

Fehlerstromschutzschaltung : Erfahrungen, Stand der Technik

Autor(en): **Troxler, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de
l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des
Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 9

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904955>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Elektrotechnik und Elektronik Electrotechnique et électronique



Fehlerstromschutzschaltung: Erfahrungen, Stand der Technik

R. Troxler

Die besondere Gefahr der elektrischen Energie liegt darin, dass sie weder sichtbar noch hörbar noch riechbar ist. Der Gesetzgeber hat diesem Umstand Rechnung getragen, indem ein sehr umfangreiches Gesetzeswerk die Massnahmen zum Schutz vor den Gefahren der Elektrizität regelt. Diese Vorschriften und die vorgesehenen Kontrollen haben sich bewährt. Die Zahl der Elektrounfälle ist, im Verhältnis zum Unfallgeschehen in anderen Bereichen, gering. Zudem nimmt sie im letzten Jahrzehnt ab. Eine weitere Senkung ist trotzdem wünschenswert, denn das Einzelschicksal muss unabhängig vom guten statistischen Ergebnis im Vordergrund stehen. Ein bekanntes Mittel dazu ist die Fehlerstromschutzschaltung. Es stellt sich aber die Frage, wie die Fehlerstromschutzschaltung als zusätzliche Massnahme zu den bis anhin angewendeten Schutzmassnahmen sinnvoll eingesetzt werden kann und soll. Das Fachkollegium 64 des CES hat deshalb eine Arbeitsgruppe beauftragt, über die bisherigen Erfahrungen mit Fehlerstromschutzschaltern und den heutigen Stand der Technik Bericht zu erstatten. Die nachfolgend zitierten und kommentierten Angaben stammen aus diesem Bericht [1].

1. Statistik der Elektrounfälle

In diesem Abschnitt wird versucht, durch Analyse der Unfälle der Jahre 1977, 1978 und 1979 aufzuzeigen, welcher Teil dieser Unfälle mutmasslich durch die Fehlerstromschutzschaltung beeinflussbar gewesen wäre und welchen Einfluss die Vorschrift zur Ausrüstung der Baustromverteiler mit Fehlerstromschutzschaltern auf die Zahl der Unfälle im Baufach ausübte.

In Tabelle I ist die Gesamtzahl der vom Eidg. Starkstrominspektorat im Beobachtungszeitraum untersuchten Unfälle, sowohl im Hochspannungs- wie im Niederspannungsbereich, zusammengestellt. Die Unfälle sind einerseits unterteilt nach Berufsgruppen bzw. Tätigkeitsbereichen und andererseits nach der Schwere der Verletzung. Unter dem Begriff Elektrofach

621.316.9;
sind Ingenieure, Schaltwärter, Elektromonteur, Servicemonteur und allgemein Berufsleute aus dem Elektrofach erfasst. Der Begriff Haushalt beinhaltet Landwirte, Hausfrauen, Jugendliche und andere Personen aus dem nichtindustriellen und nichtgewerblichen Bereich. Unter Industrie und Gewerbe fallen alle Arbeitnehmer in Industriebetrieben und Gewerbebetrieben. Das Baufach umfasst alle Arbeitnehmer auf Baustellen. Als Bagatellunfälle sind solche bezeichnet, welche zu einer Arbeitsunfähigkeit von höchstens 3 Tagen führten. Unter Unfälle mit Verletzungsfolgen gehören alle Unfälle, welche zu einer Arbeitsunfähigkeit von mehr als 3 Tagen führten.

Die Tabelle II zeigt die prozentuale Aufteilung der Unfallzahl auf die 4 Berufsgruppen bzw. Tätigkeitsbereiche, und zwar

Anzahl untersuchte Unfälle der Jahre 1977, 1978, 1979

Tabelle I

	Bagatell (B)	Mit Ver- letzten (V)	Mit Toten (T)	Gesamt (G)
Erfasste Unfälle	345	442	62	849
Davon:				
im Elektrofach	156	225	17	398
im Haushalt	48	50	35	133
in Industrie + Gewerbe	97	123	4	224
im Baufach	44	44	6	94

Prozentuale Verteilung der Unfälle auf die Berufsgruppen
von 1966...1976 (11 Jahre) und von 1977...1979 (3 Jahre)

Tabelle II

	1966...1976	1977...1979
Elektrofach	44,6 %	46,9 %
Haushalt	12,1 %	15,5 %
Industrie + Gewerbe	25,8 %	26,4 %
Baufach	17,5 %	11,2 %

Unfälle in von Laien benützten Installationen, welche durch die Fehlerstromschutzschaltung beeinflussbar gewesen wären (Unfälle der Jahre 1977, 1978 und 1979)

Tabelle III

	Haushaltinstallationen				Industrie-, Gewerbeinstallationen				Baustelleninstallationen				Total
	B	V	T	G	B	V	T	G	B	T	T	G	
Erfasste Unfälle	33	30	26	89	61	55	2	118	29	25	5	59	266
Hierbei betroffene Laien	31	28	26	85	45	47	2	94	27	21	5	53	232
Davon an:													
motorgetriebenen Geräten	5	3	7	15	10	14	–	24	7	13	2	22	61
tragbaren Leuchten	1	2	1	4	1	3	–	4	4	1	–	5	13
tragbaren Wärmeapparaten	2	3	8	13	4	5	–	9	–	–	–	–	22
Leitungsschnüren	6	2	6	14	8	12	2	22	11	4	2	17	53
allgemeinen Installationen	17	18	4	39	22	13	–	35	5	3	1	9	82

einerseits für den Beobachtungszeitraum 1966–1977, mit total 4047 Unfällen (im Mittel pro Jahr 368 Unfälle) und andererseits von 1977–1979 mit den in Tabelle I aufgeschlüsselten 849 Unfällen (283 Unfälle p.a.). Interessant ist der markante Rückgang der Unfälle im Baufach, nachdem Mitte 1976 die Vorschrift betreffend Ausrüstung der Baustromverteiler mit Fehlerstromschutzschaltern in Kraft getreten ist.

In Tabelle III sind diejenigen Niederspannungsunfälle von 1977, 1978 und 1979 erfasst, bei denen die Analyse des Unfalluntersuchungsberichtes gezeigt hat, dass sie durch die Fehlerstromschutzschaltung mutmasslich beeinflussbar gewesen wären. Es handelt sich dabei ausschliesslich um einphasige Stromkreise. In Hausinstallationen sind es im wesentlichen die Licht- und Steckdosenstromkreise, in Industrieinstallationen Installationen in Büros, Reparaturwerkstätten und Prüfständen sowie die Steckdosenanschlüsse für tragbare Geräte. In Bauinstallationen betrifft es Steckdosenstromkreise bis 40 A Nennstromstärke, wobei auch die Drehstrom-Steckdosenstromkreise erfasst sind. In der Tabelle sind nur Unfälle erfasst, die sich in den von Laien benützten Installationsteilen zugetragen haben. Jeder Unfall ist nur einmal aufgeführt und jenem Teil der elektrischen Einrichtung zugeteilt, in dem der technische Fehler bzw. die Berührungsstelle gefunden wurde. Unter tragbaren Geräten werden eigentliche Handgeräte oder auch Geräte, welche leicht von einem Ort zum andern gebracht werden können, verstanden. Unter den Unfällen an allgemeinen Installationen sind alle Fälle aufgeführt, die nicht unter die besonders aufgeführten «tragbaren Einrichtungen» eingereiht werden konnten, z.B. angebohrte elektrische Leitungen, durchgesägte Wasserleitungen, falsche Schaltungen in Steckdosen, Isolationsdefekte in Schaltern, Fernsehgeräte und andere Geräte auf Prüfständen, provisorische Einrichtungen usw.

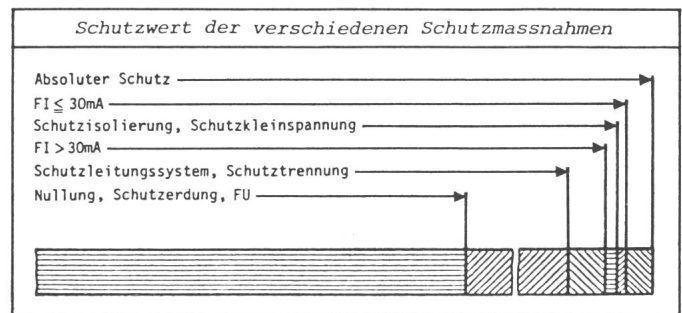
Die Tabelle III zeigt, dass ein ansehnlicher Teil der Elektrounfälle im in Frage stehenden Beobachtungszeitraum durch die Fehlerstromschutzschaltung beeinflussbar gewesen wäre.

Unfälle in von Laien benützten Installationen, welche durch die Fehlerstromschutzschaltung beeinflussbar gewesen wären (1977, 1978 und 1979)

Tabelle VI

	Haushaltinstallationen				Industrie-, Gewerbeinstallationen				Baustelleninstallationen				Total
	B	V	T	G	B	V	T	G	B	V	T	G	
Erfasste Unfälle	59	72	26	157	180	199	2	381	45	35	5	86	624
beeinflussbar	33	30	26	89	61	55	2	118	29	25	5	59	266
nicht beeinflussbar	26	42	–	68	119	144	–	263	16	11	–	27	358

Tabelle IV



FI Fehlerstromschutzschalter FU Fehlerspannungsschutz

Rangfolge der untersuchten Schutzsysteme

Tabelle V

Rang	Modellsystem
1	Schutzisolierter Verbraucher im TNS-Netz mit Überstrom- und Fehlerstromschutzorgan Schutzisolierter Verbraucher im TT-Netz mit Fehlerstromschutzorgan (FI-Schutzorgane jeweils $I_{\Delta N} \leq 30$ mA, geringe Schutzversager-Wahrscheinlichkeit)
2	TNS-Netz mit Überstrom- und Fehlerstromschutzorgan $I_{\Delta N} \leq 30$ mA, geringe Schutzversager-Wahrscheinlichkeit (Verbraucher mit Schutzleiteranschluss)
3	TT-Netz mit Fehlerstromschutzorgan $I_{\Delta N} \leq 30$ mA, geringe Schutzversager-Wahrscheinlichkeit (Verbraucher mit Schutzleiteranschluss)
4	Schutzisolierter Verbraucher im TNS- oder TT-Netz mit Überstromschutzorgan
5	TT-Netz mit Überstromschutzorgan (Verbraucher mit Schutzleiteranschluss)
6	TNS-Netz mit Überstromschutzorgan (Verbraucher mit Schutzleiteranschluss)

TNS-Netz: Identisch mit Nullung Schema I nach HV [5].
TT-Netz: Praktisch identisch mit Schutzterdung nach HV [5].

2. Schutzwert verschiedener Schutzmassnahmen

Der Schutzwert der Fehlerstromschutzschaltung lässt sich aus der Analyse der in der Schweiz untersuchten Unfälle, wie sie im vorangehenden Abschnitt dargestellt ist, erkennen. Er soll nun mit anderen bekannten Schutzmassnahmen verglichen werden.

In einer eingehenden Untersuchung kommt *Nowak* [2] zu der Verhältnisschätzung für den Schutzwert der verschiedenen Massnahmen, wie sie in Tabelle IV dargestellt ist. *Edwin, Jäkli* und *Thielen* [3] haben mit Hilfe mathematischer Verfahren der Zuverlässigkeitstheorie die Rangfolge der betrachteten Systeme nach Tabelle V aufgestellt. Als wichtigstes und gesichertes Ergebnis bezeichnen sie den quantitativen Nachweis der herausragenden Bedeutung schutzisolierter Betriebsmittel und des Fehlerstromschutzschalters $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$ für den Schutz bei indirektem Berühren. Sie weisen ferner hin auf den bei Verwendung des Fehlerstromschutzschalters $I_{\Delta N} > 30 \text{ mA}$ zusätzlich gegebenen Schutz gegen direktes Berühren.

In einer älteren Untersuchung zeigt *Lauerer* [4], dass in einem sog. Erdungsgebiet dank der verstärkten Einführung der Fehlerstromschutzschaltung die Unfallzahl um nur 15,6% zunahm, während in der gleichen Beobachtungsperiode und bei gleicher Entwicklung des Stromverbrauchs und der Zahl der Verbraucher die Unfallzahl in einem sog. Nullungsgebiet, in welchem keine verstärkte Einführung der Fehlerstromschutzschaltung erfolgte, um volle 70% stieg.

In Dänemark wurde ab 1970 die hochempfindliche Fehlerstromschutzschaltung mit 30 mA in Hausinstallationen für alle Steckdosen obligatorisch erklärt. Die Elektrounfälle im Haushalt gingen stark zurück: von 10 Todesfällen 1970 auf 2 1977. In den letzten 3 Jahren wurden nur noch 1 bis 3 Todesfälle pro Jahr registriert.

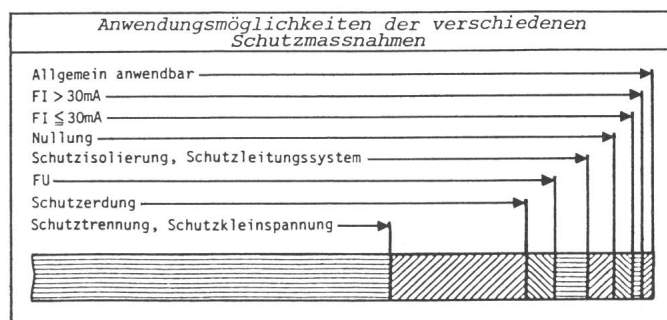
Eine Abschätzung des Schutzwertes der Fehlerstromschutzschaltung ist auch aufgrund der für Tabelle III untersuchten Unfälle möglich. In Tabelle VI sind die Unfälle, welche durch die Fehlerstromschutzschaltung mutmasslich beeinflussbar gewesen wären, den nicht beeinflussbaren gegenübergestellt. Alle Unfälle, die nicht mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit als beeinflussbar erkannt wurden, sind der Gruppe der nicht beeinflussbaren Unfälle zugeordnet worden.

3. Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Schutzmassnahmen

Nowak [2] kommt nach eingehender Untersuchung zur Schätzung des Ausmasses der Anwendungsmöglichkeiten, wie sie in Tabelle VII dargestellt ist.

Welche Massnahmen als Schutz gegen direktes Berühren und als Schutz bei indirektem Berühren eingesetzt werden können, ist im CENELEC-Harmonisierungsdokument 384.4.41 (Tabelle VIII) ausgesagt. Darin gilt die Verwendung von Fehlerstromschutzschalteinrichtungen mit einem Nennfehlerstrom bis 30 mA als anerkannte zusätzliche Schutzmassnahme gegen direktes Berühren bei Versagen der Schutzmassnahme oder bei Unachtsamkeit des Benützers (a). Ebenso kann sie an Stelle von Überstromunterbrechern den Personenschutz übernehmen (b).

Die Anwendungsmöglichkeiten der Fehlerstromschutzschaltung sind, wie die vorstehenden Angaben zeigen, recht gross.



Schutzmassnahmen nach CENELEC-Harmonisierungsdokument 384.4.41

Tabelle VIII

Schutzmassnahme	Als Schutz gegen direktes Berühren	Als Schutz bei indirektem Berühren
1. Schutzkleinspannung	×	×
2. Begrenzung der Entladungsenergie	×	×
3. Isolierung aktiver Teile	×	
4. Abdecken oder Umhüllen aktiver Teile	×	
5. Hindernisse vor aktiven Teilen	×	
6. Abstand vor aktiven Teilen	×	
7. Fehlerstromschutzeinrichtungen	× (a)	× (b)
8. Automatische Abschaltung		×
9. Schutzisolierung		×
10. Nichtleitende Räume		×
11. Erdfreier örtlicher Potentialausgleich		×
12. Schutztrennung		×

4. Zuverlässigkeit der Fehlerstromschutzschalter

Voraussetzung für deren Anwendung als Schutzmassnahme ist, dass die Fehlerstromschutzschalter ihre Sicherheitsfunktion zuverlässig ausführen. Fehlerstromschutzschalter sind schon seit vielen Jahren bekannt, und sie sind laufend verbessert worden.

Durch eine Umfrage bei verschiedenen Elektrizitätswerken wurden für den Bericht Ergebnisse über 870 installierte Fehlerstromschutzschalter eingeholt. Die Antworten sind in Tabelle IX zusammengestellt. Die Kontrolle von 958 installierten Fehlerstromschutzschaltern durch einen schweizerischen Hersteller ergab die in Tabelle X zusammengefassten Resultate.

Die Beobachtung von 300000 Fehlerstromschutzschaltern anhand der eingegangenen Rückmeldungen bei einem schweizerischen Hersteller ergibt, dass während einer Beobachtungsdauer von 10 Jahren 0,047% der Fehlerstromschutzschalter sicherheitstechnisch nicht funktionierten.

Lauerer [4] hat 576 tödliche Stromunfälle bei Verbraucheranlagen aus den Jahren 1954–1967 untersucht. Er hat dabei festgestellt, dass nur einer dieser Unfälle sich wegen eines Herstellungsfehlers am Fehlerstromschutzschalter ereignet hat, und bemerkt dazu, dass es sich bei dem in Frage stehenden Fehlerstromschutzschalter um eine Bauart aus den ersten Jahren handelte, welche vom Hersteller schon bald aufgegeben wurde.

Die zitierten Angaben zeigen, dass die dem heutigen Stand der Technik entsprechend gebauten Fehlerstromschutzschalter eine grosse Zuverlässigkeit aufweisen. Sie zeigen aber auch, dass Fehlerstromschutzschalter, wie alle anderen technischen Produkte, nicht eine absolute Zuverlässigkeit haben.

5. Probleme um die Fehlerstromschutzschaltung

Die schrittweise Einführung der Fehlerstromschutzschaltung in verschiedenen Installationen hat es erlaubt, im Laufe der Jahre die Probleme um die Fehlerstromschutzschaltung zu erkennen. Es liegt dazu sehr viel Erfahrungsmaterial vor.

Wasser und Feuchtigkeit ergeben zusammen mit Temperaturschwankungen Kondenswasserbildung. Dadurch wird die Funktion mechanisch bewegter Teile des Fehlerstromschutzschalters mit der Zeit gestört. Fehlerstromschutzschalter in kritischer Umgebung, speziell im Freien, funktionieren nur einwandfrei, wenn sie gegen Witterungseinflüsse geschützt sind. Gehäuse sind mit Wasserablauf und Querbelüftung zu versehen. Gummigedichtete Gehäuse ohne diese Massnahmen sind untauglich. Um den Betrieb nicht durch häufiges Auslösen zu stören, sind die Elektroinstallationen in nasser Umgebung mit entsprechender Sorgfalt auszuführen. Elektrische Apparate

Zuverlässigkeit der Fehlerstromschutzschalter
Ergebnis der Umfrage bei verschiedenen Werken

Tabelle IX

Kontrollierte Fehlerstromschutzschalter	870
Einwandfrei funktionierende Fehlerstromschutzschalter	814
Nicht einwandfrei funktionierende Fehlerstromschutzschalter	56
Mängel der letztgenannten Gruppe:	
Auslösung bei zu geringem Fehlerstrom ($\leq 0,5 I_{\Delta N}$)	21
Klemmen der Prüftaste	5
Klemmen des Deckelmechanismus	4
Klemmen der Schaltermechanik	2 ¹⁾
Auslösung bei zu grossem Fehlerstrom ($> 1,5 I_{\Delta N}$)	3
Gehäusedeformation durch Erwärmung	2
Keine Auslösung durch Prüfgerät, aber Auslösung durch Prüftaste	4
Keine Auslösung durch Prüftaste, aber Auslösung durch Prüfgerät	3
Keine Auslösung möglich (Grund unbekannt)	12 ²⁾

¹⁾ In zwei Fällen hat der festgestellte Mangel nachgewiesenermassen sicherheitstechnischen Einfluss.

²⁾ Diese Nichtauslösungen sind nicht genauer untersucht worden. Sie können sowohl an der Schaltung als auch am Schalter liegen.

Zuverlässigkeit der Fehlerstromschutzschalter. Ergebnis der durch einen Hersteller durchgeführten Kontrolle

Tabelle X

Kontrollierte Fehlerstromschutzschalter	958
Einwandfrei funktionierende Fehlerstromschutzschalter	942
Nicht einwandfrei funktionierende Fehlerstromschutzschalter	16
Mängel der letztgenannten Gruppe:	
Auslösung bei zu grossem Fehlerstrom ($> 1,5 I_{\Delta N}$)	6 ³⁾
Auslösung durch Prüftaste, aber nicht mit Prüfgerät	4
Schaltmechanismus defekt	3
Prüftaste defekt	2
Schalter mechanisch defekt (Gehäuse)	1

³⁾ Sicherheitstechnisch nicht in Ordnung (alle 6 Schalter stammen aus der gleichen Serie).

und elektrische Vorrichtungen, wie Steckverbindungen, dürfen nicht ungeschützt im Wasser liegen. Sie müssen für den Gebrauch in dieser Umgebung geeignet sein oder entsprechend geschützt werden.

Fehlerstromschutzschalter können durch starke magnetische Streufelder zum Auslösen gebracht werden. Magnetische Streufelder entstehen z.B. in offenen Magnetkreisen oder um einen Leiter, der von einem hohen Strom durchflossen wird. In solchen Fällen muss der Fehlerstromschutzschalter von der Störungsquelle entfernt angeordnet oder mit Eisenblech abgeschirmt werden. Oft genügt es auch, ihn oder die Störquelle um 90° bzw. evtl. 180° zu drehen.

Der Ladestromstoss eines zwischen Phase und Schutzleiter geschalteten Kondensators kann insbesondere einen hochempfindlichen Fehlerstromschutzschalter zum Auslösen bringen. Um dies zu vermeiden, sind Störschutzkondensatoren zwischen Phase und Nulleiter zu schalten oder kurzverzögerte Fehlerstromschutzschalter anzuwenden. Weiter soll zum Schutz fest installierter Apparate der Nennauslösestrom des Fehlerstromschutzschalters nicht zu niedrig gewählt werden.

Kapazitive Ableitströme entstehen auch in langen armierten Leitungen (einige 100 m) oder bei Wand/Boden-Heizungen zwischen dem Heizleiter und der geerdeten Schutzfolie. Auch sie können zu Fehlauflösungen des Fehlerstromschutzschalters führen. In solchen Fällen muss die Heizanlage feiner unterteilt werden. Bei dauernd hohem kapazitivem Ableitstrom kann das Problem auch mit einer Kompensationsschaltung gelöst werden.

Eine satte Nulleiter-Schutzleiter-Verbindung nach dem Fehlerstromschutzschalter kann die Auslöseempfindlichkeit negativ beeinflussen. Die Erfahrung zeigt, dass dieser Fehler in Neuinstallationen bei der Prüfung des Fehlerstromschutzschalters durch den Elektrofachmann entdeckt wird. Ist dies nicht der Fall, so schaltet der Fehlerstromschutzschalter durch das Fliessen des Betriebsstromes dauernd aus, womit er selbst den Fehler erkennbar macht.

Der Fehlerstromschutzschalter ist gegen Überspannungen weitgehend unempfindlich, seitdem die Vorschriften eine 8-kV-Stoßspannungsprüfung verlangen. Überspannungen beschädigen in blitzgefährdeten Gebieten mit Freileitungen vorwiegend elektronische Apparate wie Fernseh-, Radioapparate und elektronische Steuerapparate. Bei Überschlügen auf den Schutzleiter löst der Fehlerstromschutzschalter aus, auch wenn der Lichtbogen nach der Entladung löscht. Es müssen Überspannungsableiter eingebaut oder kurz verzögerte Fehlerstromschutzschalter verwendet werden.

Das Aufdecken von Kriechströmen ist eine der wichtigsten Aufgaben des Fehlerstromschutzschalters. Unerwünschte Auslösungen kommen vor, wenn in Apparaten kurzzeitige Ableitströme durch Feuchtigkeitseintritt entstehen. Erfahrungsgemäss führt dies zu einer Verbesserung der Apparatekonstruktion und zwingt zu sorgfältigem Reinigen und Bedienen der elektrischen Einrichtungen. Für fest installierte elektrische Apparate soll eine Auslöseempfindlichkeit des Fehlerstromschutzschalters > 30 mA gewählt werden.

Das Problem der Gleichstrombeeinflussung ist durch elektronische Schaltungen von Apparaturen entstanden. Wenn der Fehlerstrom Gleichstromanteile enthält, kann die Auslöseempfindlichkeit des Fehlerstromschutzschalters ungünstig beeinflusst werden. Dieses Problem kann durch Schalter neuester Bauart gelöst werden.

6. Praktische Erfahrungen

Nach anfänglichen Schwierigkeiten kann generell gesagt werden, dass die Fehlerstromschutzschaltung auf Baustellen gut funktioniert. Sie hat auch dazu geführt, dass die Baustelleninstallationen sorgfältiger ausgeführt und besser gepflegt werden und dass die anzuschliessenden Geräte in gutem Zustand gehalten werden. Es gibt aber heute noch Baustelleninstallationen, bei denen die Massnahmen zum Schutz vor Feuchtigkeit oder Nässe nicht getroffen sind. In solchen Fällen kommt es dann vor, dass Fehlerstromschutzschalter überbrückt werden.

Auch auf Campingplätzen hat sich die Einführung der Fehlerstromschutzschaltung bewährt. Gute Erfahrungen wurden dort gemacht, wo pro Fehlerstromschutzschalter höchstens 4 Wohnwagen angeschlossen werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei der Einführung der Fehlerstromschutzschalter auf einem Campingplatz zum Teil grobe Fehler beseitigt werden mussten, wie z.B. Steckdosen mit Nulleiter-Schutzleiterbrücken, Verwechslung von Anschlüssen im Verlängerungskabel und in Kupplungen, Steckvorrichtungen, welche ohne Schutz im Freien herumlagen. Werden die Massnahmen zum Schutz vor Feuchtigkeit und Nässe und zum Schutz gegen Überspannungen getroffen, so gibt die Fehlerstromschutzschaltung auf Campingplätzen selten zu Schwierigkeiten Anlass.

Die Fehlerstromschutzschaltung hat sich insbesondere auch für temporäre Anlagen, wie Schaubuden, Karusselle und Festzelte, als sehr zweckmässig erwiesen. Wenn die Massnahmen zum Schutze von Feuchtigkeit und Nässe getroffen wurden, wurden auch in diesen Anlagen mit 30-mA-Empfindlichkeit für Licht- und Steckdosenkreise gute Erfahrungen gemacht. Beim Betrieb von Apparaten mit grösserer Leistung entstanden Schwierigkeiten, wenn sich Kriechströme auswirkten. In Festzelten konnten Steckdosen für den Anschluss von Musikverstärkeranlagen sogar mit 10-mA-Fehlerstromschutzschaltern geschützt werden. Auslösungen zeigen sich dann meistens schon bei der Inbetriebnahme oder beim Proben, wodurch viele Isolationsfehler sowie Fehler in Verlängerungs- und Anschlußschnüren und Steckvorrichtungen gefunden werden können.

Unter der Voraussetzung, dass die Massnahmen zum Schutze vor Feuchtigkeit und Nässe getroffen werden, kann auch in Schwimmbädern 10-mA-Empfindlichkeit bei den üblichen Apparaten selbst dann angewendet werden, wenn diese mit dem Wasser direkt in Berührung kommen. Der Anordnung der Anschlußstellen und der Fehlerstromschutzschalter ist besondere Beachtung zu schenken. Mit dem 10-mA-Schutz wurden schon sehr viele Fehler in einem frühen Stadium aufgedeckt.

Für das Tankreinigungsgewerbe ist die Anwendung der 10-mA-Fehlerstromschutzschaltung mit der Mitteilung 10 des Eidg. Starkstrominspektorates [5] zugelassen worden. Die Erfahrungen sind heute, nach anfänglichen Schwierigkeiten, gut. Auch hier wurden schon sehr viele Fehler entdeckt, vorwiegend an Verlängerungsschnüren und Steckvorrichtungen.

Mit der Mitteilung 24 des Eidg. Starkstrominspektorates [5] wurde die 10-mA-Fehlerstromschutzschaltung ohne separaten Schutzleiter als Schutzmassnahme für die Pasteurisation von Fruchtsäften zugelassen. Dadurch konnte die früher öfters notwendige Überbrückung bereits vorhandener Fehlerstromschutzschalter vermieden werden.

In der Landwirtschaft wird mit der Fehlerstromschutzschaltung der Personen-, Brand- und Nutztierschutz gewährleistet. Gute Erfahrungen wurden mit folgender Anordnung gemacht: 300-mA-Fehlerstromschutzschalter mit grosser Nennstromstärke und verzögerter Auslösung und nachgeschaltete Fehlerstromschutzschaltung 30 mA. Der 300-mA-Fehlerstromschutzschalter vermeidet überspannungsbedingte Fehlauselösungen und gewährleistet die Selektivität dank der verzögerten Auslösung, währenddem der 30-mA-Fehlerstromschutzschalter den Personenschutz und den Nutztierschutz gewährleistet.

Sofern die im Abschnitt 5 erwähnten Massnahmen berücksichtigt werden, gibt die Anwendung der Fehlerstromschutzschaltung in Haushalt und Gewerbe zu keinen Problemen Anlass. Damit jedoch in der Installation die verschiedenen Nennauslösbereiche der Fehlerstromschutzschaltung sinnvoll angewendet werden können, müssen die Installationen entsprechend unterteilt werden. Das ist übrigens in den geltenden Hausinstallationsvorschriften bereits beschrieben.

Transportable Fehlerstromschutzeinrichtungen bilden einen guten Schutz für transportable Verbraucher. Dabei ist zu beachten, dass das Anschlusskabel zwischen der fest installierten Steckdose und dem transportablen Fehlerstromschutzschalter so kurz als möglich gehalten wird, da es nicht geschützt ist. Zu beachten ist ferner, dass bei Kabeltrommeln mit leitfähigen Teilen diese in der Regel durch die Fehlerstromschutzschaltung nicht geschützt sind. Kabeltrommeln mit eingebautem Fehlerstromschutzschalter, bei denen der Fehlerstromschutzschalter erst nach dem abziehbaren Kabel angeordnet ist, erfüllen die Sicherheitsbedingungen bis zum Fehlerstromschutzschalter nicht. Solche Kabeltrommeln sollen nicht verwendet werden.

Fehlerstromschutzschalter wirken normalerweise nicht selektiv, auch solche nicht, welche einen unterschiedlichen Nennauslösestrom aufweisen. In der Regel sollen sie daher in einer Installation nicht hintereinander geschaltet werden. Ist aber das Hintereinanderschalten unvermeidlich und wird Selektivität gefordert, so sind Fehlerstromschutzschalter mit unterschiedlicher Auslösezeit einzusetzen.

Die in den Hausinstallationsvorschriften verlangte Unterteilung der Installation soll auch in bezug auf die Fehlerstromschutzschaltung eingehalten werden. Das bedingt bei ausgedehnten Installationen den Einsatz mehrerer Fehlerstromschutzschalter und verursacht entsprechende Kosten.

Bei der Abnahmekontrolle und bei der periodischen Kontrolle muss durch das Kontrollpersonal sowohl der Fehlerstromschutzschalter über die Prüftaste als auch die gesamte Installation mit einem speziellen Prüfgerät kontrolliert werden. Das ergibt für das Kontrollpersonal einen Mehraufwand. Andererseits aber wird durch die Fehlerstromschutzschaltung dieser oder jener Installationsfehler bereits vor der Kontrolle erfasst und muss gezwungenermassen beseitigt werden. Dadurch wird die periodische Kontrolle von fehlerstromgeschützten Anlagen vereinfacht.

Damit der Benutzer der über Fehlerstromschutzschalter betriebenen Anlagen jederzeit über deren Funktionieren sicher sein kann, muss er von Zeit zu Zeit die dazu vorgesehene Prüfeinrichtung betätigen. Darauf muss der Benutzer aufmerksam gemacht werden. Eine einmalige schriftliche Mitteilung, z.B. beim Wohnungsbezug, dürfte hier nicht ausreichen, da derartige Weisungen erfahrungsgemäss schnell in Vergessenheit geraten. Es müsste viel eher durch laufende Aufrufe am Radio,

Fernsehen und in der Presse auf das Existieren derartiger Einrichtungen aufmerksam gemacht werden, um zu erreichen, dass die für den sicheren Schutz notwendige Betätigung der Prüftaste in periodischen Abständen erfolgt. Es kann den stromliefernden Werken nicht zugemutet werden, dass z. B. bei der Zählerablesung diese Prüfung durch ihre Ableser vorgenommen wird, insbesondere weil vermehrt Ablesungen nur noch jährlich erfolgen und weil überdies die Fehlerstromschutzschalter oft in einem dem Ableser nicht ohne weiteres zugänglichen Bereich montiert sind.

Die Benutzer von fehlerstromgeschützten Installationen müssten immer wieder darauf aufmerksam gemacht werden, dass das Vorhandensein der Fehlerstromschutzschaltung nicht zum sorglosen Umgang mit den elektrischen Installationen und Apparaten führen darf. Vielmehr ist dem Unterhalt der Installationen und Apparate nach wie vor volle Aufmerksamkeit zu schenken. Ebenso ist schliesslich noch darauf hinzuweisen, dass auch die Fehlerstromschutzschaltung nicht in allen Fällen den Personenschutz garantiert.

7. Bedeutung für den Personenschutz

In den Hausinstallationsvorschriften werden die Schutzschaltungen gegenwärtig als selbständige Schutzmassnahme gegen elektrischen Schlag dargestellt. In Wirklichkeit handelt es sich aber lediglich um ein innerhalb der Gruppe der Schutzmassnahmen mit automatischer Abschaltung mögliches Schutzorgan, das im Fall eines Defektes der Betriebsisolation das Stehenbleiben der Fehlerspannung an allgemein zugänglichen Anlageteilen, wie Apparategehäusen, verhindern soll. Im Gegensatz zu Überstromunterbrechern lösen Fehlerstromschutzschalter bereits weit unterhalb des Nennbetriebsstromes aus, womit sie einen besseren Personenschutz ergeben können.

Von grosser Bedeutung ist die Fehlerstromschutzschaltung insbesondere dort, wo 50-V-Fehlerspannungen zu Berührungsströmen von mehr als 40 mA führen, also z. B. in Badezimmern und Schwimmbädern. 40 mA gelten heute als Grenze für den Berührungsstrom, mit dem der menschliche Körper während mehrerer Sekunden belastet werden darf, ohne dass mit irreversiblen Schädigungen gerechnet werden muss.

Die Fehlerstromschutzschaltung übernimmt aber auch den Personenschutz bei direktem Berühren betriebsmässig spannungsführender Anlage- und Apparateile. In Fällen, wo aus betrieblichen Gründen keine Isolation dieser Teile möglich ist, wie z. B. bei der Pasteurisation von Fruchtsäften, kann der Personenschutz nur mit der Fehlerstromschutzschaltung sichergestellt werden.

Unter der Annahme, dass alle Hausinstallationen der Schweiz mit Fehlerstromschutzschaltung versehen wären, kann bei vorsichtiger Schätzung angenommen werden, dass jährlich von den 14 tödlichen Elektrounfällen deren 7 vermieden würden und von 200 Elektrounfällen mit Verletzungsfolge deren 100. Die Rettung eines Menschenlebens ist für die Nahestehenden von unschätzbarem Wert. Die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten eines tödlichen Elektrounfalles betragen ca. Fr. 500000; diejenigen eines Unfalles mit Verletzungsfolgen ca. Fr. 10000. Es könnten demnach jährlich Unfallkosten in der Grössenordnung von 4 bis 5 Mio Franken vermieden werden.

8. Bedeutung für den Brandschutz

Die in Tabelle VIII vollständig aufgeführten Schutzmassnahmen dienen alle zunächst dem Schutz gegen elektrischen Schlag. Hinsichtlich ihres Schutzwertes für die Verhütung elektrisch gezündeter Brände gelten ähnliche Überlegungen wie die im Abschnitt 3 dargelegten. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Schutzmassnahmen unter den verschiedenen elektrischen Brandursachen naturgemäss nur den Isolationsfehler zu beeinflussen vermögen, hingegen nicht den Kontaktfehler usw. Sofern Schalter mit Empfindlichkeiten bis 300 mA verwendet werden, ist die Fehlerstromschutzschaltung die beste heute bekannte Massnahme zur Verhinderung von Bränden, welche durch Isolationsfehler gezündet werden.

Zur zahlenmässigen Abschätzung der Präventivwirkung wurden alle im Kanton Bern in den Jahren 1976–1980 durch Isolationsfehler entstandenen Gebäude-Brandschäden untersucht. Unter Zugrundelegung der Brandstatistik der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen wurde versucht, die gewonnenen Werte auf gesamtschweizerische Verhältnisse zu übertragen (Tabelle XI). Mangels statistischer Unterlagen stellen diese Zahlen allerdings nur die Gebäude-Brandschäden von 19 Kantonen dar. Auch fehlen die Fahrhabe- und Betriebsunterbrechungsschäden. Erfahrungsgemäss sind die Fahrhabebeschäden ungefähr gleich hoch wie die Gebäudeschäden.

Unter der Annahme, dass alle Hausinstallationen mit Fehlerstromschutzschaltung versehen werden, können jährlich Schäden an Gebäuden und Fahrhabe sowie Schäden durch Betriebsunterbruch, in der Grössenordnung von 8 bis 20 Mio Franken vermieden werden.

9. Kosten der Fehlerstromschutzschaltung

Bei einer Neubauwohnung verursacht die Fehlerstromschutzschaltung Kosten von ca. Fr. 500.–. Die Mehrkosten gegenüber bisherigen Installationen würden ca. 10–12% betragen.

Wenn alle neu erstellten Wohnungen, 1979 waren es deren 38000, mit Fehlerstromschutzschaltung ausgerüstet würden, so ergäbe dies gesamthaft jährliche Mehrkosten von ca. 19 Mio Franken. Wenn die PTT-Betriebe bei allen Neuinstallationen die Fehlerstromschutzschaltung für Steckdosenstromkreise einführen würden, ergäbe dies jährlich Kosten von ca. Fr. 750000.–.

Es ist recht schwierig, die Kosten der Fehlerstromschutzschaltung in Vergleich zu setzen mit der möglichen Verminderung der Unfallkosten und der Brandversicherungskosten. Neben den materiellen Auswirkungen sind hier immer auch zahlenmässig kaum erfassbare ideelle Werte zu berücksichtigen.

Jährlich in der Schweiz entstehender Gebäudeschaden Tabelle XI

	Fälle	Schadenssumme in Fr.
Total	10 265	112 000 000
davon durch Elektrizität verursacht	4 974	17 000 000
davon durch Isolationsfehler verursacht	431	6 000 000
davon mittels Fehlerstromschutzschaltung vermeidbar	44	3 600 000

10. Fehlerstromschutzschaltung und Öffentlichkeit

Eine vermehrte Einführung der Fehlerstromschutzschaltung durch ein allgemeines Obligatorium oder durch ein Obligatorium für bestimmte Anwendungsfälle ergibt für die stromliefernden Werke Probleme. Wenn neue Vorschriften erlassen werden, müssen diese auch durchgesetzt werden. Diese Aufgabe liegt dann bei den Kontrollorganen, also bei den stromliefernden Werken. Dabei besteht Gefahr, dass den stromliefernden Werken und auch den Installateuren von nicht orientierten Kreisen der Vorwurf gemacht wird, sie seien schuld an der Verteuerung der Installationen.

Andererseits hat die Elektrizitätswirtschaft ein grosses Interesse daran zu zeigen, dass die Elektrizität eine sichere Energie ist. Sie muss dem Vorwurf vorbeugen, nicht alles getan zu haben, was für die Sicherheit möglich ist.

11. Gedanken zur Sicherheitsphilosophie

Absolute Sicherheit ist nicht erreichbar; stets bleibt ein Restrisiko. Man spricht vom tragbaren oder akzeptablen Risiko. Es ist Aufgabe von Wissenschaft und Technik, Systeme mit möglichst kleinem Restrisiko zu entwickeln. Dabei sind aber die technischen und organisatorischen Verbesserungsmöglichkeiten und deren Kosten den Werten gegenüberzusetzen, die es zu schützen gilt.

Der Mensch nimmt sehr viel grössere Risiken bei der gewollten und freiwilligen Tätigkeit auf sich, als er bei der ihm aufgezwungenen Tätigkeit zu akzeptieren gewillt ist. Wer aus eigenem Antrieb ein Auto benützt, geht freiwillig ein nicht unerhebliches Risiko für Leib und Leben ein. In seiner beruflichen Tätigkeit und allgemein als Mitglied der Gesellschaft wird der Mensch unfreiwillig vielfältigen Gefahren ausgesetzt. Untersuchungen zeigen deutlich, dass derselbe Mensch in diesem Bereich nur noch etwa einen Tausendstel des in seiner freiwilligen Tätigkeit auf sich genommenen Risikos zu akzeptieren bereit ist. Ausdruck davon ist beispielsweise die ausserordentlich weitgehende Gesetzgebung auf dem Gebiet der Elektrizität.

Nur weil der Einzelne elektrische Energie unmittelbar benötigt, ist er überhaupt bereit, auf diesem Gebiet ein Restrisiko zu akzeptieren. Auch hier wird aber von der Gesellschaft imperativ die Forderung nach mehr Sicherheit gestellt, und es werden Vergleiche mit der Sicherheit anderer Energieformen

gemacht. Die Elektrowirtschaft hat also, neben dem vorherrschenden menschlichen Interesse, durchaus auch ein Interesse wirtschaftlicher Natur, die nach dem heutigen Stand der Technik möglichen Sicherheitsmassnahmen einzuführen.

12. Schlussfolgerungen

Der Bericht zeigt, dass ein bedeutender Teil des elektrischen Unfallgeschehens durch die Fehlerstromschutzschaltung beeinflusst werden kann. Die Schutzmassnahme «Fehlerstromschutzschaltung» stützt sich auf eine ausgereifte Technik, hat einen hohen Schutzwert und grosse Anwendungsmöglichkeiten.

Das Fachkollegium 64 des CES hat vom Bericht der Arbeitsgruppe [1] zustimmend Kenntnis genommen und die Arbeitsgruppe beauftragt, nunmehr zu studieren, wie die Einführung der Fehlerstromschutzschaltung generell und in besonders kritischen Bereichen gefördert werden kann. Diese Studie ist noch im Gang. Bereits jetzt kann aber gesagt werden, dass die Einführung der Fehlerstromschutzschaltung durch jeden Elektrofachmann gefördert werden sollte. Die richtig angewendete Fehlerstromschutzschaltung gibt kaum Anlass zu Problemen, bietet aber eine wesentliche zusätzliche Sicherheit im Personenschutz und in der Brandverhütung. Es ist von grosser Bedeutung, dass sich der Elektrofachmann über die Probleme der Fehlerstromschutzschaltung orientiert, so dass er den Strombezüger einwandfrei beraten kann.

Literatur

- [1] FI-Schutzschalter. Bericht der Arbeitsgruppe 094 des FK 064 zuhanden der 79. Sitzung des FK 64 vom 28. Mai 1981. Zürich, SEV, 1981.
- [2] F. Nowak: Zur Praxis der Fehlerstrom(FI)-Schutzschaltung. Betriebssicherheit –(1968)5, S. 169...172.
- [3] K. W. Edwin, G. Jäkli und H. Thielen: Bewertung von Schutzmassnahmen in elektrischen Hausinstallationen. ETZ Archiv 2(1980)5, S. 143...148.
- [4] F. Lauerer: Unfallverhütung bei Stromverbraucheranlagen durch empfindliche Fehlerstrom-Schutzschalter. Forschungsbericht F78. Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1972.
- [5] HV. Hausinstallationsvorschriften des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins. Publikation des SEV Nr. 1000.1974.

Adresse des Autors

René Troxler, wissenschaftlicher Adjunkt der Abt. Unfallverhütung der SUVA, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Fluhmattstrasse 1, 6002 Luzern.

Der Bericht 64(FK)81/9 wurde ausgearbeitet von den Herren Troxler (SUVA, Vorsitz), Amherd (Installateur, Brig), Büchler (Eidg. Starkstrominspektorat, Zürich), Dietsche (Anwender, SBB, Bern), Egger (Hersteller, CMC, Schaffhausen), Etter (Anwender, Dir. Eidg. Bauten, Bern), Gmür (Anwender, PTT, Bern), Müller (Werke, Industrielle Werke, Basel), Welti, (Werke, EW, Meilen), Wyss (Brandversicherung, Brandversicherungsanstalt des Kantons Bern).