68	63	68	63	61	50	85	80	76	63
25	80	80	73	63	101	100	89	80	90	80	77	63	112	100	96	80
35	99	80	89	80	125	125	111	100	110	100	95	80	138	125	119	100
50	119	100	108	100	151	125	134	125	-	-	-	-	-	-	-	-
70	151	125	136	125	192	160	171	160	-	-	-	-	-	-	-	-
95	182	160	164	160	232	200	207	200	-	-	-	-	-	-	-	-
120	210	200	188	160	269	250	239	225	-	-	-	-	-	-	-	-

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Isolierwerkstoff	PVC			
Bauartkurzzeichen ²⁾	NYY, NYCWY, NYKY, NYM, NYMZ, NYMT, NYRUY, NHYRUZY			
Zulässige Betriebstemperatur	70 °C			
Umgebungstemperatur	30 °C ³⁾			
Anzahl der belasteten Adern	2		3	
Verlegeart	E		E	
	Frei in Luft verlegt, unter Einhaltung der angegebenen Abstände		Frei in Luft verlegt, unter Einhaltung der angegebenen Abstände	
				
Bemessungsquerschnitt q_r	Strombelastbarkeit I_z , und Bemessungsstrom I_r der Überstromsicherheit mit $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$ in A			
mm ²	I_z	I_r	I_z	I_r
1,5	20	20	18,5	16
2,5	27	25	25	25
4	37	35	34	32
6	48	40	43	40
10	66	63	60	63
16	89	80	80	80
25	118	100	101	100
35	145	125	126	125
50	-	-	153	125
70	-	-	196	160
95	-	-	288	250
120	-	-	-	-
<p>¹⁾ Projektierungshinweise in Heinhold, L.; Stubbe, R.: Kabel und Leitungen für Starkstrom, Teil 1 (1987) und Teil 2 (1989), Siemens AG, Berlin, München, und DIN VDE 0298-2.</p> <p>²⁾ Auflistung der Bauartkurzzeichen mit Angaben, welchen Normen die Kabel oder Leitungen entsprechen (siehe DIN VDE 0298-1/11.82 und DIN VDE 0298-3 sowie DIN VDE 0298-300).</p> <p>³⁾ Bei abweichenden Umgebungstemperaturen kann die Strombelastbarkeit I_z, mit Tabelle 10.3/6 umgerechnet werden. Diese Tabelle entspricht Tabelle 10 in DIN VDE 0298-4.</p> <p>⁴⁾ Gilt auch für Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in geschlossenen Fußbodenkanälen.</p> <p>⁵⁾ Gilt auch für Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in belüfteten Fußbodenkanälen.</p> <p>⁶⁾ Gilt auch für mehradrige Leitungen in offenen oder belüfteten Kanälen.</p> <p>⁷⁾ Gilt auch für Aderleitungen, einadrige Mantelleitungen, mehradrige Leitung im Elektroinstallationskanal im Fußboden.</p> <p>⁸⁾ Gilt auch für Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in der Decke.</p> <p>⁹⁾ Gilt auch für mehradrige Leitungen in der Decke.</p>				

(Fortsetzung Strombelastbarkeit von Kupferleitungen und -kabeln. Dauerbetrieb bei 30 °C Umgebungstemperatur, zulässige Betriebstemperatur 70 °C.)
Verlegeart E, frei in Luft.

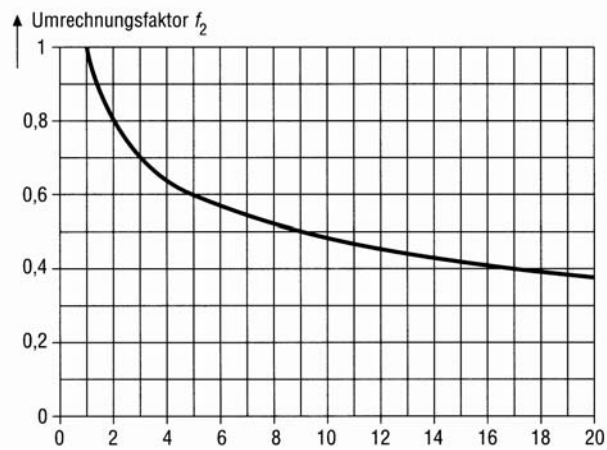
11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Umgebungstemperatur	Strombelastbarkeit I_z in % der Werte	
	Gummiisolierung, ¹⁾ zulässige Leitertemperatur	PVC-Isolierung, ^{2) 3)} max. zulässige Leitertemperatur
°C	60 °C	70 °C
über 20 bis 25	108	106
über 25 bis 30	100	100
über 30 bis 35	91	94
über 35 bis 40	82	87
über 40 bis 45	71	79
über 45 bis 50	58	71
über 50 bis 55	41	61
über 55 bis 60	-	50

¹⁾ NR Natur-Kautschuk
 SR Synthetischer Kautschuk
²⁾ PVC Polyvinylchlorid
³⁾ vernetztes Polyäthylen (XLPE) 90 °C u. Silikongummi (SiR) 180 °C

Strombelastbarkeit I_z in % der Werte der Strombelastbarkeitstabelle für isolierte Leitungen und nicht im Erdreich verlegte Kabel bei Umgebungstemperaturen von 10 bis 70 °C.
 Strombelastbarkeit von Kabeln mit massegetränkter Papierisolierung und Metallmantel, s. DIN VDE 0255, 11.72.

Umrechnungsfaktoren f_2 für Häufung, anzuwenden auf die Belastbarkeitswerte der Verlegung A, B1, B2 und C. Bei Häufung von Leitungen in Verlegeart E siehe DIN VDE 0298-4, Tabelle 12.



Anzahl der mehradrigen Kabel/Leitungen oder Anzahl der Wechsel- oder Drehstromkreise, aus einadrigen Leitungen (2 bzw. 3 stromführende Leiter).



⊙ Symbol für eine einadrige oder eine mehradrige Leitung.

Belastung isolierter Leitungen bei Umgebungstemperaturen von 30 °C bis 70 °C und Zuordnung von Leitungsschutzsicherungen nach US-amerikanischen und kanadischen Bestimmungen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die zulässige Belastung isolierter Leiter nach amerikanischen und kanadischen Bestimmungen für eine Umgebungstemperatur bis 30 °C. Für höhere Umgebungstemperaturen von über 30 bis 70 °C gibt es eine entsprechende Erweiterungstabelle. Diesen Angaben sind folgende Bestimmungen zugrunde gelegt:
 USA: National Electrical Code (NEC), 1993, table 310-16 und 310-17,
 Kanada: Canadian Electrical Code (CEC), Part I, 1993, table 1-4, 13.

Bei der Verdrahtung von Industrieschaltgeräten werden normalerweise folgende isolierte Leitungen verwendet:

- Für Bemessungsströme bis 100 A: Leiter des Typs TW (thermoplastisoliert, feuchtigkeitsbeständig, flammhemmend), Grenztemperatur 60 °C
- Für Bemessungsströme über 100 A: Leiter des Typs RH (gummiisoliert, wärmebeständig) oder des Typs THW (thermoplastisoliert, wärme- und feuchtigkeitsbeständig), Grenztemperatur 75 °C.

Sollen Leiterquerschnitt und Sicherungsbemessungsstrom für Umgebungstemperaturen über 30 °C ermittelt werden, so ist folgendermaßen zu verfahren:

Aus der entsprechenden Erweiterungstabelle ist für die gewünschte Umgebungstemperatur die zulässige Leiterbelastung bei Dauerstrom in Prozent der Werte nach der Grundtabelle für die zulässige Dauerbelastung isolierter Cu- bzw. Al-Leiter zu ermitteln. Ergibt sich dabei für Temperaturen über 30 °C ein größerer Leiterquerschnitt, so ist jedoch eine Sicherung zuzuordnen, die dem bei 30 °C ausreichenden Leiterquerschnitt der Grundtabelle entsprechen würde.

Umgebungstemperatur °C	Zulässige Dauerbelastung in % der Werte von Tabelle 10.3/7 Isolierte Leiter	
	Typ TW, UF	Typ RH, THW
über 20 bis 25	108	105
über 25 bis 30	100	100
über 30 bis 35	91	94
über 35 bis 40	82	88
über 40 bis 45	71	82
über 45 bis 50	58	75
über 50 bis 55	41	67
über 55 bis 60	-	58
über 60 bis 70	-	33

Zulässige Dauerbelastung isolierter Leiter in % der Werte der nebenstehenden Grundtabelle bei Umgebungstemperaturen über 20 bis 70 °C.

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Leitergröße	Bemessungsquerschnitt q_r (äquivalent)	ISO-Bemessungsquerschnitt	Bis zu drei isolierte Leiter in Rohr verlegt oder Dreileiterkabel						Ein isolierter Leiter frei in Luft verlegt					
			Cu-Leiter			Al-Leiter			Cu-Leiter			Al-Leiter		
			Zulässige Dauerbelastung nach ⁵⁾ / ⁶⁾		Bemessungsstrom der Sicherung ⁴⁾	Zulässige Dauerbelastung nach ⁵⁾ / ⁶⁾		Bemessungsstrom der Sicherung ⁴⁾	Zulässige Dauerbelastung nach ⁵⁾ / ⁶⁾		Bemessungsstrom der Sicherung ⁴⁾	Zulässige Dauerbelastung nach ⁵⁾ / ⁶⁾		Bemessungsstrom der Sicherung ⁴⁾
			Typ	Typ		Typ	Typ		Typ	Typ				
			TW ²⁾ UF	RH ³⁾ THW RHW 75		TW ²⁾ UF	RH ³⁾ THW RHW 75		TW ²⁾ UF	RH ³⁾ THW RHW 75				
AWG ¹⁾	mm ²	mm ²	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
14	2,08	2,5	20/15	20/15	15	-	-	-	25/15	30/15	15	-	-	-
12	3,31	4	25/20	25/20	20	20/15	20/15	15	30/20	35/20	20	25/15	30/15	15
10	5,26	6	30	35/30	30	25	30/25	25	40/25	50/25	30	35/25	40/25	25
8	8,37	10	40	50	40/50	30	40	30/40	60	70	60/70	45	55	45/60
6	13,3	16	55	65	60/70	40	50	40/50	80	95	80/100	60	75	60/80
4	21,15	25	70	85	70/90	55	65	60/70	105	125	110/125	80	100	80/100
3	26,66	-	85	100	90/100	65	75	70/80	120	145	125/150	95	115	100/125
2	33,63	35	95	115	100/125	75	90	80/90	140	170	150/175	110	135	110/150
1	42,41	-	110	130	110/150	85	100	90/100	165	195	175/200	130	155	150/175
1/0	53,51	50	125	150	125/150	100	120	100/125	195	230	200/250	150	180	150/200
2/0	67,44	70	145	175	150/175	115	135	125/150	225	265	225/300	175	210	175/225
3/0	85,02	95	165	200	175/200	130	155	150/175	260	310	300/350	200	240	200/250
4/0	107,22	-	195	230	200/250	150	180	150/200	300	360	300/400	235	280	250/300
kcmil (MCM) ¹⁾														
250	126,8	120	215	255	225/300	170	205	175/225	340	405	350/450	265	315	300/350
300	152,01	150	240	285	250/300	190	230	200/250	375	445	400/450	290	350	300/350
350	177,35	185	260	310	300/350	210	250	225/250	420	505	450/600	330	395	350/400
400	202,68	-	280	335	300/350	225	270	225/300	455	545	500/600	355	425	400/450
500	253,35	240	320	380	350/400	260	310	300/350	515	620	600/700	405	485	450/500
600	304,0	300	355	420	400/450	285	340	300/350	575	690	600/700	455	540	500/600
700	354,71	-	385	460	400/500	310	375	350/400	630	755	700/800	500	595	500/600
750	380,0	-	400	475	400/500	320	385	350/400	655	785	700/800	515	620	600/700
800	405,36	400	410	490	450/500	330	395	350/400	680	815	700/1000	535	645	600/700
900	456,04	-	435	520	450/600	355	425	400/450	730	870	800/1000	580	700	600/700
1000	506,70	500	455	545	500/600	375	445	400/450	780	935	800/1000	625	750	700/800
1250	633,38	-	495	590	500/600	405	485	450/500	890	1065	1000/1200	710	855	700/1000
1500	760,05	-	520	625	600/700	435	520	450/600	980	1175	1000/1200	795	950	800/1000
1750	886,7	-	545	650	600/700	455	545	500/600	1070	1280	1200/1600	875	1050	800/1000
2000	1013,4	-	560	665	600/700	470	560	500/600	1155	1385	1200/1600	960	1150	1000/1200

Grundtabelle: Zulässige Dauerbelastung isolierter Cu- bzw. Al-Leiter bei Umgebungstemperaturen von 30 °C (nach amerikanischen NEC und kanadischen Bestimmungen) mit zugeordneten Leitungsschutzsicherungen.

- 1) AWG American Wire Gauge, amerikanisches Leiter-Normalmaß für Leiterquerschnitte bis 107,2 mm²
kcmil=kilo circular mil (1 kcmil entspricht 0,5067 mm²), bzw. MCM, amerikanisches Leiter-Normalmaß für Leiterquerschnitte ab 126,7 mm²
- 2) Leitertemperatur 60 °C
- 3) Leitertemperatur 75 °C
- 4) Erste Zahl gilt für Leiter der Typen TW und UF, die zweite Zahl für Leiter der Typen RH, THW und RHW 75
- 5) National Electrical Code 1993 (NFPA 70)
- 6) Canadian Electrical Code, Part I (CEC), 1993

Thermische Belastbarkeit von Stromschienen und Geräteanschlussklemmen

Bei der Auswahl der Stromschienenquerschnitte sind zu berücksichtigen:

- Die in den einschlägigen DIN VDE-Bestimmungen zulässigen Stromschienen- und Gerätetemperaturen bei Bemessungsbetrieb und Kurzschluss
- Die zusätzlichen Herstellerangaben über angeschlossene Betriebsmittel
- Die zulässigen Grenztemperaturen der in der Nähe befindlichen Betriebsmittel
- Die zulässigen Grenztemperaturen der Isoliermittel, z. B. der an diese Schienen angeschlossenen isolierten Leiter.

Zulässige Grenztemperaturen bei Bemessungsbetrieb sind:

- für Stromschienenverschraubungen nach DIN 43 673, 02.82 oxidfrei und gefettet 120 °C, versilbert oder gleichwertig behandelt 160 °C
- für Stützer und Durchführungen nach DIN VDE 0674 Teil 1, 12.84 85 °C
- für Isolierstoffe mit Klasseneinteilung nach Entwurf DIN VDE 0301 Teil 1, 08.83 (IEC-Publ. 85, 1984) >90 °C

Empfohlene Grenztemperaturen im Kurzschlussfall sind nach DIN VDE 0103:

- für blanke Leiter, massiv oder verseilt, aus Kupfer oder Aluminium 200 °C
- für blanke Leiter, massiv oder verseilt, aus Stahl 300 °C
- für papier- und/oder kunststoffisolierte Leiter, massiv oder verseilt, sind die Temperaturen den entsprechenden Betriebsmittelnormen zu entnehmen

Zulässige Grenzübertemperaturen¹⁾ an Geräteanschlussklemmen nach DIN EN 60 947-1 (VDE 0660 Teil 100) für externe Anschlüsse sind:

- für Kupfer blank 60 K
- für Messing blank bzw. für Messing oder Kupfer verzinkt 65 K
- für Kupfer oder Messing, versilbert bzw. vernickelt 70 K²⁾

1) Die angegebenen Übertemperaturen dürfen geräteabhängig bei Geräten mit kleinen Abmessungen um max. 10 K überschritten werden.

2) Grenzübertemperaturen bei Anschluss von PVC-Kabeln.

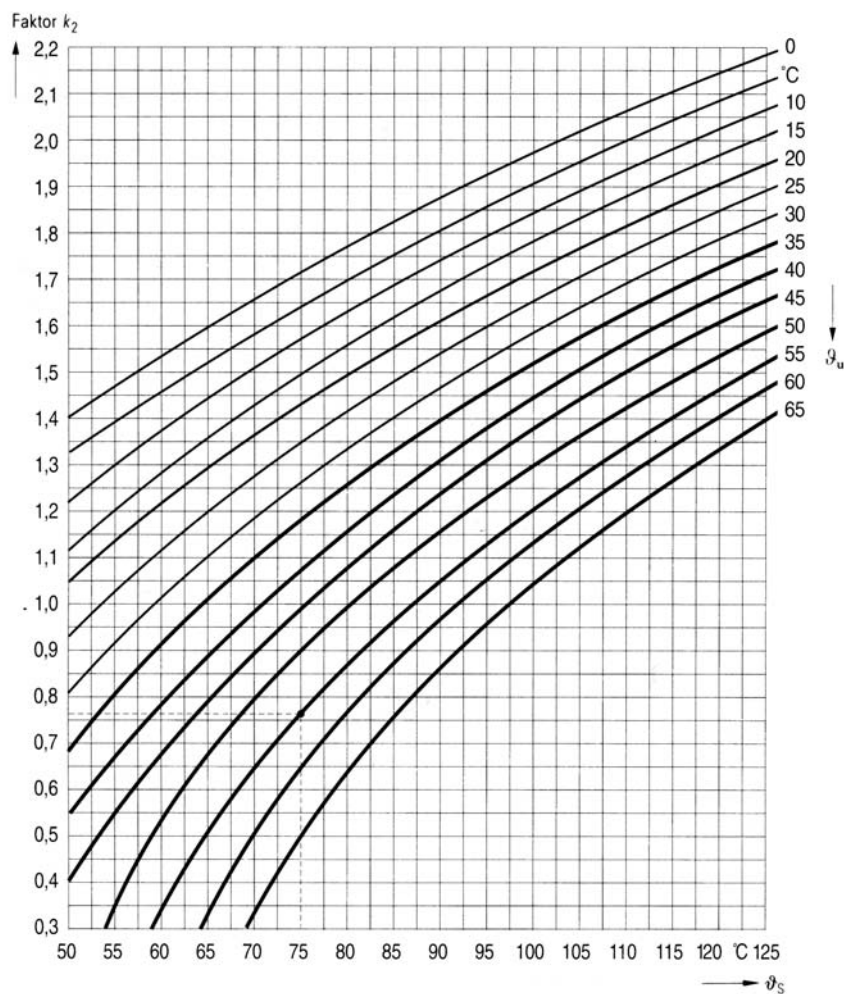
Kupferschienen:

In der entsprechenden Tabelle sind die Belastungswerte für Stromschienen aus Kupfer für eine Umgebungstemperatur von 35 °C und für eine Betriebstemperatur der Stromschienen von 65 °C angegeben.

Bei anderen Umgebung- und Schientemperaturen sind die in der Tabelle aufgeführten Belastungswerte für Kupferschienen mit dem Faktor k_2 durch Division umzurechnen.

Breite x Dicke	Quer- schnitt	Breite x Dicke	Gewicht	Dauerstrom							
				Wechselstrom bis 60 Hz				Gleich- und Wechselstrom bis 16 2/3 Hz			
				gestrichen		blank		gestrichen		blank	
				Schienenanzahl		Schienenanzahl		Schienenanzahl		Schienenanzahl	
				I	II	I	II	I	II	I	II
mm	mm ²	inch	kg/m	A	A	A	A	A	A	A	A
2x5	99,1	0,75x0,20	0,882	319	560	274	500	320	562	274	502
30x5	149	1x0,25	1,33	447	760	379	672	448	766	380	676
40x5	199	1,25x0,25	1,77	573	952	482	836	576	966	484	848
50x5	249	1,5x0,25	2,22	697	1140	583	994	703	1170	588	1020
20x10	199	0,75x0,5	1,77	497	924	427	825	499	932	428	832
30x10	299	1x0,5	2,66	676	1200	573	1060	683	1230	579	1080
40x10	399	1,25x0,5	3,55	850	1470	715	1290	865	1530	728	1350
50x10	499	1,50x0,5	4,44	1020	1720	852	1510	1050	1830	875	1610
60x10	599	2x0,5	5,33	1180	1960	985	1720	1230	2130	1020	1870
80x10	799	2,5x0,5	7,11	1500	2410	1240	2110	1590	2730	1310	2380
100x10	999	3x0,5	8,89	1810	2850	1490	2480	1940	3310	1600	2890
120x10	1200	3,75x0,5	10,7	2110	3280	1740	2866	2300	3900	1890	3390
160x10	1600	5x0,5	14,2	2700	4130	2220	3590	3010	5060	2470	4400
200x10	2000	6x0,5	17,8	3290	4970	2960	4310	3720	6220	3040	5390

Stromschienen aus Kupfer nach DIN 43 671, 12.75 (Auszug) für eine Schienen-Umgebungstemperatur ϑ_u von 35 °C und einer Betriebstemperatur ϑ_s der Schienen von 65 °C, Werkstoff: E-CuF30.



Faktor k_2 zur Ermittlung des Leiterquerschnitts von Kupferschienen bei Schienen-Umgebungstemperaturen ϑ_u von 0 bis 65 °C und/oder Schienen-Betriebstemperaturen ϑ_s bis 125 °C.

Hinweis:

Für PTSK gelten 50 °C als Schienenumgebungstemperatur und 70 °C als Schienenbetriebstemperatur als üblich, auch wenn in einer PTSK der Erwärmungsnachweis auf 55 °C an der Schrankoberkante basiert, da die Schienen zwar meist oben, jedoch nicht unmittelbar unter dem Dach angeordnet sind.

Dies darf auch zugrunde gelegt werden, obwohl in DIN EN 60 439 Teil 507 Al die Werte auf 55 °C basieren.

Wenn an die Schienen keine PVC-isolierten Leiter angeschlossen werden, darf die Schientemperatur auf 85 °C festgelegt werden. Damit ergibt sich für 50 °C und 70 °C ein Faktor von 0,78 und bei 85 °C ein Faktor von 1,07. Für TSK können Schienenbetriebstemperaturen von 125 °C zugrunde gelegt werden.

Aluminiumschienen

Im Hinblick auf die dynamische Festigkeit und die Verwendung von Schrauben der Güteklasse 8 und damit mit Rücksicht auf die Stromtragfähigkeit und Temperaturbeanspruchung, wird für Stromschienen aus Aluminium die Verwendung von E-Al MgSi05 F17 vorgeschlagen.

Hinweis:

Die Strombelastbarkeit ist um mehr als ein Drittel geringer als bei Cu-Schienen und kann nach DIN 43 671 ermittelt werden.

Widerstand von Kupfer- und Aluminiumleitern

Zur Ermittlung von 2- und 3-poligen Kurzschlussströmen nach DIN VDE 0102, 01.90 können die Wirkwiderstände je einfache Längeneinheit von Kupferleitern bei einer Leitertemperatur von 20 °C und von Aluminiumleitern ebenfalls bei einer Leitertemperatur von 20 °C der entsprechenden Tabelle entnommen werden und sind mit nachstehender Gleichung auf 80 °C Leitertemperatur umzurechnen.

Hinweis:

Die Leiterwiderstände können den an den Transformator клемmen auftretenden (dreipoligen) Kurzschluss je nach Länge und Leiterquerschnitt erheblich dämpfen. Diese Dämpfung ist umso wirkungsvoller je kleiner die Leistung und die Sekundärspannung und je größer u_{kr} des Transformators ist.

TIPP:

Als Faustformel gilt: Ein Kurzschlussstrom I_k'' von z. B. 50 kA an den sekundärseitigen Transformator клемmen wird in einem 400-V-Netz durch ein Verbindungskabel mit 70 mm² Cu-Leiterquerschnitt bereits nach 10 m auf etwa 30 kA gedämpft, bei 240 mm² dagegen erst nach 33 m.

Die in der entsprechenden Tabelle angegebenen Werte für die Wirkwiderstände R_L' von Kupfer- und Aluminiumleitern sind für Leitertemperaturen über 20 °C näherungsweise nach folgender Beziehung umzurechnen:

$$R_{\vartheta 2} = R_{20} (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta\vartheta)$$

Für Kupfer ist: $\alpha_{20} = 0,00393$

für Aluminium ist: $\alpha_{20} = 0,00403$

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Kupfer		Aluminium ¹⁾	
Bemessungsquerschnitt q_r mm ²	Ohmscher Widerstand mΩ/m	Bemessungsquerschnitt q_r mm ²	Ohmscher Widerstand mΩ/m
0,75	24,17	-	-
1	18,09	-	-
1,5	12,06	-	-
2,5	7,26	-	-
4	4,55	-	-
6	3,02	-	-
10	1,81	10	2,88
16	1,14	16	1,89
25	0,73	25	1,20
35	0,53	35	0,88
50	0,39	50	0,64
70	0,27	70	0,45
95	0,20	95	0,32
120	0,157	120	0,26
150	0,129	150	0,21
185	0,10	185	0,17
240	0,080	240	0,13
300	0,069	300	0,105

Ohmscher Widerstand R_L' je einfache Längeneinheit von Kupfer- und Aluminiumleitern bei 20 °C Leitertemperatur und 50 Hz. In beiden Tabellen sind die Wirk- und Blindwiderstandsbeläge für einen Leiter pro einfache Längeneinheit angegeben. Das bedeutet, dass der Wirkwiderstand R_d bei etwas über 80 °C etwa 25 % über den angegebenen Werten in der oberen Tabelle liegt.

¹⁾ Der ohmsche Widerstand von Aluminium-Leitern ist etwa um den Faktor 1,7 höher als der von Kupfer-Leitern.

Bemessungsquerschnitt q_r	Kabel für 0,6/1 kV		
	N(A)KBA, 4-Leiter	N(A)KLEY, 3 1/2-Leiter	N(A)YY, NYCY, N(A)YCWY, 4-Leiter
mm ²	X_L' mΩ/m	X_L' mΩ/m	X_L' mΩ/m
1,5	-	-	0,115
2,5	-	-	0,110
4	-	-	0,107
6	-	-	0,100
10	0,103	-	0,094
16	0,099	-	0,090
25	0,094	-	0,086
35	0,092	-	0,083
50	0,090	0,071	0,083
70	0,087	0,069	0,082
95	0,086	0,068	0,082
120	0,086	0,068	0,080
150	0,085	0,067	0,080
185	0,085	0,067	0,080
240	0,084	0,066	0,079
300	0,084	-	0,079

Die in der Tabelle angegebenen Werte für die induktiven Blindwiderstände X_L' von Kupfer- und Aluminiumleitern bei 50 Hz sind für andere Frequenzen proportional umzurechnen, z. B. für 60 Hz: $X_{60\text{Hz}}' = 60/50 \cdot X_L' = 1,2 \cdot X_L'$

Bemessungsströme von Drehstrom-Asynchronmotoren

Die Bemessungsströme von Drehstrom-Asynchronmotoren für 50-Hz- und 60-Hz-Netze können von Hersteller zu Hersteller geringfügig differieren. Der Zusammenhang von Motorpolzahl und zugehöriger Motordrehzahl bei Leerlauf und bei Bemessungslast in 50-Hz-Netzen lässt sich sehr gut darstellen.

Hinweis:

Bei Betrieb in 60-Hz-Netzen erhöht sich die 50-Hz-Motordrehzahl um etwa 20 % und die 50-Hz-Bemessungsleistung auf etwa das 1,15-fache bei nahezu unverändertem Leistungsfaktor ($\cos \varphi$). Für andere als die in der Tabelle angegebenen Netzspannungen sind die Ströme entsprechend umzurechnen.

Genormte Motorbemessungsleistungen	200 V ¹⁾	208 V ¹⁾	230 V ²⁾	230 V ¹⁾	400 V ¹⁾	460 V ¹⁾	500 V ²⁾	575 V ¹⁾	690 V ²⁾	
				(220-240 V)	380 V ²⁾	(440-480 V)		(550-600 V)		
kW ³⁾	HP ¹⁾	Zugeordnete Bemessungsströme I_r in A								
0,25	1/3	1,75	1,7	1,6	1,5	0,9	0,75	-	-	-
0,37	1/2	2,5	2,4	2,0	2,2	1,1	1,1	-	0,9	-
0,55	3/4	3,7	3,5	2,6	3,2	1,5	1,6	1,2	1,3	0,9
0,75	1	4,8	4,6	3,3	4,2	1,9	2,1	1,5	1,7	1,1
1,1	1,5	6,9	6,6	4,3	6,0	2,5	3,0	2,0	2,4	1,4
1,5	2	7,8	7,5	5,8	6,8	3,3	3,4	2,6	2,7	1,9
2,2	3	11	10,6	8,3	9,6	4,7	4,8	3,8	3,9	2,7
3	-	-	-	11,0	-	6,3	-	5,0	-	3,6
(3,7)	5	17,5	16,7	-	15,2	-	7,6	-	6,1	-
4	-	-	-	14	-	8	-	6,5	-	4,7
5,5	7,5	25,3	24,2	19	22	11	11	9,0	9,0	6,3
7,5	10	32,2	30,8	26	28	15	14	12	11	8,5
11	15	48,3	46,2	36	42	21	21	17	17	12
15	20	62,1	59,4	50	54	28	27	23	22	16
18,5	25	78,2	74,8	61	68	35	34	28,5	27	20
22	30	92	88	73	80	42	40	33	32	24
30	40	120	114	99	104	57	52	45	41	33

Bemessungsströme von vierpoligen Drehstrom-Asynchronmotoren in Grundausführung Schutzart IP54, für 50-Hz- bzw. 60-Hz-Netze (1.500 bzw. 1.800 min⁻¹).

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Genormte Motorbemessungsleistungen	200 V ¹⁾		208 V ¹⁾		230 V ²⁾		230 V ¹⁾		400 V/		460 V ¹⁾		500 V ²⁾		575 V ¹⁾		690 V ²⁾		
					(220-		380 V ²⁾		(440 -				(550-						
					240 V)				480 V)				600 V)						
kW ³⁾	HP ¹⁾	Zugeordnete Bemessungsströme I_r in A																	
37	50	150	143	120	130	69	65	55	52	40									
45	60	177	169	140	154	81	77	65	62	47									
55	75	221	211	173	192	100	96	80	77	58									
75	100	285	273	228	248	131	124	105	99	76									
90	125	359	343	281	312	162	156	129	125	94									
110	150	414	396	339	360	195	180	156	144	113									
132	-	-	-	405	-	233	-	187	-	135									
-	200	552	528	-	480	-	240	-	192	-									
160	-	-	-	496	-	285	-	228	-	165									
-	250	-	-	-	-	-	302	-	242	-									
200	-	-	-	611	-	352	-	281	-	204									
-	300	830	794	-	722	-	361	-	289	-									
250	-	-	-	785	-	431	-	360	-	262									
-	350	952	911	-	828	-	414	-	336	-									
-	400	1097	1050	-	954	-	477	-	382	-									
315	-	-	-	925	-	532	-	426	-	308									
335	450	1230	1177	975	1070	561	515	448	412	325									
355	-	-	-	-	-	608	-	486	-	352									
375	500	1357	1298	1057	1180	637	590	509	472	369									
400	-	-	-	1190	-	684	-	547	-	397									
450	600	-	-	1338	1416	770	708	615	567	446									
500	-	-	-	1470	-	846	-	676	-	490									
530	700	-	-	1578	1652	907	826	726	661	526									
560	-	-	-	-	-	950	-	760	-	551									
600	800	-	-	-	1888	1017	944	813	755	589									
630	-	-	-	-	-	1064	-	851	-	617									
670	900	-	-	-	2124	1140	1062	912	850	661									
710	-	-	-	-	-	1216	-	973	-	705									
750	1000	-	-	-	2360	1283	1180	1026	944	743									
800	-	-	-	-	-	1378	-	1102	-	799									
850	-	-	-	-	-	1463	-	1170	-	848									
900	1200	-	-	-	2832	1549	1416	1239	1132	898									
950	-	-	-	-	-	1634	-	1307	-	947									
1000	-	-	-	-	-	1720	-	1376	-	997									

Bemessungsströme von vierpoligen Drehstrom-Asynchronmotoren in Grundausführung Schutzart IP54, für 50-Hz- bzw. 60-Hz-Netze (1.500 bzw. 1.800 min⁻¹).

¹⁾ nach NEC 96 (nur bis 500 HP), ab 500 HP nach UL 508 (19.9.77) table 24.4 für 60 Hz

²⁾ ca. Bemessungsstrom eines vierpoligen Asynchronmotors bei 50-Hz-Netzen

³⁾ nach DIN 42 973

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Polzahl	Synchrone Drehzahl n ¹⁾		Drehzahl bei Bemessungsbelastung	
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
	min ⁻¹	min ⁻¹	min ⁻¹	min ⁻¹
2	3000	3600	2800-2950	3360-3540
4	1500	1800	1400-1470	1680-1765
6	1000	1200	900-985	1080-1180
8	750	900	690-735	830-880
10	600	720	550-585	660-700

Zusammenhang zwischen Motorpolzahl und Motordrehzahl
in 50-Hz bzw. 60-Hz-Netzen.

¹⁾ Ungefähre Leerlaufdrehzahl

Drehstrom-Verteilungstransformatoren

Ein überschlägiges Verfahren zur Ermittlung der Kurzschlussströme in Niederspannungs-Strahlennetzen bedient sich folgender Faustformeln:

Transformator-Bemessungsstrom:

$$I_r \text{ (in A)} = K \cdot S_{rT} \text{ (in kVA)}$$

bei 400 V: K = 1,45
 bei 525 V: K = 1,1
 bei 690 V: K = 0,85

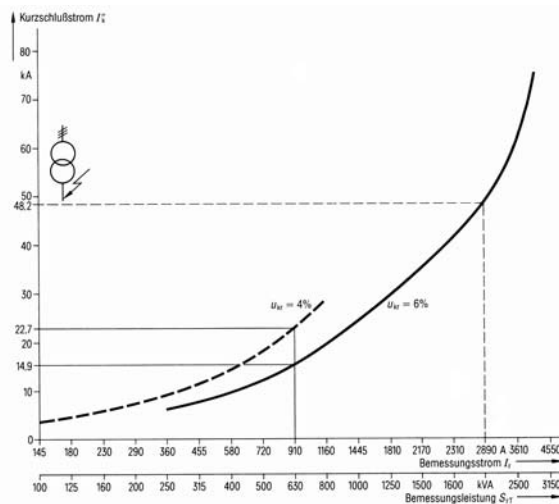
Transformator-Anfangskurzschlusswechselstrom:

$$I_k'' \approx I_k = \frac{I_r \cdot 100}{u_{kr}}$$

Hinweis:

Die Grafik zeigt, dass die Kurzschlussströme von Transformatoren meist nicht so hoch sind wie allgemein angenommen wird.

Unbeeinflusster Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' von Transformatoren (400 V, 50 Hz), abhängig von der Transformator-Bemessungsleistung S_{rT} und dem Bemessungswert der Kurzschlussspannung u_{kr} .



Kurzzeichen der Kühlungsart und ihre Anordnung nach
DIN VDE 0532 Teil 2, 01.891)

Kühlmittel:

- O Mineralöl oder synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit mit Brennpunkt $\leq 300\text{ °C}$
- K Synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit mit Brennpunkt $> 300\text{ °C}$
- L Synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit mit nichtmessbarem Brennpunkt
- A Luft

Kühlmittelbewegung:

- N Natürliche Bewegung (Selbstkühlung)
- F Erzwungene Bewegung (Öl nicht gerichtet)
- D Erzwungene Bewegung (Öl gerichtet)

Für Wicklungskühlung		Für äußere Kühlung	
1. Buchstabe	2. Buchstabe	3. Buchstabe	4. Buchstabe
Kühlmittel	Kühlmittelbewegung	Kühlmittel	Kühlmittelbewegung

Folge der Buchstaben-Kurzzeichen, z. B. ONAN.

Ausführung		Bemessungsleistungen S_{rT}	Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m	Bemessungswert der Kurzschlussspannung u_{kr}	Kühlungsart	DIN
		kVA	kV	%		
Ölgefüllte Transformatoren		50-630	24	4	ONAN	42 500 ¹⁾
		1000-3150	24	6	ONAN	42 500 ¹⁾
Trockentransformatoren in Isolierstoffklasse	E,B,F	100-630	1,1	4	AN	42 524
	E,B,F	100-630	12	4		
	E,B,F	250-1600	12	6		
	H	100-630	1,1	4		
	H	250-1600	1,1	6		
	H	400-630	12	4		
	H	400-1600	12	6		
Gießharztransformatoren		100-630	12	4	AN	42 523 ²⁾
		1000-2500	12	6		
		250-2500	24	6		

Wichtige Kenndaten von Drehstrom-Verteilungstransformatoren: 1) EG-Norm, entspricht dem HD428 des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung CENELEC. 2) Es ist eine Normal-Reihe (N) und eine Reduzierte Reihe (R) mit gegenüber N um etwa 23 % verringerten Leerlaufverlusten und um 8 dB verminderten A-Schallleistungspegeln vorgesehen.

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Bemessungs- spannung U_{rT}	400/230 V, 50 Hz			525 V, 50 Hz			690/400 V, 50 Hz		
Bemessungs- wert der Kurzschluss- spannung u_{kr}		4 % ¹⁾	6 % ²⁾		4 % ¹⁾	6 % ²⁾		4 % ¹⁾	6 % ²⁾
Bemessungs- leistung	Bemessungs- strom I_r	Anfangskurzschluss- wechselstrom $I_k^{(3)}$		Bemessungs- strom I_r	Anfangskurzschluss- wechselstrom $I_k^{(3)}$		Bemessungs- strom I_r	Anfangskurzschluss- wechselstrom $I_k^{(3)}$	
kVA	A	A	A	A	A	A	A	A	A
50	72	1 800	1 200	55	1 375	910	42	1 040	690
100	144	3 600	2 400	110	2 750	1 830	84	2 080	1 390
160	230	5 770	3 850	176	4 400	2 930	133	3 320	2 230
200	288	7 200	4 810	220	5 500	3 660	167	4 160	2 780
250	360	9 025	6 015	275	6 875	4 580	209	5 220	3 480
315	455	11 375	7 580	346	8 560	5 770	262	6 650	4 360
400	578	14 400	9 630	440	11 000	7 330	335	8 330	5 580
500	722	18 050	11 030	550	13 750	9 160	418	10 450	6 960
630	910	22 750	14 860	693	17 300	11 550	525	13 120	8 760
800	1 154	28 850	19 260	880	22 000	14 660	670	16 750	11 160
1 000	1 444	36 100	24 060	1 100	27 500	18 330	836	20 900	13 930
1 250	1 805	45 125	30 080	1 375	34 375	22 910	1 046	26 160	17 430
1 600	2 310	57 800	36 530	1 760	44 000	29 300	1 330	33 250	22 170
2 000	2 887	-	48 180	2 200	55 000	36 660	1 674	41 850	27 890
2 500	3 608	-	60 150	2 749	-	45 800	2 090	-	34 840
3 150	4 550	-	75 850	3 470	-	57 840	2 640	-	44 000

Bemessungsströme und Anfangskurzschlusswechselströme von Drehstrom-Verteilungstransformatoren mit 50 bis 3150 kVA

- 1) $u_{kr} = 4\%$, genormt nach DIN 42 503 für $S_{rT} = 50 \dots 630$ kVA
 2) $u_{kr} = 6\%$, genormt nach DIN 42 511 für $S_{rT} = 100 \dots 1600$ kVA
 3) I_k "Unbeeinflusster Transformator-Anfangskurzschlusswechselstrom beim Anschluss an ein Netz mit unbegrenzter Kurzschlussleistung"

Typische Werte des prozentualen Bemessungswerts der Kurzschlussspannung von Transformatoren mit zwei getrennten Wicklungen		Höchstzulässige Kurzschlussdauer für deutsche und österreichische Netze ¹⁾	Kurzschlussleistung des Netzes, die bei fehlenden Angaben verwendet werden darf	
Bemessungsleistung S_{rT}	Bemessungskurzschlussspannung u_{kr}		Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m	Kurzschlussleistung S des Netzes
kVA	%		kV	MVA
bis 630	4,0	2	7,2; 12; 17,5; 24	500
631 bis 1250	5,0	3	36	1000
1251 bis 3150	6,25	4	52; 72,5	3000

$$I_k = \frac{U_{rT} \cdot 10^3}{(Z_T + Z_S) \sqrt{3}} \quad \text{mit } Z_S = \frac{U_S^2}{S} \quad \text{und } Z_T = \frac{10 \cdot u_{kr} \cdot U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad \text{für } Z_S = 0 \quad \text{wird } I_k / I_r = \frac{100}{u_{kr}} \quad 2)$$

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Dauerkurzschlussströme und ihre höchstzulässige Dauer nach DIN VDE 0532 Teil 5, 05.84:

- I_k Dauerkurzschlussstrom in A
- I_r Bemessungsstrom der betroffenen Wicklung in A
- U_{rT} Bemessungsspannung der betroffenen Wicklung in kV
- U_s Nennspannung des Netzes in kV
- Z_s Kurzschlussimpedanz des Netzes in Ω/Phase^2
- Z_T Kurzschlussimpedanz des Transformators in Ω/Phase
- 1) Die IEC-Publikation 76-5 (1976) sieht eine Kurzschlussdauer von einheitlich 2 s vor für $I_k/I_r \leq 25$
- 2) Z_s wird nur berücksichtigt bei $S_{rT} \leq 3.150 \text{ kVA}$ mit $Z_s/Z_T > 0,05$

Zulässige Übertemperaturen nach DIN VDE 0532 Teil 2, 01.89

Öltransformatoren:

Thermische Klasse A:

Wicklung 65 K bei ON- oder OF-Kühlung,

70 K bei OD-Kühlung:

Öl (oben):

60 K bei Transformatoren mit Ausdehnungsgefäß oder bei hermetisch geschlossenem Transformator,

55 K ohne Ausdehnungsgefäß und ohne hermetischen Abschluss des Transformators.

Trockentransformatoren:

Thermische Klasse	A	E	B	F	H	C
Wicklung K	60	75	80	100	125	≥ 150

Temperatur des Kühlmittels:

- bei Luftkühlung

Maximaltemperatur: 40 °C,

Minimaltemperatur: -25 °C (kurzzeitig -30 °C),

mittlere Temperatur: Tag: max. 30 °C,
Jahr: max. 20 °C;

- bei Wasserkühlung

Eintrittstemperatur max. 25 °C.

Schaltzeichen und Schaltgruppen von Drehstrom-Verteilungstransformatoren

Da die Energieversorgung heute auf dem Drehstromsystem beruht, werden Leistungstransformatoren fast immer als Drehstromeinheiten gebaut. Für die elektrische Schaltung der drei Oberspannungs- und Unterspannungswicklungen besteht dabei eine Vielzahl von Möglichkeiten, von denen die wichtigsten in DIN VDE 0532 zusammengestellt sind.

Die Darstellung der Wicklungen mit den vollständigen Anschlussbezeichnungen erfolgt nach DIN 42 402. Die vor den Buchstaben U, V und W stehenden Zahlen 1 und 2 kennzeichnen die Oberspannungs- bzw. Unterspannungswicklung. Die den Buchstaben nachgestellten Zahlen 1 und 2 bezeichnen Anfang und Ende eines Wicklungsstrangs, die oft weggelassen werden.

Zur Kennzeichnung der Schaltung von Oberspannungs- und Unterspannungswicklung dient die Schaltgruppe, die außerdem die Phasenlage der Spannungen zueinander angibt. Mit der Stern-, der Dreieck- und der Zickzackschaltung bestehen drei Möglichkeiten zur Verbindung der Wicklungen jeder Seite. Ihnen sind die Zeichen Y, D und Z für die Oberspannungsseite zugeordnet.

Ist der Sternpunkt einer Wicklung in Stern- oder Zickzackschaltung herausgeführt, wird zur Kennzeichnung ein N bzw. ein n zugefügt, z.B. Dyn5, Yzn, Ynd5.

11 – Strombelastbarkeit und Schutz

Kenn- zahl	Schalt- gruppe ¹⁾	Zeigerbild		Schaltungsbild ²⁾	
		OS	US	OS	US
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	Dy5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

Die Tabelle zeigt die gebräuchlichsten Schaltgruppen von Drehstrom-Verteilungstransformatoren. Die eingerahmten Schaltgruppen werden bevorzugt angewendet.

¹⁾ Bei herausgeführtem Sternpunkt ist hinter dem Schaltzeichen der Wicklung N bzw. n zu ergänzen.

²⁾ Bei den Wicklungen ist gleicher Wickelsinn vorausgesetzt. Das heißt, räumlich gesehen sind in den Schaltungsbildern die Wicklungen nach unten geklappt zu denken. Herausgeführte Sternpunkte werden mit 1N bzw. 2N bezeichnet.