

Karl-Heinz Kny

Überlast- und Kurzschlusschutz

- Notwendigkeit des Überlast- und Kurzschlusschutzes
- Einsatz von Schutzeinrichtungen
- Berechnungen mit Praxisbeispielen

IMPRESSUM

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2021 by WEKA MEDIA GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und Vervielfältigung – auch auszugsweise – nicht gestattet.

Wichtiger Hinweis

Die WEKA MEDIA GmbH & Co. KG ist bemüht, ihre Produkte jeweils nach neuesten Erkenntnissen zu erstellen. Deren Richtigkeit sowie inhaltliche und technische Fehlerfreiheit werden ausdrücklich nicht zugesichert. Die WEKA MEDIA GmbH & Co. KG gibt auch keine Zusicherung für die Anwendbarkeit bzw. Verwendbarkeit ihrer Produkte zu einem bestimmten Zweck. Die Auswahl der Ware, deren Einsatz und Nutzung fallen ausschließlich in den Verantwortungsbereich des Kunden.

WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Sitz in Kissing
Registergericht Augsburg
HRA 13940

Persönlich haftende Gesellschafterin:
WEKA MEDIA Beteiligungs-GmbH
Sitz in Kissing
Registergericht Augsburg
HRB 23695
Geschäftsführer: Stephan Behrens, Michael Bruns, Kurt Skupin

WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Römerstraße 4, D-86438 Kissing
Fon 0 82 33.23-40 00
Fax 0 82 33.23-74 00
service@weka.de
www.weka.de

Umschlag geschützt als Geschmacksmuster der
WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Satz: WEKA MEDIA GmbH & Co. KG
Druck: Elanders GmbH, Anton Schmidt Str. 15, D-71332 Waiblingen
Printed in Germany

ISBN 978-3-8111-1850-8

Überlast- und Kurzschlusschutz

Inhaltsverzeichnis

	Stichwortverzeichnis	9
1	Notwendigkeit des Überlast- und Kurzschlusschutzes	13
2	Überstromschutzeinrichtungen	17
2.1	Aufgabe von Überstrom-Schutzeinrichtungen	17
2.2	Auswahl von Überstrom-Schutzeinrichtungen	18
2.2.1	Geräteschutzsicherung	19
2.2.2	Niederspannungs-Leitungsschutzsicherungen	28
2.2.3	Leitungsschutzschalter	38
2.2.4	Selektive Hauptleitungsschutzschalter (SH)	50
2.2.5	Leistungsschalter nach DIN VDE 0660	52
2.2.6	Motorstarter (Motorschutzschalter)	54
2.2.7	Hochspannungs-Hochleistungssicherungen (HH-Sicherungen)	55
2.3	Notwendigkeit und Anordnung von Überstrom-Schutz- einrichtungen	60
2.3.1	Verwendung von Überstrom-Schutzeinrichtungen bei Überlast und/oder Kurzschluss	60
2.3.2	Anordnung von Überstrom-Schutzeinrichtungen bei Überlast und/oder Kurzschluss	61
2.3.3	Versetzen von Überstrom-Schutzeinrichtungen	61
2.3.4	Verzicht auf den Überstromschutz	62
3	Überlastschutz	65
3.1	Merkmale des Überlastschutzes	65
3.2	Kenntnis der Betriebsströme	65
3.2.1	Berechnung der Abnehmer- und Streckenströme im unverzweigten Strahlennetz	66
3.2.2	Berechnung der Abnehmer- und Streckenströme im verzweigten Strahlennetz	70
3.2.3	Berechnung der Streckenströme	73

3.2.4	Berechnung der Streckenströme im Ringnetz bzw. im zweiseitig gespeisten Netz.....	75
3.2.4.1	Ermittlung der Streckenströme ohne Berücksichtigung der Phasenverschiebung φ der Lastströme.....	77
3.2.4.2	Ermittlung der Streckenströme mit Berücksichtigung der Phasenverschiebung φ der Lastströme.....	78
3.2.4.3	Fazit.....	80
3.3	Schutz durch den Einsatz von Mindestleiterquerschnitten.....	80
3.4	Schutz von Kabeln und Leitungen und deren Strombelastbarkeit.....	82
3.5	Auswahl- und Einstellregeln sowie Koordinierung der Kenngrößen.....	92
3.6	Schutz von parallel geschalteten Kabeln.....	96
3.7	Überstromschutz von Verteilungstransformatoren.....	100
3.8	Überstromschutz von Motoren.....	103
3.9	Überstromschutz von Kondensatoren.....	107
4	Kurzschlusschutz.....	109
4.1	Merkmale des Kurzschlusschutzes.....	109
4.2	Berechnung von Kurzschlussströmen mit Praxisbeispielen.....	110
4.2.1	Ermittlung der Impedanzen der Betriebsmittel.....	113
4.2.2	Bestimmung der Kurzschlussimpedanzen bis zur jeweiligen Kurzschlussstelle.....	117
4.2.3	Berechnung der Kurzschlussströme.....	118
4.3	Kurzschlussfestigkeit.....	125
4.3.1	Nachweis der mechanischen Kurzschlussfestigkeit von Betriebsmitteln und Anlagen.....	126
4.3.2	Nachweis der thermischen Kurzschlussfestigkeit von elektrischen Betriebsmitteln und Leitern.....	129
4.3.3	Erforderlicher Mindestkurzschlussstrom und maximal zulässige Leitungslänge.....	141
4.3.4	Schutz von parallel geschalteten Leitern.....	149
4.3.5	Schutz bei Querschnittsminderung.....	150

4.4	Überprüfung des Schaltvermögens von Kurzschluss-Schutzeinrichtungen	150
4.4.1	Ausschalten von Kurzschlussströmen	150
4.4.2	Einschalten auf einen Kurzschluss	152
5	Selektivität bei Überlast und Kurzschluss	153
5.1	Definition und rechtliche Grundlagen	153
5.2	Arten und Kriterien von Selektivität	155
5.2.1	Selektivität und Selektivitätsgrenze	155
5.2.2	Beurteilungskriterien	159
5.2.3	Erforderliche Berechnungen	162
5.3	Auslegung elektrischer Anlagen auf Selektivität	163
5.3.1	Grundsätze	163
5.3.2	Kombination Schmelzsicherung – Schmelzsicherung	164
5.3.3	Kombination Leitungsschutzschalter – Leitungsschutzschalter	166
5.3.4	Kombination Schmelzsicherung – Leitungsschutzschalter/ Leistungsschalter	167
5.3.5	Kombination Leistungsschalter – Leistungsschalter	168
5.3.6	Hintereinander angeordnete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen RCDs	171
5.3.7	HH-Sicherung – Leistungsschalter – NH-Sicherung	172
5.4	Selektivität in der Praxis	172
6	Beispiel: Bestimmung der Leiterquerschnitte und Schutzeinrichtungen im unverzweigten Strahlennetz	175
6.1	Schutz bei Überlast	175
6.2	Leistungsschalter	178
6.3	Schutz bei Kurzschluss	179
6.3.1	Voraussetzung	179
6.3.2	Nachweis des Schutzes bei Kurzschluss	180
6.3.3	Nachweis der Selektivität für das Beispiel 1	180
6.3.4	Ermittlung des Spannungsfalls bis zum Ende des Strahlennetzes	181
7	Normen zum Überlast- und Kurzschlusschutz	183

1 Notwendigkeit des Überlast- und Kurzschlusschutzes

Jeder elektrische Strom ruft Wärme- und Kraftwirkungen hervor.

Hohe Stromstärken rufen starke Erwärmungen und große mechanische Kräfte hervor. Diese Wirkungen können die Festigkeit der elektrischen Betriebsmittel überschreiten.

Elektrotechnische Anlagen müssen deshalb so dimensioniert und errichtet werden, dass die zu erwartenden thermischen und mechanischen Beanspruchungen im Normal- und Fehlerbetrieb die Betriebsmittel und Anlagen sowie Kabel und Leitungen nicht schädigen. Sie dürfen nur so stark beansprucht werden, dass ein dauerhafter Betrieb weiterhin möglich ist.

Von einer Schädigung von Kabeln und Leitungen ist auszugehen, wenn durch einen zu hohen Strom (zu hohe Erwärmung) die Leiterisolierung in ihrer Qualität entscheidend gemindert ist oder das Leitermaterial entfestigt wurde.

Für den normalen Betriebszustand sollten deshalb die maximal zulässigen Dauertemperaturen nach Tabelle 1.1 nicht überschritten werden. Diese Forderung wird erfüllt, wenn der dauernd fließende Betriebsstrom nicht größer ist als die höchste dauernd zulässige Strombelastbarkeit unter bestimmten Einsatzbedingungen.

Überlastströme erwärmen die Betriebsmittel sowie Kabel und Leitungen in Abhängigkeit von der Vorbelastung. Die rechtzeitige Abschaltung wird durch geeignete Schutzeinrichtungen erreicht.

Mechanische Überbeanspruchungen durch den Betriebs- oder Überlaststrom treten nicht auf.

Im Kurzschlussfall, der aus den verschiedensten Gründen immer wieder auftritt, muss die durch den hohen Strom hervorgerufene thermische und mechanische Beanspruchung auf kurze Zeiten begrenzt werden.

Tab. 1.1: Zulässige Betriebs- und Kurzschlussendtemperaturen für Kabel mit Kupferleitern

Bauart	Zulässige Betriebstemperatur in °C	Zulässige Kurzschlussstemperatur in °C
Weichlotverbindungen	–	160
VPE-Kabel	90	250
PE-Kabel	70	150
PVC-Kabel		
≤ 300 mm ²	70/90	160/150
> 300 mm ²	70/90	140/150
Massekabel Gürtelkabel		
0,6/1 kV bis 3,6/6 kV	80	180
6/10 kV	65	165
Einadrige, Dreimantel- und H-Kabel		
0,6/1 kV bis 3,6/6 kV	80	180
6/10 kV	70	170
12/20 kV	65	155
18/30 kV	60	140

Die zulässige thermische Beanspruchung wird durch Kurzschlussendtemperaturen nach Tabelle 1.1 bestimmt. Sie sind im Durchschnitt etwa doppelt so hoch wie die zulässigen Dauertemperaturen im Normalbetrieb. Spätestens beim Erreichen dieser Kurzschlussendtemperaturen muss der Kurzschlussstrom ausgeschaltet werden. Kabel und Leitungen müssen mit Überstromschutzorganen gegen zu hohe Erwärmung geschützt werden, die sowohl durch betriebsmäßige Überlastung als auch durch vollkommenen Kurzschluss auftreten kann.

Die höchste mechanische Beanspruchung durch den Kurzschlussstrom tritt schon 5 ms bis 10 ms nach Entstehung des Kurzschlusses auf. Entweder die Anlage ist für den sog. Stoßkurzschlussstrom ausgelegt oder der Spitzenwert muss

in seiner Höhe durch schnell schaltende Schutzeinrichtungen auf den zulässigen Wert begrenzt werden.

Eine zeitliche Begrenzung des Überlaststroms und eine schnelle Ausschaltung des Kurzschlussstroms sind für den Erhalt bzw. die weitere Betriebsfähigkeit einer elektrotechnischen Anlage notwendig, aber eine unkontrollierte Ausschaltung von hintereinander angeordneten Schutzeinrichtungen steht dem eigentlichen Ziel der Zuverlässigkeit der Elektroenergieversorgung entgegen. Deshalb soll im Überlast- und Kurzschlussfall die Ausschaltung von Netz- und Anlagenteilen minimiert werden.

Dies wird durch das selektive Ausschalten des fehlerbetroffenen Netzes, Anlagenteils oder Abnehmers erreicht. Dazu müssen die Schutzeinrichtungen hinsichtlich der Höhe des Stroms und der Ausschaltzeiten aufeinander abgestimmt sein.

2 Überstrom-Schutzeinrichtungen

2.1 Aufgabe von Überstrom-Schutzeinrichtungen

Überstrom-Schutzeinrichtungen sollen elektrotechnische Anlagen bei Überlast und Kurzschluss vor zu hoher thermischer und mechanischer Beanspruchung schützen.

Sie haben die Aufgabe, den Stromkreis beim Überschreiten der zulässigen Strombelastbarkeit, d.h. der Gefahr einer unzulässig hohen Erwärmung bis zum größten Strom bei vollkommenem Kurzschluss, in einer bestimmten Zeit zu unterbrechen.

Für diese Aufgabe stehen folgende Überstrom-Schutzeinrichtungen zur Verfügung:

- Geräteschutzsicherungen
- Leitungsschutzsicherungen
- Leitungsschutzschalter
- Leistungsschalter
- Motorschutzschalter

Das Öffnen des Stromkreises erfolgt bei den Sicherungen durch das Schmelzen eines Leiterstücks und bei den Schaltern durch thermische sowie elektromagnetische Auslöser.

Nach DIN VDE 0100-430 werden die Organe für den Überstromschutz in elektrischen Anlagen und von Betriebsmitteln unterschieden, die

- sowohl bei Überlast als auch bei Kurzschluss,
- nur bei Überlast oder
- nur bei Kurzschluss

schützen.

Schmelzsicherungen und Schutzeinrichtungen mit thermischem sowie elektromagnetischem Auslöser sind sowohl für den Überlast- als auch für den Kurzschlusschutz geeignet.

Schutzeinrichtungen, die für den Überlastschutz vorgesehen sind, haben im Allgemeinen nur einen stromabhängig verzögerten Auslöser. Das Ausschaltvermögen ist kleiner als der Strom bei vollkommenem Kurzschluss an der Einbaustelle der Schutzeinrichtung.

Nur die (auch) für den Kurzschlusschutz vorgesehenen Einrichtungen müssen in der Lage sein, Kurzschlussströme bis zum größten Strom bei vollkommenem Kurzschluss an ihrer Einbaustelle zu unterbrechen.

Dazu zählen die Teilbereichssicherungen und Schutzschalter, die nur mit einem Schnellauslöser ausgerüstet sind.

2.2 Auswahl von Überstrom-Schutzeinrichtungen

Je nach der zu erfüllenden Schutzaufgabe und den daraus abzuleitenden Anforderungen an die Schutzeinrichtungen, einschließlich der Gewährleistung von Selektivität, erfolgt die Auswahl nach folgenden Kriterien:

- **Bemessungsspannung**
Spannungshöhe, für die die Schutzeinrichtung ausgelegt, gebaut und geprüft ist
- **Bemessungsstrom**
Stromstärke, für die die Schutzeinrichtung ausgelegt, gebaut und geprüft ist
- **Bemessungsausschaltvermögen**
maximale effektive Stromstärke, die die Schutzeinrichtung sicher und zuverlässig ausschalten kann
- **Mindestausschaltstrom**
minimale Stromstärke, die die Schutzeinrichtung zuverlässig ausschalten kann
- **Durchlassstrom**
zeitlicher Spitzenwert des Stroms, den eine strombegrenzende Schutzeinrichtung (Schmelzsicherung, strombegrenzender Leistungsschalter) im Kurzschlussfall durchlässt
- **Zeit-Strom-Kennlinie**
Zeit-Strom-Kennlinie einer Schutzeinrichtung stellt die Ausschaltzeit in Abhängigkeit vom Überstrom in einem Diagramm mit doppellogarithmischer Teilung dar

■ **Stromwärmeintegral**

Stromwärmewirkung (I^2T), die eine Schutzeinrichtung zum Schmelzen (Schmelzintegral) oder zum Ausschalten (Ausschaltintegral) bringt oder als maximal zulässiger Durchlasswärmewert angegeben ist

2.2.1 Geräteschutzsicherung

Eine Geräteschutzsicherung (G-Sicherung, Feinsicherung) ist eine Schmelzsicherung, die als geschlossener Sicherungseinsatz kein höheres Ausschaltvermögen als 2 kA hat und mindestens ein Hauptmaß (Länge, Breite, Höhe und Durchmesser) von 10 mm nicht überschreitet.

Tab. 2.1: Farbcode für G-Sicherungen

Farbe	Farbring		
	1./2. Ring	3. Ring	4. Ring
Schwarz	0	× 1	FF
Braun	1	× 10	
Rot	2	× 100	F
Orange	3	× 1.000	
Gelb	4		M
Grün	5		
Blau	6		T
Violett	7		
Grau	8		TT
Weiß	9		

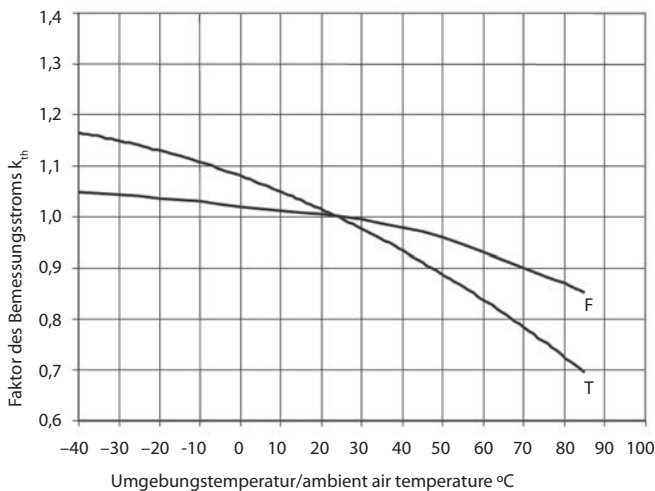
Der Bemessungsstrom ist der angegebene maximale Strom (0,032 A bis 20 A nach Tabelle 2.2), der dauernd bei bestimmter Umgebungstemperatur (23 °C) fließen darf, ohne dass der Schmelzleiter den Stromkreis unterbricht. Er sollte nicht kleiner sein als der dauerhaft fließende Betriebsstrom, insbesondere bei superflinken G-Sicherungseinsätzen. Mit vom Hersteller angegebenen Korrekturfaktoren (Abbildung 2.1) wird der Bemessungsstrom angepasst. Bei höheren

Temperaturen verringert sich der Bemessungsstrom. Der Einfluss ist bei trägen Schmelzeinsätzen größer.

Tab. 2.2: Bemessungsströme in A nach DIN VDE 0820 und Hersteller

				0,032	0,04	0,05	0,063	0,08	0,1
0,125	0,16	0,2	0,25	0,315	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0
1,25	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5	6,3		10
12,5	16	20	25	32					

Abb. 2.1: Korrekturfaktoren für den Bemessungsstrom (Geräteschutzsicherungen)
(Quelle: SIBA)



Das Bemessungsausschaltvermögen kennzeichnet den Strom bei Bemessungsspannung (siehe Tabelle 2.3), der ordnungsgemäß ausgeschaltet werden kann, ohne dass der G-Sicherungseinsatz zerstört wird oder ein Lichtbogen stehen bleibt. Deshalb darf der Kurzschlussstrom das Bemessungsausschaltvermögen des G-Sicherungseinsatzes nicht überschreiten.

Tab. 2.3: Bemessungsausschaltvermögen von G-Sicherungen

Bezeichnung	Schaltvermögen	Bemerkung
kleines Schaltvermögen (L)	35 A oder $10 \cdot I_n$ (max. 63 A)	DIN IEC 1277
erhöhtes Schaltvermögen (E)	150 A	
großes Schaltvermögen (H)	1.500 A	
Gruppe B	50 A	DIN 41571-2
Gruppe C	80 A	
Gruppe D	300 A	
Gruppe E	1.000 A	
Gruppe G	1.500 A	

Bei G-Sicherungen wird die Zeit-Strom-Kennlinie zur Ermittlung der Schmelzzeit der Sicherung bei Vorgabe des Überlast- bzw. Kurzschlussstroms angegeben.

Die Zeit-Strom-Kennlinien beziehen sich auf die Schmelz- und die Ausschaltdauer.

Bezeichnet wird die Zeit-Strom-Charakteristik von G-Schmelzsicherungen durch Buchstabensymbole:

FF = superflink ($t_a < 1$ ms)

F = flink ($t_a < 20$ ms)

M = mittelträge ($t_a < 100$ ms)

T = träge ($t_a < 300$ ms)

TT = superträge ($t_a < 3$ s)

Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal ist die maximale Ausschaltzeit t_a beim zehnfachen Bemessungsstrom; die in Klammern angefügten Ausschaltzeiten aus einem Herstellerkatalog (SIBA-GSS) sind als Richtwert anzusehen. DIN VDE 0820-2 enthält Normwerte für träge und flinke G-Sicherungen mit Berücksichtigung des Ausschaltvermögens.

Abb. 2.2a und b: Zeit-Strom-Charakteristik von G-Sicherungen (a: FF und b: F)

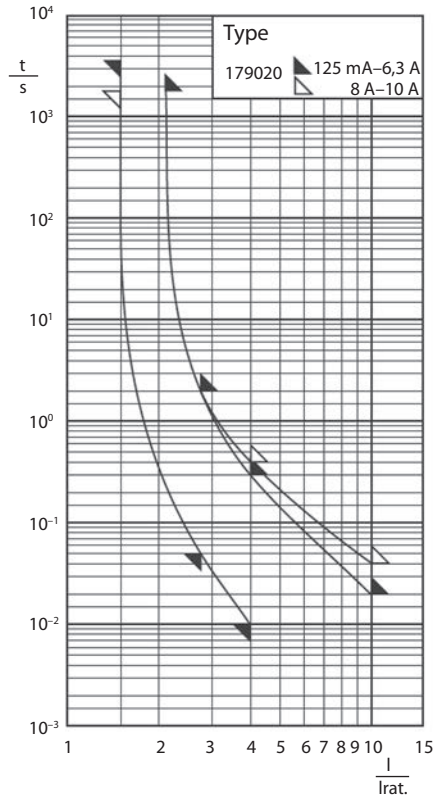
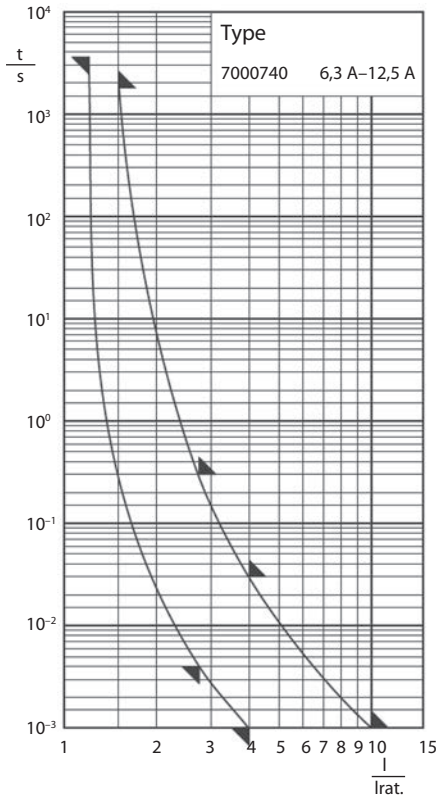


Abb. 2.2c und d: Zeit-Strom-Charakteristik von G-Sicherungen (c: M und d: T)

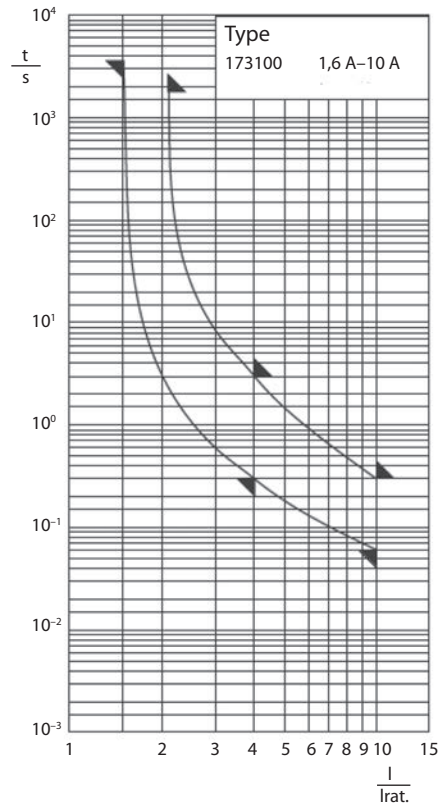
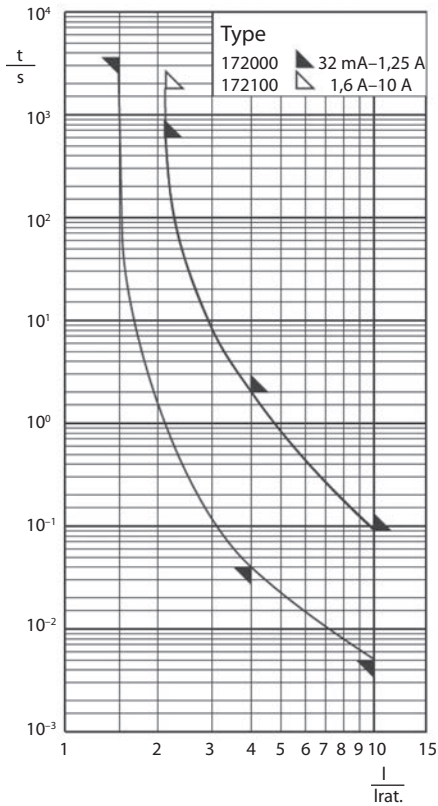


Abb. 2.2e: Zeit-Strom-Charakteristik von G-Sicherungen (TT)

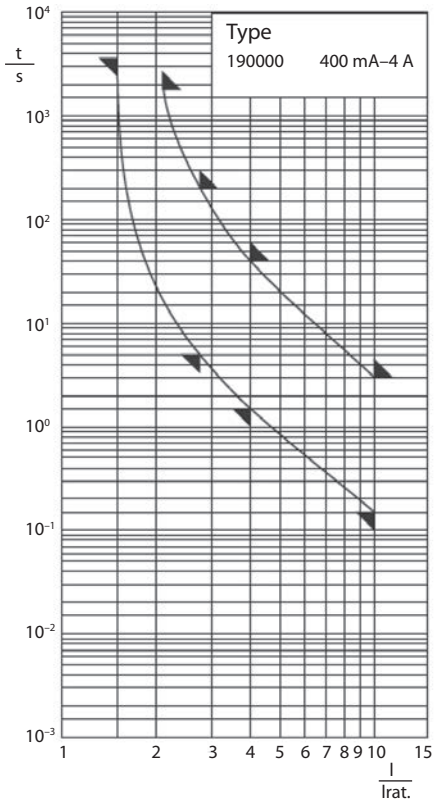


Abb. 2.3a: Zeit-Strom-Charakteristik von G-Sicherungen (gRL)

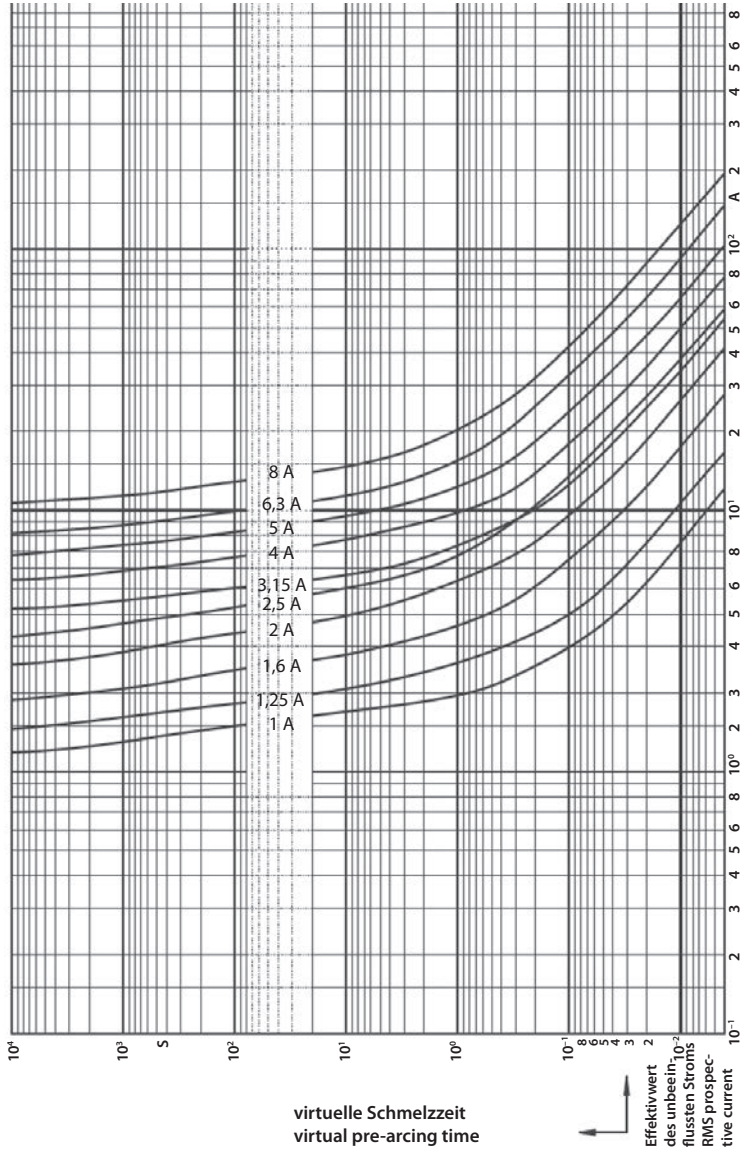
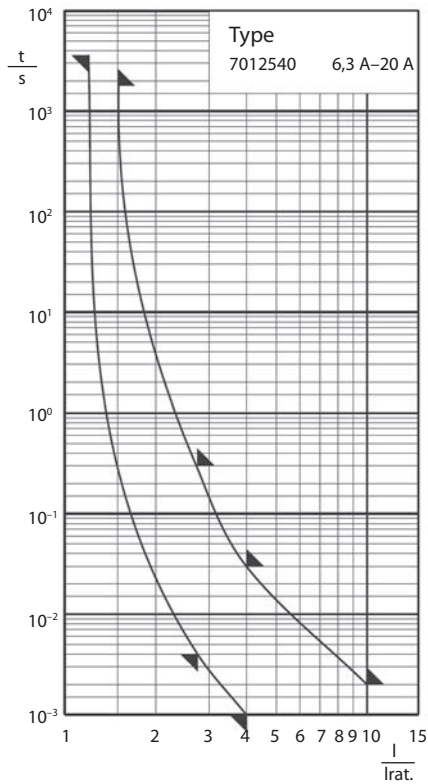


Abb. 2.3b: Zeit-Strom-Charakteristik von G-Sicherungen (gPV)



Die G-Sicherung wird zum Überlast- und Kurzschlusschutz von elektrischen und elektronischen Geräten eingesetzt.

Hinsichtlich des Ausschaltverhaltens (Ausschaltzeit) sind G-Sicherungen für folgende Anwendungen geeignet:

- Superflinke G-Sicherungseinsätze (FF) werden zum Kurzschlusschutz für Halbleiterbauelemente (Thyristoren, Dioden, Triacs) verwendet.

- **Flinke G-Sicherungseinsätze (F)**
schützen Geräte und Baugruppen gegen hohe Über- und Kurzschlussströme. Sie werden in Stromkreisen ohne Einschaltstromstöße oder auch als Netzsicherungen eingesetzt.
- **Mittelträge G-Sicherungseinsätze (M)**
werden vornehmlich bei kleineren Betriebsspannungen benutzt, wenn keine großen Einschaltströme zu erwarten sind.
- **Träge G-Sicherungseinsätze (T)**
finden Verwendung, wenn hohe und nur langsam abklingende Einschaltströme auftreten.
- **Superträge G-Sicherungseinsätze (TT)**
finden Verwendung bei sehr hohen und länger andauernden Einschaltströmen.

Außerdem steht für spezielle Anwendungen zur Verfügung:

gRL = Ganzbereichsschutz für Halbleiter und deren Zuleitung (superflink)

gPV = Ganzbereichsschutz für Energiesysteme der Photovoltaik

Folgende zwei Beispiele geben eine Information über die Bedeutung der Kurzbezeichnungen bei G-Sicherungen:

- **F 3,15 L 250 V:**
 - flink
 - Bemessungsstrom: 3,15 A
 - kleines Ausschaltvermögen
 - Bemessungsspannung: 250 V
- **T 400 E 250 V:**
 - träge
 - Bemessungsstrom: 400 mA
 - erhöhtes Ausschaltvermögen
 - Bemessungsspannung: 250 V

Beim Einsatz von G-Sicherungshaltern ist zu beachten, dass diese berührungsgeschützt sind. Offene G-Sicherungshalter für die Leiterplattenmontage müssen, auch bei Versuchsaufbauten, mit einer Abdeckkappe versehen sein, da bei Überschreitung des Ausschaltvermögens der Sicherung der Glaskörper explodieren kann und Verletzungsgefahr besteht.