



Isolationsfehlerschutz, Voraussetzung für die Brandschadenverhütung in elektrischen Anlagen

Einleitung

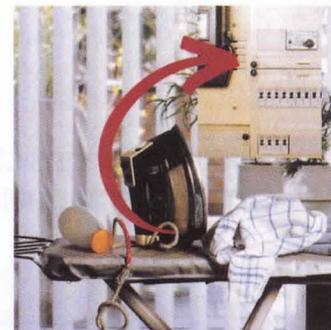
Die Schadenursachenstatistik der Versicherer wies noch bis vor etwa 10 Jahren 20 % aller Brände aus, die durch Elektrizität verursacht worden waren. 1994 lag der Anteil bei etwa 12 %. Es ist zu vermuten, daß sich dieser Prozentsatz bis heute nicht groß verändert hat. Diese Verbesserung ist zweifellos auf die in der Vergangenheit geleistete Brandschadenverhütungsarbeit zurückzuführen. Dazu gehört auch, daß vermehrt der Isolationsfehlerschutz durch Einsatz besonders sensibler Schutzgeräte wie Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen zum Tragen gekommen ist. Diese Schutzeinrichtungen erkennen bereits geringe Fehlerströme, die durch schadhafte Isolierungen, also durch Isolationsfehler verursacht werden und zu Bränden führen können und trennen die fehlerhafte elektrische Anlage vom Netz. In diesem Zusammenhang wird auf das Merkblatt zur Schadenverhütung VdS 2460 hingewiesen (Abb. 1).

Aufwendungen für Brandschäden durch Elektrizität

Diese Entwicklung ist für die in der Schadenverhütung tätigen Fachleute erfreulich. Sie kann aber allgemein immer noch nicht zufriedenstellend sein, denn die Aufwendungen für Brandschäden, die

Fehlerstrom-Schutzeinri

Merkblatt zur Schadenverhütung



triebsmittel
che für Unfä
der Isolieru
men, die sc
rungen entz
trischen Unf

Nur FI sind in
erfassen und
räte in Bruch

Wie funk

Ein Wasser
Darstellung

Wie im Wass
schen Strom
Kraft. Das fi
schen Strom
kreislauf er
schen Strort

Der FI überw
schen Strom
kreis sind d
(Leck!) ist d
strom (Fehl
Strom. Der F
tet den fehle

Obwohl Schutzmaßnahmen für den sicheren Umgang mit der Elektrizität in mehreren Regelwerken beschrieben und gefordert werden, sind jährlich über 100 tödliche Stromunfälle zu beklagen, wobei der häusliche Bereich besonders betroffen ist. Außerdem wird etwa jeder achte Brand durch Elektrizität verursacht.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, auch RCD¹, FI-Schutzschalter oder kurz FI genannt, können ganz

Abb. 1: VdS 2460 (Ausschnitt)

durch Elektrizität hervorgerufen werden, sind keineswegs in gleichem Maße zurückgegangen. Im Gegenteil, sie sind noch weiter gestiegen. Gründe für diese Entwicklung sind die ständige Zunahme elektrischer Betriebsmittel (Abb. 2), die immer weiter voranschreitende Kompaktbauweise und die Bestückung elektrischer Betriebsmittel mit überspannungsempfindlichen elektronischen Bauelementen. Weiterhin ist eine steigende Konzentration von Sachwerten in den Gebäuden, die bei einem Brand zerstört werden können, festzustellen. Sogenannte Millionenbrände sind die Folge. Die Schadensumme, die von den Versicherern jährlich für Schäden durch Elektrizität aufgebracht werden muß, dürfte in der Feuerversicherung bei etwas mehr als 20 % des Gesamtschadens liegen. Werden die nicht versicherten Risiken und Objekte und die nicht brandbedingten Sachschäden hinzugezählt, erhöht sich

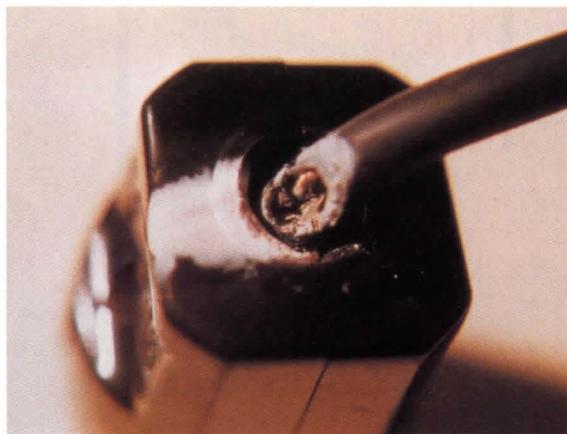


Abb. 2:
Eine durch mechanische Beanspruchung verursachte brandgefährliche Schädigung an der Anschlußleitung eines elektrischen Gerätes, das zu Millionen genutzt wird.

für elektrisch verursachte Brände die Gesamtschadensumme noch beträchtlich. In diesem Zusammenhang muß auch darauf hingewiesen werden, daß der entstandene Schaden die Vernichtung von Volksvermögen bedeutet.

Brandfolgewirkungen

Bemerkenswert ist, daß in der Regel die Brandfolgewirkungen wie Rauch sowie korrosive und toxische Brandgase zu einer drastischen Schadenerhöhung beitragen (**Abb. 3**). So ist es z.B. vorgekommen, daß ein Schwelbrand an einer PVC-Leitung so gut wie keinen Abbrand, jedoch einen immensen Folgeschaden durch Rauch verursacht hat. Eine relativ geringe Menge Rauchgas war durch die Gebäudehohlräume wie Zwischendecken, Installationsschächte und die Klimaanlage in mehrere Stockwerke gelangt. Die in diesem Geschäftshaus ausgestellten hochwertigen Polstermöbel konnten wegen des angenommenen Rauchgasgeruches nicht mehr verkauft werden.

Die Folge: Totalschaden!

Dies ist nur ein Beispiel für viele ähnliche Brandereignisse, die sogar kostspielige Sanierungsarbeiten zum Erhalt des Gebäudes erforderlich machten. Und nicht zu vergessen: Brandschutz ist auch Personenschutz! Die indirekt durch Brandeinwirkung entstandenen Personenschäden sind zwar nicht genau zu ermitteln, dürfen aber nicht unterschätzt werden. Es ist kein Einzelfall, wenn der Brandschaden selbst kaum in's Gewicht fällt, aber Personenschäden oder gar Menschenleben zu beklagen sind.

Ein konsequent realisierter Isolationsfehlerschutz würde sowohl die Brandereignisse als auch die Schadenersatzleistungen und insbesondere die Personenschäden reduzieren. Abschließend soll nicht unerwähnt bleiben, daß mit Isolationsfehlerschutz gleichzeitig ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz geleistet wird.

Schäden durch Blitz- und Überspannungseinwirkung

Festzustellen ist weiterhin, daß in der Schadenursachen-Statistik der Versicherer zusätzlich zu den vorstehend genannten Schäden solche durch Blitz- und Überspannungseinwirkung in der Größenordnung von mehr als 40 % registriert

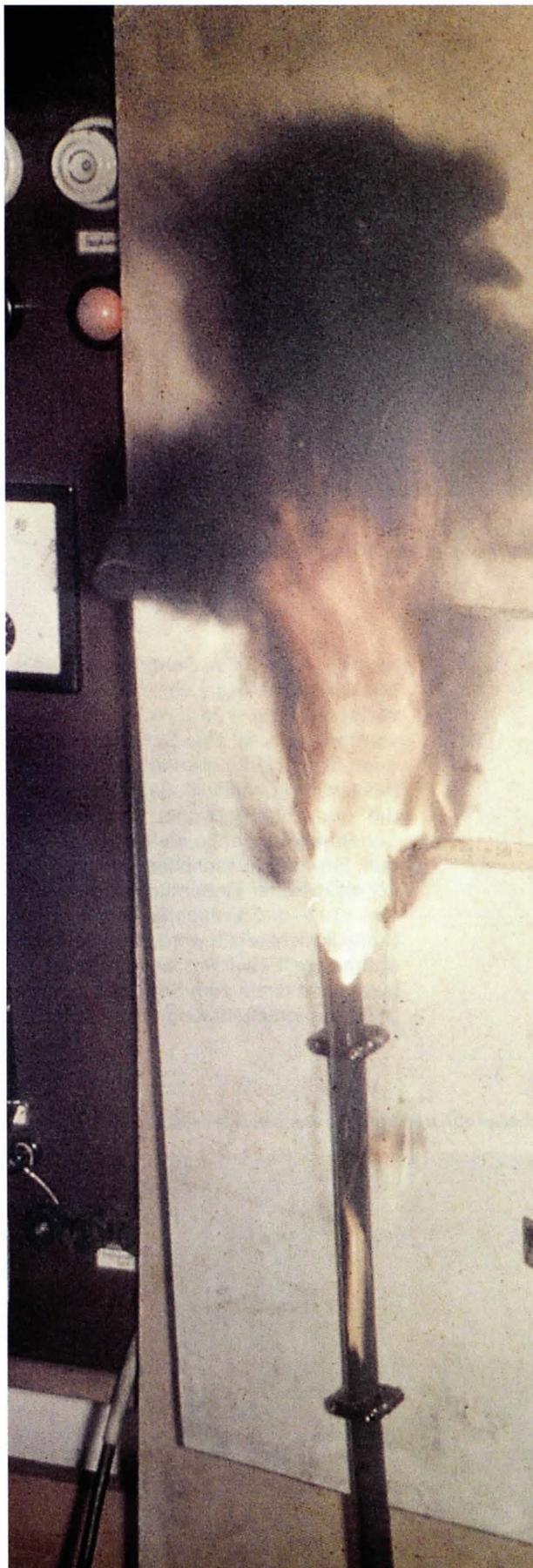


Abb. 3
Rauch trägt im Brandfall im beträchtlichen Schadenerhöhung bei. Bereits wenige Zentimeter einer elektrischen Leitung verursachen erhebliche Mengen Rauch.



Abb. 4: Gewitterblitze verursachen Schäden an elektrischen Anlagen durch dynamische Kräfte und/oder Überschläge/Überspannung.

werden. Auch diese Schäden sind letztlich durch Elektrizität verursacht worden, selbst wenn sie nicht als solche deklariert werden (**Abb. 4**). Das Schadenaufkommen durch Überspannung ist jedoch tatsächlich noch höher, da die Ereignisse, die durch betriebliche Vorgänge wie Schalthandlungen in elektrischen Anlagen, Ein- und Ausschalten leistungsstarker elektrischer Einrichtungen wie Motoren, Kurz- und Erdschlüssen, in dieser Statistik nicht erfaßt werden. Oft führt das erstmalige Einwirken einer Überspannung nicht direkt zum Schaden, sondern „nur“ zur Vorschädigung der elektrischen

Isolierung. Erst bei weiteren gleichartigen Vorgängen kommt es dann, aufgrund der reduzierten Isoliereigenschaften, zu deren Entzündung. Zur Vorbeugung von Schäden an elektrischen Isolierungen durch Blitz- und Überspannungseinwirkung sind auch besondere Schutzeinrichtungen notwendig.

Zusammengefaßt nehmen die vorstehend aufgezeigten Brandereignisse mit insgesamt mehr als 50 % die Spitzenposition in der Schadenursachen-Statistik der Versicherer ein. Und bei einem Großteil dieser Schäden sind letztlich immer Isolationsfehler die eigentliche Ursache für die Brandentstehung. Brandschäden durch Blitzeinwirkung und Überspannung sind ausnahmslos auf Isolationsfehler zurückzuführen.

Nachfolgend sollen die Zusammenhänge der Problematik „Isolationsfehler“ und mögliche Isolationsfehler-Schutzmaßnahmen näher beleuchtet werden. In diesem ersten Beitrag werden die Brandgefahren bzw. Brandursachen und mögliche allgemeine Schutzvorkehrungen sowie die Vorgänge an einer Isolationsfehlerstelle behandelt. In weiteren Folgebeiträgen werden dann die Bedingungen in elektrischen Anlagen, wie sie sich heute darstellen, erläutert und die Schutzvorkehrungen für einen wirkungsvollen Brandschutz durch Isolationsfehlerschutz im Einzelnen besprochen.

Brandgefahren, Brandursachen und Schutzvorkehrungen allgemein

Abb. 5: Brandschaden durch eine lockere Klemme an einem Stecker.



Eine der Eigenschaften des elektrischen Stromes ist die Wärmeerzeugung. Diese ist entweder gewollt (Nutzwärme) oder sie entsteht ungewollt (Verlustwärme). Die in einer elektrischen Anlage aufgrund des Stromflusses entstehende Verlustwärme ist bei bestimmungsgemäßem Betrieb unproblematisch. Dagegen muß im Fehlerfall, z. B. durch eine lockere Klemme (**Abb. 5**), oder bei Stromüberlastung in einem Kabel, in einer elektrischen Leitung (**Abb. 6**) oder in einem elektrischen Gerät, mit einer Verlustwärme gerechnet werden, die die elektrische Isolierung brandgefährlich schädigt. Brandgefährliche Schädigungen an Isolierungen entstehen zudem durch andere, weitere Einflüsse,

wie beispielsweise mechanische Beanspruchung. Verlustwärme entsteht aber nicht nur bei technischen Defekten, sondern auch bei nicht bestimmungsgemäßer Nutzung elektrischer Einrichtungen.

Aus Sicht der Brandschadenverhütung ist besonders die Zündtemperatur der verwendeten brennbaren Materialien von besonderem Interesse. Bedenkt man, daß die in der Elektrotechnik verwendeten Isolierstoffe nur mit wenigen Ausnahmen organischer Natur (Kunststoffe) und daher brennbar sind, und daß der Sauerstoff (Luft-Sauerstoff) permanent und in unerschöpflicher Menge vorhanden ist, sind neben der elektrischen Energie alle zu einer Verbrennung (Oxydation) erforderlichen Komponenten vorhanden.

In der Brandschadenverhütung muß es deshalb darum gehen

- ▶ das Erreichen der Zündtemperatur der verwendeten brennbaren Materialien zu verhindern (Minimierung von Isolationsfehlern)
- ▶ einen brandgefährlichen Zustand zu erkennen und die Zufuhr der elektrischen Energie abzuschalten und
- ▶ Isolierstoffe mit möglichst hoher thermischer Belastbarkeit sowie Kriechstromfestigkeit und ausreichendem Brandverhalten zu verwenden, da technische Fehler nicht ausgeschlossen werden können und die Brandausweitung in Grenzen zu halten ist.

Zur Minimierung der Gefahr von Isolationsfehlern müssen elektrische Betriebsmittel so sicher wie möglich konstruiert, richtig ausgewählt, sorgfältig errichtet und in ordnungsgemäßem Zustand erhalten werden. Hierzu gehören insbesondere:

- ▶ das vorschriftsmäßige Befestigen von Kabeln und elektrischen Leitungen

- ▶ das Einhalten der zulässigen Biege radien von Kabeln und elektrischen Leitungen
- ▶ die Beachtung der Verlegezonen für Kabel und elektrische Leitungen
- ▶ das Mitführen des Schutzleiters in allen Kabeln und elektrischen Leitungen
- ▶ die Anwendung von Zugentlastungsvorrichtungen
- ▶ der Gehäuseschutz (ausreichender IP-Schutzgrad)
- ▶ gegebenenfalls Maßnahmen zum Blitz- und Überspannungsschutz und
- ▶ die bestimmungsgemäße Nutzung der elektrischen Einrichtungen.

Ein ausreichender IP-Schutzgrad für Gehäuse elektrischer Betriebsmittel ist unbedingt erforderlich, um das Eindrin-



Abb. 6: Durch Überstrom thermisch zerstörte elektrische Leitung.



gen gefährlicher Mengen Fremdstoffe wie Staub oder Feuchte zu verhindern und so die geforderten Kriech- und Luftstrecken nicht brandgefährlich zu beeinträchtigen. Die Praxiserfahrungen zeigen, daß insbesondere Beschädigungen von elektrischen Betriebsmitteln ein Hauptmangel sind (**Abb. 7**). Nur regelmäßige Anlagenüberprüfungen können hier Abhilfe schaffen. Dies trifft besonders für Bereiche mit rauhem Betrieb zu.

richtiges Aufstellen, z.B. von Fernsehgeräten.

- ▶ Beachtung der vom Hersteller angegebenen maximalen Lampenleistung.
- ▶ Abdecken von Leuchten, Heizöfen, Fernsehgeräten vermeiden.
- ▶ Zustellen der Luftaustrittsöffnungen von elektrischen Heizgeräten, z.B. Speicherheizgeräte, verhindern.



Abb. 7: Beschädigte elektrische Betriebsmittel können den erforderlichen IP-Schutz aufheben und Lichtbogen – Brände durch Beeinträchtigung der Luft- und Kriechstrecken verursachen.

Hinsichtlich der bestimmungsgemäßen Nutzung elektrischer Einrichtungen wird im Wesentlichen auf folgende Erfordernisse hingewiesen:

- ▶ Einhaltung von Sicherheitsabständen zu brennbaren Materialien, z. B. bei Verwendung von Heizgeräten.
- ▶ Auswahl geeigneter elektrischer Betriebsmittel bei Montage auf brennbarer Unterlage, z. B. F- Leuchten.
- ▶ Vermeidung von Wärmestaus durch regelmäßige Reinigung und durch
- ▶ Schutz gegen unzulässige äußere Einflüsse, wie mechanische Beanspruchungen von Kabeln und elektrischen Leitungen.
- ▶ Errichtung einer ausreichenden Anzahl von Steckdosen in der festen elektrischen Anlage.
- ▶ Zusammenstecken mehrerer Mehrfach-Steckdosen (Tischsteckdosen) und Provisorien unterlassen
- ▶ Elektrische Geräte nie ohne Studium der Gebrauchsanweisung in Betrieb setzen.

- ▶ Auf den bestimmungsgemäßen vom Hersteller vorgegebenen Betriebsort achten.
- ▶ Beachtung sonstiger Sicherheitshinweise des Herstellers.
- ▶ Elektrische Geräte wie Fernsehgeräte, Personalcomputer, Heizlüfter, und sonstige mobile, elektrische Geräte im Betrieb nicht unbeaufsichtigt lassen.
- ▶ Kinder und Tiere von elektrischen Einrichtungen fernhalten.
- ▶ Elektrische Geräte pfleglich behandeln.
- ▶ Bei Beschädigungen, ungewohnten Geräuschen, brenzlichem Geruch unverzüglich die elektrischen Geräte mittels Geräteschalter ausschalten oder den zugehörigen Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) oder Fehlerstromschutzschalter im elektrischen Verteiler (Zählerschrank) auslösen. Überprüfung von einer Elektro-Fachkraft vornehmen lassen.
- ▶ Wenn immer möglich, mobile elektrische Geräte nach Gebrauch durch Ziehen des Steckers von der Stromzufuhr trennen.
- ▶ Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in regelmäßigen Zeitabständen durch Betätigen der Prüftaste auf ihre Funktion überprüfen.
- ▶ Gerätemontage und -reparatur nur durch Elektro-Fachkräfte durchführen lassen.
- ▶ Elektrische Geräte und Anlagen von Zeit zu Zeit von einer Elektro-Fachkraft überprüfen lassen.

Leider wird der Brandschutz bei Isolationsfehlern in den Normen nur für wenige elektrische Anlagen gefordert, z. B. in feuergefährdeten Betriebsstätten oder in Gebäuden aus vorwiegend brennbaren Baustoffen. Nur hier wird der Tatsache Rechnung getragen, daß bereits geringe Fehlerströme (mA-Bereich) zu Bränden führen können. Es werden deshalb besondere Schutzeinrichtungen gefordert.

Überstrom-Schutzeinrichtungen wie Sicherungen oder Leitungsschutzschalter, die heute noch in vielen elektrischen

Anlagen die einzigen Schutzorgane sind, sind hierfür ungeeignet. Sie lösen überhaupt erst in einer definierten Zeit aus, wenn ihr Bemessungsstrom (Nennstrom) erheblich (1,45-fach) überschritten wird. In Endstromkreisen beträgt der Bemessungsstrom für Überstrom-Schutzeinrichtungen im allgemeinen 16 A. Die Abschaltung durch ein solches Schutzorgan ist demnach erst bei einem Fehlerstrom von mehr als 23 A überhaupt möglich. Die nach Norm zulässige Auslösezeit darf dann bis zu einer Stunde betragen. Dies zeigt ganz deutlich, daß Überstrom-Schutzeinrichtungen allein nicht für den Brandschutz in elektrischen Anlagen geeignet sind.

Erforderlich sind Schutzeinrichtungen, die Fehlerströme mindestens ab 300 mA erkennen und unterbrechen. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, auch FI genannt, erfüllen diese Anforderung und können bis auf wenige Anwendungsfälle in elektrischen Anlagen mit relativ geringen Kosten eingesetzt und auch nachträglich in bestehende Anlagen integriert werden.

Isolationsfehlerstellen

Dies sind schadhafte Stellen an elektrischen Isolierungen (**Abb. 8**). Die Gefährlichkeit einer Isolationsfehlerstelle hinsichtlich des Brandrisikos ist abhängig von der

- ▶ Größe der Fehlerleistung/Verlustleistung und deren
- ▶ Einwirkzeit auf die Isolierung und andere brennbare Stoffe in unmittelbarer Nähe der Fehlerstelle.

Die Verlustleistung an der Fehlerstelle wird von deren Widerstand und dem Strom, der über die Fehlerstelle fließt, bestimmt. Der Widerstand an der Fehlerstelle kann starken Schwankungen unterliegen. Sie hängen hauptsächlich von der Art des Isolierwerkstoffes sowie von den auf die Fehlerstelle einwirkenden äußeren Einflüssen ab. Staub und Feuchte, aber auch mechanische, thermische



Strom- und Spannungsbelastungen sind bedeutende Faktoren. Die Fehlerstelle kann aufgrund dieser Verhältnisse zeitweise austrocknen, dadurch den Fehlerstrom unterbrechen und deshalb der fehlerhafte Zustand relativ lange andauern. Mehrere Stunden, Tage, Wochen, Monate oder sogar Jahre sind möglich.

Besondere Bedeutung erlangt in diesem Zusammenhang der elektrische Lichtbogen, der oft an einer Isolationsfehlerstelle aufgrund kurzzeitiger Unterbrechungen im Stromweg auftritt und einen relativ hohen Spannungsfall im Fehlerstromkreis verursacht. Die so nochmals reduzierte treibende Netz-Spannung (etwa 50 Volt je Lichtbogen) verhindert die Auslösung der Überstrom-Schutzeinrichtungen.

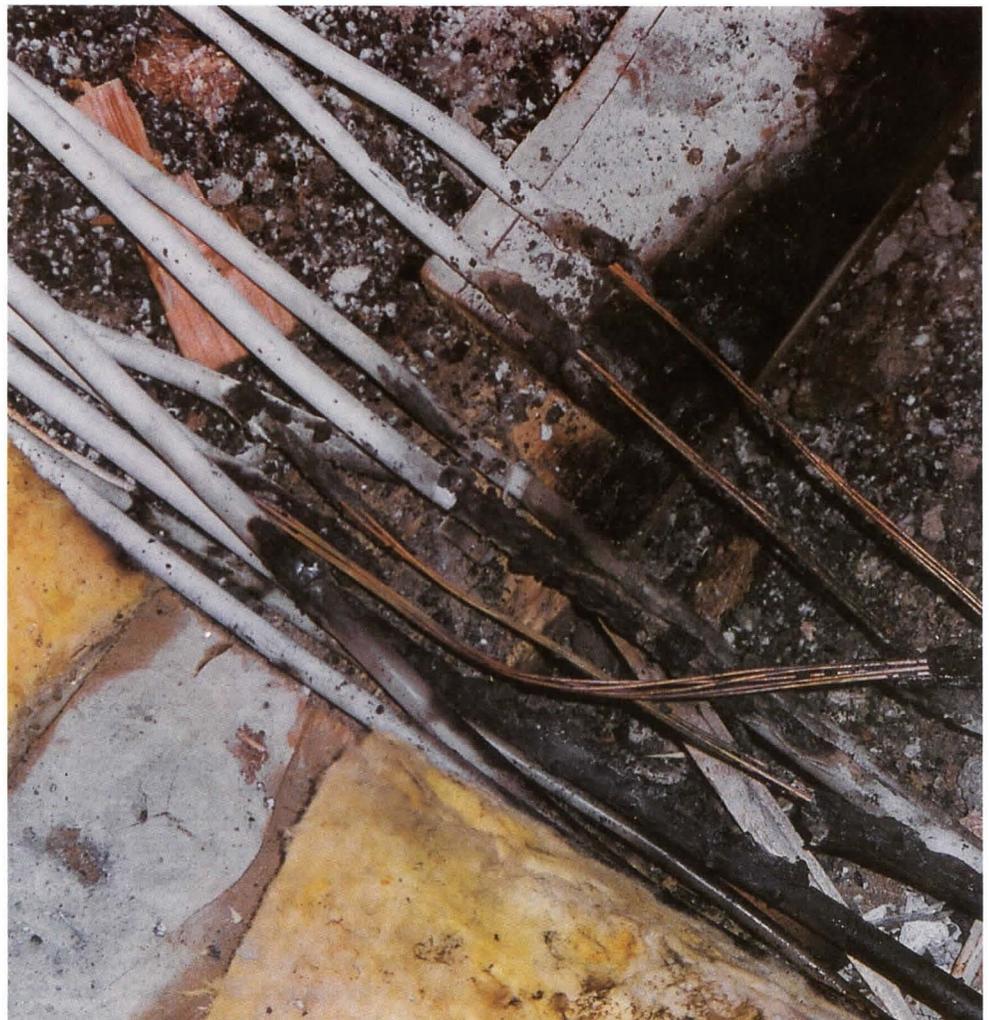
Fehlerströme können auftreten zwischen

- einem aktiven Leiter und dem Körper/Gehäuse eines elektrischen Betriebsmittels bzw. des Schutzleiters (PE) oder eines fremden leitfähigen Teiles
- zwei aktiven Leitern.

Aktive Leiter sind die Außenleiter (L₁, L₂, L₃) und der Neutraleiter (N).

Der Schutz bei indirektem Berühren nach DIN VDE 0100 - 410 und der Schutz bei

Abb. 8: Typischer Brandschaden durch Isolationsfehler an einer elektrischen Kabel/Leitungsanlage verursacht durch Nageleinschlag.



Kurzschluß nach DIN VDE 0100 - 430 erfolgt unter der Annahme, daß der auftretende Fehlerstrom unbeeinflusst ist, d.h. an der Fehlerstelle wird der Fehlerwiderstand mit 0Ω angenommen. Die vorgeschalteten Überstrom-Schutzorgane würden in einem solchen Fall sofort

chender Wärmeabfuhr zur Entzündung brennbarer Stoffe führen.

Im allgemeinen wird der Isolationsfehlerschutz in netzspannungsbetriebenen Anlagen gewährleistet, wenn Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem

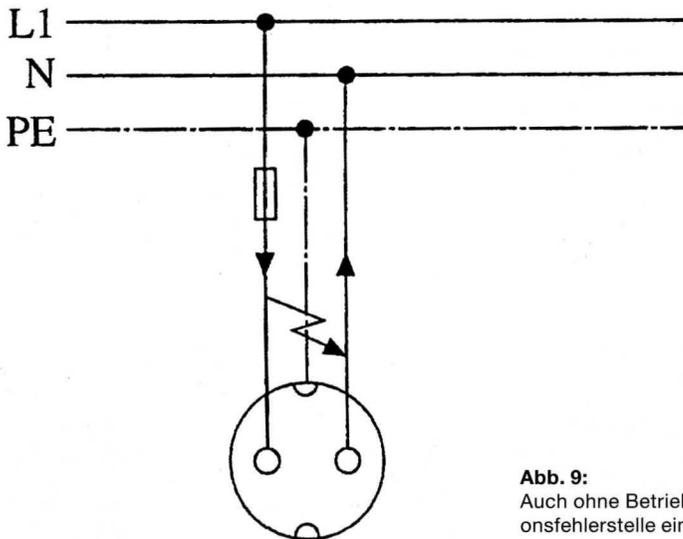


Abb. 9: Auch ohne Betriebsstrom kann durch eine Isolationsfehlerstelle ein Brand entstehen.

auslösen und die Spannungsversorgung der Fehlerstelle unterbrechen. Dann bestünde natürlich keine Brandgefahr. Tatsächlich ist an Fehlerstellen jedoch oft ein Übergangswiderstand vorhanden, so daß es sich nach Norm um eine theoretische, idealisierte Annahme handelt. Die reale Abschaltzeit von Überstrom-Schutzeinrichtungen kann nicht exakt bestimmt werden. Vorschädigungen an Isolierungen können nicht ausgeschlossen werden, selbst wenn die Schutzorgane auslösen.

Ist der Fehlerwiderstand an der Fehlerstelle $> 0 \Omega$ kann durch den Stromfluß eine gefährliche Erwärmung auftreten, wenn die sofortige Abschaltung unterbleibt. Eine gefährliche Fehlerleistung bei Isolationsfehlern ist die Leistung, die brennbare Materialien wie Bau- und Werkstoffe, Stäube und Fasern entzünden kann. Fehlerleistungen ab etwa 60 W werden im allgemeinen als brandgefährlich angesehen. Jedoch können auch kleinere Verlustleistungen bei unzurei-

Bemessungsdifferenzstrom (früher Nennfehlerstrom) $I_{\Delta N} \leq 300 \text{ mA}$ zum Einsatz kommen (**Abb. 1**), was einer möglichen Verlustleistung an der Fehlerstelle in der Größenordnung von 60 W entspricht.

Eine Besonderheit muß Isolationsfehlerstellen zugeschrieben werden: Von ihnen geht auch ohne Betriebsstrom Gefahr aus. Es genügt, wenn die elektrische Spannung ansteht (**Abb. 9**). Nicht selten nahm ein Brand seinen Ausgang zu der Zeit, in der die elektrische Anlage stromlos war und nicht beaufsichtigt wurde, z. B. zur Nachtzeit. Die wirksamste Verhütungsmaßnahme in solchen Fällen ist die vorherige Abschaltung, die Trennung des elektrischen Stromkreises bzw. der elektrischen Geräte vom Netz.

Dipl.-Ing. A. Hochbaum,
GDV-Büro Schadenverhütung,
Köln