# Schutz von Personen beim Umgang mit elektrischen Anlagen und Geräten

Dipl.-Ing. Hartmut Zander

## 1. Sichere Anwendung der Elektrizität

Der Umgang mit elektrischer Energie ist heute selbstverständlich geworden. Die Elektrizität ist aus vielen Bereichen des täglichen Lebens nicht mehr wegzudenken. Dies hängt sicherlich auch damit zusammen, daß bei Nutzung der elektrischen Energie das Risiko einer Personengefährdung vergleichsweise gering ist.

Im Jahr 1989 starben nach Angaben des statistischen Bundesamtes 121 Menschen durch elektrischen Strom. In den weitaus meisten Fällen war leichtsinniger Umgang mit elektrischen Anlagen oder Geräten die Ursache. Wenn auch in den letzten Jahren eine leichte Zunahme dieser Unfallzahl zu verzeichnen ist, so darf doch nicht übersehen werden, daß 1970 die Zahl der durch elektrischen Strom tödlich Verunglückten noch mehr als doppelt so hoch war.

Der Schluß liegt nahe, daß in den zurückliegenden Jahren die Sicherheitsmaßnahmen entscheidend verbessert wurden. Dies ist Grund genug, das zur Zeit bestehende Konzept des Schutzes von Personen bei Umgang mit elektrischen Anlagen und Geräten zu erläutern.

# 2.Elektrischer Strom und menschlicher Körper

Unsere Lebensfunktionen, jede Muskelbewegung, werden durch körpereigene, kleinste elektrische Ströme gesteuert. Eine Überlagerung dieser "Steuerströme" mit erheblich stärkeren, von außen einwirkenden Strömen führt zu Fehlfunktionen, die sich beispielsweise durch Muskelverkrampfung zeigen. Das Herz mit seinem eigenen Steuerungssystem reagiert auf externe elektrische Ströme besonders empfindlich. Es kann zu Herzkammerflimmern kommen.

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Vier seien hier genannt:

Dipl.-Ing. Hartmut Zander Berliner Kraft- und Licht (Bewag)-Aktiengesellschaft Abteilung Anwendungstechnik

- Die Stromstärke,
- die Einwirkungsdauer des Stromes,
- die Frequenz des Stromes und
- der Stromweg durch den Körper.

Den Grad der Körpergefährdung, abhängig von der Stromstärke und Einwirkungsdauer, verdeutlichen die sogenannten Zeit-Strom-Gefährdungsbereiche (Bild 1). Sie wurden in der IEC 64(Secretariat)353 in Ergänzung zur Publikation 478 veröffentlicht und bildeten die Grundlage für das im Deutschen Normenwerk in DIN VDE 0100 Teil 410 veröffentlichte Schutzkonzept.

Der Grad der Körpergefährdung wird durch vier Bereiche beschrieben:

#### Bereich 1

Körperströme werden im allgemeinen nicht wahrgenommen. Eine Gefährdung besteht nicht.

### Bereich 2

Körperströme können durchaus Muskelreizungen hervorrufen, die aber im allgemeinen keine schädigende Wirkung zeigen. Die Loslaßschwelle zeigt einen Zusammenhang zwischen Stromstärke und Einwirkungsdauer.

## Bereich 3

Im allgemeinen tritt kein organischer Schaden auf. Bei länger andauernden Körperdurchströmungen (> 10 s) mit Strömen oberhalb der Loslaßschwelle können starke Muskelverkrampfungen bis hin zu Atembeschwerden und unregelmäßigem Herzschlag auftreten.

#### Bereich 4

Liegen Körperstrom und Einwirkungsdauer in diesem Bereich, so ist eine tödliche Wirkung des elektrischen Stromes aufgrund von Herzkammerflimmern wahrscheinlich.

Diese Zeit-Strom-Gefährdungsbereiche gelten für Erwachsene bei einer Kör-

perdurchströmung mit einem 50-Hz-Wechselstrom von der linken Hand zu beiden Füßen.

Für Gleichströme sind die Gefährdungsbereiche anders aufgeteilt. Es liegen hier die Wahrnehmbarkeitsschwelle bei 2 mA und die Flimmerschwelle bei etwa 130 mA.

## 3. Berührungsspannung

Die vom Menschen überbrückte Spannung, die Berührungsspannung, treibt einen Strom durch den menschlichen Körper. Nach dem "Ohm'schen Gesetz" wird die Höhe dieses Stromes durch den Innenwiderstand des Menschen, seine Impedanz, bestimmt.

Diese Körperimpedanz kann sehr unterschiedlich sein. Sie wird bestimmt vom Weg des Stromes durch den Körper, vom Zustand der Haut, von der Höhe der überbrückten Spannung und ist zudem von Person zu Person großer Streuung unterworfen.

Im Mittel kann ein Körperwiderstand von etwa  $1300\,\Omega$  beim Stromweg eine Hand zu beiden Füßen angenommen werden.

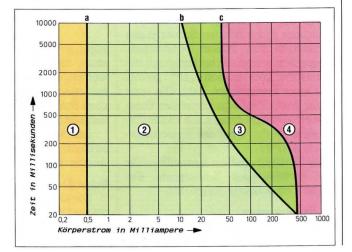
Die Zeit-Strom-Gefährdungsbereiche zeigen, daß mit tödlichem Herzkammerflimmern bei Körperstromstärken von mehr als 40 mA über einen längeren Zeitraum zu rechnen ist (Flimmerschwelle). Aus dem gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Körperimpedanz  $(Z_k)$ , Körperstrom  $(I_k)$  und Berührungsspannung  $(U_b)$  ergibt sich die letztgenannte zu:

$$U_b = Z_k \cdot I_k = 1300 \Omega \cdot 0.04 A = 52 V$$

Die Überbrückung einer Spannung bis zu dieser Größe würde unter norma-

Bild 1
Zeit-StromGefährdungsbereiche für
Erwachsene
bei Stromweg
linke Hand
zu beiden
Füßen

- a) Wahrnehmbarkeitsschwelle
- b) Loslaßschwelle
- c) Flimmerschwelle



len Umständen mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht tödlich verlaufen.

Der Wert von 50 V einer Wechselspannung wurde deshalb als dauernd zulässige Berührungsspannung in der bereits erwähnten Norm DIN VDE 0100 Teil 410 vereinbart. Für andere Umgebungsbedingungen oder Gefährdungsrisiken, z. B. bei Kindern oder Nutztieren oder zu erwartendem geringen Hautwiderstand, wurden andere, geringere Werte für die dauernd zulässige Berührungsspannung vereinbart (Tabelle 1).

## 4. Das Konzept des Elektroschutzes

Das Konzept zum Schutz von Personen beim Umgang mit elektrischen Anlagen und Geräten basiert auf folgender Grundidee:

Zunächst müssen elektrische Verbrauchsgeräte und Anlagen so ausgeführt sein, daß ein ungewolltes Berühren unter Spannung stehender Teile, der aktiven Teile, nicht möglich ist. Sollte diese Basismaßnahme versagen, müssen Maßnahmen wirksam werden, die ein Fließen gefährlicher Körperströme verhindern. Schließlich soll in besonderen Fällen auch zusätzlich Schutz bestehen, wenn aktive Teile unter Umgehung der Basismaßnahme gewollt berührt werden oder wenn Schutzmaßnahmen aufgrund von Fehlern nicht wirksam sein können.

Dieses dreistufige Schutzkonzept besteht sowohl für den Geräte- als auch den Anlagenschutz. Die zu jeder Schutzstufe gehörenden Maßnahmen zeigt Tabelle 2.

## 5. Geräteschutz

## 5.1 Schutzarten

Die Qualität des Basisschutzes wird beschrieben durch die Angabe der Schutzart. In DIN 40 050 sind Schutzarten für den Berührungs- und Fremdkörperschutz sowie für den Schutz gegen Eindringen von Wasser beschrieben. Angegeben wird die Schutzart durch die Buchstabenkombination "IP"; gefolgt von einer zweistelligen Zahl. Die erste Ziffer dieser Zahl bezeichnet den Grad des Berührungsschutzes, die zweite Ziffer steht für den Grad des Wasserschutzes, z. B. IP 23.

In Tabelle 3 sind die Kennziffern für die verschiedenen Schutzgrade des Berührungsschutzes aufgeführt.

## 5.2 Schutzklassen

Versagt die Basisschutzmaßnahme, z.B. nach Beschädigung einer Abdek-

Tabelle 1 Werte einiger zulässiger Berührungsspannungen

Berührungs- spannung	Anwendung	
120 V	dauernd zulässige Berührungsspannung in Gleichstromnetzen	
50 V	dauernd zulässige Berührungsspannung in 50-Hz-Wechselstromnetzen	
25 V	dauernd zulässige Berührungsspannung für Nutztiere in landwirtschaftlichen Betrieben	
25 V	höchstzulässige Betriebsspannung für elektrisches Kinderspielzeug	
12 V	höchstzulässige Betriebsspannung für Verbrauchsgeräte, die in Badewannen und Duschtassen betrieben werden dürfen	
6V	höchstzulässige Betriebsspannung für medizinische Geräte zur Behandlung innerhalb des menschlichen Körpers	

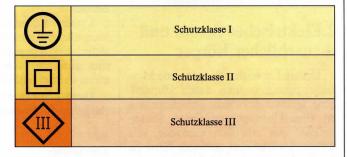
Tabelle 2 Aufbau des Schutzkonzeptes

Stufe	Bezeichnung	Geräteschutz	Anlagenschutz
		Der geforderte Schutz wird realisiert durch Anwenden einer beliebigen oder vorgeschriebenen:	
1	Basisschutz	Schutzart	Maßnahme zum Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile
2	Fehlerschutz	Schutzklasse	Maßnahme zum Schutz bei indirektem Berühren aktiver Teile
3	Zusatzschutz	Fehlerstromschutzeinrichtung mit Nennfehlerstrom ≤ 30 mA zum Schutz bei direktem Berühren aktiver Teile	

Tabelle 3 Berührungsschutzgrade nach DIN 40 050

Erste Kennziffer	Schutzgrad
0	Kein besonderer Schutz
1	Kein Schutz gegen absichtlichen Zugang, z.B. mit der Hand, jedoch Fernhalten größerer Körperflächen
2	Fernhalten von Fingern oder ähnlichen Gegenständen
3	Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 2,5 mm
4	Fernhalten von Werkzeugen, Drähten oder ähnlichem von einer Dicke größer als 1 mm
5	Vollständiger Berührungsschutz
6	Vollständiger Berührungsschutz

Tabelle 4 Symbole für Schutzklassen



kung, so muß durch die zweite Schutzstufe, den Fehlerschutz, sichergestellt werden, daß bei Gebrauch des Gerätes keine nach Zeitdauer und Stärke gefährlichen Ströme durch den Menschen fließen können

Die Schutzklassen beschreiben die Maßnahmen, die in diesem Fall wirksam werden. Es sind dies:

## Schutzklasse I:

Die aktiven Teile des Verbrauchsgerätes sind durch die Basisisolierung gegen direktes Berühren geschützt. Zusätzlich besteht eine äußere Umhüllung aus leitfähigem Material, die an einen besonderen Leiter, den Schutzleiter, angeschlossen ist. Durch diesen Schutzleiter wird bei Versagen der Basisisolierung eine in der elektrischen Anlage vorhandene Maßnahme zum Schutz bei indirektem Berühren (hierzu Abschnitt 6.2.2) wirksam.

## Schutzklasse II:

Die aktiven Teile des Verbrauchsgerätes sind durch die Basisisolierung gegen direktes Berühren geschützt. Zusätzlich besteht eine zweite, durchgehende Isolierhülle, die bei Versagen der Basisisolie-

adenprisma 1/93

3

rung den Schutz gegen direktes Berühren übernimmt. Basis- und Zusatzisolierung dürfen auch als gemeinsame verstärkte Isolierung ausgeführt sein. Die Verbrauchsgeräte besitzen keinen Schutzleiteranschluß.

### Schutzklasse III:

Der Schutz gegen gefährliche Körperströme wird dadurch sichergestellt, daß das Verbrauchsgerät mit einer Spannung betrieben wird, die maximal der vereinbarten Berührungsspannung entspricht (z. B. 50 V).

Jede dieser Schutzklassen wird durch ein Symbol gekennzeichnet, daß auf dem Gerätegehäuse angebracht ist (Tabelle 4).

## 6. Anlagenschutz

## 6.1 Maßnahmen zum Schutz gegen direktes Berühren

Die Basis-Schutzmaßnahmen als 1. Schutzstufe verhindern bei gebrauchsgerechter Nutzung elektrischer Anlagen das ungewollte Berühren aktiver Teile. Es besteht Schutz gegen direktes Berühren

Solche Maßnahmen sind:

- Das Isolieren aktiver Teile,
- das Abdecken oder Umhüllen aktiver Teile,
- das Aufstellen oder Anbringen von Hindernissen vor aktiven Teilen und
- das Schaffen von Abstand zu aktiven Teilen.

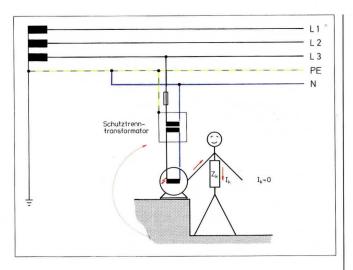
Während durch die beiden erstgenann-Maßnahmen ein vollständiger Schutz gegen direktes Berühren erreicht wird, z.B. dadurch, daß die Isolierung nur durch Zerstörung zu entfernen ist oder Abdeckungen und Umhüllungen einer bestimmten Schutzart entsprechen und nur mit Werkzeug zu entfernen sind, bieten die beiden letztgenannten Maßnahmen nur einen teilweisen Schutz gegen direktes Berühren. Sie sind deshalb nur dort anwendbar, wo Elektrofachkräfte vor dem zufälligen Berühren unter Spannung stehender Anlageteile geschützt werden sollen, z.B. in Umspannanlagen, Verteilstationen und Prüffeldern.

## 6.2 Maßnahmen zum Schutz bei indirektem Berühren

Bei Versagen der Basisschutzmaßnahme, z. B. aufgrund von Alterungsprozessen der Isolierung, können äußere leitfähige Anlage-und Gehäuseteile eine Spannung annehmen, die trotz gebrauchsgerechter Nutzung für den Bedienenden einen gefährlichen Körperstrom zur Folge hat. Die Spannung wird nicht mehr direkt sondern indirekt über ein schadhaftes Anlageteil überbrückt. Man spricht vom indirekten Berühren.

Ziel der Maßnahmen zum Schutz bei indirektem Berühren ist es, entweder die Berührungsspannung und damit den

Bild 2 Schutz bei indirektem Berühren durch Schutztrennung



Körperstrom zu begrenzen oder diesen abzuschalten, bevor er nach Stärke und Zeitdauer für den Menschen gefährlich wird.

## 6.2.1 Maßnahmen zur Begrenzung des Körperstromes

Eine Begrenzung der Körperströme wird erreicht durch Anwendung der Schutzmaßnahmen

- Schutzisolierung,
- Schutztrennung,
- Schutz- oder Funktionskleinspannung.

Die Schutzisolierung ist eine Maßnahme ähnlich der Schutzklasse II, bei der durch eine zusätzliche oder verstärkte Isolierung Schutz bei Versagen der Basisisolierung besteht. Im Fehlerfall wird nahezu kein Körperstrom fließen. Elektrische Installationsnetze innerhalb von Gebäuden sind in der Regel schutzisoliert ausgeführt.

Die Schutztrennung garantiert durch die galvanische Trennung vom speisenden Netz eine Potentialfreiheit gegenüber anderen aktiven Teilen, so daß ein erster Isolationsfehler nicht zu einem nennenswerten Körperstrom führt. Die Stärke des Körperstromes wird nur durch die Größe der kapazitiven Ableitbeläge der dem Trenntransformator nachgeschalteten elektrischen Anlage bestimmt (Bild 2).

Voraussetzung für die Sicherheit dieser Schutzmaßnahme ist jedoch der Einsatz von Stromquellen mit besonders hohen Anforderungen an die elektrische Trennung vom speisenden Netz. Diese Anforderungen erfüllen beispielsweise besondere Schutztrenntransformatoren. besonders hoher Schutzgrad besteht, wenn an einem Schutztrenntransformator nur ein elektrisches Verbrauchsgerät betrieben wird. Deshalb ist diese Schutzmaßnahme unter anderem bei Arbeiten mit handgeführten Elektrowerkzeugen in Räumen mit leitfähiger Umgebung und begrenzter Bewegungsfreiheit (Kessel) vorgeschrieben.

Durch Begrenzen der Betriebsspannung auf einen Wert unterhalb der als dauernd zulässig vereinbarten Berührungsspannung können die im Fehlerfall auftretenden Körperströme keine schädliche Wirkung auf den Menschen ausüben. Von dieser Grundidee wird bei der Anwendung der Schutzmaßnahme Schutzkleinspannung Gebrauch gemacht. Die vorgeschriebene Anwendung von Sicherheitstransformatoren mit besonders hohen Anforderungen an die elektrische Trennung von Primärund Sekundärstromkreis bietet einen hochwertigen Schutz bei indirektem Berühren.

Werden an die Trennung zwischen Primär- und Sekundärstromkreis nicht so hohe Anforderungen gestellt, so spricht man von der Funktionskleinspannung (Funktionskleinspannung ohne sichere elektrische Trennung). Hier wird die Kleinspannung hauptsächlich zur Sicherstellung bestimmter elektrischer Funktionen benötigt, z. B. in Meß-, Steuer- und Regelstromkreisen oder für die Klingel- und Türöffneranlage eines Wohngebäudes.

Der Vollständigkeit halber sei hingewiesen auf die Schutzmaßnahmen "Schutz durch nichtleitende Räume" und "Schutz durch erdfreien, örtlichen Potentialausgleich", die es ausschließen, daß gefährliche Potentiale vom Menschen überbrückt werden, sowie den "Schutz durch Begrenzung der Entladungsenergie", angewendet bei Weidezaungeräten. Bei Anwendung dieser Schutzmaßnahmen können im Fehlerfall ebenfalls keine gefährlichen Körperströme fließen.

## 6.2.2 Maßnahmen zur Abschaltung des Körperstromes

Überbrückt im Fehlerfall der Mensch eine Berührungsspannung, die einen gefährlichen Körperstrom zur Folge hat, so muß dieser abgeschaltet werden bevor es zu Personenschäden kommt (IEC-Zeit-Strom-Gefährdungsbereiche). Die Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahme "Schutz durch Abschaltung" ist nur dann gegeben, wenn die Art der Abschaltein-

richtung, genannt Schutzeinrichtung, und das Netzsystem aufeinander abgestimmt sind.

Folgende Netzsysteme werden verwendet:

## TN-System:

Die Stromquelle (Transformatorsternpunkt) ist direkt geerdet. Die leitfähigen Gehäuse (Körper) von Betriebsmitteln und Verbrauchsgeräten im System sind mit dem geerdeten Punkt der Stromquelle über einen besonderen Leiter, den Schutzleiter, verbunden.

## TT-System:

Stromquelle (Transformatorsternpunkt) und Körper von Betriebsmitteln und Verbrauchsgeräten sind jeweils direkt geerdet. Eine Verbindung über einen besonderen Leiter besteht nicht.

#### IT-System:

Die Stromquelle ist nicht geerdet, sie wird isoliert betrieben. Die Körper der Betriebsmittel und Verbrauchsgeräte sind direkt geerdet.

Im TN-System entsteht bei Versagen der Basisisolierung ein Kurzschluß, das heißt, es liegt kein Nutzwiderstand im Fehlerstromkreis. Der Kurzschlußstrom wird von relativ einfachen Schutzeinrichtungen wie Sicherungen oder Leitungsschutzschaltern, die ohnehin einem Stromkreis vorgeschaltet sind, erkannt und abgeschaltet (Bild 3). Wenn auch der über den Menschen fließende Körperstrom nur einen Bruchteil des gesamten Fehlerstromes ausmacht, so können doch leicht Körperströme in der Größenordnung von mehreren 100 mA fließen. Das bedeutet, die Abschaltung des Fehlerstromes muß sehr schnell erfolgen.

Sicherungen und Leitungsschutzschalter sind zeit/stromabhängig arbeitende Schaltgeräte. Das heißt, die Abschaltzeit wird von der Stärke des Kurzschlußstromes beeinflußt. Je größer dieser ist, desto kürzer ist die Abschaltzeit.

DIN VDE 0100 Teil 410 schreibt folgende maximale Abschaltzeiten für den Personenschutz im TN-System vor:

- 200 ms für Stromkreise mit Steckdosen bis 35 A Nennstrom. Das sind z. B. Stromkreise mit Steckdosen in Wohnungen.
- 200 ms für Stromkreise, die ortsveränderliche Verbrauchsgeräte der Schutzklasse I enthalten, die während des Betriebes dauernd in der Hand gehalten werden. Solche Stromkreise finden sich hauptsächlich im gewerblichen Bereich.
- 5 s für alle anderen Stromkreise. Hierzu gehören Stromkreise mit festangeschlossenen Verbrauchsgeräten der Schutzklasse I, z. B. Elektroherde, Wassererwärmer, Heizgeräte.

Ist die Impedanz des Fehlerstromkreises so groß, daß ein Strom in der Höhe, die ein Abschalten der Schutzeinrichtung innerhalb der geforderten Zeit garantiert, Bild 3 Schutz bei indirektem Berühren im TN-System

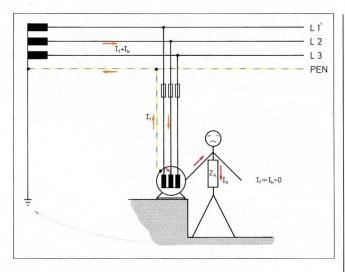
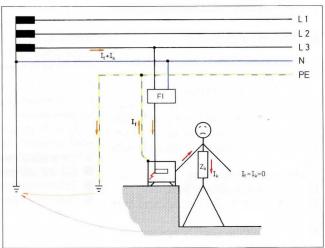


Bild 4 Schutz bei indirektem Berühren im TT-System



nicht fließen kann, so muß eine besondere Schutzeinrichtung für den Personenschutz, eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, eingesetzt werden.

Zentralstück der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist der Summenstromwandler. Er erfaßt die Differenz der Ströme der durch ihn hindurchgeführten Hin- und Rückleitung eines Stromkreises. Sind diese Ströme gleich groß die Stromsumme ist dann null -, so erfolgt keine Auslösung. Tritt jedoch aufgrund eines Fehlers in der Anlage oder in einem Verbrauchsgerät eine Differenz zwischen Hin- und Rückleiterstrom auf, so erfolgt ab einem bestimmten Differenzwert eine Auslösung und damit fehlerbehafteten Abschaltung des Fehlerstrom-Schutzein-Stromkreises. richtungen werden bereits mit Nennfehlerströmen ab 10 mA gefertigt.

Im TT-System ist bei Versagen der Basisisolierung nur ein Rückfluß des Fehlerstromes über Erde möglich. Aufgrund der relativ hohen Impedanz der Fehlerschleife fließen deshalb Fehlerströme, die nicht unbedingt die Stärke von Kurzschlußströmen erreichen (Bild 4). Sicherungen oder Leitungsschutzschalter würden, wenn überhaupt, erst nach vergleichsweise langer Zeit auslösen.

Da auch bei diesem System ein Anteil des Fehlerstromes als Körperstrom über den Menschen fließt, muß die Abschaltung des Fehlerstromes erfolgen, bevor eine schädigende Wirkung eintritt.

DIN VDE 0100 Teil 410 verlangt das Abschalten des Fehlerstromes innerhalb von 5 s. Kann diese Abschaltzeit durch Sicherungen oder Leitungsschutzschalter nicht gewährleistet werden, so muß auch hier die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung eingesetzt werden. Bild 4 zeigt diesen in der Praxis häufigen Fall.

Eine Besonderheit des Schutzes durch Abschalten besteht bei Anwendung des IT-Systems. Bei Versagen der Basisisolierung kann aufgrund der von Erde isoliert betriebenen Stromquelle nur ein sehr kleiner Fehlerstrom fließen. Seine Stärke wird durch die kapazitiven Ableitbeläge der Anlage bestimmt. Übersteigt der am Erdungswiderstand der Anlage auftretende Spannungsfall nicht den Wert der als zulässig vereinbarten Berührungsspannung, so besteht auch keine Personengefährdung (Bild 5).

Dieser erste Fehler muß deshalb nicht zwangsläufig zur Abschaltung des fehlerbehafteten Stromkreises führen. Er wird vielmehr von einer speziellen Isolations-Überwachungseinrichtung erfaßt und dem Betriebspersonal gemeldet. Erst ein weiterer Isolationsfehler in einem anderen Außenleiter des Stromkreises führt zu einem Kurzschluß, der abgeschaltet werden muß. Voraussetzung hierfür ist, daß die leitfähigen Gehäuse der Betriebsmittel und Verbrauchsgeräte (Schutzklasse I) untereinander über einen Schutzleiter verbunden sind.

Die Anwendung dieses besonderen Netzsystems ist demnach überall dort sinnvoll, wo der plötzliche Ausfall der Spannungsversorgung nach Ansprechen von Schutzeinrichtungen zu großen Schäden an Personen oder Sachen führen würde, z. B. im Operationsbereich eines Krankenhauses.

### 6.2.3 Hauptpotentialausgleich

Wesentlicher Bestandteil der letztbeschriebenen "Schutzleiter-Schutzmaßnahmen" im TN-, TT- und IT-System ist der Hauptpotentialausgleich. Dieser verbindet alle leitfähigen Rohrsysteme und Gebäudekonstruktionen (soweit dies möglich ist) mit dem Netzschutzleiter und/oder der Erdungsanlage des Gebäudes, z. B. dem Fundamenterder. Hierdurch wird erreicht, daß im Fehlerfall alle berührbaren Metallteile und die Standfläche des Menschen gleiches Potential haben, so daß gefährliche Spannungsunterschiede nicht überbrückt werden können.

## 7. Zusatzschutz

Der Grundgedanke einer dritten Schutzebene als Zusatzschutz oder "Schutz bei direktem Berühren" ist relativ neu. Ziel dieser Maßnahme ist es, auch dann noch einen gewissen Schutz sicherzustellen, wenn die Schutzmaßnahme bei indirektem Berühren nicht wirksam werden kann, z.B. aufgrund einer Schutzleiterunterbrechung oder, wenn der Basisschutz gezielt umgangen wird, z.B. durch das Kleinkind, das mit einer Stricknadel an einer Steckdose hantiert.

Möglich ist dieser Schutz bei direktem Berühren eines aktiven Teiles dann, wenn dem Stromkreis eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit höchstens 30 mA Nennfehlerstrom (Differenzstrom) vorgeschaltet ist.

Bei direktem Berühren eines spannungsführenden Anlage- oder Geräteteiles mit einer angenommenen Spannung von 230 V fließt durch den menschlichen Körper mit einer angenommenen Impedanz von 1300  $\Omega$  ein Strom von etwa 180 mA. Dieser Strom wird von einer vorgeschalteten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit 30 mA Nennfehlerstrom als Differenzstrom erkannt und innerhalb von 200 ms abgeschaltet. Übliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen schalten jedoch erheblich schneller, nämlich innerhalb von 20...30 ms, ab. Außer-Fehlerstrom müssen die (FI)-Schutzschalter im Bereich von Bild 5 Schutz bei indirektem Berühren im IT-System

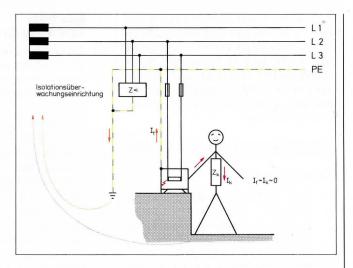
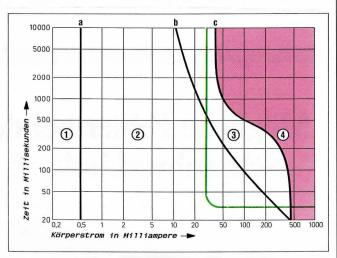


Bild 6
Zeit-StromGefährdungsbereiche für
Erwachsene
und Auslösekennlinie
einer 30 mAFehlerstromSchutzeinrichtung



0,5-1,0 ihres Nennfehlerstromes auslösen. Erfahrungsgemäß ist dies bei 0,7 des Nennfehlerstromes der Fall, also bei 20-22 mA.

Trägt man die Ausschaltkennlinie einer 30 mA-Fehlerstrom-Schutzeinrichtung in das IEC-Diagramm der Zeit-Strom-Gefährdungsbereiche ein, so ist folgendes zu erkennen (Bild 6):

- Der in unserem Beispiel errechnete mögliche Körperstrom von 180 mA ist nicht tödlich, wenn er innerhalb von 200 ms abgeschaltet wird (Gefährdungsbereich 3). Diese Abschaltzeit wird durch die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung garantiert. Bei Abschaltung innerhalb von 50 ms wird gar nur der Gefährdungsbereich 2 erreicht.
- Ist aufgrund besonderer Umstände der Körperwiderstand stark herabgesetzt, z. B. durch nasse Haut, Verletzung der Haut, Stromweg mit besonders geringer Impedanz, so steigt der Körperstrom auf durchaus höhere Werte als in unserem Beispiel an. Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung wird zwar auch diesen Körperstrom innerhalb von 30 ms abschalten, doch zeigen die IEC-Zeit-Strom-Gefährdungsbereiche, daß ein Körperstrom von 500 mA bei einer Einwirkungsdauer von 30 ms bereits tödlich sein kann.

Deshalb bieten Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nur einen gewissen Zusatzschutz.

## 8. Hohe Sicherheit durch Anwendung bestehender Normen

Eine 100 %ige Sicherheit bietet auch das hier vorgestellte Konzept zum Schutz von Personen beim Umgang mit elektrischen Anlagen und Geräten nicht. Ein Restrisiko bleibt. Doch kann dieses Restrisiko durch Ausschöpfung der bestehenden und in den Errichtungsnormen für elektrische Anlagen und Geräte vorgesehenen technischen Möglichkeiten unter Beachtung wirtschaftlicher Gesichtspunkte minimiert werden. Dies sind:

- Anwenden der Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0100 Teil 410
- Erstprüfung elektrischer Anlagen nach DIN VDE 0100 Teil 600
- Wiederholungsprüfungen elektrischer Anlagen nach DIN VDE 0105
   Teil 1
- Prüfung elektrischer Verbrauchsgeräte nach VBG 4 § 5 (VBG heißt "Verordnung der Berufsgenossenschaften").

### Literaturhinweise:

[1] Rolf Hotopp, Klaus-Joachim Oehms Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme nach DIN VDE 0100 Teil 410 und Teil 540 VDE-Schriftenreihe Band 9 (Aus-

- gabe 1983) VDE-Verlag GmbH
- [2] Dr. Gottfried Biegelmeier Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den Menschen und der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers etz-Report 20 (1985) VDE-Verlag GmbH
- [3] Karl-Heinz Krefter Zusatzschutz – Dritte Schutzebene gegen gefährliche Körperströme etz Bd. 108 (1987) Heft 3, S. 84-86
- [4] Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme Bilderdienst-Blatt 3.2.2 der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V. Frankfurt/Main

- [5] Amtliche Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Nr. 2 – April 1991
- [6] DIN VDE 0100 "Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V" Teil 410 "Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme" Ausgabe November 1983 VDE-Verlag GmbH
- [7] IEC 64(Secretariat)353, revision of Publication 479: Effects of current passing through the human body; part 1: Effects of alternating current in the range of 15 to 100 Hz Ausgabe April 1982

# Mögliche Fehler bei der Beurteilung lockerer Schraubverbindungen nach einem Brand

Dr. rer. nat. Ulrich Schmidtchen, Dipl.-Ing. Wolfgang Meyer

## 1 Problemstellung

Bei der Ermittlung einer Brandursache muß oft die Rolle von brennbaren Gasen geklärt werden. Das erfordert die Untersuchung der Reste von Gasflaschen oder anderen Vorratsbehältern und ihren Armaturen oder von Geräten und ihren Verbindungselementen und Anschlüssen. Eine zentrale Rolle für deren Sicherheit oder ggf. für die Brandursache spielt naturgemäß die Dichtheit der Schraubverbindungen. Nicht selten findet man bei der Untersuchung, daß eine solche Verbindung so locker ist, daß sie sich mit der Hand öffnen läßt.

Die Mitarbeiter der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) werden oft aufgefordert, Gutachten für Gerichte oder die Staatsanwaltschaft zu erstellen, wenn die Rolle von Armaturen für brennbare Gase bei der Entstehung eines Brandes unklar ist. Dabei stellen sie mit einer gewissen Regelmäßigkeit fest, daß im Fall einer lockeren Verbin-

Dr. rer. nat. Ulrich Schmidtchen,

stofftechnologie, Gasapparaturen"

Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45

Bundesanstalt für Materialforschung

und-prüfung (BAM) Labor 4.44 "Wasser-

Dipl.-Ing. Wolfgang Meyer

dung nahezu automatisch auf Fahrlässigkeit des Benutzers oder gar Vorsatz geschlossen wird. In diesem Beitrag soll die Frage diskutiert werden, ob das berechtigt ist.

# 2 Brandversuche der BAM an Flüssiggas-Armaturen

Rahmen eines umfangrei-Im chen BMFT-Forschungsvorhabens zur Sicherheit im Umgang mit Flüssiggas [3] wurden von der BAM Brandversuche verschiedener Art durchgeführt. Dabei wurden sowohl ganze Tanks als auch einzelne Armaturen dem Feuer ausgesetzt. Das Ziel war, vom Standpunkt der Feuersicherheit geeignete Konstruktionen, Werkstoffe und Schutzmaßnahmen ausfindig zu machen und zu erproben. Ein Teil des Vorhabens war dem Verhalten der Rohrleitungen, Armaturen und Verbindungen gewidmet [1; 2]. Tankarmaturen verschiedener Art wurden Temperaturen zwischen 200 und 300°C ausgesetzt, wobei sie gewöhnlich versagten.

Nach dem Abkühlen wurde regelmäßig festgestellt, daß Schraubverbindungen, die vor dem Versuch sachgemäß hergestellt und auf Dichtheit geprüft worden waren, erhebliche Lecks aufwiesen. Die Lecks traten nicht während der hei-

ßen Phase, sondern erst beim Abkühlen

Diese Erscheinung ist eine Folge der thermischen Verformungen während der Erwärmung. Die beiden verschraubten Teile haben bei der Erwärmung das Bestreben, sich auszudehnen. Durch den Druck, den sie im Gewinde aufeinander ausüben, werden sie jedoch daran gehindert und verformen sich gegenseitig. So lange es dabei bleibt, ist dies für die Dichtheit der Verbindung sogar vorteilhaft. Bei der Abkühlung jedoch schrumpfen beide Teile wieder, wobei die Mutter nicht im gleichen Maß auf die alte Form zurückgeht wie die Schraube. Daher wird das Gewinde locker. Sind die Teile einer hohen Temperatur ausgesetzt gewesen, läßt sich die Dichtheit auch durch Nachziehen nicht wieder herstel-

Diese Beobachtung ist für die Brandbekämpfung bedeutsam, weil aus einer solchen Verbindung an einem abgekühlten Behälter für Flüssiggas oder andere brennbare Gase plötzlich sehr viel größere Gasmengen austreten können als vorher. Aus diesem Grund kommt der Sicherung des Objekts nach dem Brand, also der Brandwache, besondere Bedeutung zu. Die Erscheinung kann aber auch bei der Ermittlung der Brandursache auf eine falsche Spur führen.

Es wurde allerdings bei den Experimenten nie beobachtet, daß sich die ver-