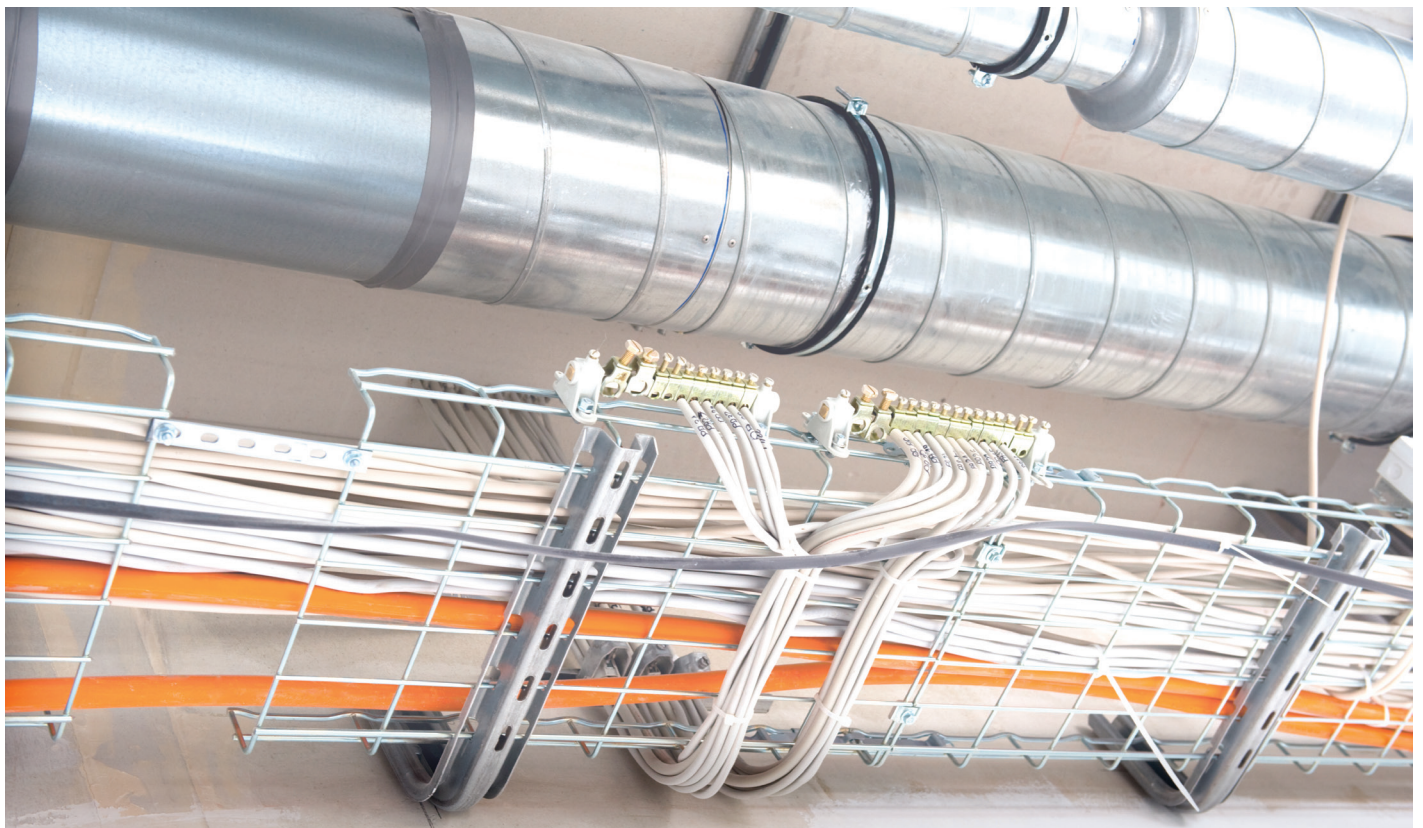


Kabel- und Leitungsdimensionierung und Auswahl von Überstrom-Schutzeinrichtungen

Bei der Auslegung von Kabel- und Leitungsanlagen sind Anforderungen zu berücksichtigen, die den sicheren Betrieb und den Schutz im Fehlerfall ermöglichen.

Ziel ist, gegen thermische Überbeanspruchung sowohl im Überlastfall, als auch im Kurzschlussfall zu schützen und Kabel/Leitungen so auszulegen, dass die im Betrieb zu erwartenden Einflüsse keine unzulässigen Auswirkungen verursachen.

Die in dieser Broschüre zusammengestellten Unterlagen basieren auf den Anforderungen aus DIN VDE 0100. Sie spiegeln den Stand von Mitte 2009 wider, können aber im Einzelfall das Lesen der entsprechenden Normen bzw. Normenteile nicht ersetzen. Die Auslegung von Kabel- und Leitungsanlagen bzgl. der Strombelastbarkeit für die Anwendung in und an Gebäuden erfolgt üblicherweise nach DIN VDE 0298-4 (Geltungsbereich beachten!), wobei die Anforderungen im Zusammenhang mit der Ausrüstung von Maschinen in DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) aufgeführt sind.



Inhalt

1. Verlegearten und Strombelastbarkeit von Kabeln/Leitungen	3
2 Maximale Leitungslängen	11
3. Auslöse-Charakteristiken für Sicherungsautomaten im Vergleich	18
4. Vorgehensweise bei Auslegung von Kabel- und Leitungssystemen und Auswahl von Überstrom-Schutzeinrichtungen	25
5. Auslegungsbeispiel für einen Durchlauferhitzer	26
6. Sicherungsautomaten für den Leitungs- und Geräteschutz sowie ihre Anwendungsbereiche	27

Legende der verwendeten Formelzeichen

Überstromschutzeinrichtungen

I_n	Bemessungsstrom
I_1	festgelegter Nichtauslösestrom auch als I_{nt} „conventional non-tripping current“ oder I_{nf} „conventional non-fusing current“ bezeichnet
I_2	festgelegter Auslösestrom auch als I_t „conventional tripping current“ oder I_f „conventional fusing current“ bezeichnet

Stromkreis

I_b	(maximaler) Betriebsstrom eines Stromkreises
I_{erf}	der für die Abschaltung in einer vorgegebenen Zeit erforderliche Strom
Z_s	die Gesamtimpedanz der Fehlerschleife (bestimmt den maximal möglichen Fehlerstrom) es gilt: $Z_s = Z_v + Z_{KL}$
Z_v	tatsächlicher Impedanzanteil vor der Überstrom- Schutzeinrichtung (Vorimpedanz einschließlich Netzschleifenimpedanz);
Z_{KL}	Impedanzanteil von der Überstrom-Schutzeinrichtung bis zum Ende des Kabels oder der Leitung
I_a	zugrunde zu legender Auslösestrom für die Schnell- abschaltung nach DIN VDE 0100-410

Kabel/Leitung

I_Z	zulässige Strombelastbarkeit
l_{max}	maximal zulässige Länge eines Kabels/einer Leitung
Z_{v0}	angenommener Impedanzanteil vor der Überstrom- Schutzeinrichtung von 300 mΩ (Vorimpedanz ein- schließlich Netzschleifenimpedanz)
f_L	Längenkorrekturfaktor (Näherungswert) für l_{max} je 10 mΩ Abweichung von $Z_{v0} = 300$ mΩ
t_a	geforderte Abschaltzeit
R_i	Innenwiderstand Sicherungsautomat bei 20 °C
R_L	Leitungswiderstand bei 20 °C
ϑ_R	Referenzumgebungstemperatur

Sicherungsautomaten

k	Materialwert nach DIN VDE 0100-540
S	Leiterquerschnitt
f_1, f_2	Reduktionsfaktoren für die Strombelastbarkeit
T_U	Umgebungstemperatur

Die farbig unterlegten Bereiche in Tabellen und Textpassagen beziehen sich auf das Auslegungsbeispiel aus Kapitel 5

1. Verlegearten und Strombelastbarkeit von Kabeln/Leitungen

Nach DIN VDE 0298-4/August 2003

Gegenüber der Ausgabe von April 1998 sind neu hinzugekommen:

- Auswirkung von Oberwellenströmen auf symmetrisch belastete Drehstromsysteme
- Beispiel weiterer Verlegearten und deren Zuordnung zu den Referenzverlegearten
- Referenzverlegeart D* „Verlegung im Elektroinstallationsrohr oder Kabelschacht im Erdreich“

Überstromschutz

Kabel, Leitungen und Geräte sind gegen Überlast und Kurzschluss zu schützen. Das ist eine wesentliche Forderung aus der DIN VDE 0100. ABB-Sicherungsautomaten mit ihren verschiedenen Auslöse-Charakteristiken B, C, D, E, K und Z erfüllen die vielfältigen Anforderungen der Praxis an den Überstromschutz.

Begriffserläuterungen

Größte dauernd zulässige Strombelastbarkeit

Die größte dauernd zulässige Belastbarkeit I_z eines Kabels oder einer Leitung ergibt sich aus der maximal zulässigen Betriebstemperatur (des Isolierwerkstoffes), der Umgebungstemperatur, der Verlegeart, der Anzahl der stromdurchflossenen Adern, dem Isolierwerkstoff, dem Leiterwerkstoff und dem Leiterquerschnitt. Abweichende Umgebungstemperaturen sowie eine Häufung von Leitungen müssen durch Umrechnungsfaktoren berücksichtigt werden (siehe hierzu Tabelle 1 ... 10).

Überstrom

Überstrom ist jeder Strom, der über der größten dauernd zulässigen Strombelastbarkeit I_z liegt. Überstrom ist der Sammelbegriff für Überlaststrom im Überlastfall und Kurzschlussstrom im Kurzschlussfall.

Überlast

Überlast kann auftreten, ohne dass die elektrische Anlage schadhaft ist, z.B. bei gleichzeitiger Benutzung leistungstarker Verbrauchsgeräte an mehreren Steckdosen, die alle an denselben Stromkreis angeschlossen sind. Überlast kann ebenso bei zu starkem Belasten von Elektromotoren entstehen, z.B. wenn ein zu dickes Holz zu schnell gegen die Kreissäge geschoben wird.

Bei Überlast muss also kein Fehler in der elektrischen Anlage vorliegen. Vielmehr kann ein Fehlverhalten des Betreibers der Grund für die Überlast sein.

Bei einem geringen Überlaststrom wird gleichzeitig ein Teil der entstehenden Wärme an die kältere Umgebung abgeleitet, so dass erst nach längerer Zeit eine unzulässig hohe Betriebstemperatur erreicht wird. Wird der Leiter nach kurzzeitiger Belastung mit Überlaststrom abgeschaltet oder zumindest erheblich unter der größten dauernd zulässigen Belastbarkeit I_z belastet, so dass er sich wieder auf die größte dauernd zulässige Betriebstemperatur abkühlen kann, muss noch nicht mit bleibender Schädigung des Isolierwerkstoffes gerechnet werden.

Kurzschluss

Kurzschluss entsteht infolge eines Fehlers an der elektrischen Anlage, bei dem der Widerstand des Betriebsstromkreises nahezu auf Null verringert wird. Dies kann beispielsweise auftreten, wenn in die unter Putz liegende Leitung zu einer Leuchte ein Nagel eingeschlagen wird. Dabei wird vor dem elektrischen Verbrauchsmittel, welches mit großem Widerstand behaftet ist, die Zuleitung über den wesentlich geringeren Widerstand des Nagels kurzgeschlossen.

Bei den Kurzschlussströmen, die oft das 100- bis 1000-fache des Betriebsstromes betragen, wird zunächst die gesamte Wärmeenergie in dem Leiter gespeichert. Erst nach ca. 5 Sekunden kann der Leiter Wärmeenergie an seine kältere Umgebung abführen. Unter dem Gesichtspunkt, dass nach dem Kurzschlussstrom eine Abschaltung und somit eine längere stromlose Zeit eintritt, wird der Leitung eine höhere Temperatur als die größte dauernd zulässige Betriebstemperatur zugemutet (siehe Tabelle 5).

* hier nicht weiter ausgeführt

Referenz-Verlegearten für feste Verlegung in und an Gebäuden

Tabelle 1

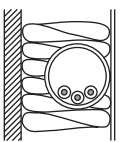
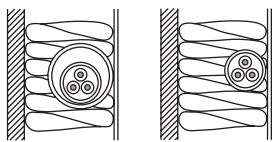
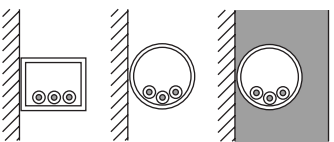
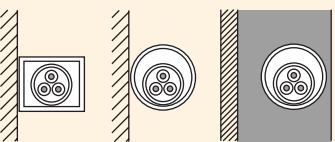
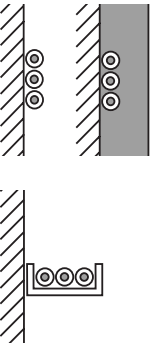
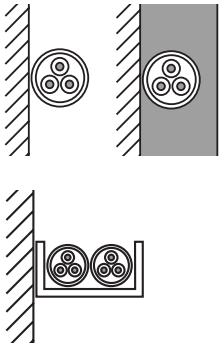
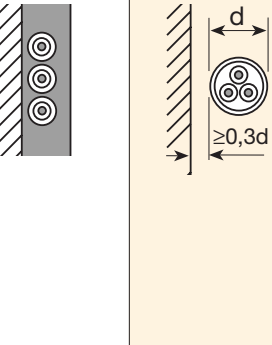
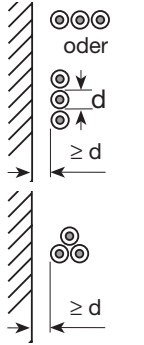
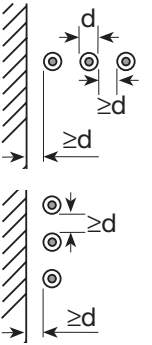
Referenz-Verlegeart	A1	A2	B1	B2
Darstellung				
Verlegebedingung	Verlegung in wärmedämmten Wänden Aderleitungen oder einadrige Kabel/Mantelleitungen im Elektroinstallationsrohr oder -kanal		Verlegung in Elektroinstallationsrohren oder geschlossenen Elektroinstallationskanälen auf oder in Wänden oder in Kanälen für Unterflurverlegung Aderleitungen oder einadrige Kabel/Mantelleitungen	
		mehradrige Kabel oder Mantelleitungen im Elektroinstallationsrohr oder -kanal	direkt verlegt	mehradrige Kabel oder Mantelleitungen

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Referenz-Verlegeart	C	D	E	F	G
Darstellung					
Verlegebedingung	Direkte Verlegung auf oder in Wänden/Decken oder in ungelochten Kabelwannen		Stegleitungen in Wänden/Decken oder Hohlräumen	Verlegung frei in Luft, an Trageilen sowie auf Kabelpritschen und -konsolen oder in gelochten Kabelwannen	
	einadrige Kabel oder Mantelleitungen	mehradrige Kabel oder Mantelleitungen	mehradrige Kabel oder Mantelleitungen	einadrige Kabel oder Mantelleitungen mit Berührung	ohne Berührung, auch Aderleitungen auf Isolatoren

Hinweis:

Bei Installationen mit unterschiedlichen Verlegearten ist die Strombelastbarkeit des Kabels oder der Leitung nach der ungünstigsten Verlegeart zu bestimmen.

Die farbig unterlegten Bereiche in Tabellen und Textpassagen beziehen sich auf das Auslegungsbeispiel aus Kapitel 5




Strombelastbarkeit bei fester Verlegung und Dauerbetrieb¹⁾ Umgebungstemperatur 30 °C

Für Kupferleiter mit PVC-Isolierung.
Betriebstemperatur der PVC-Isolierung 70 °C.

Tabelle 2

Referenz-Verlegeart	A1		A2		B1		B2		C	
Verlegung	in wärmegeprägten Wänden				in Elektroinstallationsrohren				direkt	
Anzahl der gleichzeitig belasteten Adern	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Nennquerschnitt in mm ²	Strombelastbarkeit I _z in A ²⁾									
1,5	15,5 ³⁾	13,5	15,5 ³⁾	13,0	17,5	15,5	16,5	15,0	19,5	17,5
2,5	19,5	18,0	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Referenz-Verlegeart	E		F			G	
Verlegung	frei in Luft						
Anzahl der gleichzeitig belasteten Adern	2	3	 2	 3	 3	3	3
Nennquerschnitt in mm ²	Strombelastbarkeit I _z in A ²⁾						
1,5	22	18,5	—	—	—	—	—
2,5	30	25	—	—	—	—	—
4	40	34	—	—	—	—	—
6	51	43	—	—	—	—	—
10	70	60	—	—	—	—	—
16	94	80	—	—	—	—	—
25	119	101	131	114	110	146	130
35	148	126	162	143	137	181	162
50	180	153	196	174	167	219	197
70	232	196	251	225	216	281	254
95	282	238	304	275	264	341	311
120	328	276	352	321	308	396	362

1) I_z für Nicht-Dauerbetrieb siehe DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1)

2) – Die betriebsmäßige Belastung I_b der Kabel und Leitungen darf nicht größer als die zulässige Belastbarkeit I_z sein (I_b ≤ I_z).

– Bei abweichenden Betriebsbedingungen, z.B. bei Umgebungstemperaturen < > 30 °C, bei Häufung der Kabel und Leitungen und /oder bei gleichzeitiger Belastung von mehr als 3 Adern, sind die Strombelastbarkeitswerte mit den zutreffenden Umrechnungsfaktoren nach Tabelle 5 bis 9 zu multiplizieren.

– Bei Installationen mit unterschiedlichen Verlegearten ist die Strombelastbarkeit des Kabels oder der Leitung nach der ungünstigsten Verlegeart zu bestimmen.

– Für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V ist als höchste Betriebstemperatur für Kabel und Leitungen 70 °C zugrunde zu legen, weil Installations-Einbaugeräte, Steckvorrichtungen, Klemmen und dgl. gewöhnlich für diese Anschlussstellentemperatur bestimmt sind. Kabel und Leitungen für höhere Betriebstemperaturen, z.B. 80 °C oder 90 °C, sind deshalb in der Gebäudeinstallation nur so hoch zu belasten, dass die Betriebstemperatur am Leiter 70 °C nicht überschreitet (siehe DIN VDE 0298-4/2003-08, Abschn. C.3.2).

3) Bewertungsunterschiede (siehe DIN VDE 0298-4/2003-08, Abschn. C.3.3).

Strombelastbarkeit und Bemessungsströme von Schutz- einrichtungen bei fester Verlegung in und an Gebäuden und Dauerbetrieb Umgebungstemperatur 25 °C

In der Tabelle 3 sind die Werte der Strombelastbarkeit auf eine Umgebungstemperatur von 25 °C umgerechnet. Damit wird den in Deutschland üblichen Betriebsbedingungen Rechnung getragen und dem Anwender der Norm das Ermitteln der Belastbarkeit für viele Fälle ohne Umrechnung erleichtert. Die Belastbarkeitswerte gelten ausschließlich bei der Umgebungstemperatur 25 °C und den genannten Verlegearten ohne Häufung bei Dauerbetrieb. Wenn abweichende Betriebsbedingungen vorliegen, z. B. andere Umgebungstemperaturen und/oder Häufung, so sind die Ursprungs-

tabellen, die sich auf die international und regional festgelegte (Bemessungs-) Umgebungstemperatur 30 °C beziehen, zusammen mit den entsprechenden Umrechnungsfaktoren anzuwenden.

Für Kupferleiter mit PVC-Isolierung.
Betriebstemperatur der PVC-Isolierung 70 °C.
Zuordnung des Bemessungsstromes I_n von Überstrom-Schutzeinrichtungen mit dem Auslösestrom $I_2 \leq 1,45 I_z$ nach DIN VDE 0100-430/1991.

Tabelle 3

Referenz-Verlegeart	A1		A2		B1		B2		C		E		
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	
Nennquerschnitt in mm ²	Strombelastbarkeit I_z in A												
	Bemessungsstrom I_n in A¹⁾												
1,5	I_z	16,5	14,5	16,5	14	18,5	16,5	17,5	16	21	18,5	23	19,5
	I_n	16 ²⁾	13	16 ²⁾	13	16	16	16	16	20	16	20	16
2,5	I_z	21	19	19,5	18,5	25	22	24	21	29	25	32	27
	I_n	20	16	16	16	25	20	20	20	25	25	32	25
4	I_z	28	25	27	24	34	30	32	29	38	35 ³⁾	42	36
	I_n	25	25	25	20	32	25	32	25	35	35 ³⁾	40	35
6	I_z	36	33	34	31	43	38	40	36	49	43	54	46
	I_n	35	32	32	25	40	35	40	35	40	40	50	40
10	I_z	49	45	46	41	60	53	55	50 ³⁾	67	63 ³⁾	74	64
	I_n	40	40	40	40	50	50	50	50 ³⁾	63	63 ³⁾	63	63
16	I_z	65	59	60	55	81	72	73	66	90	81	100	85
	I_n	63	50	50	50	80	63	63	63	80	80	100	80
25	I_z	85	77	80	72	107	94	95	85	119	102	126	107
	I_n	80	63	80	63	100	80	80	80	100	100	125	100
35	I_z	105	94	98	88	133	117	118	105	146	126	157	134
	I_n	100	80	80	80	125	100	100	100	125	125	125	125
50	I_z	126	114	117	105	160	142	141	125	178	153	191	162
	I_n	125	100	100	100	160	125	125	125	160	125	160	160

- 1) – Der Bemessungsstrom I_n der Überstrom-Schutzeinrichtungen darf nicht größer als die zulässige Belastbarkeit I_z des Kabels oder der Leitung sein ($I_n \leq I_z$).
– Überstrom-Schutzeinrichtungen können außer dem Überstromschutz von Kabeln und Leitungen die Aufgabe haben, auch Verbraucher oder Geräte, z.B. Steckdosen 16 A, gegen Überlast zu schützen. In diesem Fall darf der Nennstrom der Überstrom-Schutzeinrichtung nicht größer als der Bemessungsstrom des zu schützenden Verbrauchers oder Gerätes sein.
– Schmelzsicherungen mit $I_n = 13$ A, 32 A und 40 A sowie Sicherungsautomat mit $I_n = 35$ A sind in einigen Ländern genormt (S 700 mit $I_n = 35$ A lieferbar). Ist es nicht der Fall, so ist die nächst niedrigere genormte Bemessungsstromstärke zu wählen.
- 2) Bei thermisch ungünstigen Konstruktionen ist mit $I_n = 13$ A zu schützen.
- 3) Gilt nicht für Verlegung auf einer Holzwand. In diesem Fall muss eine Stromstärke niedriger abgesichert werden.

Strombelastbarkeit und Bemessungsströme von Schutzeinrichtungen bei fester Verlegung und Dauerbetrieb Nach DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1/2007), Umgebungstemperatur 40 °C

Die Angaben in Tabelle 4 gelten für PVC-isolierte Verdrahtung zwischen Gehäusen und einzelnen Teilen der Ausrüstung im Beharrungszustand.

Für Kupferleiter mit PVC-Isolierung.
Betriebstemperatur der PVC-Isolierung 70 °C.

Tabelle 4

Referenz-Verlegeart		B1	B2	C	E
Nennquerschnitt in mm ²		Strombelastbarkeit I_z in A			
		Bemessungsstrom I_n in A ¹⁾			
0,75	I_z	8,6	8,5	9,8	10,4
	I_n	6 (8)	6 (8)	6 (8)	10
1,0	I_z	10,3	10,1	11,7	12,4
	I_n	10	10	10	10
1,5	I_z	13,5	13,1	15,2	16,1
	I_n	13	13	13	16
2,5	I_z	18,3	17,4	21	22
	I_n	16	16	20	20
4	I_z	24	23	28	30
	I_n	25	20	25	25
6	I_z	31	30	36	37
	I_n	25	25	35 (32)	35 (32)
10	I_z	44	40	50	52
	I_n	40	40	50	50
16	I_z	59	54	66	70
	I_n	50	50	63	63
25	I_z	77	70	84	88
	I_n	63	63	80	80
35	I_z	96	86	104	110
	I_n	80	80	100	100
50	I_z	117	103	125	133
	I_n	100	100	125	125

- 1) – Die betriebsmäßige Belastung I_b der Kabel und Leitungen darf nicht größer als die zulässige Belastbarkeit I_z sein ($I_b \leq I_z$).
- Bei abweichenden Betriebsbedingungen, z.B. bei Umgebungstemperaturen $< > 40$ °C, bei Häufung der Kabel und Leitungen und /oder bei gleichzeitiger Belastung von mehr als 3 Adern, sind die Strombelastbarkeitswerte mit den zutreffenden Umrechnungsfaktoren nach Tabelle 5 bis 10 zu multiplizieren.
 - Bei Installationen mit unterschiedlichen Verlegearten ist die Strombelastbarkeit des Kabels oder der Leitung nach der ungünstigsten Verlegeart zu bestimmen.

Umrechnungsfaktoren für von 30 °C bzw. 40 °C abweichende Umgebungstemperaturen

Tabelle 5

Umgebungstemperatur 30 °C

Anwendung auf die Strombelastbarkeit nach Tabelle 2

Zulässige Betriebstemperatur am Leiter	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C
Umgebungstemperatur °C	Umrechnungsfaktoren			
10	1,29	1,22	1,18	1,15
15	1,22	1,17	1,14	1,12
20	1,15	1,12	1,10	1,08
25	1,08	1,06	1,05	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,91	0,94	0,95	0,96
40	0,82	0,87	0,89	0,91
45	0,71	0,79	0,84	0,87
50	0,58	0,71	0,77	0,82
55	0,41	0,61	0,71	0,76
60	—	0,50	0,63	0,71
65	—	0,35	0,55	0,65
70	—	—	0,45	0,58
75	—	—	0,32	0,50
80	—	—	—	0,41
85	—	—	—	0,29

Tabelle 6

Umgebungstemperatur 40 °C

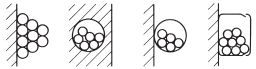

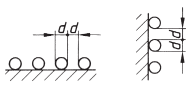

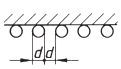
Anwendung auf die Strombelastbarkeit nach Tabelle 4

Zulässige Betriebstemperatur am Leiter	70 °C
Umgebungstemperatur °C	Umrechnungsfaktoren
30	1,15
35	1,08
40	1,00
45	0,91
50	0,82
55	0,71
60	0,58

Umrechnungsfaktoren für Häufung von Kabeln und Leitungen mit Nennlast im Dauerbetrieb

Tabelle 7

Anwendung auf die Strombelastbarkeit nach Tabelle 2, 3 und 4

Verlegeanordnung	Anzahl der mehradrigen Kabel oder Leitungen oder Anzahl der Wechsel- oder Drehstromkreise aus einadrigen Kabeln oder Leitungen (2 bzw. 3 stromführende Leiter)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Gebündelt direkt auf der Wand, auf dem Fußboden, im Elektroinstallationsrohr oder -kanal, auf oder in der Wand 	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38
Einlagig auf der Wand oder auf dem Fußboden, mit Berührung 	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Einlagig auf der Wand oder auf dem Fußboden, mit Zwischenraum gleich dem Durchmesser d 	1,00	0,94	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Einlagig unter der Decke, mit Berührung 	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Einlagig unter der Decke, mit Zwischenraum gleich dem Außendurchmesser d 	0,95	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

○ Symbol für ein einadriges oder ein mehradriges Kabel oder eine einadrige oder eine mehradrige Leitung

Hinweis:

Die Umrechnungsfaktoren sind anzuwenden für die Ermittlung der Strombelastbarkeit gleichartiger und gleich hoch belasteter Kabel und Leitungen bei Häufung in derselben Verlegeart. Die Leiternennquerschnitte dürfen sich dabei höchstens um eine Querschnittsstufe unterscheiden.

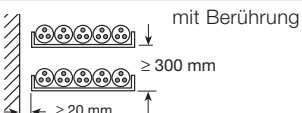
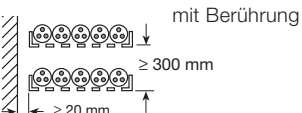
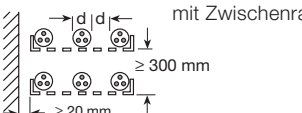
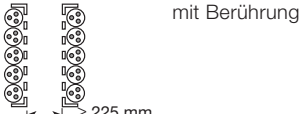
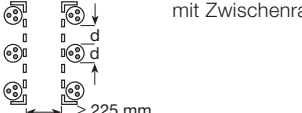
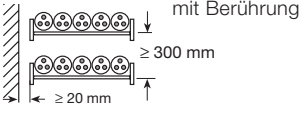
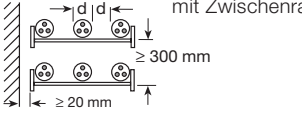
Die Umrechnungsfaktoren beziehen sich auf den Dauerbetrieb mit einem Belastungsgrad von 100 % für alle aktiven Leiter (Nennlast). Ist die Belastung kleiner als 100 %, können die Umrechnungsfaktoren höher sein.

Falls ein Leiter mit einem Strom nicht größer als 30 % seiner Belastbarkeit bei Häufung belastet wird, ist es zulässig, ihn bei der Bestimmung des Umrechnungsfaktors für die restlichen Kabel oder Leitungen dieser Gruppe zu vernachlässigen. Wenn der horizontale lichte Abstand zwischen benachbarten Kabeln und Leitungen das Zweifache ihres Außendurchmessers überschreitet, brauchen die Umrechnungsfaktoren nicht angewendet zu werden.

Umrechnungsfaktoren für Häufung von mehradrigen Kabeln und Leitungen auf Kabelwannen und -pritschen

Tabelle 8

Anwendung auf die Strombelastbarkeit nach Tabelle 2, 3 und 4

Verlegeanordnung	Anzahl der Wannen oder Pritschen	Anzahl der mehradrigen Kabel oder Leitungen						
		1	2	3	4	6	9	
Ungelochte Kabelwannen (Löcher umfassen weniger als 30% der Gesamtfläche)	 mit Berührung ≥ 300 mm ≥ 20 mm	1	0,97	0,84	0,78	0,75	0,71	0,68
		2	0,97	0,83	0,76	0,72	0,68	0,63
		3	0,97	0,82	0,75	0,71	0,66	0,61
		6	0,97	0,81	0,73	0,69	0,63	0,58
Gelochte Kabelwannen	 mit Berührung ≥ 300 mm ≥ 20 mm	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
		6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64
	 mit Zwischenraum ≥ 300 mm ≥ 20 mm	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	–
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	–
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	–
	 mit Berührung ≥ 225 mm ≥ 300 mm	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
	 mit Zwischenraum ≥ 225 mm	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	–
2		1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–	
Kabelpritschen	 mit Berührung ≥ 300 mm ≥ 20 mm	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		2	1,00	0,86	0,81	0,78	0,76	0,73
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
		6	1,00	0,83	0,76	0,73	0,69	0,66
	 mit Zwischenraum ≥ 300 mm ≥ 20 mm	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	–		

Hinweis:

Die Umrechnungsfaktoren gelten nur für einlagig verlegte Gruppen von Kabeln oder Leitungen, wie oben dargestellt. Sie gelten nicht, wenn die Kabel oder Leitungen mit Berührung

übereinander verlegt sind oder die angegebenen Abstände zwischen den Kabelwannen oder Kabelpritschen unterschritten werden. In solchen Fällen sind die Umrechnungsfaktoren zu reduzieren, z.B. nach Tabelle 7

Tabelle 9

Umrechnungsfaktoren für vieladrige Kabel und Leitungen (> 5 Adern) mit Leiternennquerschnitten bis 10 mm²

Anzahl der gleichzeitig belasteten Adern	Umrechnungsfaktoren
5	0,75
7	0,65
10	0,55
14	0,50
19	0,45
24	0,40
40	0,35
61	0,30

Tabelle 10

Umrechnungsfaktoren für aufgewickelte Leitungen, z. B. Leitungsroller

Anzahl der Lagen auf der Spule	Umrechnungsfaktoren
1	0,80
2	0,61
3	0,49
4	0,42
5	0,38

Hinweis:

Für spiralförmige Abwicklung gilt der Umrechnungsfaktor 0,80.

2. Maximale Leitungslängen

Ermittlung der maximalen Leitungslängen in elektrischen Anlagen unter Berücksichtigung von:

- Schutz gegen elektrischen Schlag und der Abschaltzeiten gemäß DIN VDE 0100-410
- zulässigem Spannungsfall in Stromkreisen 230/400 V AC
- Schutz in Steuerstromkreisen 24 V DC nach DIN EN 60204-1 (VDE0113-1)

1. Wesentliche Einflussfaktoren bei der Ermittlung von maximalen Leitungslängen

- Widerstandswert des Kupferleiters bei 70°C Betriebstemperatur.
- Innenwiderstände der Sicherungsautomaten, die gerade bei kleinen Bemessungsströmen einen hohen Anteil haben.
- Die Grenzlängen, resultierend aus den Abschaltzeiten, brauchen nicht beachtet werden, wenn der Fehlerschutz nach DIN VDE 0100-410 durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung sicher gestellt wird.

2. Maximale Leitungslänge zur Einhaltung des Spannungsfalls in einem Stromkreis

Der akzeptierte Spannungsfall ist oft die bestimmende Größe bei der Ermittlung der zulässigen Leitungslänge.

Ausgewählte Werte für maximal zulässige Leitungslängen für einen zulässigen Spannungsfall von 3% sind in Tabelle 11 aufgeführt. Umrechnungsfaktoren für andere Werte des zulässigen Spannungsfalls enthält Tabelle 12.

Tabelle 11
Maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen l_{\max} bei einem Spannungsfall von 3%

Betriebsstrom	maximal zulässige Kabel- u. Leitungslängen l_{\max} in m Leiternennquerschnitt in mm ² bei 400 V					
	1,5	2,5	4	6	10	16
6	92	150				
10	55	90	141			
16	34	56	88	132		
20	28	45	70	106		
25		36	56	85	142	
35			40	60	101	160
40				53	89	140
50					71	112
63					56	89
80						70

Leitertemperatur 30° C, Drehstromkreise, Nennspannung der Anlage 400 V, 50 Hz.

Hinweis:

Für Einphasen-Wechselstromkreise 230 V sind die Längen mit dem Faktor 0,5 zu multiplizieren.

Die farbig unterlegten Bereiche in Tabellen und Textpassagen beziehen sich auf das Auslegungsbeispiel aus Kapitel 5

Tabelle 12

Umrechnungsfaktoren für maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen l_{\max} von 3% abweichenden Spannungsfällen

Spannungsfall	Faktor
1%	0,33
1,5%	0,50
2%	0,66
4%	1,33
5%	1,67
8%	2,67
10%	3,33

Beispiel:

Eine Leitung 1,5 mm² wird mit einem Sicherungsautomat B16 geschützt. Nach Tabelle 13 ist die maximale Leitungslänge 82 m, wenn die Abschaltbedingung unter den vorgegebenen Randbedingungen eingehalten werden soll. Darf zusätzlich der Spannungsfall für den betrachteten Leitungsabschnitt 3% nicht überschreiten, ergibt sich eine reduzierte maximale Leitungslänge von 17 m bei 230 V. (Aus Tabelle 11: 34 m, zusätzlicher Faktor 0,5, da Einphasen-Wechselstromkreis)

3. Zulässige Leitungslänge zur Einhaltung der Abschaltzeiten nach DIN VDE 0100-410

DIN VDE 0100-410 fordert in der Ausgabe von 06-2007 für alle Endstromkreise bis 32 A kurze Abschaltzeiten für den Fehlerschutz: 0,4 s für TN-Systeme; 0,2 s für TT-Systeme bei 230/400 V AC.

Der Fehlerschutz kann mit Sicherungsautomaten erreicht werden, wenn im Fehlerfall der für die Abschaltung in der vorgegebenen Zeit notwendige Strom zum Fließen kommt. Für andere Stromkreise (wie z.B. Verteilerstromkreise) werden Abschaltzeiten von 5 s bzw. 1 s gefordert.

Der im Fehlerfall tatsächlich fließende Strom ergibt sich aus der Leitungsspannung gegen Erde und den insgesamt in der Fehlerschleife vorhandenen Impedanzen.

Diese sind insbesondere der Innenwiderstand der Stromquelle, die sogenannte Vorimpedanz des vorgelagerten Netzes, ggf. der Innenwiderstand des Sicherungsautomaten sowie die nachgeschaltete Impedanz in Form der Leitung.

Tabelle 13 zeigt die relevanten Parameter auf Basis des Beiblattes 2 zu DIN VDE 0100-520. Bei den ermittelten Leitungslängen wurde ein Gesamtvorimpedanz von 300 mΩ angenommen. Bei abweichenden Werten ist gemäß dem Beispiel unterhalb der Tabelle umzurechnen.

Maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen zur Einhaltung der Abschaltbedingungen nach DIN VDE 0100-410*

Tabelle 13

Leiternennquerschnitt mm ²	Bemessungsstrom I _n A	Innenwiderstand LS Char. B Ω	Innenwiderstand LS Char. C Ω	Innenwiderstand LS Char. K Ω	Innenwiderstand LS Char. Z Ω	Sicherungsautomaten nach DIN EN 60898-1 (VDE 0641-11) und DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) t _a = 0,4 s; t _a = 5 s (wird erreicht durch Schnellabschaltung t ≤ 0,1 s)												Längen- korrektur- faktor f _L m 10 mΩ
						S 200... Char. B I _a = 5 x I _n			S 200... Char. C I _a = 10 x I _n			S 200... Char. K I _a = 14 x I _n			S 200... Char. Z I _a = 3 x I _n			
						I _{erf}	Z _s	ℓ _{max}	I _{erf}	Z _s	ℓ _{max}	I _{erf}	Z _s	ℓ _{max}	I _{erf}	Z _s	ℓ _{max}	
						A	Ω	m	A	Ω	m	A	Ω	m	A	Ω	m	
0,14	0,5	-	5,5000	6,3400	10,1000	2,5	-	-	5,0	46,19	134	7,0	32,99	94	1,5	153,96	452	0,03
	1	-	1,4400	1,5500	2,2700	5,0	-	-	10,0	23,09	67	14,0	16,50	48	3,0	76,98	226	
	1,6	-	0,6300	0,6950	1,1000	8,0	-	-	16,0	14,43	42	22,4	10,31	29	4,8	48,11	141	
	2	-	0,4600	0,4600	0,6190	10,0	-	-	20,0	11,55	33	28,0	8,25	23	6,0	38,49	113	
0,25	0,5	-	5,5000	6,3400	10,1000	2,5	-	-	5,0	46,19	240	7,0	32,99	169	1,5	153,96	807	0,05
	1,0	-	1,4400	1,5500	2,2700	5,0	-	-	10,0	23,09	120	14,0	16,50	85	3,0	76,98	403	
	1,6	-	0,6300	0,6950	1,1000	8,0	-	-	16,0	14,43	74	22,4	10,31	53	4,8	48,11	252	
	2	-	0,4600	0,4600	0,6190	10,0	-	-	20,0	11,55	59	28,0	8,25	42	6,0	38,49	201	
	3	-	0,1500	0,1650	0,2020	15,0	-	-	30,0	7,70	39	42,0	5,50	27	9,0	25,66	134	
0,34	1	-	1,4400	1,5500	2,2700	5,0	-	-	10,0	23,09	163	14,0	16,50	115	3,0	76,98	548	0,07
	1,6	-	0,6300	0,6950	1,1000	8,0	-	-	16,0	14,43	101	22,4	10,31	72	4,8	48,11	342	
	2	-	0,4600	0,4600	0,6190	10,0	-	-	20,0	11,55	81	28,0	8,25	57	6,0	38,49	273	
	3	-	0,1500	0,1650	0,2020	15,0	-	-	30,0	7,70	53	42,0	5,50	37	9,0	25,66	182	
0,5	4	-	0,1100	0,1200	0,1490	20,0	-	-	40,0	5,77	39	56,0	4,12	27	12,0	19,25	136	0,11
	1,6	-	0,6300	0,6950	1,1000	8,0	-	-	16,0	14,43	149	22,4	10,31	105	4,8	48,11	503	
	2	-	0,4600	0,4600	0,6190	10,0	-	-	20,0	11,55	118	28,0	8,25	84	6,0	38,49	402	
	3	-	0,1500	0,1650	0,2020	15,0	-	-	30,0	7,70	78	42,0	5,50	55	9,0	25,66	267	
	4	-	0,1100	0,1200	0,1490	20,0	-	-	40,0	5,77	58	56,0	4,12	40	12,0	19,25	200	
0,75	6	0,0550	0,0550	0,0520	0,1040	30,0	7,70	78	60,0	3,85	38	84,0	2,75	26	18,0	12,83	132	0,16
	2	-	0,4600	0,4600	0,6190	10,0	-	-	20,0	11,55	178	28,0	8,25	126	6,0	38,49	603	
	3	-	0,1500	0,1650	0,2020	15,0	-	-	30,0	7,70	117	42,0	5,50	82	9,0	25,66	401	
	4	-	0,1100	0,1200	0,1490	20,0	-	-	40,0	5,77	87	56,0	4,12	61	12,0	19,25	299	
	6	0,0550	0,0550	0,0520	0,1040	30,0	7,70	117	60,0	3,85	56	84,0	2,75	39	18,0	12,83	198	
1	10	0,0133	0,0133	0,0126	0,0175	50,0	4,62	68	100,0	2,31	32	140,0	1,65	22	30,0	7,70	117	0,21
	3	-	0,1500	0,1650	0,2020	15,0	-	-	30,0	7,70	156	42,0	5,50	110	9,0	25,66	534	
	4	-	0,1100	0,1200	0,1490	20,0	-	-	40,0	5,77	116	56,0	4,12	81	12,0	19,25	399	
	6	0,0550	0,0550	0,0520	0,1040	30,0	7,70	156	60,0	3,85	75	84,0	2,75	52	18,0	12,83	264	
	10	0,0133	0,0133	0,0126	0,0175	50,0	4,62	91	100,0	2,31	43	140,0	1,65	29	30,0	7,70	156	
	13	0,0133	0,0133	0,0126	-	65,0	3,55	69	130,0	1,78	31	182,0	1,27	21	-	-	-	
1,5	16	0,0070	0,0070	0,0077	0,0109	80,0	2,89	55	160,0	1,44	24	224,0	1,03	16	48,0	4,81	95	0,31
	4	-	0,1100	0,1200	0,1490	20,0	-	-	40,0	5,77	173	56,0	4,12	121	12,0	19,25	599	
	6	0,0550	0,0550	0,0520	0,1040	30,0	7,70	234	60,0	3,85	113	84,0	2,75	78	18,0	12,83	396	
	10	0,0133	0,0133	0,0126	0,0175	50,0	4,62	137	100,0	2,31	64	140,0	1,65	43	30,0	7,70	234	
	13	0,0133	0,0133	0,0126	-	65,0	3,55	103	130,0	1,78	47	182,0	1,27	31	-	-	-	
	16	0,0070	0,0070	0,0077	0,0109	80,0	2,89	82	160,0	1,44	37	224,0	1,03	23	48,0	4,81	143	
2,5	20	0,0063	0,0063	0,0067	0,0060	100,0	2,31	64	200,0	1,15	27	280,0	0,82	17	60,0	3,85	113	0,50
	6	0,0550	0,0550	0,0520	0,1040	30,0	7,70	389	60,0	3,85	187	84,0	2,75	129	18,0	12,83	658	
	10	0,0133	0,0133	0,0126	0,0175	50,0	4,62	227	100,0	2,31	106	140,0	1,65	72	30,0	7,70	389	
	13	0,0133	0,0133	0,0126	-	65,0	3,55	172	130,0	1,78	78	182,0	1,27	51	-	-	-	
	16	0,0070	0,0070	0,0077	0,0109	80,0	2,89	137	160,0	1,44	61	224,0	1,03	39	48,0	4,81	238	
	20	0,0063	0,0063	0,0067	0,0060	100,0	2,31	106	200,0	1,15	45	280,0	0,82	28	60,0	3,85	187	
25	0,0050	0,0050	0,0046	0,0041	125,0	1,85	82	250,0	0,92	33	350,0	0,66	19	75,0	3,08	147		

* Anmerkungen siehe Seite 13

Fortsetzung Tabelle 13*

Leiternennquerschnitt	Bemessungsstrom I_n	Innenwiderstand LS Char. B	Innenwiderstand LS Char. C	Innenwiderstand LS Char. K	Innenwiderstand LS Char. Z	Sicherungsautomaten nach DIN EN 60898-1 (VDE 0641-11) und DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101)												Längenkorrekturfaktor
						S 200... Char. B $I_a = 5 \times I_n$			S 200... Char. C $I_a = 10 \times I_n$			S 200... Char. K $I_a = 14 \times I_n$			S 200... Char. Z $I_a = 3 \times I_n$			
						I_{erf}	Z_s	l_{max}	I_{erf}	Z_s	l_{max}	I_{erf}	Z_s	l_{max}	I_{erf}	Z_s	l_{max}	
A	Ω	m	A	Ω	m	A	Ω	m	A	Ω	m	$\frac{m}{10\text{ m}\Omega}$						
4	10	0,0133	0,0135	0,0126	0,0175	50,0	4,62	364	100,0	2,31	170	140,0	1,65	114	30,0	7,70	622	0,81
	13	0,0133	0,0133	0,0126	-	65,0	3,55	274	130,0	1,78	125	182,0	1,27	82	-	-	-	
	16	0,0070	0,0070	0,0077	0,0109	80,0	2,89	218	160,0	1,44	97	224,0	1,03	62	48,0	4,81	380	
	20	0,0063	0,0063	0,0067	0,0060	100,0	2,31	170	200,0	1,15	73	280,0	0,82	45	60,0	3,85	299	
	25	0,0050	0,0050	0,0046	0,0041	125,0	1,85	131	250,0	0,92	53	350,0	0,66	31	75,0	3,08	234	
	32	0,0036	0,0036	0,0035	0,0028	160,0	1,44	97	320,0	0,72	36	448,0	0,52	18	96,0	2,41	178	
6	13	0,0133	0,0133	0,0126	-	65,0	3,55	413	130,0	1,78	188	182,0	1,27	124	-	-	-	1,22
	16	0,0070	0,0070	0,0077	0,0109	80,0	2,89	329	160,0	1,44	146	224,0	1,03	94	48,0	4,81	572	
	20	0,0063	0,0063	0,0067	0,0060	100,0	2,31	256	200,0	1,15	109	280,0	0,82	67	60,0	3,85	450	
	25	0,0050	0,0050	0,0046	0,0041	125,0	1,85	197	250,0	0,92	80	350,0	0,66	46	75,0	3,08	353	
	32	0,0036	0,0036	0,0035	0,0028	160,0	1,44	146	320,0	0,72	54	448,0	0,52	27	96,0	2,41	268	
10	40	0,0030	0,0030	0,0028	0,0025	200,0	1,15	109	400,0	0,58	35	560,0	0,41	13	120,0	1,92	207	2,11
	25	0,0050	0,0050	0,0046	0,0041	125,0	1,85	330	250,0	0,92	134	350,0	0,66	77	75,0	3,08	591	
	32	0,0036	0,0036	0,0035	0,0028	160,0	1,44	245	320,0	0,72	90	448,0	0,52	45	96,0	2,41	449	
	40	0,0030	0,0030	0,0028	0,0025	200,0	1,15	183	400,0	0,58	59	560,0	0,41	22	120,0	1,92	347	
	50	0,0013	0,0013	0,0013	0,0018	250,0	0,92	134	500,0	0,46	34	700,0	0,33	3	150,0	1,54	265	
16	63	0,0012	0,0012	0,0007	0,0013	315,0	0,73	93	630,0	0,37	12	882,0	0,26	0	189,0	1,22	198	3,54
	32	0,0036	0,0036	0,0035	0,0028	160,0	1,44	389	320,0	0,72	144	448,0	0,52	72	96,0	2,41	713	
	40	0,0030	0,0030	0,0028	0,0025	200,0	1,15	291	400,0	0,58	94	560,0	0,41	36	120,0	1,92	551	
	50	0,0013	0,0013	0,0013	0,0018	250,0	0,92	213	500,0	0,46	53	700,0	0,33	5	150,0	1,54	421	
	63	0,0012	0,0012	0,0007	0,0013	315,0	0,73	147	630,0	0,37	19	882,0	0,26	0	189,0	1,22	314	

Hinweis:

Die Grenzlängen brauchen nicht beachtet werden, wenn der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung sichergestellt wird.

Beispiel für eine Längenkorrektur:

Bei einer vorhandenen Vorimpedanz von $Z_v = 380\text{ m}\Omega$ und einem Querschnitt von $1,5\text{ mm}^2$ berechnet sich die Korrekturlänge Δl wie folgt:

$$\Delta l = (Z_{v0} - Z_v) \times f_L = (300\text{ m}\Omega - 380\text{ m}\Omega) \times 0,31 \frac{\text{m}}{10\text{ m}\Omega} = -2,48\text{ m}$$

d.h. die nach Tabelle 13 ermittelte maximale Leitungslänge ist um 2,5 m zu reduzieren.

- * – Maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen ermittelt in Anlehnung an DIN VDE 0100-520 Bbl. 2:2002-11
- bei 230/400 V für Cu-Leiter, Isolierung PVC oder Gummi
- Impedanz vor der Überstrom-Schutzeinrichtung $Z_{v0} = 300\text{ m}\Omega$.

Bei abweichender Vorimpedanz Z_v sind die Tabellenwerte mit folgender Korrekturlänge zu verwenden

$$\Delta l = (Z_{v0} - Z_v) \times f_L$$

Zusätzlich sind die Innenwiderstände der Sicherungsautomaten berücksichtigt.

I_a bewirkt eine unverzögerte Abschaltung $< 0,1\text{ s}$ bei Sicherungsautomaten.

- **Achtung:** gegebenenfalls zusätzlich maximalen Spannungsfall beachten!

Die farbig unterlegten Bereiche in Tabellen und Textpassagen beziehen sich auf das Auslegungsbeispiel aus Kapitel 5

Schutz empfindlicher Bauelemente und Brandschutz in Steuerstromkreisen 24 V DC nach DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1)

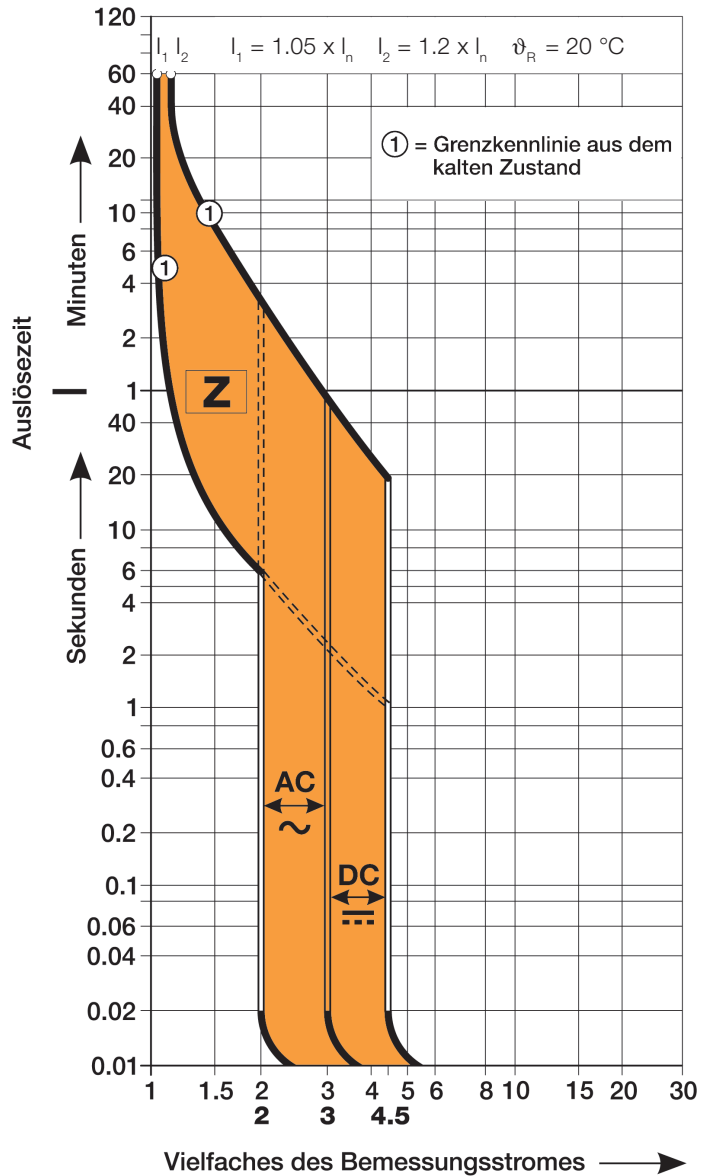
Damit im Sinne der Norm ein möglichst ausreichender Schutz empfindlicher Bauelemente, wie Kontakte, konfektionierte Leitungen von Sensoren/Endschaltern erreicht werden kann, ist folgendes sicherzustellen.

- Bei Überstrom muss der unverzögerte Auslöser im Millisekunden-Bereich die Abschaltung bewirken. Hiermit wird der Stromwärmewert I^2t , der das Bauteil belastet, so klein wie möglich gehalten.
- Damit der unverzögerte Auslöser innerhalb des Toleranzbandes sicher anspricht, dürfen im Hinblick auf den Schleifenwiderstand max. Leitungslängen verlegt werden. Die Parameter zur Beurteilung hierfür sind:
 - Schleifenwiderstand ($R_l + R_{cu}$)
 - Kupfertemperatur: 80°C im Kurzschlussfall
 - Spannungsfall
 - Übergangswiderstände

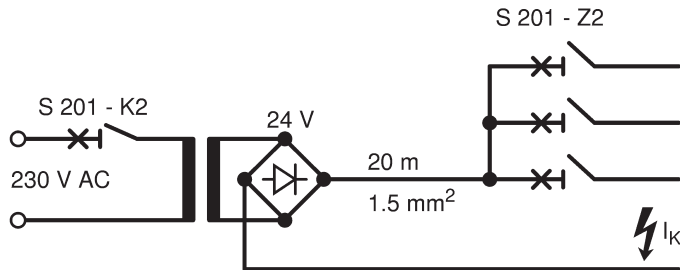
Hinweis:

In der Summe ergibt das einen Reduktionsfaktor von 2/3 (DIN VDE 0100-600: 2008-06, C.61.3.6.2)

Abb. 1
Auslösecharakteristik Z für AC- und DC-Anwendungen



Beispiel 1: Standard-Netzgerät



$$R_i = 0,62 \, \Omega$$

$$R_L = \frac{\rho \times l}{A} = \frac{0,018 \, \Omega \cdot \text{mm}^2 \times 40 \, \text{m}}{1,5 \, \text{mm}^2 \cdot \text{m}} = 0,48 \, \Omega$$

$$R = 0,62 + 0,48 = 1,1 \, \Omega$$

nach DIN VDE 0100-600, C.61.3.6.3:

$$Z_s \leq \frac{2}{3} \times \frac{U_0}{I_a}$$

$$\leq \frac{2}{3} \times \frac{24 \, \text{V}}{4,5 \times 2 \, \text{A}}$$

$$Z_s = R \leq 1,78 \, \Omega$$

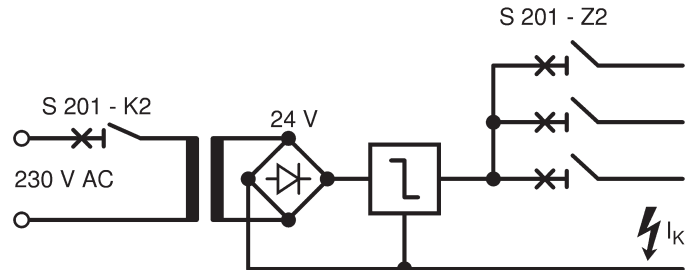
Ansprechwert unverzögert vom S 201 - Z/2 = $4,5 I_n = 9 \, \text{A}$

Ergebnis:

Der ermittelte Wert liegt bei $1,1 \, \Omega$. Damit ist die Bedingung erfüllt.

Die Abschaltung erfolgt unverzögert im ms-Bereich.

Beispiel 2: getaktetes Netzgerät



Der Sicherungsautomat S 201 benötigt $< 0,1 \, \text{s}$ zur unverzögerten Abschaltung.

Regelt das getaktete Netzgerät unverzögert im Kurzschlussfall nach unten, dann regelt das Netzgerät schneller als der S 201-... schalten kann.

Folge:

Keine selektive Fehlererkennung

Ergebnis:

Der Ausgang vom getakteten Netzgerät muss verzögert arbeiten ($> 100 \, \text{ms}$) und auf diesen verzögert herabgeregelten Wert muss das Schutzorgan abgestimmt sein. Somit erreicht man eine selektive Fehlererkennung.

Tabelle 14

Maximal zulässige Kabel- und Leitungslängen zum Schutz empfindlicher Bauelemente und Brandschutz bei DC-Anwendungen

Leiternnenquer- schnitt	Bemessungsstrom I_n	Innenwiderstand LS Char. B	Innenwiderstand LS Char. C	Innenwiderstand LS Char. Z	Sicherungsautomaten nach DIN EN 60898-1 (DIN VDE 0641-11) und DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) $t_a < 0,1 \text{ s}$								
					S 200... Char. B $I_a = 5 \times 1,5 \times I_n$			S 200... Char. C $I_a = 10 \times 1,5 \times I_n$			S 200... Char. Z $I_a = 3 \times 1,5 \times I_n$		
					I_{erf}	Z_s	l_{max}	I_{erf}	Z_s	l_{max}	I_{erf}	Z_s	l_{max}
					A	Ω	m	A	Ω	m	A	Ω	m
0,14	0,5	-	5,5000	10,1000	3,8	-	-	7,5	2,43	0	2,3	8,11	0
	1	-	1,4400	2,2700	7,5	-	-	15,0	1,22	0	4,5	4,05	6
	1,6	-	0,6300	1,1000	12,0	-	-	24,0	0,76	0	7,2	2,53	4
	2	-	0,4600	0,6190	15,00	-	-	30,0	0,61	0	9,0	2,03	4
0,25	0,5	-	5,5000	10,1000	3,8	-	-	7,5	2,43	0	2,3	8,11	0
	1,0	-	1,4400	2,2700	7,5	-	-	15,0	1,22	0	4,5	4,05	10
	1,6	-	0,6300	1,1000	12,0	-	-	24,0	0,76	0	7,2	2,53	8
	2	-	0,4600	0,6190	15,0	-	-	30,0	0,61	1	9,0	2,03	8
	3	-	0,1500	0,2020	22,5	-	-	45,0	0,41	1	13,5	1,35	6
0,34	1	-	1,4400	2,2700	7,5	-	-	15,0	1,22	0	4,5	4,05	14
	1,6	-	0,6300	1,1000	12,0	-	-	24,0	0,76	1	7,2	2,53	11
	2	-	0,4600	0,6190	15,0	-	-	30,0	0,61	1	9,0	2,03	11
	3	-	0,1500	0,2020	22,5	-	-	45,0	0,41	2	13,5	1,35	9
	4	-	0,1100	0,1490	30,0	-	-	60,0	0,30	1	18,0	1,01	6
0,5	1,6	-	0,6300	1,1000	12,0	-	-	24,0	0,76	1	7,2	2,53	16
	2	-	0,4600	0,6190	15,0	-	-	30,0	0,61	1	9,0	2,03	16
	3	-	0,1500	0,2020	22,5	-	-	45,0	0,41	2	13,5	1,35	13
	4	-	0,1100	0,1490	30,0	-	-	60,0	0,30	2	18,0	1,01	9
	6	0,0550	0,0550	0,1040	45,0	0,41	3	90,0	0,20	1	27,0	0,68	6
0,75	2	-	0,4600	0,6190	15,0	-	-	30,0	0,61	2	9,0	2,03	23
	3	-	0,1500	0,2020	22,5	-	-	45,0	0,41	4	13,5	1,35	19
	4	-	0,1100	0,1490	30,0	-	-	60,0	0,30	2	18,0	1,01	14
	6	0,0550	0,0550	0,1040	45,0	0,41	5	90,0	0,20	2	27,0	0,68	9
	10	0,0133	0,0133	0,0175	75,0	0,24	3	150,0	0,12	1	45,0	0,41	6
1	3	-	0,1500	0,2020	22,5	-	-	45,0	0,41	5	13,5	1,35	25
	4	-	0,1100	0,1490	30,0	-	-	60,0	0,30	3	18,0	1,01	19
	6	0,0550	0,0550	0,1040	45,0	0,41	7	90,0	0,20	2	27,0	0,68	12
	10	0,0133	0,0133	0,0175	75,0	0,24	4	150,0	0,12	1	45,0	0,41	8
	13	0,0133	0,0133	-	97,5	0,19	3	195,0	0,09	-	58,5	0,31	-
	16	0,0070	0,0070	0,1090	120,0	0,15	2	240,0	0,08	0	72,0	0,25	2
1,5	2	-	0,4600	0,6190	15,0	-	-	30,0	0,61	3	9,0	2,03	47
	4	-	0,1100	0,1490	30,0	-	-	60,0	0,30	5	18,0	1,01	28
	6	0,0550	0,0550	0,1040	45,0	0,41	10	90,0	0,20	3	27,0	0,68	18
	10	0,0133	0,0133	0,0175	75,0	0,24	6	150,0	0,12	2	45,0	0,41	12
	13	0,0133	0,0133	-	97,5	0,19	4	195,0	0,09	1	58,5	0,31	-
	16	0,0070	0,0070	0,1090	120,0	0,15	3	240,0	0,08	1	72,0	0,25	3
	20	0,0063	0,0063	0,0060	150,0	0,12	2	300,0	0,06	0	90,0	0,20	5

* Anmerkungen siehe Seite 17

Fortsetzung Tabelle 14*

Leiternennquerschnitt	Bemessungsstrom I_n	Innenwiderstand LS Char. B	Innenwiderstand LS Char. C	Innenwiderstand LS Char. Z	Sicherungsautomaten nach DIN EN 60898-1 (DIN VDE 0641-11) und DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101)								
					S 200... Char. B $I_a = 5 \times 1,5 \times I_n$			S 200... Char. C $I_a = 10 \times 1,5 \times I_n$			S 200... Char. Z $I_a = 3 \times 1,5 \times I_n$		
					I_{erf}	Z_s	l_{max}	I_{erf}	Z_s	l_{max}	I_{erf}	Z_s	l_{max}
					A	Ω	m	A	Ω	m	A	Ω	m
2,5	6	0,0550	0,0550	0,1040	45,0	0,41	17	90,0	0,20	6	27,0	0,68	30
	10	0,0133	0,0133	0,0175	75,0	0,24	10	150,0	0,12	3	45,0	0,41	19
	13	0,0133	0,0133	-	97,5	0,19	7	195,0	0,09	2	58,5	0,31	-
	16	0,0070	0,0070	0,1090	120,0	0,15	5	240,0	0,08	1	72,0	0,25	5
	20	0,0063	0,0063	0,0060	150,0	0,12	4	300,0	0,06	0	90,0	0,20	8
	25	0,0050	0,0050	0,0041	187,5	0,10	2	375,0	0,05	0	112,5	0,16	6
4	10	0,0133	0,0133	0,0175	75,0	0,24	17	150,0	0,12	5	45,0	0,41	31
	13	0,0133	0,0133	-	97,5	0,19	11	195,0	0,09	3	58,5	0,31	-
	16	0,0070	0,0070	0,1090	120,0	0,15	9	240,0	0,08	2	72,0	0,25	9
	20	0,0063	0,0063	0,0060	150,0	0,12	6	300,0	0,06	0	90,0	0,20	13
	25	0,0050	0,0050	0,0041	187,5	0,10	4	375,0	0,05	0	112,5	0,16	10
	32	0,0036	0,0036	0,0028	240,0	0,08	2	480,0	0,04	0	144,0	0,13	7
6	13	0,0133	0,0133	-	97,5	0,19	17	195,0	0,09	4	58,5	0,31	-
	16	0,0070	0,0070	0,1090	120,0	0,15	13	240,0	0,08	3	72,0	0,25	13
	20	0,0063	0,0063	0,0060	150,0	0,12	9	300,0	0,06	1	90,0	0,20	20
	25	0,0050	0,0050	0,0041	187,5	0,10	6	375,0	0,05	0	112,5	0,16	15
	32	0,0036	0,0036	0,0028	240,0	0,08	3	480,0	0,04	0	144,0	0,13	10
	40	0,0030	0,0030	0,0025	300,0	0,06	1	600,0	0,03	0	180,0	0,10	7
10	25	0,0050	0,0050	0,0041	187,5	0,10	10	375,0	0,05	0	112,5	0,16	25
	32	0,0036	0,0036	0,0028	240,0	0,08	5	480,0	0,04	0	144,0	0,13	17
	40	0,0030	0,0030	0,0025	300,0	0,06	2	600,0	0,03	0	180,0	0,10	11
	50	0,0013	0,0013	0,0018	375,0	0,05	0	750,0	0,02	0	225,0	0,08	7
	63	0,0012	0,0012	0,0013	472,5	0,04	0	945,0	0,02	0	283,5	0,06	3
16	32	0,0036	0,0036	0,0028	240,0	0,08	8	480,0	0,04	0	144,0	0,13	27
	40	0,0030	0,0030	0,0025	300,0	0,06	3	600,0	0,03	0	180,0	0,10	18
	50	0,0013	0,0013	0,0018	375,0	0,05	0	750,0	0,02	0	225,0	0,08	11
	63	0,0012	0,0012	0,0013	472,5	0,04	0	945,0	0,02	0	283,5	0,06	5

Hinweis:

Die l_{max} -Werte stellen den zusätzlichen Schutz empfindlicher Bauelemente sicher.

Bei $l_{max} = 0$ m ist in jedem Fall der alleinige Überstromschutz der Leitung über den verzögerten Auslöser sichergestellt.

* – Spannung in der Anlage: 24 V DC

- Impedanz vor der Überstrom-Schutzeinrichtung $Z_v = 50$ m Ω (Annahme).
- Für Leitertemperatur (im Kurzschlussfall 80°C) und für nicht erfassbare Impedanzen ist der Faktor 2/3 eingerechnet (DIN VDE 0100-600).
- **Achtung:** zusätzlich maximalen Spannungsfall beachten!

3. Auslöse-Charakteristiken für Sicherungsautomaten im Vergleich

In der DIN VDE 0100-430 sind die Anforderungen für den „Schutz von Kabeln und Leitungen bei Überstrom“ festgelegt. Sicherungsautomaten dienen dem Kabel- und Leitungsschutz in der Installation. Sie sollen selbsttätig abschalten, sobald der Strom durch Anstieg und Zeitdauer eine für die Leitung oder ein Betriebsmittel zu hohe Erwärmung erzeugt.

Schutz bei Kurzschluss

Die Abbildung 2 zeigt die typische Durchlasskennlinie I^2t von Überstromschutzschaltern. Für den Sicherungsautomat S201-B16 ergibt sich daraus bei einem möglichen prospektiven Kurzschlussstrom von $i_{cc} = 6 \text{ kA}$, dass die Durchlassenergie auf ca. $20.000 \text{ A}^2\text{s}$ begrenzt wird. Dieser Wert liegt weit unterhalb $29.700 \text{ A}^2\text{s}$. Damit können PVC-isolierte Cu-Leiter $1,5 \text{ mm}^2$ im Kurzschlussfall geschützt werden.

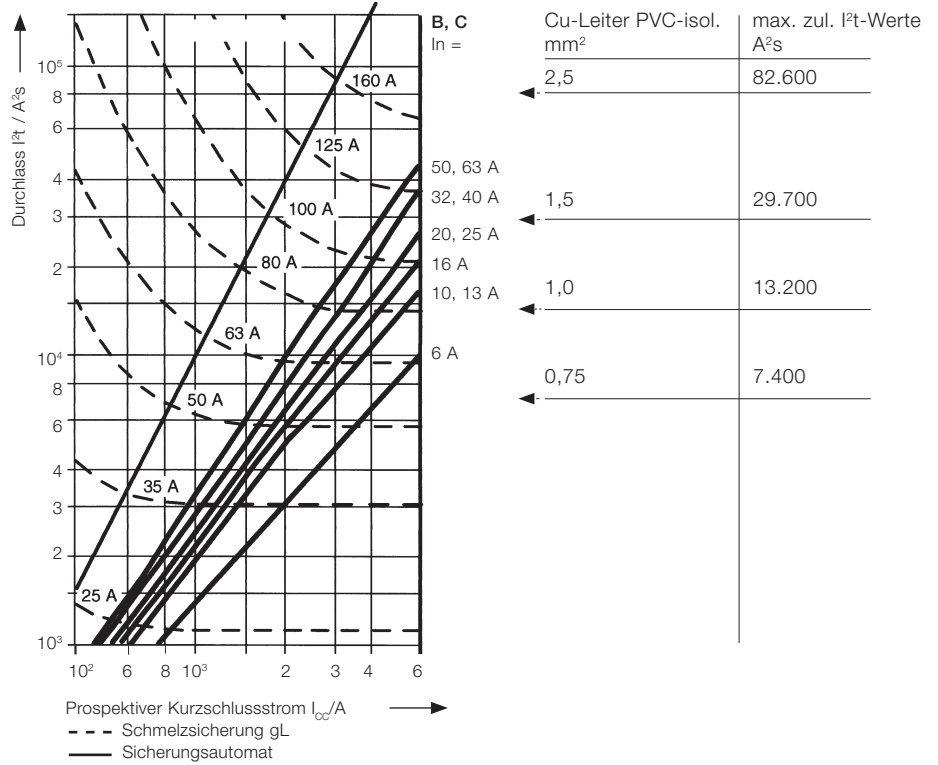


Abb. 2 Durchlassenergie I^2t

Überlastschutz nach DIN VDE 0100-430

Für den Schutz bei Überlast ist das Schutzgerät in Abhängigkeit der Strombelastbarkeit I_z der Leitung zu wählen:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

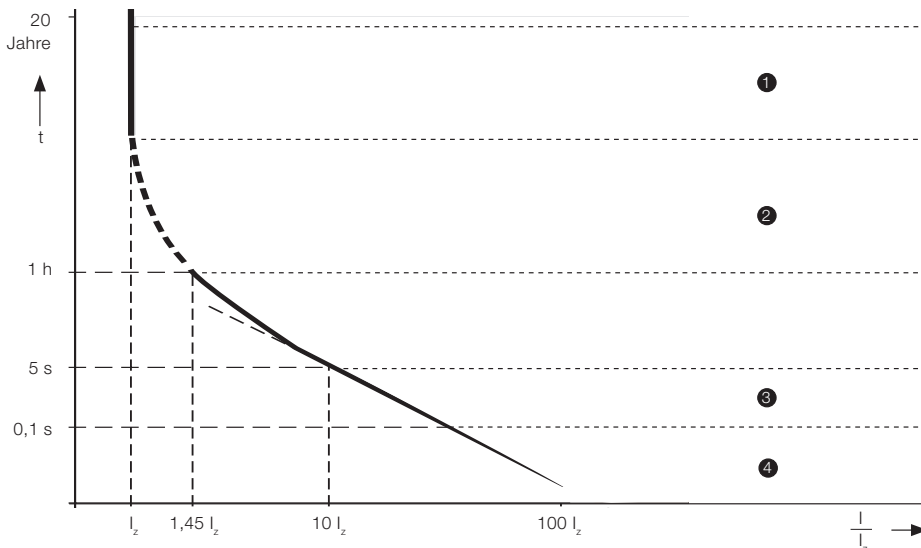
$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (2)$$

I_b = Betriebsstrom der Leitung

I_n = Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung

I_z = Strombelastbarkeit der Leitung nach DIN VDE 0298-4

I_2 = festgelegter Auslösestrom der Schutzeinrichtung



- ① Bereich vollkommener Wärmeableitung bei Dauerstrom I_z zul. Betriebstemperatur $70 \text{ }^\circ\text{C}$
- ② Bereich begrenzter Wärmeableitung bei Überlast $I_2 \leq 1,45 \times I_z$
- ③ Bereich ohne Wärmeableitung bei maximaler Kurzschlussdauer 5 s $I^2t = \text{konstant}$, zul. Kurzschluss temperatur $160 \text{ }^\circ\text{C}$
- ④ Bei Ausschaltzeit $< 0,1 \text{ s}$ muss I^2t des Sicherungsautomaten kleiner als $k^2 \cdot S^2$ der Leitung sein (k = Materialwert nach DIN VDE 0100-540; S = Leitungsquerschnitt in mm^2)

Abb. 3 Grenzbelastungskennlinie für PVC-isolierte Leitungen

DIN VDE 0100-430/November 1991; Abschnitt 5.2

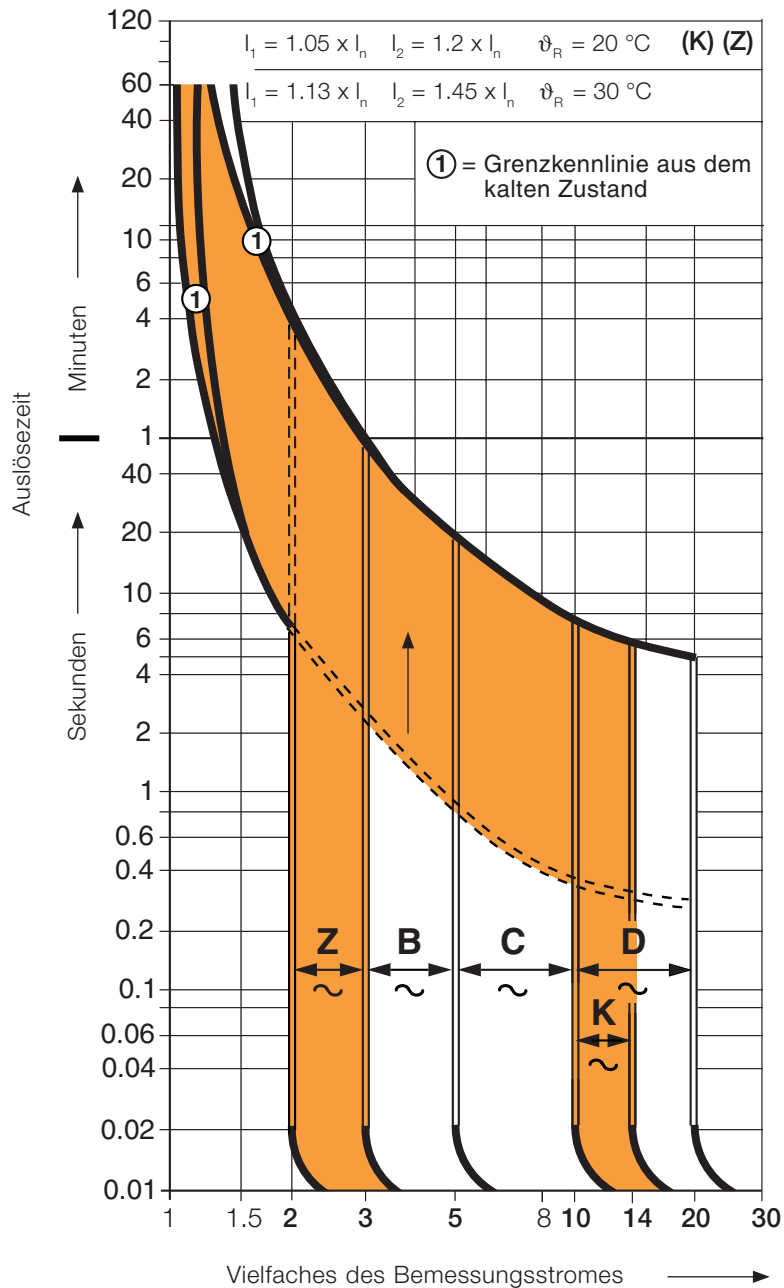
Anmerkung 5

Die Bedingungen (1) und (2) garantieren in einzelnen Fällen nicht den vollständigen Schutz, z. B. bei lang anstehenden Überströmen, die kleiner als I_2 sind. Sie führen auch nicht zwangsläufig zur wirtschaftlichsten Lösung. Deshalb ist vorausgesetzt, dass der Stromkreis so gestaltet ist, dass kleine Überlastungen von langer Dauer nicht regelmäßig auftreten werden.

Ziel ist es, mit der ausgewählten Charakteristik ein Kabel/eine Leitung gemäß ihrer Grenzbelastbarkeit nach Abb. 3 zu schützen.

Schutz bei Überlast

Es wird deutlich, dass mit den Auslöse-Charakteristiken „K“ und „Z“ mehr Sicherheit beim Planen und im Betrieb erreicht wird, da der festgelegte Auslösestrom bei $1,2 \times I_n$ liegt (B, C, D: $1,45 \times I_n$).



Leitertemperaturen PVC-isolierter Leitungen bei Überlast

Belastung	Leitertemperatur*
$1,0 \times I_n$	70 °C
$1,2 \times I_n$	86 °C
$1,45 \times I_n$	116 °C

Lebensdauer von PVC-isolierten Leitungen nach Arrhenius

Leitertemperatur	Lebensdauer
70 °C	20,0 Jahre
90 °C	2,5 Jahre
100 °C	1,0 Jahr

* 90 % des Temperaturwertes werden aus dem betriebswarmen Zustand heraus nach 5 Minuten erreicht.

Vergleich der Auslöse-Charakteristiken „Z“ und „B“

Steuerstromkreise 24 V DC

Damit im Sinne der Norm ein möglichst ausreichender Schutz empfindlicher Bauelemente wie Kontakte, konfektionierte Leitungen von Sensoren/Endschaltern usw. erreicht werden kann, muss der unverzögerte Auslöser im Millisekunden-Bereich die Abschaltung bewirken.

Es dürfen im Hinblick auf den Schleifenwiderstand maximale Leitungslängen nicht überschritten werden. Unter Berücksichtigung verschiedener Parameter ergeben sich beispielhaft folgende maximale Leitungslängen:

1,5 mm², 2-adrig, Cu
 Sicherungsautomat B6 max. 10 m
 Sicherungsautomat Z2 max. 47 m
 Sicherungsautomat Z6 max. 18 m

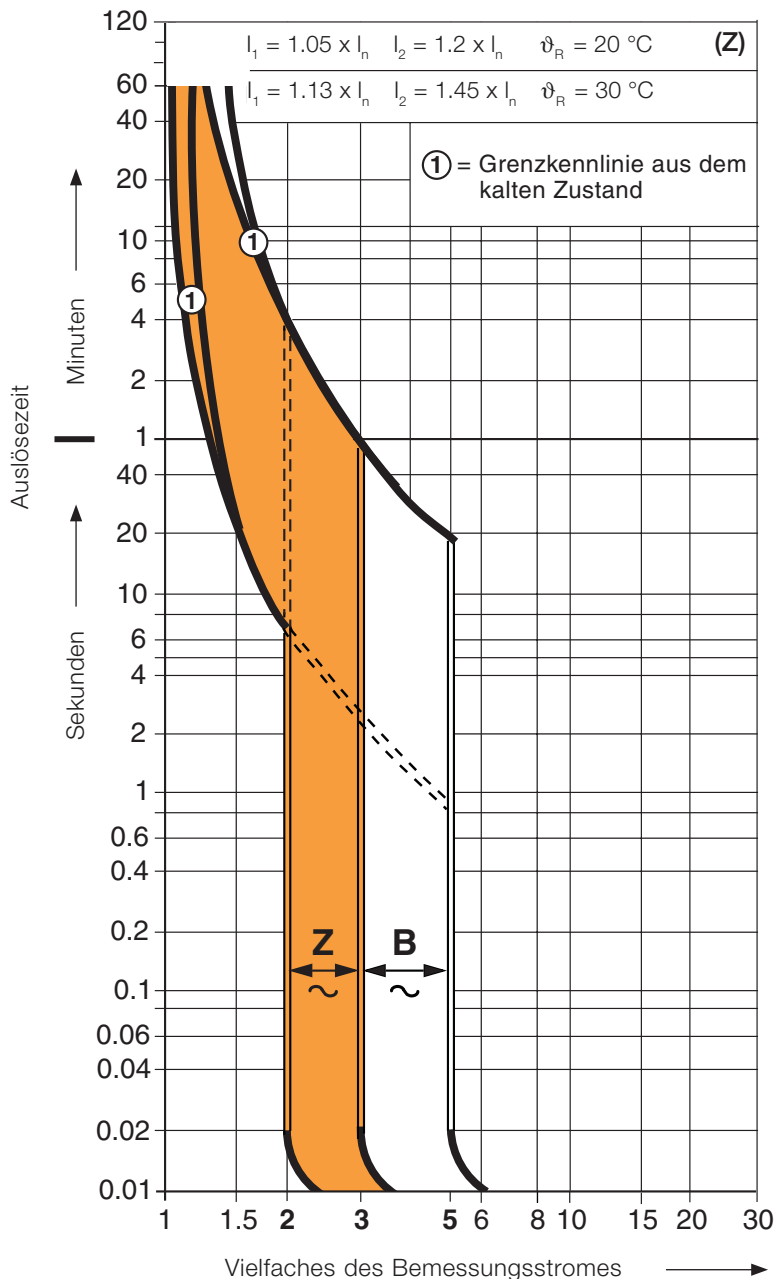
Bei Verwendung der Z-Charakteristik lassen sich aufgrund des niedrigen Sofortauslösestroms die größten Leitungslängen realisieren.

Hinweis

Bei Gleichstrom erhöhen sich die Auslösewerte der elektromagnetischen Auslöser um den Faktor 1,5.

Schutz bei Überlast

Hier wird deutlich, dass mit der Auslöse-Charakteristik „Z“ mehr Sicherheit beim Planen und im Betrieb erreicht wird.



Leitertemperaturen PVC-isolierter Leitungen bei Überlast

Belastung	Leitertemperatur*
$1,0 \times I_n$	70 °C
$1,2 \times I_n$	86 °C
$1,45 \times I_n$	116 °C

Lebensdauer von PVC-isolierten Leitungen nach Arrhenius

Leitertemperatur	Lebensdauer
70 °C	20,0 Jahre
90 °C	2,5 Jahre
100 °C	1,0 Jahr

* 90 % des Temperaturwertes werden aus dem betriebswarmen Zustand heraus nach 5 Minuten erreicht.

Vergleich der Auslöse-Charakteristiken „C“ und „K“

„K“ löst den Zielkonflikt von Betriebssicherheit bei Stromspitzen und schneller Abschaltung im Kurzschlussfall.

In Stromkreisen, wo Einschaltstromspitzen durch Motoren, Ladegeräte, Schweißtransformatoren, usw. auftreten können, hat sich die Auslöse-Charakteristik „K“ seit vielen Jahren bewährt.

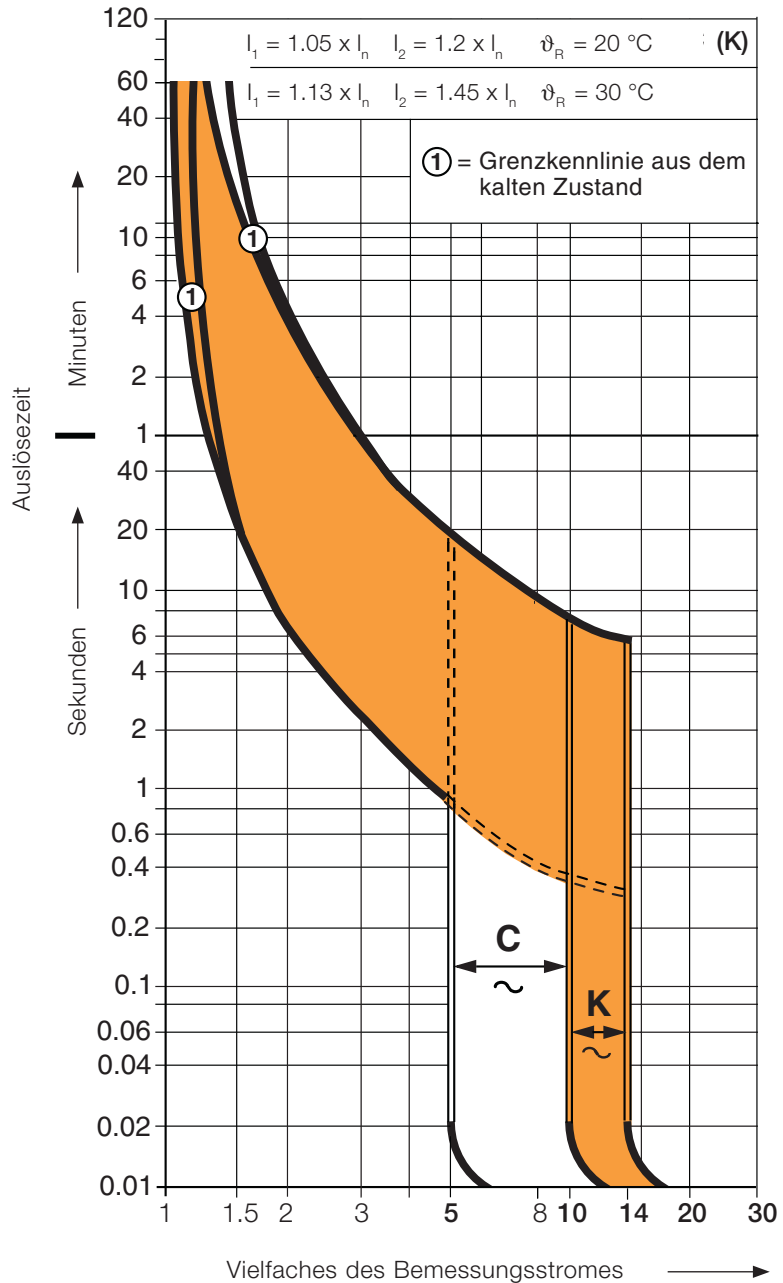
Stromspitzen bis $10 \times I_n$ führen nicht zur ungewollten Abschaltung. Die Auslöse-Charakteristik „C“ hält nur Stromspitzen bis $5 \times I_n$ stand.

Hinweis

Bei Gleichstrom erhöhen sich die Auslösewerte der elektromagnetischen Auslöser um den Faktor 1,5.

Schutz bei Überlast

Hier wird deutlich, dass mit der Auslöse-Charakteristik „K“ mehr Sicherheit beim Planen und im Betrieb erreicht wird.



Leitertemperaturen PVC-isolierter

Leitungen bei Überlast

Belastung	Leitertemperatur*
$1,0 \times I_n$	70 °C
$1,2 \times I_n$	86 °C
$1,45 \times I_n$	116 °C

Lebensdauer von PVC-isolierten

Leitungen nach Arrhenius

Leitertemperatur	Lebensdauer
70 °C	20,0 Jahre
90 °C	2,5 Jahre
100 °C	1,0 Jahr

* 90 % des Temperaturwertes werden aus dem betriebswarmen Zustand heraus nach 5 Minuten erreicht.

Vergleich der Auslöse-Charakteristiken „K“ und „D“

„K“ löst den Zielkonflikt von Betriebssicherheit bei Stromspitzen und schneller Abschaltung im Kurzschlussfall.

Die Auslöse-Charakteristik „K“ löst spätestens $14 \times I_n$ in $< 0,1$ s aus. Dagegen schaltet die Auslöse-Charakteristik „D“ erst bei $20 \times I_n$ in $< 0,1$ s ab, was im Hinblick auf den Schleifenwiderstand sowie auch beim Leitungsschutz im Bereich $10-20 \times I_n$ nachteilig sein kann.

Beispiel:

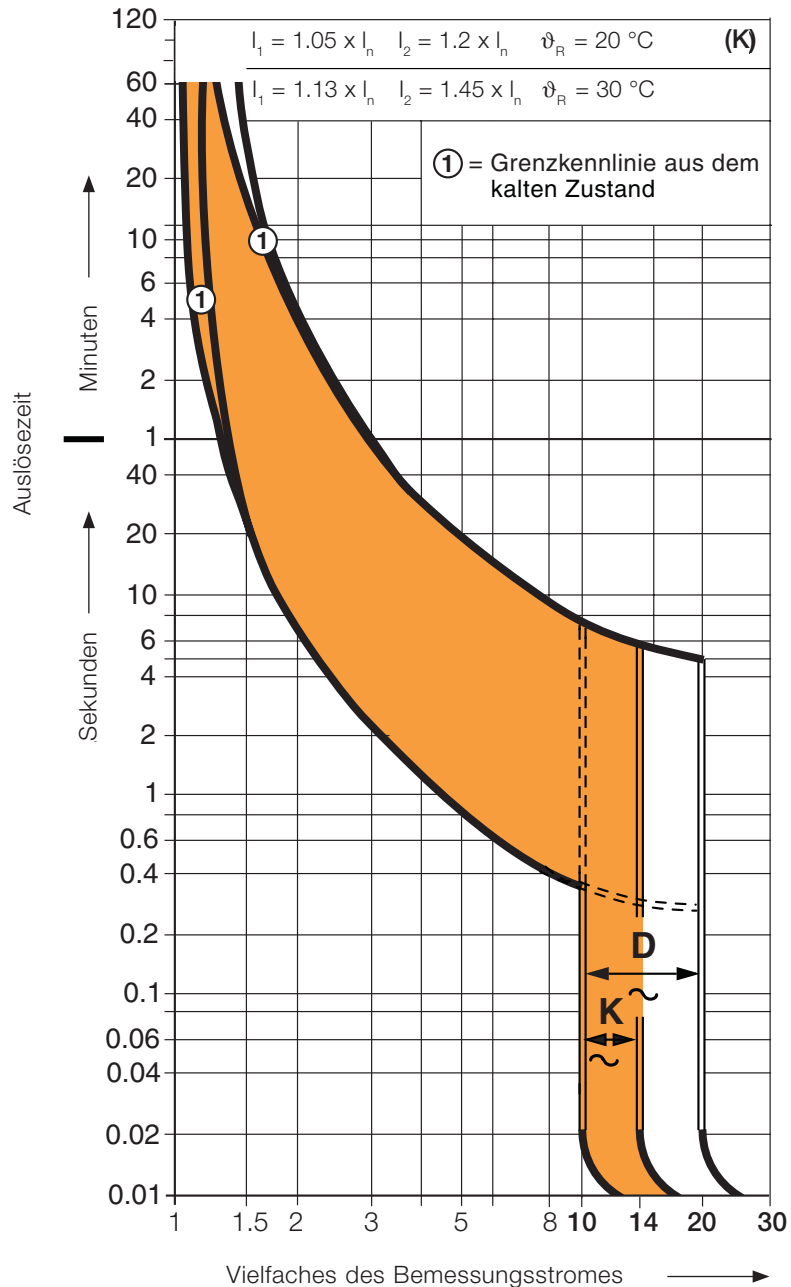
Eine Steckdose ist mit einem Sicherungsautomat D16 abgesichert. Zur Einhaltung der Abschaltbedingung $\leq 0,4$ s muß ein Kurzschlussstrom von ≥ 320 A sichergestellt werden.

Hinweis

Bei Gleichstrom erhöhen sich die Auslösewerte der elektromagnetischen Auslöser um den Faktor 1,5.

Schutz bei Überlast

Hier wird deutlich, dass mit der Auslöse-Charakteristik „K“ mehr Sicherheit beim Planen und im Betrieb erreicht wird.



Leitertemperaturen PVC-isolierter Leitungen bei Überlast

Belastung	Leitertemperatur*
$1,0 \times I_n$	70 °C
$1,2 \times I_n$	86 °C
$1,45 \times I_n$	116 °C

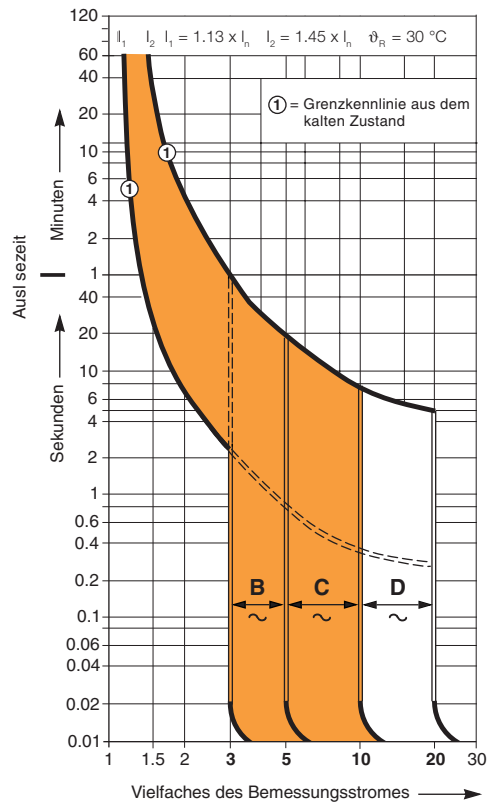
Lebensdauer von PVC-isolierten Leitungen nach Arrhenius

Leitertemperatur	Lebensdauer
70 °C	20,0 Jahre
90 °C	2,5 Jahre
100 °C	1,0 Jahr

* 90 % des Temperaturwertes werden aus dem betriebswarmen Zustand heraus nach 5 Minuten erreicht.

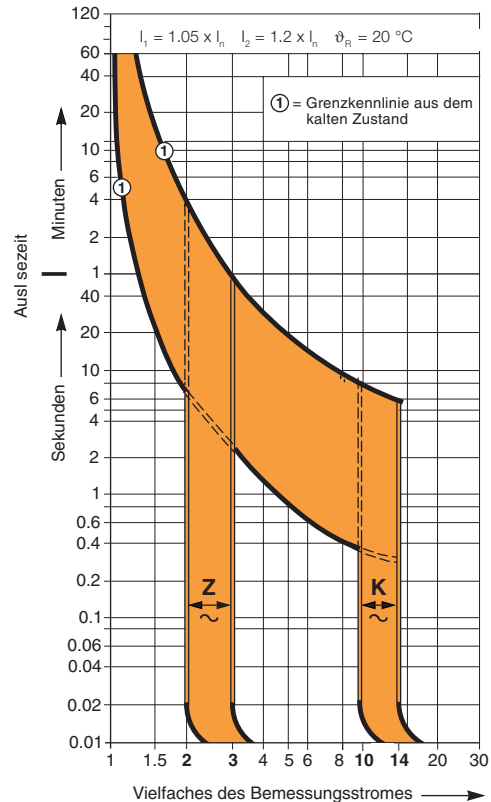
Auslöse-Charakteristiken B, C, D, K, Z

Auslöse-Charakteristik B, C, D
 nach DIN EN 60898-1 (VDE 0641-11)
 Baubestimmung für Sicherungsautomat für
 Haushaltinstallationen und ähnliche Zwecke



Gegenüber den Auslöse-Charakteristiken „B“, „C“ und „D“, bieten „K“ und „Z“ mehr Sicherheit beim Planen und im Betrieb.

Auslöse-Charakteristik K, Z
 nach DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101)
 Baubestimmung für Leistungsschalter



Zuordnung

- B, C und D für den Überstromschutz von Leitungen nach DIN EN 60898-1 (DIN VDE 0641-11)
- K zum Schutz von Wicklungen bei Motoren und Transformatoren bei gleichzeitigem Überstromschutz der Leitungen
- Z für Steuerstromkreise mit hohen Impedanzen, für Spannungswandlerkreise und für Halbleiterschutz bei gleichzeitigem Überstromschutz von Leitungen

Empfehlung

In Steckdosen-Stromkreisen empfehlen wir entsprechend DIN VDE 0100-410 eine FI/LS-Kombination.

Weitere Kriterien bei der Auswahl von Sicherungsautomaten

Um den Stromkreis bestmöglich abzusichern, sind zusätzliche Randbedingungen bei der Auswahl der Sicherungsautomaten zu berücksichtigen:

- Der Sicherungsautomat ist auf den Bemessungsstrom des angeschlossenen Gerätes oder der Strombelastbarkeit der Leitung abzustimmen, je nachdem welcher der niedrigere Wert ist.
- Umgebungstemperatur
- Gegenseitige Beeinflussung bei Anordnung von mehreren Sicherungsautomaten nebeneinander

Abweichende Umgebungstemperatur

Die thermischen Auslöser werden vom Hersteller auf eine Bezugsumgebungstemperatur eingestellt. Diese beträgt für „K“ und „Z“ 20 °C, für „B“, „C“ und „D“ 30 °C. Bei höheren Umgebungstemperaturen verringern sich die maximalen Betriebsströme um ca. 6 % je +10°C Temperaturdifferenz. Für genaue Berechnungen und sehr hohe bzw. niedrige Umgebungstemperaturen müssen Referenztabellen herangezogen werden.

Gegenseitige Beeinflussung bei gleichmäßiger Belastung

Bei dichter Aneinanderreihung und gleichmäßig hoher Auslastung der Sicherungsautomaten muss ein Korrekturfaktor berücksichtigt werden:

- 2 und 3 Sicherungsautomaten: Faktor 0,9
- 4 und 5 Sicherungsautomaten: Faktor 0,8
- 6 und mehr Sicherungsautomaten: Faktor 0,75

Werden Füll- bzw. Distanzstücke eingesetzt, finden diese Faktoren keine Anwendung.

Tabelle 15

Auslösebedingungen für Sicherungsautomaten für AC-Anwendungen

Auslösecharakteristik	B	C	D			K	Z		
Norm	DIN EN 60898-1, -2 (VDE 0641-11, -12)				in Anlehnung an DIN EN 60947 (VDE 0660)				
Zeit-Strom-Kennlinie*	x I _n (30 °C)			Zeiten		x I _n (20 °C)		Zeiten	
Nicht-Auslösen	1,13			1 h (I _n ≤ 63 A)	2 h (I _n > 63 A)	1,05		1 h	
Auslösen	1,45			1 ... 60 s (I _n ≤ 63 A)	1 ... 120 s (I _n > 63 A)	1,2		1 h	
Auslösen	2,55			1 ... 60 s (I _n ≤ 32 A)	1 ... 120 s (I _n > 32 A)	1,5		< 120 s	
						6		> 2 s	
Sofort-Auslösung (magn.)	x I _n			Zeiten		x I _n		Zeiten	
Nicht-Auslösen	3	5	10	0,1 s		10	2	0,2 s	
Auslösen	5	10	20	0,1 s		14	3	0,2 s	

* Für abweichende Umgebungstemperaturen gelten Reduktionsfaktoren!

4. Vorgehensweise bei Auslegung von Kabel- und Leitungssystemen und Auswahl von Überstrom-Schutzeinrichtungen

Die Auslegung von Kabel- und Leitungsanlagen erfordert die Berücksichtigung von unterschiedlichsten Parametern, wie:

- Betriebsstrom des Stromkreises
- Art der Verlegung von Kabeln/Leitungen
- Leitungstyp
- Umgebungsbedingungen
- usw.

Bei der Ermittlung der kennzeichnenden Werte hat sich folgende Vorgehensweise bewährt:

1. Festlegung des zu erwartenden maximalen Betriebsstroms I_b des zu schützenden Stromkreises
2. Festlegung der Verlegeart(en), z. B. aufgrund von baulichen Gegebenheiten
3. Ermittlung erforderlicher Reduktionsfaktoren f_1, f_2, \dots (z. B. bei Häufung, abweichender Umgebungstemperatur, etc.) ggf. Berechnung eines neuen, fiktiven Betriebsstroms $I_{b,neu}$ gemäß

$$I_{b,neu} = \frac{I_b}{f_1 \cdot f_2 \cdot \dots}$$

4. Bestimmung der notwendigen Strombelastbarkeit I_z des Kabels/der Leitung auf Basis von I_b bzw. $I_{b,neu}$
5. Auswahl des Kabel-/Leitungstyps und -querschnitts
6. Zuordnung der Überstrom-Schutzeinrichtung (Typ, Charakteristik, Bemessungsstrom) unter Beachtung der angeschlossenen Betriebsmittel
7. Ermittlung der maximalen zulässigen Leitungslänge für jeden Leitungsabschnitt
 - aufgrund des zulässigen angenommenen Spannungsfalls
 - aufgrund der erforderlichen Abschaltzeiten für den Schutz gegen elektrischen Schlag (Fehlerschutz)
 - soweit zutreffend ggf. Erhöhung des Leiterquerschnitts oder Reduzierung des Bemessungsstroms der Schutzeinrichtung

5. Auslegungsbeispiel für einen Durchlauferhitzer

Verbraucheranlage

hydraulischer Durchlauferhitzer, 18 kW, in einem gewerblich genutzten Bauwerk.

Nennspannung des Netzes

$U_o/U = 230/400$ V, TNS-System

Betriebsstrom des Stromkreises

Maximaler Betriebsstrom des Stromkreises $I_b = 30$ A.

Leitung, Verlegebedingungen und Strombelastbarkeit

Mantelleitung NYM-J 5 x 6 mm² nach DIN VDE 0250-204 (VDE 0250 Teil 204), teilweise auf Pritschen (nach Kapitel 1, Tabelle 1: Referenzverlegeart E), teilweise in Installationsrohren (Referenzverlegeart B2) verlegt.

Strombelastbarkeit nach Kapitel 1, Tabelle 2 ($T_u = 30$ °C) nach der ungünstigsten Verlegeart (= Referenzverlegeart B2) mit 3 belasteten Adern: $I_z = 34$ A.

Anmerkung

Bei Häufung sind Umrechnungsfaktoren wie z. B. nach den Tabellen 5 bis 10 im Kapitel 1 zu berücksichtigen.

Schutz bei Überlast

Schutzeinrichtung: Sicherungsautomat K-Charakteristik (mit $I_2 = 1,2 \times I_n$)

Gewählt wird $I_n = 32$ A. Damit sind die Bedingung $I_b \leq I_n \leq I_z$ sowie $I_2 \leq 1,45 \times I_z$ eingehalten.

Fehlerschutz (Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen, Schutz bei indirektem Berühren) und Schutz bei Kurzschluss

Abschaltung im TN-System mit Überstrom-Schutzeinrichtung, vorgeschriebene Abschaltzeit 0,4 s, Impedanz vor der Schutzeinrichtung $Z_v = 100$ m Ω .

Maximal zulässige Leitungslänge

nach Kapitel 2, Tabelle 13 (gilt für $Z_v = Z_{v0} = 300$ m Ω): 27 m. Da die Impedanz vor der Schutzeinrichtung $Z_v = 100$ m Ω kleiner ist als der in Tabelle 13 zugrundeliegende Wert von 300 m Ω , ist die maximal zulässige Kabel- und Leitungslänge mit dem Längen-Korrekturfaktor f_l (letzte Spalte der Tabelle) zu korrigieren.

Für Querschnitt 6 mm² beträgt $f_l = 1,22$ m/10 m Ω .

Längenkorrektur:

$$\Delta_l = (Z_{v0} - Z_v) \times f_l = (300 - 100) \text{ m}\Omega \times 1,22 \text{ m}/10 \text{ m}\Omega = 24,4 \text{ m.}$$

Damit beträgt die maximal zulässige Leitungslänge:

$$27 \text{ m} + 24,4 \text{ m} = 51,4 \text{ m.}$$

Spannungsfall

Der Gesamtspannungsfall soll nach DIN 18015-1 hinter der Zähleranlage nicht mehr als 3 % betragen. Diese 3 % sind entsprechend auf die einzelnen Leitungsabschnitte bis zum Verbraucher zu verteilen. Für die Zuleitung zum Durchlauferhitzer wird hier ein zulässiger Spannungsfall von 2% angenommen.

Nach Kapitel 2, Tabelle 11 ist die maximal zulässige Leitungslänge 60 m bei einem Spannungsfall von 3 % und einem zugrunde gelegten Betriebsstrom von 35 A. Dieser Wert ist nach Kapitel 2, Tabelle 12 für einen Spannungsfall von 2 % mit dem Faktor 0,66 umzurechnen. Dazu kommt ein weiterer Faktor 1,09 für die Umrechnung von 35 A auf 32 A. Demnach beträgt die maximal zulässige Leitungslänge $60 \text{ m} \times 0,66 \times 1,09 = 43 \text{ m}$.

Ergebnis

Die maximal zulässige Leitungslänge des Stromkreises wird durch den Spannungsfall bestimmt: $l_{\text{max}} = 43 \text{ m}$.

Kontakt

ABB STOTZ-KONTAKT GmbH

Postfach 10 16 80

69006 Heidelberg, Deutschland

Telefon: +49 6221 701 0

Telefax: +49 6221 701 1325

E-Mail: info.desto@de.abb.com

www.abb.de/stotzkontakt

Hinweis:

Technische Änderungen der Produkte sowie Änderungen im Inhalt dieses Dokuments behalten wir uns jederzeit ohne Vorankündigung vor. Bei Bestellungen sind die jeweils vereinbarten Beschaffenheiten maßgebend. Die ABB AG übernimmt keinerlei Verantwortung für eventuelle Fehler oder Unvollständigkeiten in diesem Dokument.

Wir behalten uns alle Rechte an diesem Dokument und den darin enthaltenen Gegenständen und Abbildungen vor. Vervielfältigung, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhaltes – auch von Teilen – ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung durch die ABB AG verboten.

Copyright© 2011 ABB
Alle Rechte vorbehalten