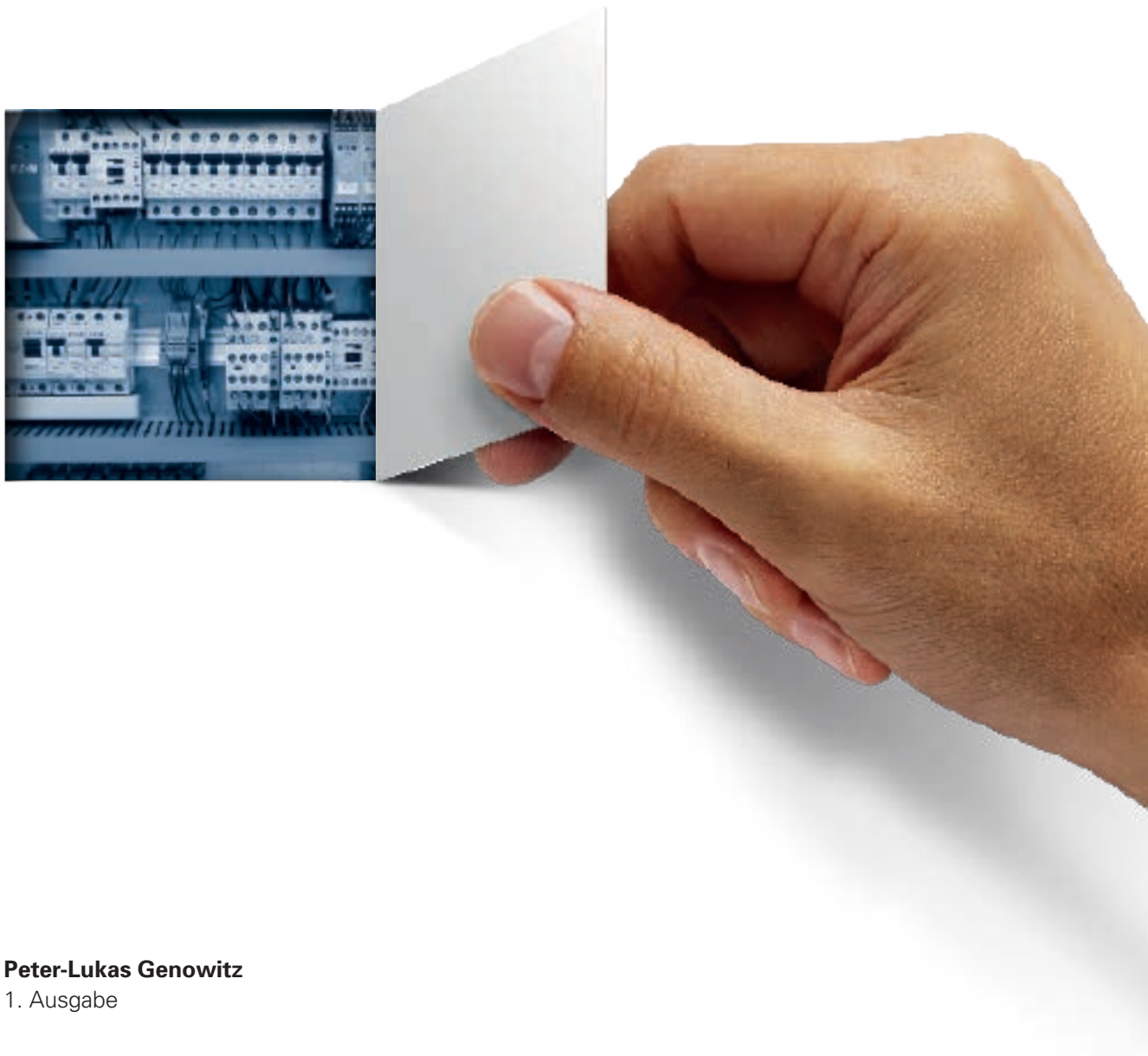


Schutz von Mensch und Maschine vor gefährlichen Fehlerströmen

Build it in.



Peter-Lukas Genowitz
1. Ausgabe

EATON

Powering Business Worldwide



Schutz von Mensch und Maschine vor gefährlichen Fehlerströmen

Da sich die technischen Grenzen auf einem in ständiger Veränderung begriffenen Markt immer wieder verschieben, suchen Maschinenbauer nach Lösungen, die ihnen und ihren Kunden helfen, schneller, effizienter und zu geringeren Kosten zu produzieren. Die Endkunden der Maschine müssen sich auf kürzere Produktlebenszyklen einstellen. Daraus resultieren Anforderungen an die Maschinenbauer, sehr individuelle Maschinen zu entwerfen und zu entwickeln, durch die der Kunde in punkto Leistung, Energieeffizienz und Zuverlässigkeit genau das bekommt, was er braucht.

Maschinenbauer sind darüber hinaus heute erhöhtem Druck ausgesetzt, hohe Sicherheit für den Bediener zu gewährleisten. Entscheidend ist, dass sich die Maschinenbauer der Bedeutung von elektrischen Fehlern bewusst sind, die sich auf die Maschinen und den Fertigungsprozess auswirken können. Fehler- und Ableitströme können durch Fehler oder betriebsbedingte Zustände verursacht werden, die innerhalb einer elektrischen Anlage auftreten. Sie können verheerende Auswirkungen auf den menschlichen Körper haben, Herzstillstand oder noch Schlimmeres verursachen und zum Ausfall von Maschinen führen. Auch Brände können dadurch ausgelöst werden.

Eine gute Abstimmung hinsichtlich der Anforderungen an die Schutzanforderungen zu finden, ist eine komplexe Aufgabe, insbesondere da das in den Unternehmen vorhandene Know-how zu diesem Thema immer seltener zu finden ist, weil die Entwicklungsteams verkleinert werden. Endanwender wie auch Maschinenbauer benötigen mehr Hilfe und Unterstützung durch ihre Lieferanten, und es zeichnet sich ein Trend ab, bevorzugt solche Lieferanten zu beauftragen, die umfassende Systemkompetenz und eine globale Beratung bieten können.

Da Maschinenbauer ihre Anlagen weltweit exportieren und liefern, müssen sie außerdem sicher sein, dass ihre Maschinen und

Komponenten die verschiedensten internationalen Normen und Vorschriften erfüllen. Nur die Zusammenarbeit mit einem Partner, der die globalen Anforderungen versteht und ein Produkt liefert, dass die einschlägigen Normen erfüllt, kann gewährleisten, dass die Maschinen für den beabsichtigten Zweck geeignet sind.

In diesem Beitrag befasst sich Peter-Lukas Genowitz, Produktmanager für Fehlerstromschutzschalter (FI) bei Eaton, mit den verheerenden Auswirkungen des elektrischen Stroms auf den menschlichen Körper, mit der Funktionsweise von Fehlerstromschutzeinrichtungen sowie ihrer Installation und ihrer Funktion im Rahmen eines Gesamtschutzkonzept. Es ist das erste von drei Whitepapers zum Thema „Fehlerströme“.

Einleitung

Fehler- oder Erdschlussströme können aus vielerlei Gründen auftreten und viele Formen annehmen. Im Rahmen der Planung einer Maschine besteht die größte Herausforderung darin, die möglichen Arten und Formen von Fehlerströmen, welche im Betrieb und Fehlerfall auftreten können zu definieren. Eine sichere Abschaltung im Fehlerfall zu gewährleisten, ist absolut unabdingbar, um Bedienpersonal und Anlagen vor der Gefahr durch Stromschläge oder Brände zu schützen. Zugleich aber müssen Fehlauflösungen durch systembedingte Erdschlussströme (Ableitström) verhindert werden, um die Verfügbarkeit der Maschinen zu gewährleisten. Die Lösung besteht darin, zwischen den verschiedenen Formen von Erdschlussströmen zu unterscheiden und solche Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCD) einzusetzen, die geeignet sind, jeweils in passender Weise zu reagieren.

Auswirkungen von elektrischem Strom auf den menschlichen Körper

Elektrischer Strom kann für den menschlichen Körper außerordentlich schädlich sein. Wie schädlich, das hängt hauptsächlich

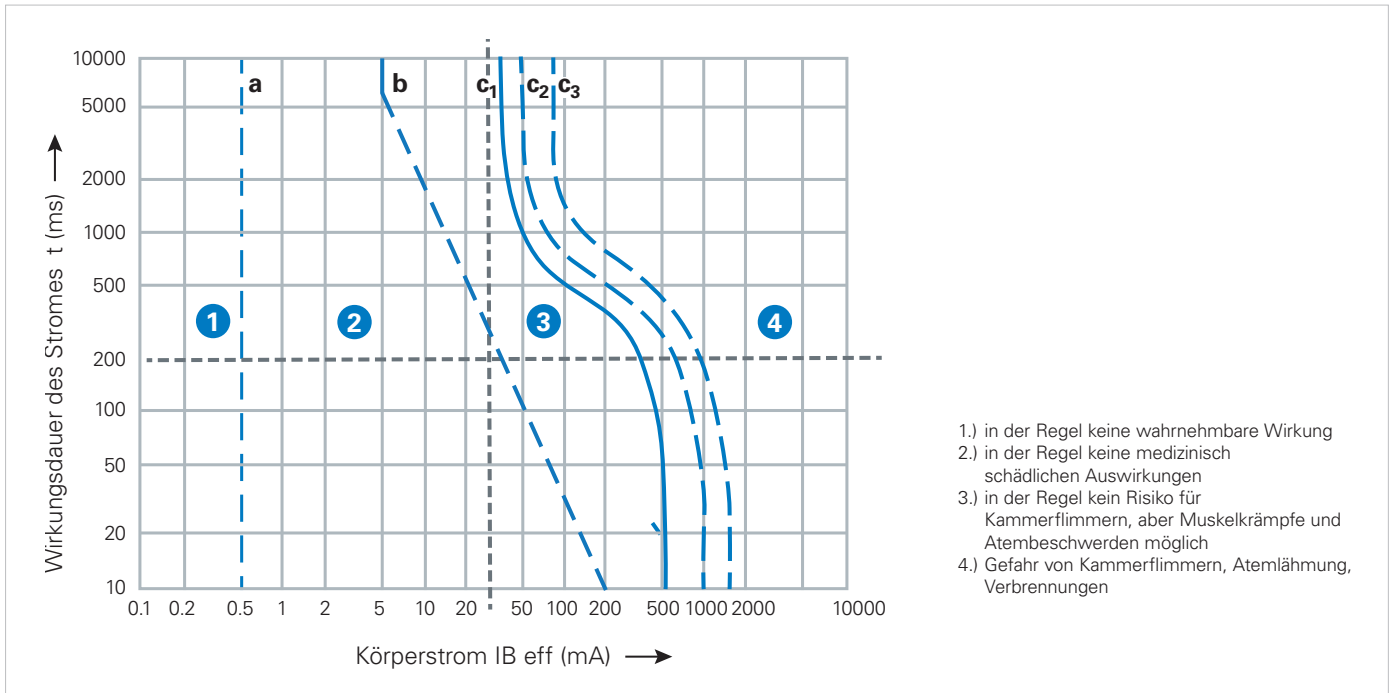


Abb. 1: Kammerflimmern in Abhängigkeit von Stromstärke und Dauer der Stromeinwirkung

von der Intensität und Dauer der Stromeinwirkung ab. Abb. 1 zeigt die Abhängigkeit der physiologischen Reaktionen des menschlichen Körpers von der Intensität und Dauer der Einwirkung.

Während Kammerflimmern als Hauptursache der Todesfälle durch Stromschlag gilt, gibt es auch andere Fälle von Atmungs- und Herzstillstand. Pathophysiologische Effekte wie Muskelkontraktionen, Atembeschwerden, erhöhter Blutdruck, Störung der Reizleitung im Herzen einschließlich Vorhofflimmern und vorübergehender Herzstillstand können auch ohne Kammerflimmern auftreten. Diese Effekte sind nicht tödlich und in der Regel reversibel, auch wenn Anzeichen des Stromschlags zurückbleiben können. Ströme von nur wenigen Ampere und nur einigen Sekunden Dauer können schwere Verbrennungen, andere innere Verletzungen und sogar den Tod verursachen.

Funktionsweise von Fehlerstromschutzeinrichtungen

Die Aufgabe einer Fehlerstromschutzeinrichtung besteht darin, Menschen vor einem elektrischen Schlag zu schützen und gleichzeitig Anlagen vor Schäden durch Fehlerströme zu schützen (z. B. Brände). Hierbei handelt es sich um Schutzeinrichtungen, die Erdschlussströme in elektrischen Systemen erkennen, die entwe-

der durch Fehlerzustände oder von Systemkomponenten wie beispielsweise Frequenzumrichtern verursacht werden können.

Eine Fehlerstromschutzeinrichtung besteht im Wesentlichen aus einem Summenstromwandler, einem Auslösekreis, einem Schaltmechanismus und einer Prüfschaltung. Der Summenstromwandler vergleicht die Ströme, die über die Phasenleiter zum Verbraucher und über den Nullleiter wieder zurückfließen. Wenn sich die Summe des zum Verbraucher fließenden Stroms und der zurückfließenden Ströme unterscheidet, entsteht ein Magnetfeld, das in der Sekundärwicklung eine Spannung induziert. Der in der Primärwicklung fließende Strom schwächt das Magnetfeld des magnetischen Auslösers. Dies bewirkt die Ansteuerung der Schaltklinke und das Trennen des Stromkreises, wenn die Schaltkontakte öffnen.

Schutzmaßnahmen mit Fehlerstromschutzeinrichtung

Es ist klar, dass Maschinen Schutzmaßnahmen zur Abschirmung von Bedienpersonal und Technikern vor den Gefahren des elektrischen Stroms sowohl während des normalen Gebrauchs und als auch im Fehlerfall benötigen. Ein Unfall kann aus direktem oder indirektem Kontakt resultieren. Als direkter Kontakt werden Situ-

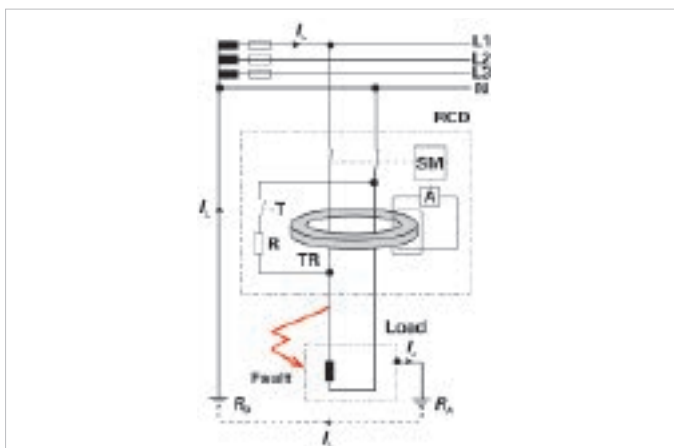


Abb. 2: Funktionsprinzip von Fehlerstromschutzeinrichtungen

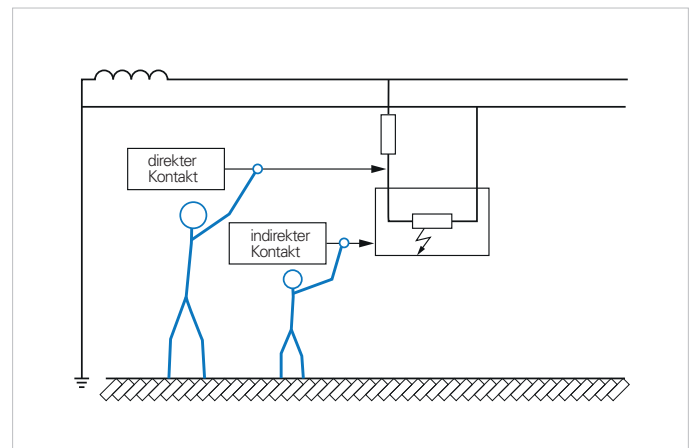


Abb.3: Risiken von direktem und indirektem Kontakt

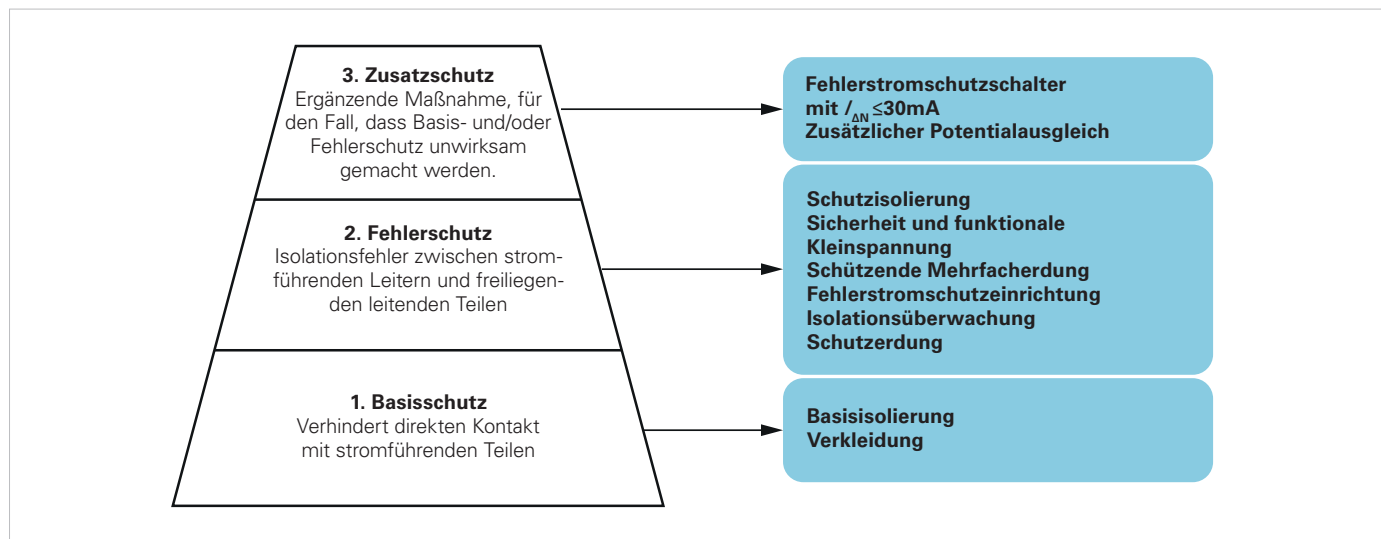


Abb. 4: Dreistufige Schutzstrategie (Quelle: Elektroschutzkonzept der ÖVE)

ationen bezeichnet, in denen eine Person einen Strom führenden Teil berührt. Solche Teile sind als Leiter oder leitende Bauteile definiert, die während des normalen Betriebs Strom führen.

Als indirekter Kontakt werden Situationen bezeichnet, in denen ein leitendes, aber normalerweise nicht Strom führendes – und daher im Regelfall berührbares – Teil aufgrund eines elektrischen Fehlers unter Spannung steht. Diese werden als inaktive Teile bezeichnet.

Es empfiehlt sich ein dreistufiges Schutzkonzept umzusetzen, mit dem Menschen vor elektrischem Schlag geschützt werden sollen (siehe Abb. 4). Es verbindet ein Höchstmaß an Sicherheit für den Menschen mit maximalem Schutz von Systemen und Anlagen. Dieses Schutzkonzept beinhaltet diverse Schutzmaßnahmen wie die Fehlerstromschutzeinrichtungen, für die einzelnen Schutzstufen. Darüber hinaus werden Fehlerstromschutzeinrichtungen auch zum Schutz vor Brandgefahren eingesetzt.

Basisschutz: Beim Basisschutz geht es primär darum, direkten Kontakt mit Spannung führenden Teilen durch Isolierungen und Verkleidungen zu verhindern. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Isolation eines Drahtes oder die Verkleidung einer Sammelschiene. Diese müssen abgeschirmt werden, damit niemand sie aus Versehen berühren kann.

Fehlerschutz: Wenn jemand versehentlich einen freiliegenden Teil berührt, der aufgrund eines Isolationsfehlers Spannung führt, besteht die Aufgabe der Fehlerstromschutzeinrichtung darin, automatisch den Stromkreis zu trennen, wenn der Fehler aufgrund der Intensität und Dauer der Berührungsspannung ein Risiko darstellen kann.

Zusatzschutz: Das Konzept beinhaltet auch einen Zusatzschutz, der dann zum Tragen kommt, wenn Basis- und/oder Fehlerschutz versagen und Bediener in direkten Kontakt mit einem Strom führenden Teil kommen. Das kann zum Beispiel dann der Fall sein, wenn Bedienpersonal beim Umgang mit geschützten Maschinen oder Anlagen unvorsichtig ist. Fehlerstromschutzeinrichtungen mit einem Nennfehlerstrom von bis zu 30 mA sind dafür vorgesehen.

Brandschutz: Fehlerstromschutzeinrichtungen sind auch für „brandgefährdete Standorte“ (Beschreibung siehe IEC 60364-4-482) wichtig. Diese Normen fordern Maßnahmen zur Verhinderung von Bränden, die durch Isolationsfehler verursacht werden. Sie legen fest, dass Kabel und Leitungen in TT- und TN-Erdungsanlagen durch Fehlerstromschutzeinrichtungen mit einem Nennfehlerstrom von maximal 300 mA geschützt werden müssen.

Art des Stroms	Stromprofil	Korrekte Verwendung/Anwendung von RCCB-Typen				Auslösestrom
		AC	A	B	/B+	
Sinusförmiger AC-Fehlerstrom		•	•	•		0,5 bis 1,0 $I_{\Delta n}$
Pulsierender DC-Fehlerstrom (positive oder negative Halbwelle)		–	•	•		0,35 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
Abgeschnittener Halbwellenstrom Vorlaufwinkel 90° Vorlaufwinkel 135°		–	•	•		Vorlaufwinkel 90° 0,25 bis 1,4 $I_{\Delta n}$ Vorlaufwinkel 135° 0,11 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
Halbwellenstrom mit glattem Gleichstrom von 6 mA		–	•	•		max. 1,4 $I_{\Delta n}$ + 6 mA
Halbwellenstrom mit glattem Gleichstrom von 10 mA		–	•	•		max. 1,4 $I_{\Delta n}$ + 10 mA
Glatter Gleichstrom		–	–	•		0,5 bis 2,0 $I_{\Delta n}$

Tabelle 1: Verschiedene Wellenformen von Fehlerströmen und entsprechende Fehlerstromschutzschalter

Typen von Fehlerstromschutzeinrichtungen

Fehlerstromschutzeinrichtungen werden durch die Fehlerstromform charakterisiert, die sie erkennen und auf die sie reagieren können. Unabhängig, ob sie spannungsabhängig oder unabhängig sind, und ob ihre Auslösereaktion sofort auslösend oder verzögert erfolgt.

Die Fähigkeit der Fehlerstromschutzeinrichtungen auf verschiedene Stromformen zu reagieren, ist deshalb wichtig, weil von unterschiedlichen elektronischen Verbrauchern, wie sie in unseren elektronischen Schaltungen verwendet werden, Fehlerströme mit verschiedenen Wellenformen und Frequenzen erzeugt werden. Diese Wellenformen sind in Tabelle 1 zusammengefasst, in der

die verschiedenen Typen von Fehlerstromschutzeinrichtungen und ihre Eignung für die unterschiedlichen Stromformen dargestellt werden. Auch ist es sehr wichtig, die unterschiedlichen Auslösepegel für die verschiedenen Stromformen zu beachten.

Tabelle 2 zeigt die verschiedenen Wellenformen von Fehlerströmen, die durch verschiedene elektronische Schaltungen und Komponenten erzeugt werden können, zusammen mit den geeigneten Fehlerstromschutzeinrichtungen.

Die Tabellen sind weitgehend selbsterklärend, aber es gibt andere Aspekte, die für jeden Fehlerstromschutzeinrichtungstyp erwähnenswert sind:











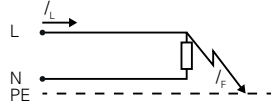
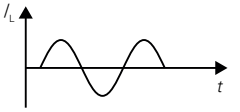
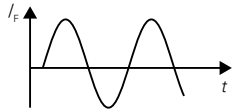
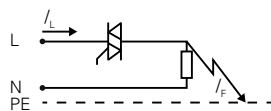
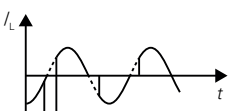
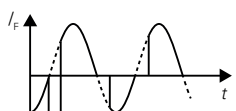
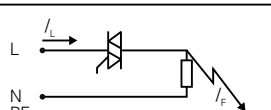
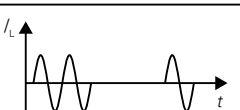

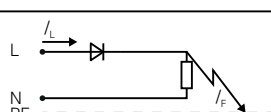
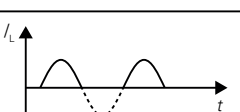
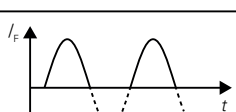
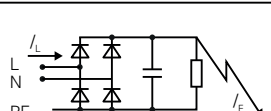
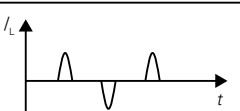
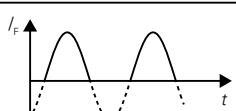
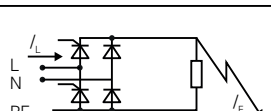
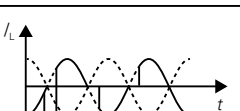
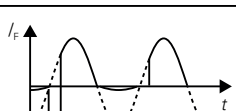
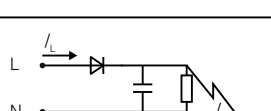
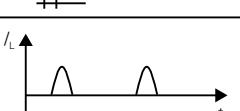
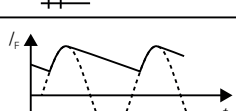
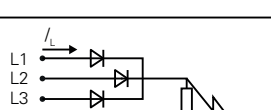
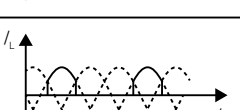
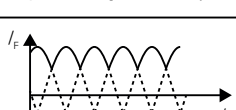
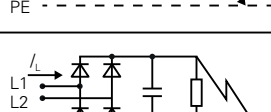

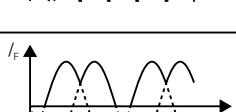

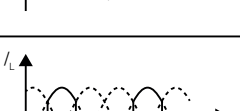

Geeign. Typ der Fehlerstromschutzeinrichtung		Schaltung	Laststrom	Fehlerstrom
B  A  AC  U  F  B+   kHz  Bfq  	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

Tabelle 2: Mögliche Wellenformen von Fehlerströmen und geeignete Fehlerstromschutzschalter

Typ AC 

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ AC sind für sinusförmige AC-Fehlerströme geeignet. In manchen Ländern – wie Belgien, Dänemark, Finnland, Deutschland, Irland, Luxemburg, den Niederlanden, Norwegen, Schweden und der Schweiz – ist dieser Typ von Fehlerstromschutzeinrichtungen als Schutzeinrichtung nicht mehr zulässig.

Typ A 

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ A sind für sinusförmige AC-Fehlerströme und pulsierende Gleichfehlerströme geeignet. Sie können auch auf die Wellenformen von Fehlerströmen reagieren, die häufig in Netzteilen für einphasige Lasten mit elektronischen Bauteilen erzeugt werden. Typ A Fehlerstromschutzeinrichtungen gibt es auch als digitale Ausführung (Einzelheiten siehe Whitepaper „Digitale RCD“).

Typ F  

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ F sind speziell für einphasige Wechselrichter bestimmt. Sie sollen zum einem ein angemessenes Schutzniveau im Fall von Erdschlüssen gewährleisten, die mit vom Wechselrichter erzeugten Oberwellen in Verbindung stehen, und zum anderen für erhöhten Schutz vor Fehlauslösungen sorgen.

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ F bieten den gleichen Schutzzumfang und die gleiche Funktionalität wie Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ A. Dementsprechend können sie sinusförmige Wechselströme sowie pulsierende Gleichfehlerströme erkennen.

Darüber hinaus erkennen sie gemäß IEC/EN 62423 Fehlerströme mit einem Frequenzgemisch bis zu 1 kHz. Die Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ F zeichnen sich durch Stoßstromfestigkeit bis 3kA aus und sie widerstehen überlagerten glatten Gleichfehlerströmen von bis zu 10 mA, ohne dass ihre Schutzfunktion beeinträchtigt wird.

Typ U 

Bei den Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ U handelt es sich um eine spezielle Bauform von Eaton. Sie ähnelt denen vom Typ F und ist für den Einsatz in Anwendungen mit Frequenzumrichtern ausgelegt. Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ U reagieren auf sinusförmige Wechselströme sowie auf pulsierende Gleichströme.

Abb. 5 zeigt die Auslösekennlinie einer Fehlerstromschutzeinrichtung vom Typ U für 100 mA und 300 mA. Im Frequenzbereich um

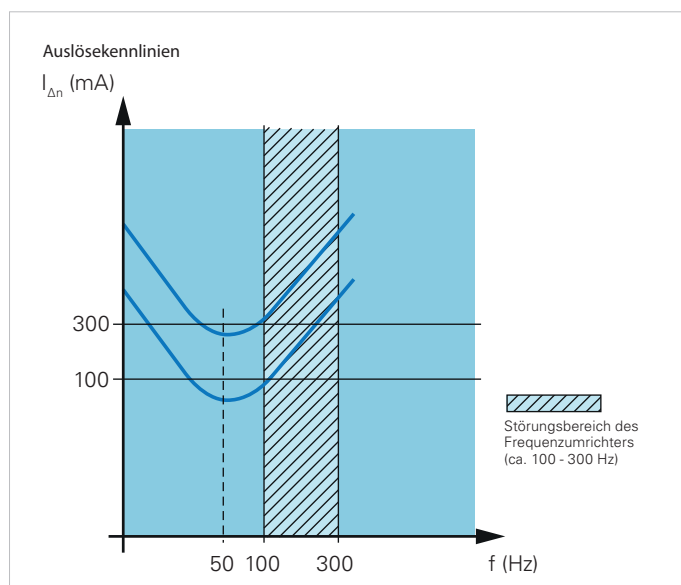


Abb. 5: Auslösekennlinie der Fehlerstromschutzeinrichtung vom Typ U

50 Hz lösen die Fehlerstromschutzeinrichtungen entsprechend der Norm zwischen 50–100 % des angegebenen $I_{\Delta n}$ aus. Innerhalb der schraffierten Fläche im Diagramm, d. h. im Bereich von ca. 100 bis 300 Hz, kommt es aufgrund des Einsatzes von Frequenzumrichtern häufig zu Fehlauslösungen. Frequenzumrichter-taugliche Fehlerstromschutzeinrichtungen sind in diesem Frequenzbereich erheblich weniger empfindlich als im Bereich von 50–60 Hz, sodass die Stabilität der Systeme enorm zunimmt.

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ U gibt es auch als digitale Fehlerstromschutzeinrichtungen (Einzelheiten siehe Whitepaper „Digitale Fehlerstromschutzeinrichtungen“).

Typen B, Bfq   **und B+**   kHz

Fehlerstromschutzschalter von Typ B können sinusförmige Wechselströme und pulsierende Gleichströme sowie glatte Gleichfehlerströme erkennen, sodass sie gemäß IEC/EN 62423 für alle Arten von Anwendungen und auftretenden Stromformen geeignet sind. Fehlerstromschutzeinrichtungen dieses Typs sind zur Verwendung in 50/60 Hz-Dreiphasensystemen konzipiert. Zusätzlich sind für Fehlerstromschutzschalter vom Typ B Auslösegrenzen für Fehlerströme mit unterschiedlichen Frequenzen im Bereich von 50 Hz bis 1 kHz definiert.

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ BFQ erfüllen die Anforderungen für Typ B (gemäß IEC/EN 62423), sind aber zum Einsatz in Stromkreisen mit Frequenzumrichtern für drehzahlgezielte Antriebe konzipiert. Die speziell angepasste Auslösekennlinien, die bis 50 kHz definiert ist, hilft dazu Fehlauslösungen in diesen Anwendungen mit leistungsstarken Frequenzumrichtern zu verhindern. Die Kurven weisen eine hohe Immunität gegenüber Ableitströmen mit höheren Frequenzen auf.

Die Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ B+ erfüllen die Anforderungen der VDE 0664-400 und zeichnen sich durch einen bis 20 kHz definierten Auslöse-Frequenzbereich aus. Bei höheren Frequenzen ist ihr maximaler Auslösestrom auf 420 mA begrenzt. Dies bietet hervorragenden Schutz vor Brandgefahren aufgrund von Erdschlüssen in Anwendungen mit elektronischen Antrieben.

Hinweis: Wenn eine komplexe Stromwellenform durch eine Fehlerstromschutzeinrichtung fließt, löst die Fehlerstromschutz-einrichtung auch dann aus, wenn nur eine einzige Frequenz die Auslösekennlinie erreicht. Dieser Effekt kann zu Effektivwerten führen, die höher als der Nennauslösestrom (also der Wert für Auslösung bei 50 Hz) der Fehlerstromschutzeinrichtungen sind.

RCD vom Typ B, BFQ und B+ (bis 63 A) sind serienmäßig mit digitalen FI-Funktionen ausgestattet. Einzelheiten siehe Whitepaper „Digitale Fehlerstromschutzeinrichtungen“.

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ G, „Li“ und S

Während A, B usw. für die Wellenformen des Stroms verwendet werden, auf die die Fehlerstromschutzeinrichtungen reagieren können, gibt es auch zusätzliche Typdefinitionen (G, Li und S), die angeben, ob die Fehlerstromschutzeinrichtung eine Auslöseverzögerung und eine erhöhte Stoßstromfestigkeit besitzt.

G- und Li-Fehlerstromschutzeinrichtungen weisen eine Auslöseverzögerung von mindestens 10 ms auf. Diese Zeit reicht aus, damit ein vorübergehender Fehlerzustand endet und ein unerwünschtes Auslösen vermieden werden kann. G-Einrichtungen von Eaton ermöglichen durch Stoßstromfestigkeit bis mindestens 3 kA eine weitere Verbesserung des Schutzes vor Fehlauslösungen.

Selektive bzw. S-Schalter zeichnen sich durch eine Auslöseverzögerung von mindestens 40 ms aus und bieten daher Selektivität zu darunter geschaltete Fehlerstromschutzeinrichtungen und starken Schutz vor unerwünschtem Auslösen.

S Schalter werden eingesetzt um Selektivität zu sofort auslösenden oder kurzzeitverzögerten Fehlerstromschutzeinrichtungen zu erzeugen, die innerhalb des Stromverteilungssystems nachgeschaltet sind. Das nachgeschaltete Gerät soll immer als erstes auslösen, um die Anzahl der getrennten Ausrüstungen und den

Klassifikation		I Δ N	2xI Δ N	5xI Δ N	500A
Unverzögerte Fehlerstromschutzeinrichtung Bedingt stoßstromfest bis 250 A	Max. Auslösezeit (s)	0,3	0,15	0,04	0,04
Fehlerstromschutzeinrichtung vom Typ Li (kurzzeitverzögert) Bedingt stoßstromfest bis 250 A	Min. Verzögerungszeit (s)	0,01	0,01	0,01	0,01
	Max. Auslösezeit (s)	0,3	0,15	0,04	0,04
Fehlerstromschutzeinrichtung vom Typ G (kurzzeitverzögert) Stoßstromfest 3 kA	Min. Verzögerungszeit (s)	0,01	0,01	0,01	0,01
	Max. Auslösezeit (s)	0,3	0,15	0,04	0,04
Fehlerstromschutzeinrichtung vom Typ S (selektiv) Stoßstromfest 5 kA	Min. Verzögerungszeit (s)	0,13	0,06	0,05	0,04
	Max. Auslösezeit (s)	0,5	0,2	0,15	0,15

Tabelle 3: Klassifizierung von Standard-FI und zeitverzögerten Fehlerstromschutzeinrichtungen

Produktionsausfall während der Fehlerstromsituation zu minimieren. Der Auslöse-Fehlerstrom des Selektiven Schalters muss immer mindestens das Dreifache des nachgeschalteten Geräts betragen (zum Beispiel 100mA S Schalter bei darunter geschalteten 30mA FIs).

Eatons S-Schalter besitzen eine erhöhte Stoßstromfestigkeit bis mindestens 5 kA welche die Ausfallsicherheit zusätzlich erhöht. Diese ist höher als von IEC 61008 und IEC 61009 verlangt. Diese Normen bestimmen, dass selektive Fehlerstromschutzeinrichtungen die 8-20 μ s-Prüfung mit einem Stoßstrom von 3 kA bestehen müssen.

Spannungsabhängige und spannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen

Fehlerstromschutzeinrichtungen können noch weiter danach unterteilt werden, ob sie spannungsabhängig sind oder nicht.

Spannungsabhängige Einrichtungen werden so bezeichnet, weil sie elektronische Elemente nutzen, die für ihren Betrieb eine bestimmte Mindestspannung benötigen. Spannungsunabhängige Geräte verwenden im Gegensatz dazu mechanische und magnetische Komponenten, die eine solche Mindestspannung nicht erfordern. Manche Hersteller argumentieren, dass spannungsabhängige Technologien unsicher sind, aber tatsächlich haben diese Einrichtungen bewiesen, dass sie ebenso viel Schutz wie spannungsunabhängige Einrichtungen bieten, zusätzlich aber viele Vorteile aufweisen.

Seit mehr als 20 Jahren werden spannungsabhängige wie auch spannungsunabhängige Fehlerstromschutzeinrichtungen innerhalb von elektrischen Anlagen in ganz Europa und darüber hinaus eingesetzt, um Menschen vor den Gefahren des elektrischen Schlags aus Fehlerströmen zu schützen. Die weltweit gültige IEC-Norm 60364 sieht beide Formen als angemessen an. Die Einrichtungen können nun durch die Einführung von elektronischen Komponenten Sinus- und Stoßströme sowie Ströme mit gemischten Frequenzen und Gleichstromanteilen erkennen.

Ein oft vorgebrachtes Argument lautet, dass spannungsabhängige Einrichtungen durch den Ausfall der Versorgungsspannung infolge eines Nulleiterbruchs ausfallen können. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Nulleiter in einer Anlage bricht, vernachlässigbar gering, insbesondere in Niederspannungssystemen. Darüber hinaus gibt es robuste Entwürfe, die die Spannungsdifferenz zwischen der Fehlerstromschutzeinrichtung und der Fehlerstelle nutzen können. Außerdem arbeitet die Fehlerstromschutzeinrichtung nicht isoliert. In der Anlage eingesetzte POP-Geräte erkennen zum Beispiel temporäre Spannungsänderungen durch einen Bruch des Nulleiters und trennen den Stromkreis.

Die Vorstellung, dass Fehlerstromschutzeinrichtungen nicht als isoliert wirkend angesehen werden sollten, wird dann gestützt, wenn wir das verwendete Erdungssystem betrachten. In TN-Systemen ist die Fehlerstromschutzeinrichtung niemals allein für den Schutz zuständig. In der Summe gilt die Gesamtheit der Komponenten einer spannungsabhängigen Elektronik als ebenso zuverlässig wie eine spannungsunabhängige Einrichtung mit mechanischen und elektrischen Komponenten.

Klassifizierung von Fehlerstromschutzeinrichtungen

Eine Übersicht aller Arten von Fehlerstromschutzeinrichtungen wird im nachfolgenden Kapitel gegeben.

1. Fehlerstromrelais

Fehlerstromrelais sind Fehlerstromschutzeinrichtungen mit einem separaten Stromwandler und Schaltschütz, die für höhere Stromstärken von bis zu 400 A eingesetzt werden. Externe Fehlerstromrelais gibt es auch für Kompaktleistungsschalter (MCCB)

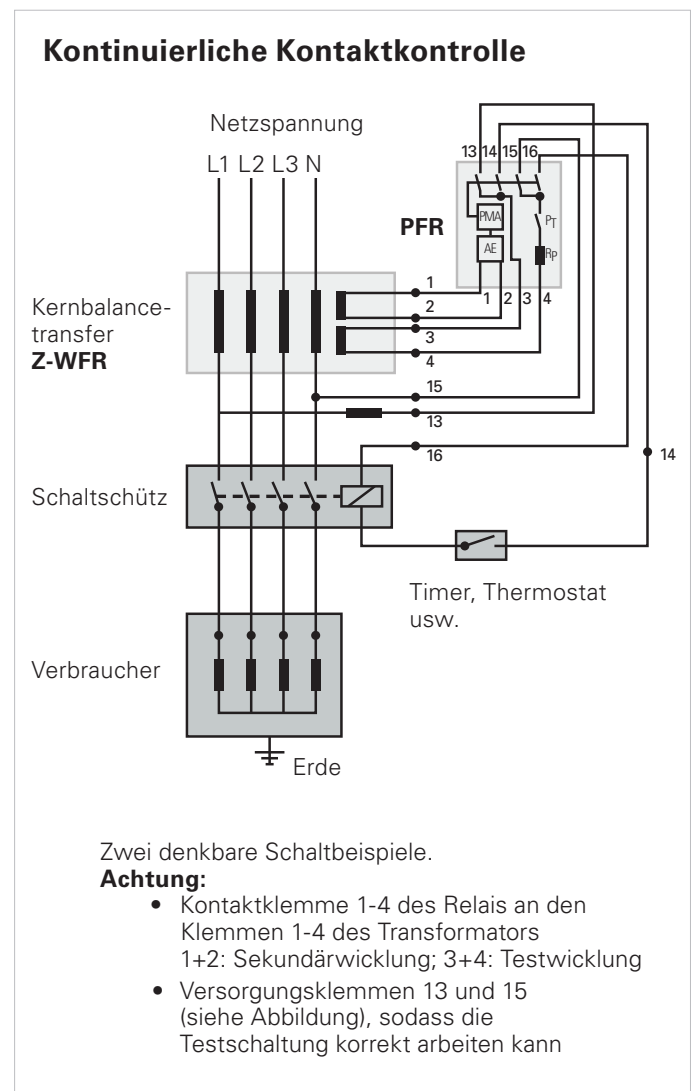


Abb. 6: Zwei Beispiele für Schaltkreise mit Fehlerstromschutzeinrichtungs-Relais

mit Kapazitäten bis 1800 A. Diese Geräte benötigen eine externe Hilfsspannung.

2. FI/LS Kombischutzschalter (Fehlerstromschutzschutzeinrichtungen mit Überstromschutz)

Ein Fehlerstromschutzeinrichtung mit Überstromschutz (FI/LS) ist eine Kombination aus einem FI-Schutzschalter mit einem Leitungsschutzschalter (LS). Dieses eine Gerät bietet Schutz vor Überlast, Kurzschluss und Stromschlag und dient zum Brandschutz.

Der Einsatz eines FI/LS Kombischalter bietet viele Vorteile. Der FI/LS schützt sich selbst vor Überlastung und der Anwender profitiert von der höheren Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit. Diese wird durch die Auftrennung der Stromkreise (ein FI/LS je Abgang im Gegensatz zu einer Fehlerstromschutzeinheit für mehrere Abgänge) erzielt. Die betriebsbedingten Ableitströme von elektronischen Verbrauchern werden so auf mehrere FI/LS Kreise aufgeteilt und überschreiten nicht so einfach den Nennauslösestrom der Fehlerstromschutzeinheit.

3. Anbaubare Fehlerstromschutzeinheit

Diese Fehlerstromschutzeinheiten können an einen geeigneten LS angebaut werden und haben dann die Funktionalität wie ein FI/LS Kombischutzschalter.

Aus den verfügbaren FI-Anbaublöcken und LS können viele verschiedene Kombinationen hergestellt werden, auch ohne eine große Anzahl von Produkten auf Lager halten zu müssen. Daraus resultiert ein hohes Maß an Flexibilität in der Anwendung und es wird einfach, die Kombination von Fehlerstromschutzeinrichtungen und LS an die individuellen Anforderungen angepasst.

Auch gibt es FI-Anbaublöcke, die mit Kompaktleistungsschalter wie NZM1 und NZM2 kombiniert werden können und eine Lösung für Anwendungen bis zu 250 A bieten.

4. Digitale Fehlerstromschutzschutzeinrichtungen

Digitale Fehlerstromschutzschutzeinrichtungen kombinieren ihre Schutzfunktionalität mit einer Reihe von digitalen Funktionen. Das ist auf dem Markt der Schutzschalter einzigartig. Diese Funktionen liefern Informationen über den Anlagenstatus und verbessern die Verfügbarkeit der geschützten Anlage oder Maschine. Die digitale Technologie wird in FI-Schutzschalter wie auch FI/LS Kombischalter angeboten. In Echtzeit messen die Geräte laufend den anliegenden Differenzstrom und nutzen die Ergebnisse, um lokale Vorwarn-LEDs und einen potenzialfreien Kontakt anzusteuern. Diese Vorwarnungen ermöglichen es dem Wartungspersonal, Probleme frühzeitig zu erkennen und zu lösen, ehe sie zu Unterbrechungen oder Ausfällen führen. Der Systemstatus kann jederzeit auf einen Blick abgelesen werden. Darüber hinaus werden Kosten eingespart, weil es weniger ungeplante Serviceeinsätze gibt. Weitere Einsparungen sind möglich, da die digitalen Schutzschaltgeräte mit einem erweitertem Testintervall von 1 Jahr ausgestattet sind.

Auch die Systemverfügbarkeit wird weiter verbessert, da die digitalen Schutzschutzeinrichtungen kurzzeitverzögert ausgeführt sind und eine optimierte Auslösegrenzen aufweisen. So wird sichergestellt, dass kurze vorübergehende Störungen keine Fehlauflösungen und einen Rückgang der Anlagenverfügbarkeit verursachen.

5. Digitale FI-Schutzschalter

Der digitale FI-Schutzschalter verfügt über eine spannungsunabhängige Schutzfunktion und über spannungsabhängige Digitalfunktionen. Digitale FI-Schutzschalter gibt es als Typ A, U, B, BFQ und B+.

6. Digitale FI/LS Kombischutzschalter

Im Gegensatz dazu ist der digitale FI/LS eine spannungsabhängige Fehlerstromschutzschutzeinrichtung. Das bedeutet, dass die Schutzfunk-



Rot

Wenn die rote LED leuchtet, beträgt der Leckstrom bereits mehr als 50 Prozent des Nennfehlerstroms. Daher befindet sich das System in einem kritischen Zustand. Der digitale RCCB löst nur dann aus, wenn der Fehlerstrom weiter ansteigt.



Gelb

Die gelbe LED zeigt einen Fehlerstrom im Bereich von 30 bis 50 Prozent des Nennfehlerstroms an. Bevor das System heruntergefahren wird, können professionelle Gegenmaßnahmen ergriffen werden.



Grün

Wenn der Stromfluss im System zur Masse im Bereich von 0 bis 30 Prozent des Nennfehlerstroms liegt, zeigt die grüne LED an, dass das System sich in einem korrekten Status befindet.



Lokale Vorwarnung

Fernmeldung



Lokale Vorwarnung + Servicemodus

Abb. 7: Digitale Fehlerstromschutzschutzeinrichtungen informieren das Wartungspersonal über Probleme, ehe es zu einem Ausfall kommt

tion und die zusätzlichen Digitalfunktionen spannungsabhängig sind und mit einer bestimmten Spannung versorgt werden müssen. Digitale FI/LS sind als Typ A erhältlich.

Weltweite Normen für Fehlerstromschutzeinrichtungen und weltweiter Export

Das gemeinsame Ziel von Komponentenherstellern und Planern, Installationsbetrieben und Betreibern besteht im Schutz und im störungsfreien Betrieb moderner elektrischer Anlagen. Die Verwirklichung dieses Ziels hängt davon ab, dass unter Berücksichtigung der verschiedenen Faktoren und physikalischen Bedingungen alle einschlägigen Normen und Richtlinien eingehalten werden. Nachdem wir die verschiedenen Arten von Fehlerstromschutzeinrichtungen besprochen haben, geht es nun darum, die aktuellen Normen zu verstehen:

- IEC 60364-1:2005: Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe
- IEC/EN 61008-1: Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter ohne eingebauten Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen (RCCB) – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- IEC/EN 61009 Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter mit eingebautem Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen (RCBO) – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- IEC 62423 – Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter Typ F und Typ B mit und ohne eingebautem Überstromschutz für Hausinstallationen und für ähnliche Anwendungen
- VDE 0664-400 – Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B ohne eingebauten Überstromschutz zur Erfassung von Wechsel- und Gleichfehlerströmen für den gehobenen vorbeugenden Brandschutz – Teil 400: RCCB Typ B+
- IEC/EN 60947-2 – Niederspannungsschaltgeräte – Teil 2 Leistungsschalter
- UL 1053 Standard for Ground-Fault Sensing and Relaying Equipment
- UL 943 Ground-Fault Circuit-Interrupters

Standardfehlerstromschutzeinrichtungen können weltweit mit Ausnahme der USA und Kanada verwendet werden. Auf dem nordamerikanischen Markt gelten anstelle der IEC Normen UL Vorschriften und Normen. Für den Export in diese Region müssen daher Fehlerstromschutzeinrichtungen in speziellen, durch UL zugelassenen Versionen verwendet werden.

In einer Reihe anderer Länder – wie Argentinien, China, Russland, Südafrika und der Ukraine – ist eine Zulassung für das jeweilige Land erforderlich. Kennzeichnungen sind in diesen Länder zum Teil vorgeschrieben, jedoch werden dort, wie in den europäischen Ländern, die IEC-Nennungen akzeptiert.

Von entscheidender Bedeutung für die Gewährleistung der Sicherheit ist, dass die Fehlerstromschutzeinrichtungen den internationalen Normen (z. B. IEC/EN 61008 oder UL1053) entsprechen und, wie Eatons Geräte, die entsprechenden Kennzeichnungen tragen. Durch Spezifizieren eines Produkts für den Weltmarkt, das weltweit eingesetzt werden kann, werden beim Export letzten Endes viel Zeit und Kosten gespart.

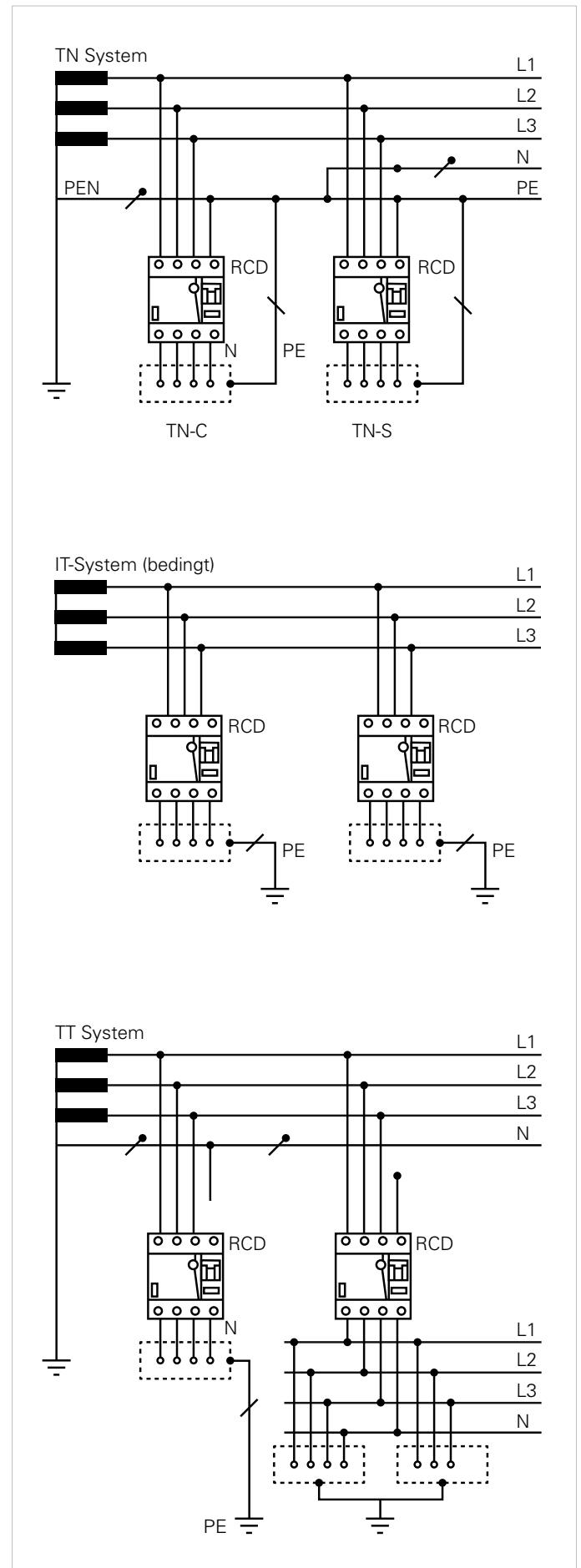


Abb. 8: Fehlerstromschutzeinrichtungen in unterschiedlichen Netzsystemen

Installationsnormen für elektrische Anlagen mit FI-Schutzschalter

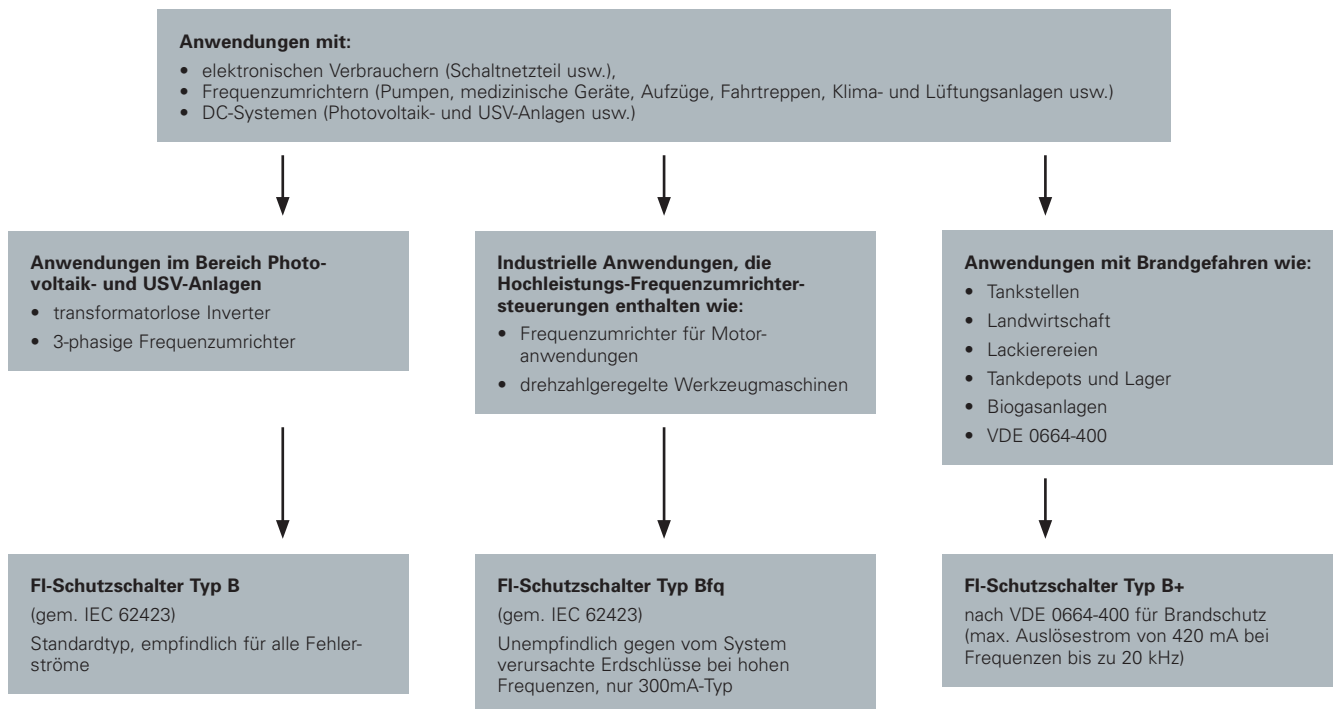
Normen	Anwendung	Schutzziel	Erforderliches $I_{\Delta n}$ (mA)	Empfohlene Fehlerstromschutzeinrichtung
IEC 60364-4-41	Schutz gegen elektrischen Schlag	Fehlerschutz	30...500	Typ A oder Typ B
	Steckdosen bis 20 A, Anlagen im Freien	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-4-482	Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren	Brandschutz	30 und 300	Typ A oder Typ B
IEC 60364-5-551	Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-7-701	Räume mit Badewannen oder Dusche, Steckdosen in Zone 3	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-7-702	Becken von Schwimmbädern und andere Becken	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-7-703	Räume und Kabinen mit Saunaheizung	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-7-704	Baustellen, Steckdosenstromkreise bis 32A und für handgehaltene Betriebsmittel	Zusatzschutz	≤ 30	Typ A oder Typ B
	Steckvorrichtungen $I_n > 32A$	Fehlerschutz	≤ 500	Typ A oder Typ B
IEC 60364-7-705	Landwirtschaftliche Anwesen allgemein,	Fehlerschutz	≤ 300	Typ A
	Steckdosenstromkreise	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-7-706	Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit festangebrachte Betriebsmittel	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-7-708	Elektrische Anlagen auf Campingplätzen, jede Steckdose einzeln	Zusatzschutz	10...30	Typ A
IEC 60364-7-712	Solar/PV-Stromversorgungssysteme (ohne einfache Trennung)	Fehlerschutz	≤ 300	Typ B
EN 50178	Ausrüstungen von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln (1-phasig)	Fehlerschutz	≤ 300	Typ U (F)
	Ausrüstung für Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln (3-phasig)	Fehlerschutz	≤ 500	Typ Bfq
OVE E 8001-1:2010	Ladestationen für Elektrofahrzeuge	Zusatzschutz	≤ 30	Typ A oder Typ B
OVE E 8001-4-95	Aufzüge	Zusatzschutz	≤ 30	Typ U (F) oder Typ B
VDS 3501	Isolationsfehlerschutz in elektrischen Anlagen mit elektronischen Betriebsmitteln	Brandschutz	≤ 300	B+

Tabelle 4: Installationsnormen für elektrische Anlagen mit FI-Schutzschalter

Schutzziel	Erforderliches $I_{\Delta n}$ (mA)	Empfohlene Fehlerstromschutzeinrichtung
Schutz gegen elektrischen Schlag	< 6	Fehlerstromschutz-einrichtung gemäß UL 943
Schutz von Ausrüstungen und Anlagen	30 und 300	Fehlerstromschutz-einrichtung gemäß UL 1053

Tabelle 5: Nordamerikanische Installationsnormen für elektrische Anlagen mit FI-Schutzschalter

Auswahlhilfe zwischen Fehlerstromschutzeinrichtungen der Typen B, BFQ und B+



Installation und Anwendung von Fehlerstromschutzeinrichtungen

Typen von Netzsystemen und Schutzeinrichtungen

Bei der Installation von Fehlerstromschutzeinrichtungen ist es wichtig zu verstehen, in welche Art von Netzsystem dieser eingesetzt wird. Es gibt gemäß Definition in IEC 60364 drei Haupttypen von Netzsystemen: TT, TN und IT. TN-Systeme können weiterhin in TN-C, TN-S und TN-C-S unterteilt werden, wobei C für „kombiniert“ und S für „getrennt“ steht.

Fehlerstromschutzeinrichtungen können in einem Wechsel- oder Dreiphasensystem (siehe Abb. 8) für alle drei Arten von Netzen (TN, TT und IT) außer TN-C-Konfigurationen verwendet werden. Fehlerstromschutzeinrichtungen können in diesen Netzen zum Fehler- oder Zusatzschutz eingesetzt werden. Mit einem $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$ spielen sie auch eine wichtige Rolle beim präven-

tiven Schutz vor elektrisch verursachten Bränden aufgrund von Fehlerströmen.

Korrekte Installation von Fehlerstromschutzeinrichtungen des Typ B und Typ A

Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ A und Typ B können vorbehaltlich der Einschränkungen für Typ A in Anlagen gemeinsam verwendet werden. Typ A-Geräte können keine glatten Gleichfehlerströme erkennen, und wenn ein zu hoher Gleichstrom durch sie fließt, verlieren sie auch ihre Fähigkeit, auf Wechselfehlerströme zu reagieren. Daher darf eine Last, die Typ B-Schutz oder eine zugeordnete Fehlerstromschutzeinrichtung vom Typ B benötigt, niemals hinter einem Typ A-Schalter nachgeschaltet werden. Abb. 9 zeigt zulässige und unzulässige Szenarien für den gemeinsamen Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen der Typen A und B.

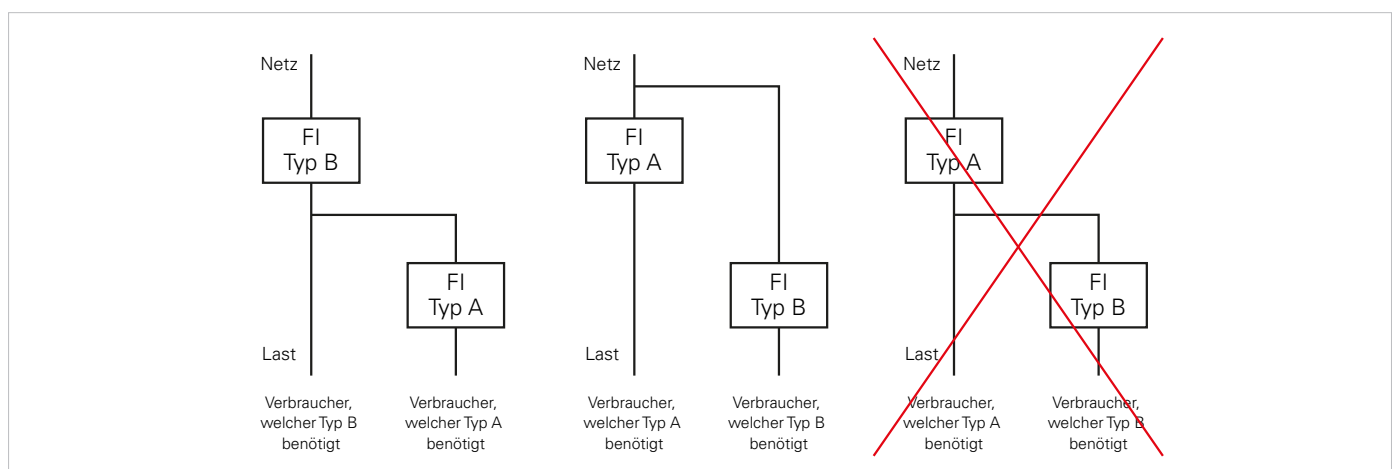


Abb. 9: Zulässige und unzulässige Szenarien für den gemeinsamen Einsatz von Fehlerstromschutzeinrichtungen der Typen A und B (Blockschaltbilder – neu zu zeichnen)

Elektrische Störungen – Probleme und Lösungen

Es gibt verschiedene Probleme und Störeinflüsse in elektrischen Anlagen welche bei der Spezifizierung einer Fehlerstromschutzeinrichtung berücksichtigt werden müssen.

Ableitströme

Ableitströme sind statische oder dynamische Ströme, die ohne anliegenden Isolationsfehler zur Erde abfließen. Allerdings können FIs nicht zwischen Ableitströmen und Fehlerströmen unterscheiden und lösen aus, wenn die Summe der Differenzströme ihren Auslösewert überschreitet. Dementsprechend müssen Ableitströme berücksichtigt werden, wenn der Nennfehlerstrom ($I_{\Delta n}$) der Fehlerstromschutzeinrichtungen spezifiziert wird. Falls erforderlich sollten auch diese Ströme minimiert werden, um einen einwandfreien Betrieb der Fehlerstromschutzeinrichtungen zu gewährleisten.

Statische Ableitströme fließen im Normalbetrieb und ohne Isolationsfehler kontinuierlich zur Erde oder zum PE-Leiter. Diese stammen typischerweise aus Leitungs- und Filterkapazitäten. Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ U oder BFQ zeichnen sich durch Auslösekennlinien aus, die unempfindlich gegen vom System verursachte Ableitströme bei höheren Frequenzen sind. Dies verhindert Fehlauslösungen in Industrieanlagen mit leistungsstarken Frequenzrichtersteuerungen, ohne dabei den Personenschutz zu beeinträchtigen.

Dynamische Ableitströme sind transiente Ströme zur Erde oder zum PE-Leiter. Mit einer Dauer von wenigen ms und einer

Größenordnung von möglicherweise einigen Ampere sind sie in der Lage, sofort auslösende Fehlerstromschutzeinrichtungen auslösen zu lassen. Um dieses unerwünschte Auslösen zu verhindern, wird der Einsatz von kurzzeitverzögerten Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ G oder Li empfohlen.

Hohe Lastströme

Fehlauslösungen von Fehlerstromschutzeinrichtungen können auch durch hohe Lastströme verursacht werden. Zu den Ursachen solcher Ströme zählen Motoren mit Direktstart, Lampenlasten, Heizungen, kapazitive Lasten und medizinische Geräte. Gemäß der Produktnorm müssen Fehlerstromschutzeinrichtungen bis zum Sechsfachen ihres Nennstroms aushalten, damit sie Fehlauslösungen widerstehen.

Überspannungen und Stoßströme

Atmosphärische Überspannungen aufgrund von Gewittern können über das Stromversorgungssystem in eine Anlage eindringen und zu Fehlauslösungen der Fehlerstromschutzeinrichtungen führen. Um dieses Problem zu lösen, bietet Eaton die Fehlerstromschutzeinrichtungen vom Typ G, die gemäß ÖVE E 8601 spezifiziert sind. Fehlerstromschutzeinrichtungen von Eaton zeichnen sich durch die nachfolgend angegebenen Stoßstromfestigkeit aus:

- sofortauslösend: bedingt stoßstromfest bis 250 A
- Typ Li: bedingt stoßstromfest bis 250 A
- Typ G: stoßstromfest $\geq 3 \text{ kA}$
- Typ S: stoßstromfest $\geq 5 \text{ kA}$

Bemessungsschaltvermögen und bedingte Bemessungskurzschlussfestigkeit

Fehlerstromschutzschalter von Eaton, die mit einer entsprechenden Sicherung ausgestattet sind, weisen eine bedingte Bemessungskurzschlussfestigkeit von 10 kA auf. Der Wert der Kurzschlussicherung bezieht sich auf Sicherungen der Betriebsklasse gG. Das Bemessungsschaltvermögen I_m oder das Bemessungsfehlerschaltvermögen $I_{\Delta m}$ entspricht der gültigen Geräternorm IEC/EN 61008.

I_n	Kurzschluss	Bemessungsschaltvermögen I_m oder Bemessungsfehlerschaltvermögen $I_{\Delta m}$	
16 A	63 A gG/gI	$I_n = 16-40$ A	500 A
25 A	63 A gG/gI	$I_n = 63$ A	630 A
40 A	63 A gG/gI	$I_n = 80$ A	800 A
63 A	63 A gG/gI	$I_n = 100$ A	1,000 A
80 A	80 A gG/gI		
100 A	100 A gG/gI		

Tabelle 6: Maximale Kurzschlussicherung und Bemessungsschaltvermögen

Thermische Absicherung von Fehlerstromschutzeinrichtungen

Eine sorgfältige Planung der nachgeschalteten Lastkreise ist entscheidend, um Fehlerstromschutzeinrichtungen gegen thermische Überlastung zu schützen. Um Beschädigungen des Fehlerstromschutzeinrichtungen zu verhindern, muss auf jeden Fall gewährleistet werden, dass der maximal mögliche Betriebsstrom des nachgeschalteten Lastkreises nicht den Nennstrom der Fehlerstromschutzeinrichtungen überschreitet. Alternativ kann gemäß Tabelle 7 eine Sicherung vorgeschaltet werden.

I_n	xPole-Fl's	xEffect + xPole X-Fl's
	Überlast	Überlast
16 A	10 A gG/gI	16 A gG/gI
25 A	16 A gG/gI	25 A gG/gI
40 A	25 A gG/gI	40 A gG/gI
63 A	40 A gG/gI	63 A gG/gI
80 A	50 A gG/gI	80 A gG/gI
100 A	63 A gG/gI	80 A gG/gI

Tabelle 7: Nennwerte für vorgeschaltete Sicherungen als thermischer Überlastschutz

Schlussfolgerungen

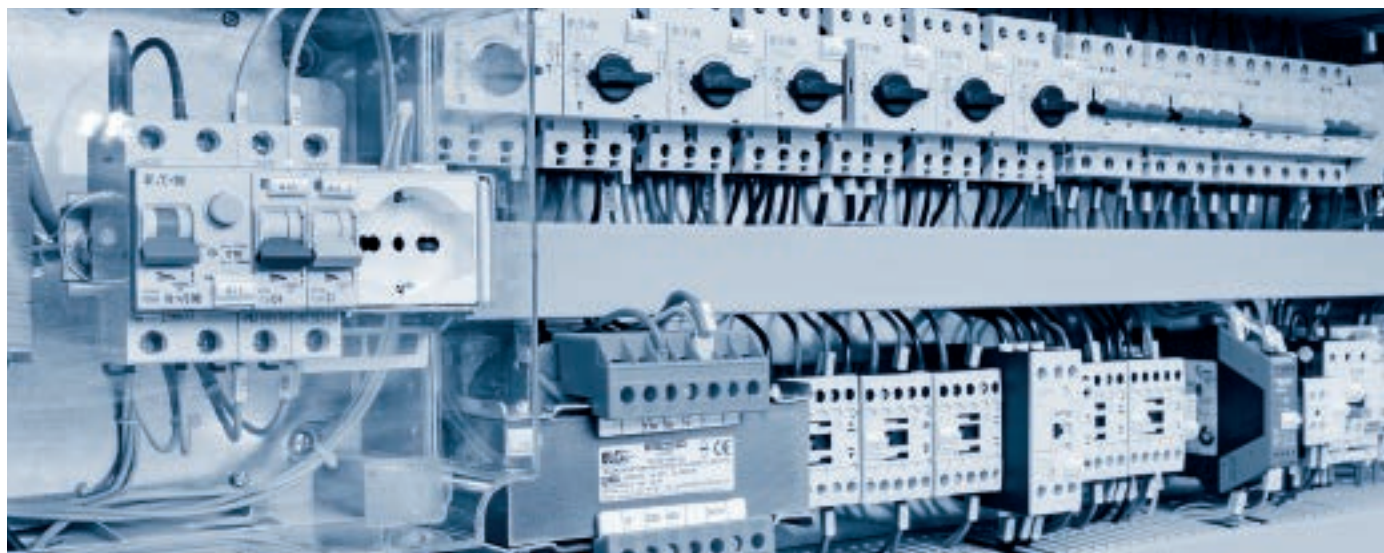
In diesem Whitepaper wurden die möglichen Folgen dargestellt, die eintreten können, wenn sich ein elektrischer Strom auf unzulässigen Pfaden ausbreiten kann. Solche Risiken müssen daher einerseits zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit, aber andererseits auch zu dem Zweck ausgeschlossen werden, maximale Produktivität und Verfügbarkeit der Maschinen zu gewährleisten.

Fehlerstromschutzeinrichtungen können Maschinen und Menschen vor Schäden bzw. Verletzungen bewahren, das Risiko von Bränden minimieren und Maschinenausfallzeiten reduzieren, da sie Fehlerströme erkennen und darauf reagieren können. Allerdings können diese Differenzströme aus vielen Gründen auftreten und viele Formen annehmen. Deshalb es ist wichtig, Fehlerstromschutzeinrichtungen mit Auslösecharakteristiken zu wählen, die den Schutz bei wirklichen Fehlerzuständen gewährleisten und zugleich Produktionsausfälle aufgrund von Fehlauflösungen vermeiden.

Dementsprechend wurden in diesem Whitepaper die verschiedenen Wellenformen von Fehlerströmen untersucht, die von verschiedenen elektronischen Schaltungen erzeugt werden. Darauf aufbauend wurden die Fehlerstromschutzeinrichtungs-Typen behandelt, die entsprechend reagieren können. Wir haben gesehen, dass diese Geräte nicht nur durch ihre von der Stromform abhängige Auslösereaktion, sondern auch dadurch charakterisiert werden, ob sie spannungsabhängig sind oder nicht, und ob sie sofort oder verzögert reagieren. Auch können durch spezielle Formen des Fehlerstromschutzgerätes zusätzlich Vorteile und Funktionen einfach in das Schutzkonzept integriert und zusammengefasst werden.

Das Papier fasst auch die einschlägigen internationalen Normen zusammen und erörtert Fragen zur Installation von Schutzgeräten, die von Maschinenbauern berücksichtigt werden müssen. Dazu gehören die Art des verwendeten Netzsystems, die geltenden Installationsnormen sowie die Probleme und Lösungen in Verbindung mit elektrischen Störungen.

Dieses Whitepaper soll eine nützliche Orientierung für Maschinen- und Anlagenbauer bieten, die verstehen wollen, welche Fragestellungen bei der Auswahl und Installation von Fehlerstromschutzeinrichtungen zu berücksichtigen sind. Dieses Whitepaper ist als ein Element des Engagements von Eaton für Personen- und Anlagenschutz vom ersten Planungsschritt bis hin zu Installation, Wartung und Ersatzteilbevorratung zu sehen. Die globale Organisation und das Portfolio von Eaton mit international anerkannten, innovativen Komponenten und Technologien werden durch lokale Produktionsstätten, Know-how und Support ergänzt.



Wir bei Eaton sind angetrieben von Lösungen zur Energieversorgung einer Welt, die immer anspruchsvoller wird. Mit über 100 Jahren Kompetenz im Bereich des Energiemanagements sind wir bereit für die Zukunft. Kernbranchen rund um den Globus vertrauen auf Eaton und auf unsere wegweisenden Produkte, Komplettlösungen und Ingenieursleistungen.

Wir stärken Unternehmen mit zuverlässigen, effizienten und sicheren Energiemanagement-Lösungen. Kombiniert mit unserem persönlichen Service, Support und unserem anspruchsvollen Denken, erfüllen wir bereits heute die Anforderungen von morgen. Mit Energie in die Zukunft. Besuchen Sie **eaton.eu**.



Um Kontakt zu einem Vertriebsmitarbeiter von Eaton oder einem lokalen Distributor/Vertreter aufzunehmen, besuchen Sie www.eaton.eu/electrical/customersupport