

Überlegungen zur
Verringerung von Gefährdungen
durch elektrischen Schlag bei
Niederspannung

basierend auf dem Bericht
der KAN-Arbeitsgruppe „Fehlerstrom-Schutzschalter“
Stand Oktober 2001

Ansprechpartner:

KAN – Kommission Arbeitsschutz und Normung
Geschäftsstelle - Alte Heerstr. 111 - 53757 Sankt Augustin
Herr Mattiuzzo
Tel.: 02241/231-3450
Fax: 02241/231-3464
E-Mail: mattiuzzo@kan.de
<http://www.kan.de>

Inhalt

1 Gefährdungen durch elektrischen Strom bei Niederspannung	3
1.1 Einführung	3
1.2 Verschiedene Arten des Fehlerschutzes	4
1.3 Wo wird die Sicherheit beeinflusst?.....	6
1.4 Ursachen für Elektrounfälle bei Niederspannung	7
2 Wie können bestehende Gefährdungen vermieden werden	8
2.1 Grundsätzliches	8
2.2 Zusätzliche Maßnahmen an der festen Installation.....	9
2.3 Zusätzliche Maßnahmen an den ortsveränderlichen Betriebsmitteln	10
2.4 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vorzugsweise in der festen Elektroinstallation oder am ortsveränderlichen Betriebsmittel?	12
2.5 Funktion von Fehlerstromschutzeinrichtungen bei variierenden Frequenzen	12
3 Relevante Bestimmungen im Zusammenhang mit der Nutzung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	13
3.1 Bestehende Bestimmungen für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in Deutschland	13
3.2 Unterschiede im Hinblick auf die Nutzung von Fehlerstrom- Schutzeinrichtungen in einigen Ländern Europas	13
4 Vorschläge der Arbeitsgruppe	14
4.1 Neue feste Elektroinstallationen	14
4.2 Ortsveränderliche Geräte der Schutzklasse II	14
4.3 Ortsveränderliche Geräte der Schutzklasse I.....	15
4.4 Technische Gestaltung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in der festen Elektroinstallation.....	15
4.5 Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Nicht-50-Hertz-Bereich	16
4.6 Private Altanlagen	16
5 Weiterführende Literatur.....	16

1 Gefährdungen durch elektrischen Strom bei Niederspannung

1.1 Einführung

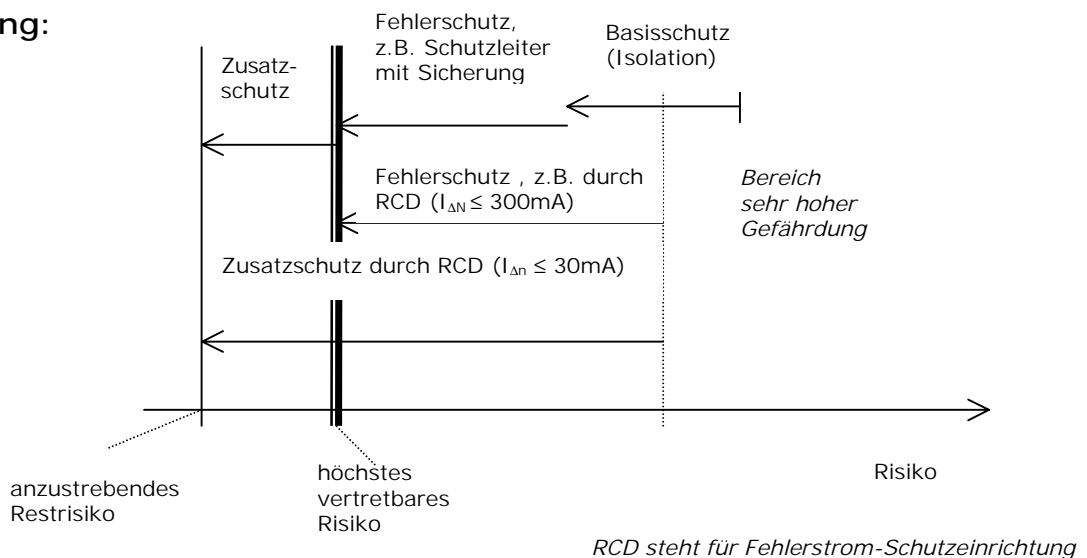
Elektrischer Strom ist eine sichere Energie, wenn man verantwortungsbewusst mit ihr umgeht. Dennoch kommt es zu mitunter tödlich verlaufenden Stromunfällen, die fast immer vermeidbar gewesen wären. In der jüngsten Vergangenheit musste sogar eine leichte relative Zunahme der Stromunfälle verzeichnet werden. Das heißt, dass die Zahl der Stromunfälle nicht in dem Maße abgenommen hat wie die der Arbeitsunfälle insgesamt.

Zu Unfällen kommt es häufig beim Umgang mit Elektrogeräten und Elektrowerkzeugen und bei – in der Regel unbefugt – vorgenommenen Arbeiten an elektrischen Ausrüstungen von Maschinen sowie an der festen Elektroinstallation.

In bestimmten Bereichen treten verstärkt Gefährdungen auf. Dazu gehören z.B. Nassbereiche der Metallindustrie und Kleinstbaustellen. Darüber hinaus kommt es zu Gefährdungen beim Umgang mit Kernbohrmaschinen und handgeführten Nass- und Trockenschleifmaschinen oder beim Einsatz von elektrischen Geräten in der Landwirtschaft. Auch im Privathaushalt und hier insbesondere in Badezimmern, im Freien (Gartenbereich) und in Küchen kommen Elektrounfälle vor.

Gefährdungen können durch Schutzmaßnahmen wie in der **Abbildung** beschrieben reduziert werden. Diese Darstellung setzt jedoch voraus, dass die *Installation vollkommen fehlerfrei errichtet* wird, das heißt entsprechend den einschlägigen Gesetzen und Normen. Es wird gezeigt, wie im Allgemeinen durch Zusatzschutz das Risiko reduziert werden kann; die Abbildung erhebt nicht den Anspruch, alle in der Praxis vorkommenden Situationen darzustellen.

Abbildung:



Die Abbildung erläutert folgende Zusammenhänge:

- Ein in der Regel durch Isolierung erreichter **Basisschutz** schützt gegen direktes Berühren von spannungsführenden Teilen. Falls dieser Basisschutz versagt (1. Fehler), sorgt der **Fehlerschutz** dafür, dass auch weiterhin keine Gefährdung durch elektrischen Schlag auftritt. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ($I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$) sorgen für **Zusatzschutz** bei direktem Berühren, falls Basisschutz und Fehlerschutz versagen.
- Für den Fehlerschutz eingesetzte Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ($I_{\Delta n} \leq 300\text{mA}$) können, falls der Basisschutz versagt, auch erhebliche Teile des ursprünglich durch Basisschutz reduzierten Risikos mit abdecken.
- Für den Zusatzschutz eingesetzte Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ($I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$) können, falls der Fehlerschutz versagt, auch erhebliche Teile des ursprünglich durch Fehler- und Basisschutz reduzierten Risikos mit abdecken.

1.2 Verschiedene Arten des Fehlerschutzes

Um die Gefährdung durch elektrischen Schlag bei Benutzung von elektrischen Betriebsmitteln zu reduzieren, kann die in der Abbildung beschriebene Schutzmaßnahme „Fehlerschutz“ auf verschiedene Weise realisiert werden.

Betriebsmittel der Schutzklasse I

Bei Betriebsmitteln der Schutzklasse I, also solchen, die über einen Schutzleiter verfügen, der geerdet wird, funktioniert der Fehlerschutz im Zusammenwirken mit einer Einrichtung in der festen Elektroinstallation, die im Fehlerfall die Stromversorgung abschaltet. Damit dieser Fehlerschutz seine Aufgabe erfüllen kann, müssen auch alle beteiligten Komponenten der festen Elektroinstallation (Schutzleiteranschluss, Abschaltorgan, usw.) ordnungsgemäß funktionieren.

Folgende Situationen können zu Gefährdungen durch elektrischen Schlag bei Benutzung von Betriebsmitteln der Schutzklasse I führen:

- der Schutzleiter ist unterbrochen;
- der Schutzleiter steht unter Spannung;
- Einrichtungen, die im Fehlerfall den Stromkreis abschalten sollen, wie z.B. Leitungsschutzschalter oder evtl. vorhandene Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, sind defekt;
- ungünstige Bedingungen (Leitungslänge, Schleifenimpedanzen) verhindern das rechtzeitige Abschalten des Betriebsmittels durch die dafür vorgesehenen Einrichtungen;

- bei bestimmten Arbeiten werden weitere, von der Versorgung des gerade benutzten Gerätes unabhängige, Stromkreise angebohrt, angesägt oder angeschliffen.

Betriebsmittel der Schutzklasse II

Bei Betriebsmitteln der Schutzklasse II (dazu gehören in der Regel auch alle Zuleitungen) wird Fehlerschutz durch zusätzliche Isolierung oder verstärkte Basisisolierung erreicht. Hier besteht kein sicherheitsrelevanter Bezug zur festen Elektroinstallation, denn um vor Fehlern zu schützen, ist keine schützende Reaktion durch Abschaltung vorgesehen.

Folgende Situationen können zu Gefährdungen durch elektrischen Schlag bei Benutzung von Betriebsmitteln der Schutzklasse II führen :

- beide Isolierungen werden beschädigt;
- Feuchtigkeit oder Schmutz in der Arbeitsumgebung oder Krustenbildung im Gerät überbrücken beide Isolierungen; das heißt, dass in solchen Fällen – selbst bei bestimmungsgemäßem Gebrauch – die Isolation nicht den Betriebsbedingungen standhält;
- bei bestimmten Arbeiten werden weitere, von der Versorgung des gerade benutzten Gerätes unabhängige, Stromkreise angebohrt, angesägt oder angeschliffen.

Weitere Arten des Fehlerschutzes

Betriebsmittel der Schutzklasse III realisieren Fehlerschutz, indem die Arbeitsspannung niedrig gehalten wird. Diese Schutzkleinspannung (50V Wechselspannung bzw. 120V Gleichspannung) wird durch Sicherheitstransformatoren erzeugt.

Betriebsmittel der Schutzklasse III weisen wegen der Zuverlässigkeit der Sicherheitstransformatoren einen hohen Sicherheitsstandard auf, werden aber wegen ihrer geringen Leistung (niedrige Spannungen) nicht als sinnvolle Alternativen für die breite Anwendung gesehen und für die weitere Betrachtung außer Acht gelassen.

Darüber hinaus kann Fehlerschutz durch nicht leitende Räume, durch erdfreien Potenzialausgleich oder Schutztrennung erreicht werden. Da diese Lösungen allerdings nur für bestimmte Anwendungen und Bereiche geeignet sind, werden sie hier nicht näher beschrieben.

1.3 Wo wird die Sicherheit beeinflusst?

Die Sicherheit elektrischer Anlagen und Betriebsmittel, also das Vermeiden von Gefährdungen, wird sowohl beim Herstellen und Errichten als auch beim Betreiben und Instandhalten beeinflusst.

Herstellen und Errichten

Die Verantwortung für das korrekte Errichten von festen Elektroinstallationen liegt für Arbeitsstätten beim Unternehmer. Im privaten Bereich liegt sie, aufgrund der „Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden“ (AVBEltV), gemeinsam bei den Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU's) und dem Hausbesitzer. Die Verantwortung für die Beschaffenheit von elektrischen Betriebsmitteln liegt entsprechend der Niederspannungs-Richtlinie 73/23/EWG beim Inverkehrbringer.

Betreiben und Instandhalten

Die Verantwortung für das korrekte Betreiben und Instandhalten von Installationen und Betriebsmitteln liegt für Arbeitsstätten aufgrund des Arbeitsschutzrechts beim Unternehmer. Fehler können hier durch falsches Verhalten der ausführenden Personen entstehen (so genannte organisatorische Fehler, z.B. Vernachlässigen der Prüfvorschriften o. ä.).

Im privaten Bereich gibt es keine gesetzlichen Vorschriften, die dem Bürger das korrekte Betreiben und Instandhalten seiner Betriebsmittel und festen Installationen vorschreiben. Fehler können daher durch fehlende regelmäßige Prüfungen oder laienhafte Wartungsarbeiten entstehen. Sie können dazu führen, dass die Anlage nicht mehr in ordnungsgemäßem Zustand ist. Zudem besteht kein Zwang zur Nachrüstung auf den jeweiligen Stand der Technik, denn private Altanlagen genießen einen bestimmten Bestandschutz. Untersuchungen an älteren elektrischen Anlagen im Haushaltsbereich ergaben, dass der nicht ordnungsgemäße Zustand keinesfalls die Ausnahme darstellt, sondern dass diese Anlagen häufig nicht mehr den Bestimmungen entsprechen, die zum Zeitpunkt ihrer Errichtung galten.

1.4 Ursachen für Elektrounfälle bei Niederspannung

Bei Elektroarbeiten im gewerblichen Bereich stehen Schäden oder Fehler an elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen als Ursache für Elektrounfälle mit rund 47% im Vordergrund. Dazu gehören:

- Schäden an Steckvorrichtungen,
- Schäden an Anschluss- und Verlängerungsleitungen sowie an Kupplungen,
- mangelhafte Isolierung an den Geräten selbst.

Bei fast $\frac{3}{4}$ aller Unfälle mit Elektrohandwerkzeugen waren **Schäden oder Fehler am Werkzeug einschließlich seiner Zuleitung** die Unfallursache; $\frac{1}{4}$ der Unfälle trat ein, ohne dass das Elektrohandwerkzeug fehlerhaft war. Bei diesem Anteil handelt es sich u.a. um **Schutzleiterfehler und Isolationsfehler in Steckdosen, Isolations- oder Schutzleiterfehler in Verlängerungsleitungen**, oder es wurden mit dem Werkzeug **unter Spannung stehende Leitungen angebohrt, angesägt oder angeschliffen**. 35% aller Schäden oder Fehler am Elektrohandwerkzeug waren Defekte an der Isolierung der beweglichen Anschlussleitung innerhalb der freien Leitungslänge und an der Kabeleinführung, am Knickschutz oder der Zugentlastung. Neben den Gerätefehlern sind mit etwa 11% Fehler in der festen Elektroinstallation, insbesondere schadhafte Steckdosen, zu nennen.

Gerätefehler, die zu Unfällen führten, werden als Sachfehler ausgewiesen. Häufig sind sie jedoch als Fehlverhalten der für die Arbeitssicherheit verantwortlichen Personen zu werten, da **notwendige Prüfungen nicht oder zu selten durchgeführt** wurden. Gerätefehler und häufig auch Fehler in der festen Elektroinstallation, z.B. defekte Steckdosen, hätten von den Verunglückten teilweise auch bei geringem technischem Verständnis durch einfache Sichtprüfung erkannt werden können. Eine wesentliche Unfallursache liegt also auch in der **Unachtsamkeit und im Leichtsin**n der Verunglückten.

Die Untersuchung der Fehlerstellen ergibt eine Häufung von **fehlerhaften Reparaturen und Montagen** vornehmlich in Steckern, Kupplungssteckdosen, Abzweigdosen, Steckdosen und an beweglichen Anschlussleitungen. Diese Montagen und Reparaturen haben vorwiegend Laien durchgeführt. Hervorzuheben ist das **Vertauschen der Leiter- mit den Schutzleiterkontakten** und das **Unterbrechen des Schutzleiters**. Reparatur und Erweiterung vorhandener Anlagen und vor allem von beweglichen Betriebsmitteln sind ebenfalls Ursache für Unfälle.

Vergleiche zwischen regelmäßig und nicht regelmäßig geprüften elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln ergeben, dass das Sicherheitsniveau derer, die keiner Prüfpflicht unterliegen, wesentlich schlechter ist.

In jedem von der Maschinenbau- und Metall-BG untersuchten Kleinbetrieb waren durchschnittlich 2 Schutzleiter-Fehler zu verzeichnen, was auch für diesen Bereich das hohe Gefährdungspotenzial aufzeigt.

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe ist darüber hinaus zu befürchten, dass die Mängelliste bei privaten Anlagen zukünftig größer wird. Denn Versorgungsnetze werden zunehmend auch privat betrieben und diese privaten und harter Konkurrenz ausgesetzten Betreiber sind dann für die Kontrolle der Anschlussbedingungen zuständig. Zudem steht zu befürchten, dass auch die etablierten Elektrizitätsversorgungsunternehmen zur Überprüfung der Anschlussbedingungen wegen des ständig steigenden Kostendrucks weniger Ressourcen aufbringen werden.

2 Wie können bestehende Gefährdungen vermieden werden

2.1 Grundsätzliches

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe können unter der Voraussetzung, dass Betriebsmittel fachgerecht errichtet und installiert werden, elektrische Geräte und Anlagen insgesamt als „risikoarm“ bezeichnet werden. Trotzdem besteht ein bestimmtes „Restrisiko“, das auf Fehler beim Betreiben und Instandhalten sowie auf Alterungsprozesse der Bestandteile und Materialien zurückzuführen ist.

Für die Sicherheit aller elektrischen Betriebsmittel ist es daher erforderlich sie selbst und ihre Anschlussleitungen und Steckvorrichtungen regelmäßig zu prüfen.

Wie bereits erwähnt, kann Fehlerschutz durch Schutzkleinspannung (Anwendung der Schutzklasse III) oder Schutzisolierung (Anwendung der Schutzklasse II) erreicht werden. Darüber hinaus ist dies für eine begrenzte Anzahl bestimmter Anwendungen durch nicht leitende Räume, erdfreien Potenzialausgleich oder Schutztrennung möglich. Überall wo keine dieser Maßnahmen gewählt wird, muss ein elektrisches Betriebsmittel im Fehlerfall durch eine geeignete Schutzeinrichtung rechtzeitig abgeschaltet werden (Anwendung der Schutzklasse I).

Für dieses rechtzeitige Abschalten ist der einwandfreie Zustand des Schutzleiteranschlusses und die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen in der vorgeschalteten festen Elektroinstallation von entscheidender Bedeutung. Die genannten regelmäßigen Prüfungen sind dementsprechend auch für den Schutzleiteranschluss und die Schutzmaßnahmen in der festen Elektroinstallation unabdingbar.

2.2 Zusätzliche Maßnahmen an der festen Installation

Um das Restrisiko an der festen Elektroinstallation zu reduzieren sind folgende zusätzliche Maßnahmen denkbar:

- a) Konsequenter Anwendung der bestehenden Überprüfungsverpflichtung im gewerblichen Bereich.
- b) Einführen von Überprüfungen auf freiwilliger Basis im privaten Bereich.

Für die im privaten Bereich bestehende Gefährdungssituation wären organisatorische Maßnahmen (wie Überprüfungen) als bindende Vorschrift bei realistischer Betrachtung schwer durchsetzbar.

- c) Anpassung von privaten Altanlagen an den Stand der Technik.

Eine Anpassung privater Altanlagen wäre in vielen Fällen mit einem enormen Aufwand verbunden, da über den Einbau von neuen Geräten und Schaltern hinaus beispielsweise auch neue Leitungen verlegt werden müssten. Eine weniger tiefgreifende Maßnahme wäre die Beschränkung auf Teilbereiche – so könnte man sich z.B. auf Badezimmer und Küchen beschränken oder nur die Steckdosen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ausrüsten. Altanlagen genießen jedoch einen bestimmten Bestandsschutz. Die Akzeptanz einer Aufhebung des Bestandsschutzes ist eher fraglich. Zudem besitzt der Bestandsschutz gewissermaßen Verfassungsrang. Rückwirkende Änderungen an altem Baubestand werden nur selten vom Gesetzgeber gefordert.

- d) Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta N} \leq 30\text{mA}$.

Die verbindliche Einführung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ($I_{\Delta N} \leq 30\text{mA}$) wäre eine Lösung, die das Restrisiko spürbar herabsetzen würde. Dies wäre allerdings auf das Errichten von Neuanlagen oder wesentliche Erweiterungen beschränkt.

- e) Da, wo Gefährdungen wegen erfahrungsgemäß nicht erfolgreicher Überprüfungen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen auftreten, wird der Einsatz von Geräten geprüft, die ihre Funktionsfähigkeit selbst überwachen.

Bisher durchgeführte Untersuchungen (z.B. von Prof. Biegelmeier in Österreich, der Elektroberatung Bayern, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin oder den Berufsgenossenschaften) ergaben, dass bis zu 6% aller untersuchten, fest installierten Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ihre Schutzfunktion nicht mehr erfüllten. Dabei bleibt der Benutzer jedoch im Glauben, er sei geschützt.

Ohne Zweifel würde ein regelmäßiges Drücken der Prüftaste diese Situation erheblich verbessern, denn der Defekt würde erkannt und die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung könnte im Falle eines Defektes ausgewechselt werden. Zudem bewirkt das Drücken der Prüftaste neben der Testfunktion auch eine Rekonditionierung wichtiger Funktionen, die ansonsten mit zunehmender Alterung ausfallen können. Es handelt sich um ein Komfortproblem mit einiger Sicherheitsrelevanz, denn trotz bestehender Vorschriften und Empfehlungen wird die Prüftaste häufig nicht regelmäßig gedrückt.

2.3 Zusätzliche Maßnahmen an den ortsveränderlichen Betriebsmitteln

Um das Restrisiko bei der Nutzung ortsveränderlicher Betriebsmittel an Steckdosen zu reduzieren, ist auch der Einsatz *portabler Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen* (PRCD) möglich. Ein PRCD stellt dabei keine Schutzmaßnahme im eigentlichen Sinne dar, sondern ist immer als so genannte *Schutzpegelerhöhung* aufzufassen.

Man unterscheidet 3 Typen von PRCD:

- **mit nicht geschaltetem Schutzleiter**, das heißt, im Fehlerfall werden nur der Phasen- und der Neutralleiter geschaltet. Diese Schalter werden in der inzwischen in Europa übernommenen Norm IEC 61540 behandelt.
- **mit geschaltetem Schutzleiter**, das heißt, im Fehlerfall werden der Phasen-, der Neutral- und der Schutzleiter geschaltet. Diese Schalter werden in der Norm DIN VDE 0661 behandelt.
- **mit geschaltetem Schutzleiter und Prüffunktionen** wie sie in der Berufsgenossenschaftlichen Information BGI 608 gefordert sind. Diese Schalter stellen auch die Schutzleiterfunktion sicher und sind bei Schutzleiterfehlern gar nicht einzuschalten (sie werden häufig als PRCD-S bezeichnet).

In vielen internationalen Gremien und auch seitens einiger Experten in Deutschland wird der Einsatz von PRCD mit nicht geschaltetem Schutzleiter nach IEC 61540 als ausreichend angesehen. Offenbar deshalb, weil folgende Kriterien mit herangezogen wurden:

- sie sind bei jedem Netzsystem nach Art der Erdung einsetzbar (Vorteil für die Anwender, Vermeiden von Manipulationen);
- sie können weltweit einheitlich vertrieben werden (Vorteil für die Hersteller);
- sie bieten die Möglichkeit, falls weitere, von der Versorgung des gerade benutzten Gerätes unabhängige Stromkreise angebohrt, angesägt oder angeschliffen werden, deren Fremdströme ohne technischen Aufwand auch nach erfolgter Abschaltung abzuleiten.

Aus Sicht der Arbeitsgruppe liegt dieser Haltung jedoch die Fehleinschätzung zu Grunde, dass der Schutz vor einem zusätzlich auftretenden, so genannten "2. Fehler" auf einem sicherheitstechnisch akzeptablen Niveau gewährleistet ist. Die Risikoanalyse betrachtet dabei Anlage und ortsveränderliches Gerät als Einheit und stellt der Ein-Fehler-Theorie entsprechend fest, dass gleichzeitige Fehler in Anlage und Gerät äußerst unwahrscheinlich sind.

Nach Einschätzung der Arbeitsgruppe muss die Risikoanalyse jedoch gestaffelt durchgeführt werden. In diesem Falle muss man davon ausgehen, dass mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit ein dauerhafter Fehler in der festen Elektroinstallation vorliegen kann (der "1. Fehler" im Sinne der Ein-Fehler-Theorie). Dies heißt, dass die Zuverlässigkeit des Komplexes Schutzleiter/Abschaltorgan aus sicherheitstechnischer Sicht kritisch ist. Somit kommt man bei der Risikoanalyse von ortsveränderlichen Geräten zum Schluss, dass bei Normalbetrieb neben einem Fehler an der festen Elektroinstallation ein zusätzlich am Gerät auftretender Fehler ähnlich wahrscheinlich ist wie ein 1. Fehler. Gleichzeitig kann er aber zu erheblichen Gefährdungen führen, die mit denen von einem "2. Fehler" verursachten vergleichbar sind.

Zudem würde im immer noch auftretenden Fall der „klassischen Nullung“, wo Schutz- und Neutralleiter im so genannten PEN-Leiter zusammengeführt werden, PRCD mit nicht geschaltetem Schutzleiter bei Unterbrechung des PEN-Leiters im Fehlerfall keinen ausreichenden Schutz bieten.

Gleichzeitig ist bei der Verwendung von PRCDs mit geschaltetem Schutzleiter in die Risikoanalyse allerdings mit einzubeziehen, dass es Geräte gibt, bei denen, wie oben beschrieben, eine Gefährdung durch Anbohren, Ansägen oder Anschleifen eines anderen (so genannten Fremd-)Stromkreises bestehen kann. Die Schutzleiterverbindung muss in diesem besonderen Fehlerfalle des Berührens einer "Fremdspannung eines anderen Stromkreises" aufrecht erhalten und darf nicht unterbrochen werden, damit der Fehlerstrom über den Schutzleiterpfad abfließen kann.

Bei bestimmten Geräten PRCDs vorzuschreiben, die auch die Schutzleiterfunktion sicherstellen, den Schutzleiter bei Berührung eines Fremdstromkreises nicht unterbrechen und bei Schutzleiterfehlern gar nicht einzuschalten sind (so genannte PRCD-S), würde jedoch allgemein auf große Widerstände treffen. Denn solche Geräte sind in einigen Fällen nicht funktionsfähig (z.B. bei Netzsystemen nach Art der Erdverbindung „IT“, die grundsätzlich nicht geerdet sein dürfen). Zudem ist zu befürchten, dass viele Anwender eher das Fehlen des Schutzleiters in Kauf nehmen, als ihre Arbeit nicht weiter führen zu können.

2.4 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen vorzugsweise in der festen Elektroinstallation oder am ortsveränderlichen Betriebsmittel?

Eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung sollte so dicht wie möglich am Beginn der elektrischen Versorgungskette im Gebäude installiert sein.

Dies bedeutet, dass Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen *vorzugsweise* in der festen Elektroinstallation angebracht werden sollten. Zusätzlich sollten portable Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen für bestimmte ortsveränderliche Geräte verwendet werden.

2.5 Funktion von Fehlerstromschutzeinrichtungen bei variierenden Frequenzen

Historisch gesehen wurden alle elektrischen Betriebsmittel und Geräte für ein Umfeld entwickelt, das nur Wechselströme mit Frequenzen von 50-Hz enthält. Vorschriften und Bedingungen für (Sicherheits-)Prüfungen waren auf diesen Frequenzbereich beschränkt und zwar sowohl im Hinblick auf die Fähigkeiten der Geräte, Ströme zu beherrschen als auch den Menschen zu schützen. Darüber hinaus wird bei der Sicherheitsphilosophie „Schutz durch Abschalten“ eigentlich ein stromfreier Schutzleiter vorausgesetzt. Auch dieser ist jedoch nur denkbar, wenn keine – z.B. durch frequenzvariierende Geräte hervorgerufene – Ableitströme über den Schutzleiter fließen.

Diese historisch begründeten und noch immer bestehenden Rahmenbedingungen der Schutzgerätetechnik entsprechen nicht mehr der rasch zunehmenden Nutzung von Verbrauchsmitteln, die Nicht-50-Hz-Phänomene verursachen. Insbesondere ist festzuhalten:

1. Das in der Praxis auftretende Frequenzspektrum ist unendlich variabel denkbar.
2. Leitungs- und FI-Schutzschalter verändern ihre Auslösecharakteristik bei von 50 Hz abweichenden Frequenzen. Dadurch kann auch die vorgesehene Schutzfunktion beeinträchtigt werden.
3. Ströme anderer Frequenzen haben andere Wirkungen auf den Menschen. Der in der IEC 60479-1 dargestellten Kenntnisstand hinsichtlich der Einwirkungen ist für die heutige Situation nicht ausreichend, da er auf Untersuchungen bei 50 Hz beruht. Die Abhängigkeit der Gefährdung als Funktion der Einwirkungsdauer, Stromstärke **und** Frequenz wurde bisher noch nicht auf wissenschaftlich tragfähiger Basis bestimmt¹.

¹ In IEC 60479-2 ist der Einfluss von sinusförmigen Wechselströmen mit Frequenzen bis 1 kHz für die Gefahr des Herzkammerflimmerns und bis 10 kHz für die jeweiligen Grenzwerte bzgl. der Wahrnehmbarkeit und der Loslassgrenze mit Faktoren bezogen auf 50 Hz dargestellt. Diese Angaben beruhen auf einer geringen Anzahl experimenteller Untersuchungen und gelten für sinusförmige Wechselströme. Für Mischfrequenzen, wie sie z.B. nach Frequenzumrichtern entstehen können und von der Sinusform abweichende Ströme gibt es keine publizierten Werte.

4. Trotz einiger technischer Lösungen (wie etwa den so genannten FI-Schutzschaltern des Typs B) gibt es jedoch für viele heute anzutreffenden Fälle noch keine voll befriedigende Lösung.

Auf diese Situation könnte man theoretisch reagieren, indem Alternativen zum automatischen Abschalten, z.B. Schutztrennung, umgesetzt werden. Der notwendige Aufwand wäre allerdings wirtschaftlich nicht vertretbar.

3 Relevante Bestimmungen im Zusammenhang mit der Nutzung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

3.1 Bestehende Bestimmungen für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in Deutschland

Die Normen der Reihe DIN VDE 0100 behandeln Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen bis 1 kV. Für die Anwendung (Vorschriften bzw. Empfehlungen) von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen handelt es sich insbesondere um Teil 410 (Schutz gegen elektrischen Schlag), sowie verschiedene Teile der Serie 7XX, in denen zusätzliche Bestimmungen für Räume und Anlagen besonderer Art festgelegt werden.

Hervorzuheben ist, dass durch die Unfallverhütungsvorschrift BGV A2 in Verbindung mit der DIN VDE 0100 Teil 704 und der berufsgenossenschaftlichen Information BGI 608 jede Kleinbaustelle über einen Zusatzschutz verfügen muss. Allerdings sind einzelne Empfehlungen der BGI 608 nur durch ganz bestimmte portable Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zu erfüllen, die im Augenblick ausschließlich von einem Hersteller angeboten werden.

3.2 Unterschiede im Hinblick auf die Nutzung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in einigen Ländern Europas

Die Vorschriften für den Zusatzschutz sind national unterschiedlich, insbesondere in Österreich, aber auch in Frankreich und Italien gibt es strengere gesetzliche Vorgaben im Hinblick auf die Nutzung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in der festen Elektroinstallation.

Dem muss bei Erwägungen zur Reduzierung der bestehenden Gefährdungen Rechnung getragen werden. Denn das Ziel, mehr Sicherheit beim Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln zu erreichen, muss in wesentlichen Teilen durch unmittelbare Einwirkung auf Produktnormen für die Geräte erfolgen. Hier kann es jedoch keine nationalen Alleingänge geben, da der Bereich durch den europäischen Binnenmarkt vollständig harmonisiert ist.

Jede Maßnahme, die evtl. in der diesbezüglichen Produktnormung umgesetzt werden soll, wird von den einzelnen Staaten auf der Basis der dort vorherrschenden Situation der festen Elektroinstallationen bewertet werden.

4 Vorschläge der Arbeitsgruppe

4.1 Neue feste Elektroinstallationen

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe müssten alle festen Elektroinstallationen im Verteiler über eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (z.B. mit $I_{\Delta N} \leq 300 \text{ mA}$) verfügen, die jedoch noch nicht die Empfindlichkeit eines Zusatzschutzes hat; zudem müssten alle Steckdosen- und Lichtstromkreise jeweils mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$ geschützt sein; diese bieten den gewünschten Zusatzschutz, da gefährliche Fehlerströme $\geq 30 \text{ mA}$ rechtzeitig abgeschaltet werden.

4.2 Ortsveränderliche Geräte der Schutzklasse II

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe müssten einige am Netz betriebene Geräte der Schutzklasse II mit portablen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ($I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$) zur Schutzpegerhöhung ausgerüstet sein; darunter fallen:

- ortsveränderliche Nass- und Trockenschleifmaschinen,
- Kernbohrmaschinen,
- ortsveränderliche landwirtschaftliche Geräte,
- ortsveränderliche Gartengeräte,
- ortsveränderliche Hochdruckreiniger,
- ortsveränderliche Reinigungsgeräte,
- mit oder im Wasser funktionierende ortsveränderliche Pumpen.

Dabei muss die portable Fehlerstrom-Schutzeinrichtung einen möglichst großen Bereich der Anschlussleitung zur Stromversorgung mitschützen, d.h. möglichst nahe an der Versorgung (Stecker) positioniert sein.

4.3 Ortsveränderliche Geräte der Schutzklasse I

Nach Ansicht der Arbeitsgruppe ist eine Schutzpegelerhöhung bei all den Geräten der Schutzklasse I notwendig, die beim Betrieb in der Hand geführt werden oder auf Grund von Bauart, Nutzung und üblichem Einsatzbereich eine besondere Gefährdung darstellen (z.B. Leitungsroller, Betonmischmaschinen), denn:

- die Zuverlässigkeit des Komplexes Schutzleiter/Abschaltorgan ist kritisch, Anlagenfehler können zweifellos bestehen; diese Tatsache ist vom benutzten ortsveränderlichen Gerät unabhängig;
- in der Regel tritt ein Fehler während der Bedienung des Gerätes auf.

Nach Meinung der Arbeitsgruppe müssten diese Geräte der Schutzklasse I mit portablen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit geschaltetem Schutzleiter in Verkehr gebracht werden.

In jedem Fall müsste die portable Fehlerstrom-Schutzeinrichtung einen möglichst großen Bereich der Anschlussleitung zur Stromversorgung mitschützen, d.h. möglichst nahe an der Versorgung (Stecker) positioniert sein.

Die entsprechenden Prüfungsvorschriften für PRCDs sind vom zuständigen Komitee für Bauvorschriften für PRCDs (in Deutschland UK 541.3) zu erarbeiten.

Für diejenigen Geräte, die mit Fremdleitungen in Berührung kommen können (z.B. Kernbohrmaschinen, Bohrhämmer), sollten, so weit nicht bereits vorhanden, Arbeitsschutzvorschriften erlassen werden, die vorschreiben, diese Geräte nur in Verbindung mit PRCD mit Prüffunktion nach BGI 608 zu benutzen. Die Nutzung solcher PRCDs sollte vom Hersteller in jedem Falle in der Betriebsanleitung empfohlen werden.

4.4 Technische Gestaltung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in der festen Elektroinstallation

Erfahrungsgemäß werden elektrische Anlagen, Betriebsmittel und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht wie empfohlen vom Betreiber regelmäßig überprüft.

Im Falle einer defekten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung geht der Benutzer irrtümlich davon aus, dass diese voll funktionsfähig und er entsprechend geschützt ist.

Aus diesem Grunde sollten so schnell wie möglich technische Lösungen zur Reife gebracht und in der Normung verankert werden, die bisher notwendige organisatorische Maßnahmen überflüssig machen.

4.5 Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Nicht-50-Hertz-Bereich

Die bestehenden Rahmenbedingungen der Schutzgerätetechnik entsprechen nicht mehr der rasch zunehmenden Nutzung von Verbrauchsmitteln, die Nicht-50-Hz-Phänomene verursachen. Daher muss Grundlagenforschung zu den Auswirkungen von frequenzvariablen Strömen auf den Menschen vorangetrieben und finanziell unterstützt werden, da anderweitig keine sinnvolle Risikoanalyse möglich ist.

Auf Grund der Ergebnisse dieser Arbeiten müsste die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen überprüft und daraus Bauvorschriften für die Schutzschalt-Geräte abgeleitet werden. Des Weiteren wäre für die Begrenzung der Ableitströme von Frequenzumrichtern die Bestimmung von Grenzflächen notwendig, die die Funktion „Frequenz-Strom-Einwirkungsdauer“ darstellen. Denn zur Realisierung der bewährten Schutzmaßnahmen müssen die Betriebsmittel (z.B. Frequenzumrichter) den ordnungsgemäßen Einsatz und Betrieb der Schutzschaltgeräte ermöglichen.

4.6 Private Altanlagen

Elektrische Anlagen sollten auch im häuslichen Bereich dauerhaft in ordnungsgemäßem Zustand erhalten werden. Regelmäßige Prüfungen durch Elektrofachkräfte, wie sie im gewerblichen Bereich durchgeführt werden, würden auch hier zu mehr Sicherheit beitragen.

Daher empfiehlt es sich, Prüfungen an der gesamten elektrischen Anlage regelmäßig und im Falle von Mietwohnungen bei jeder Wohnungsübergabe an der jeweils betroffenen Anlage von Elektrofachkräften durchführen zu lassen. Diese verfügen über die Fachkenntnis, was die notwendigen, angemessenen Maßnahmen zur Behebung der Mängel betrifft.

Betroffene Ministerien, Verbände und Versicherungen können im Rahmen der ihnen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten aktiv Anreize zur Umsetzung und Förderung dieser Maßnahmen schaffen.

5 Weiterführende Literatur

Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, **1998** „Gefahren des elektrischen Stroms“

H. Zörneck, Schriftenreihe BAuA, **1990** „Ursachen tödlicher Stromunfälle bei Niederspannung“

M. Fischer, Schriftenreihe BAuA – Fb 880, **2000** „Untersuchung der Sicherheit an elektrischen Anlagen und Energieverbrauchsgeräten in landwirtschaftlichen Anwesen“