

## Elektrisch bedingte Korrosion

# Fluch der technischen Entwicklung

Karl-Heinz Otto<sup>1</sup>  
Ronald Fischer<sup>2</sup>

*Die Ursache von Korrosion an metallenen Rohrleitungen sind vielfältiger Natur. Darunter gibt es in zunehmendem Maße Korrosionsschäden, die elektrisch bedingt sind. Was diese Korrosion auslöst und wie sie zu vermeiden ist, lesen Sie im folgenden Beitrag.*



**Sieht aus wie „Grünspan“ oder Korrosion durch Flußmittelrest. Die weißlichen Ausblühungen an den Verschraubungen lassen aber auf elektrisch bedingte Korrosion schließen [2]**

**K**orrosion in Rohrleitungen ist nichts Neues. Werden Kalt- und häufiger Warmwasserleitungen von der Innenseite angegriffen, ist meistens die chemische Zusammensetzung des Wassers schuld. Angriffe von der Außenseite her haben überwiegend kondensierende Feuchtigkeit als Ursache. In letzter Zeit häufen sich aber Korrosionsschäden, die nicht ins bisherige Schema passen.

Betroffen sind:

- Wasserleitungen
- Heizungs- und Fernheizungssysteme-Klimaanlagen
- stationäre Sprinkleranlagen

Auffallend sind beispielsweise Rostansätze an geschraubten Rohrkonusverbindungen, geschraubten Flanschsystemen und Muffen mit Hanfabdichtung sowie weißliche, mit Patina durchsetzte Ausblühungen. Durchgerostete Heizkörper und Heizungsrohre sind seit der Einführung geschlossener Ausdehnungsgefäße eher selten. Doch in letzter Zeit häufen sie sich wieder.

<sup>1</sup> Dipl.-Ing. Karl-Heinz Otto, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für elektrische Niederspannungsanlagen, Leistungs- und EDV-Elektronik, 32791 Lage-Lippe, Telefon (0 52 32) 6 54 54, Telefax (0 52 32) 6 54 75, eMail: SV-Otto@t-online.de

<sup>2</sup> Dipl.-Ing. Ronald Fischer, freier Fachautor, Leonberg, Telefon (0 71 52) 2 88 44

### Strom im Spiel

Untersuchungen im Auftrag von Sachversicherern haben ergeben, daß diese Schäden elektrochemische Ursachen haben und mit dem Aufbau unseres Drehstromnetzes zusammenhängen. Elektrisch bedingte Korrosion an Rohrleitungen sind Stadtwerken schon seit langem bekannt. So sind Angriffe an Gas- und Wasserleitungen in Straßen zu beobachten, in denen die üblicherweise mit Gleichstrom betriebene Straßenbahn fährt. Diese Art von Korrosion wird durch Streuströme verursacht. Damit läßt sich aber nicht die Korrosion in Hausinstallationen erklären, denn im öffentlichen Lichtnetz werden Dreh- und Einphasenwechselstrom verteilt.

Haben zwei verschiedene Metalle miteinander Kontakt – wie eine verzinkte Wasserleitung und ein kupferner Warmwasserbehälter – entsteht an der Berührungsstelle ein sogenanntes Lokalelement. Diese Batterie im Miniformat liefert Strom mit einer Spannung von 1 Volt und führt erst zur Auflösung (Korrosion) der Zinkschicht und dann des Eisens.

Lokalelemente können sich aber auch mit Legierungen wie Messing, Rotguß und Bronze bilden. Auch „Edelstähle“ machen da nicht immer eine Ausnahme.

Zur Bildung eines Lokalelements können auch unterschiedliche Sauerstoffkonzentrationen im Wasser beitragen. Anders als erwartet, rostet es nicht an der Seite im sauerstoffreichen Wasser, sondern an der Stel-

le mit dem geringeren Sauerstoffgehalt. Bei Rost unter Verschraubungen, unter Dichtungen und Gewindegängen mit und ohne Hanf handelt es sich um ein Belüftungselement.

Bei Heizungsrohren und Heizkörpern versagt die Erklärung der Korrosion durch Bildung eines Lokal- oder Belüftungselements. Heizungswasser ist von der Luft abgeschlossen und verliert seine elektrolytische Wirkung schon wenige Minuten nach dem Einfüllen.

### Einer von drei

Das heutige Elektrizitätsversorgungsnetz stammt aus dem Jahre 1891. Damals hat sich eine mit Drehstrom arbeitende Fernübertragung von Elektrizität als praxistauglich erwiesen und sich seitdem durchgesetzt. Zur Verbreitung dieses Systems hat auch die Tatsache beigetragen, daß gar nicht alle drei Leiter nötig sind, um elektrische Betriebsmittel anschließen zu können. Die meisten Verbraucher begnügen sich mit nur einer Phase und brauchen daher nur eine teure Kupferleitung. Auch auf die Rückleitung, um den Stromkreislauf zu schließen, konnte man verzichten. Es genügte, den anderen Pol des Verbrauchers in die Erde zu



**Derartig starker Rost an Heizungsleitungen ist ungewöhnlich und weckt den Verdacht auf Stromfluß als Ursache [2]**



sen sich in netzabhängige und netzunabhängige einteilen. Zu den netzunabhängigen Maßnahmen gehört z. B. die Isolierung.

Eine weitere Schutzmaßnahme ist der Schutzleiter, der keine Spannung und normalerweise keinen Strom führt. Wird bei einer defekten Isolierung das Metallgehäuse eines Elektrogerätes unter Spannung gesetzt werden, leitet der Schutzleiter diese an die Erde ab.

Der Schutzleiter ist Bestandteil des TN-Netzes und begleitet als grünelbe Ader die Außenleiter bis zum Verbraucher. Über ihn wird der Körper des Betriebsmittels mit der Erde verbunden. Der Trick besteht darin, aus einem satten Körperschluß einen Kurzschluß zu machen. Durch den starken Kurzschlußstrom tritt die Sicherung in Aktion und schaltet das defekte Gerät ab.

Der technische Fortschritt hat zu immer mehr elektrisch leit-

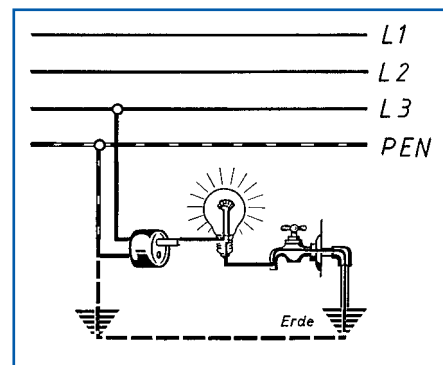
fähigen Systemen in Gebäuden geführt. Zu Gas-, Wasser-, Heizungs- und Starkstromleitungen kommen immer weiter verzweigte Leitungen von Klima-, Blitzschutz-, Fernmelde- und EDV-Anlagen. Diese Leitungsnetze bestehen nebeneinander oder sind miteinander verbunden. Auch bei fehlerfreien Anlagen besteht die Gefahr, daß durch die Leitungsnetze der Strom des Rückleiters fließt, und hohe Ströme an Stellen auftreten, wo sie niemand vermutet.

stecken oder mit einer in den Boden führenden metallischen Leitung wie der Wasserleitung zu verbinden, da auch das Kraftwerk im Sternpunkt N (früher Mittelpunkt Mp) auf diese Weise geerdet war und noch ist. Zwischen nur einem Außenleiter und dem Neutralleiter kann nur ein Strom mit einer einzigen Wechselspannungsphase fließen. Das ist der „normale“ Haushaltswechselstrom (Einphasenwechselstrom) mit einer Spannung von 230 V (bis vor kurzem: 220 V).

Die Materialeinsparung hat zur schnellen Verbreitung des Einphasenwechselstroms im Wohnbau beigetragen. Der leistungsfähigere Drehstrom blieb dem Antrieb großer Elektromotoren in Industrie und Gewerbe vorbehalten. Aber auch im Wohnbereich wäre Drehstrom zum Betrieb von Waschmaschinen, Umwälzpumpen, Durchlauferhitzern und Vorratswasserheizern von Vorteil. Die einphasigen Verbraucher machen aus dem Drehstromnetz ein Dreiphasenwechselstromnetz.

## Gelbgrüner Schutzengel

Die geerdeten Elektroenergienetze sind „historisch“ gewachsen, haben schon zu vielen elektrischen Unfällen geführt und zahlreiche Schutzmaßnahmen notwendig gemacht. – Im wesentlichen zielen diese darauf ab, gefährliche Berührungsspannungen zu verhindern. Die Schutzmaßnahmen las-



**So geht's auch. Die Erdung der Kraftwerke macht's möglich [1]**

## Strom und Chemie

Elektrizität ist eigentlich überall im Spiel, auch in der Chemie. Besondere Bedeutung hat sie bei den chemischen Reaktionen in Batterien und Akkus, beim Galvanisieren und bei Korrosionsvorgängen. Zur Elektrizität gehören immer die Pole „Plus“ und „Minus“. Damit die elektrochemische Reaktion in Gang kommt, braucht es noch einer elektrisch leitfähigen Flüssigkeit, Elektrolyt genannt. Das sind Säuren, Laugen und Salzlösungen. Aber auch in Wasser gelöste Gase wie Sauerstoff und Kohlendioxid (Kohlensäure,  $\text{CO}_2$ ) verleihen dem Wasser elektrolytische Eigenschaften.

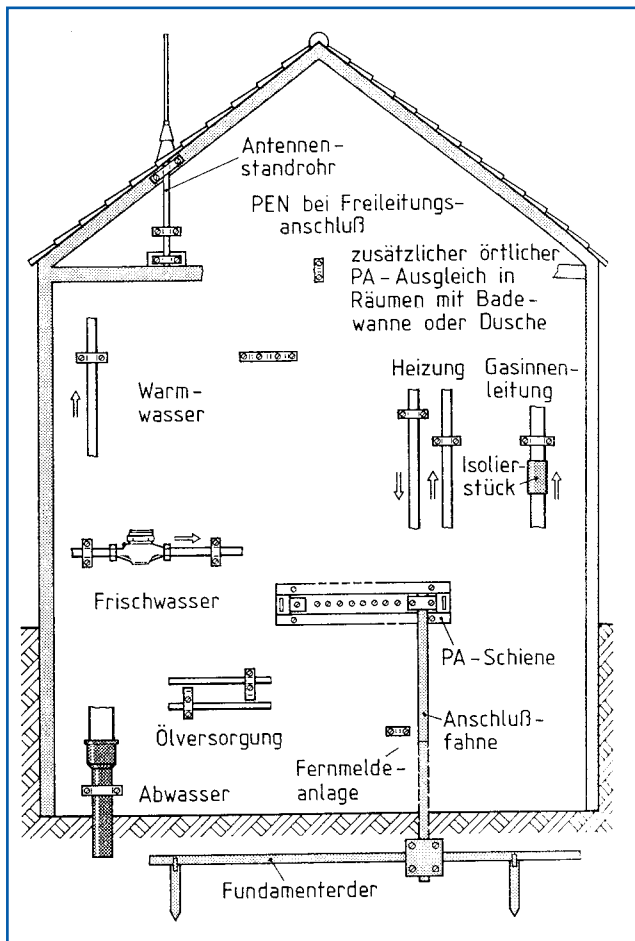
Wenn sich zwei verschiedene Metalle in einem Elektrolyten befinden, entsteht zwischen den Metallen eine elektrische Spannung (Potential). Das edlere Metall, z. B. Kupfer, bildet den Pluspol (Anode), das unedlere (Eisen, Zink) den Minuspol (Kathode). Die Kathode löst sich während der Stromabgabe auf. Technisch wird das in galvanischen Elementen („Batterien“) genutzt.

Beim Galvanisieren geht es umgekehrt zu. Auch hier bildet das edlere Metall, z. B. Kupfer, den Pluspol, das Unedlere, z. B. ein Stahlnagel, den Minuspol. Im Elektrolyt (galvanisches Bad) befindet sich das edlere Metall der Anode in chemisch gelöster Form – etwa als Kupfersulfat  $\text{CuSO}_4$ . Schickt man einen Strom durch alle drei, scheidet sich das Kupfer aus dem gelösten Kupfersulfat als metallisches Kupfer auf der Kathode ab. Gleichzeitig löst sich die Anode langsam auf und „füttert“ das Bad.

## Ausgeglichene Potentiale

Potential ist ein anderes Wort für Spannung. Wo Spannung herrscht, kann auch ein Strom fließen. So kann es durchaus passieren, „einen gewischt“ zu bekommen, wenn man im Badezimmer am warmen Heizkörper lehnt und den Wasserhahn öffnet. Der Potentialausgleich (PA) soll das verhindern, indem er durch elektrisches Verbinden aller Leitungen Spannungsunterschiede zwischen den verschiedenen Leitungssystemen ausgleicht. Im wesentlichen bedeutet er eine Erdung aller Rohrleitungen in einem Haus.

Wie der Potentialausgleich aussehen soll, ist in den VDE-Bestimmungen 0100 Teil 540 und 0190 beschrieben. Die letztere hat der DVGW in sein technisches Regelwerk aufgenommen.



**Der Potentialausgleich ist die Erdung aller metallischen Leitungen in einem Gebäude [1]**

Einbezogen werden in den Potentialausgleich :

- PEN-Leiter (wird vom Hausanschlußkasten abgezweigt)
- Fundamenterder
- Wasserrohre
- Gasrohre
- Heizungsrohre
- Heizöl-, Feuerlösch- und Lüftungsleitungen
- Fernmeldeanlage
- Antennenanlage
- Blitzschutzanlage

Diese Leitungssysteme werden über einadrige Kabel mit grün-gelber Isolierung in der Potentialausgleichsschiene miteinander verbunden.

## Strom auf Abwegen

Der Potentialausgleich stellt eine elektrisch leitfähige Verbindung zwischen dem elektrischen und den „wasserführenden“ Leitungsnetzen her. Beim TN-C- oder TN-C-S-Netz ist das durch die Zusammenfassung von Neutralleiter N und Schutzleiter PE

zum PEN-Leiter in jedem Fall gegeben. Aus Kostengründen oder Unwissenheit wird oder wurde häufig das kombinierte TN-C- oder TN-C-S-System verwendet, das mehrfache Verbindungen zwischen Schutz-(PE) und Rückleiter (N) vom Unterverteiler zum Haus-einspeisepunkt oder Trafo bietet.

Bei Einphasenwechselstrom fließt der Rückstrom durch den Neutralleiter, der bei Drehstromstromfrei bleibt. Zu diesem Zweck war der N-Leiter von den Urvätern des Drehstromsystems gar nicht vorgesehen. Jeder einphasige Verbraucher schickt über den Potentialausgleich seinen Rückstrom durch die metallischen Rohrsysteme. Die vielen einphasigen Verbraucher nehmen den Strom aus einer Phase auf und leiten diesen über den N-Leiter zur speisenden Quelle zurück, so daß der Stromkreis geschlossen wird. Ist dieser Stromkreis, wie im TN-S oder TT-System geschlossen, so fließen die Ströme nicht über die hausinternen Erdungs- und Potentialausgleichssysteme (einschl. der Rohrsysteme und informationstechnischen Leitungen) zurück.

## Elektromog und Oberschwingungen

Ein stromdurchflossener Leiter erzeugt (induziert) ein elektrisches und magnetisches Feld um sich herum. Wasser- und Heizungsleitungen tun das auch, wenn über den Potentialausgleich Strom durch sie fließt. Mit diesen elektromagnetischen Feldern können auch elektronische Systeme Schwierigkeiten haben. Deshalb werden sie auf ihre elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) untersucht. Eine andere Folge ist die Wechselstromkorrosion, über die noch wenig bekannt ist.

Warum aber wird dieses Phänomen der Korrosion erst in den letzten Jahren auffällig. Bisher haben diese Rückströme nicht zur

## Drei mal Eins

Viele elektrische Unfälle – aber auch die Korrosion von Hausinstallationen – haben ihre Ursache im technischen Aufbau des elektrischen Versorgungsnetzes. Die Spulen des Generators im Kraftwerk werden zu drei Gruppen zusammengefaßt und ihre Enden zum Transport der elektrischen Energie nach außen geführt. Dies sind die Außenleiter L1, L2, L3. Zwischen den Außenleitern besteht Dreiphasenwechselspannung („Drehstrom“). Wenn man die elektrische Spannung über der Zeit aufzeichnet, erhält man drei gegeneinander verschobene Sinusschwingungen, für jeden Außenleiter eine. In Europa hat der Drehstrom eine Frequenz von 50 Hz (Hertz), d. h. 50 solcher Schwingungen (Perioden) werden pro Sekunde durch die Leitungen geschickt.

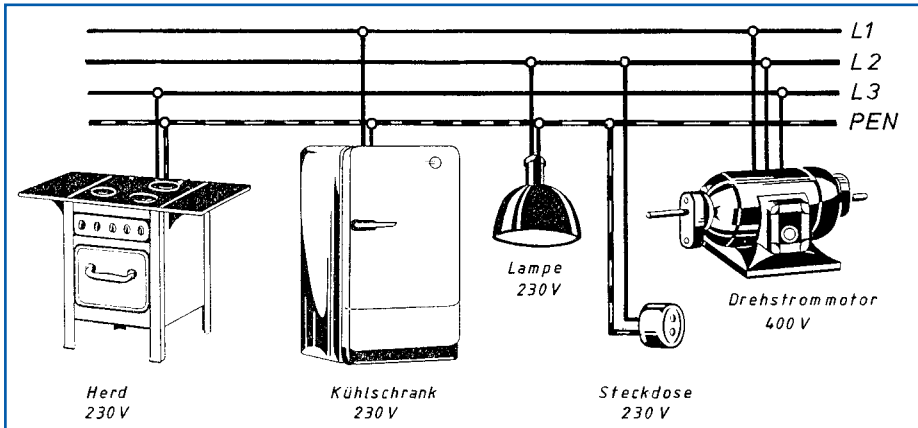
Der Sternpunkt des Generators, wird an die Erde angeschlossen und bildet den Neutralleiter N. Zwischen den Außenleitern L1, L2, L3 herrscht eine Spannung von 400 V (bis vor kurzem 380 V). Die Außenleiter werden zur Transformatorstation geschickt, die die Spannung auf bis zu 30 kV hochspannt, um die Verluste beim Transport in der Überlandleitung klein zu halten.

Im Transformator der Ortsstation wird dann von 30 kV auf 0,4 kV (400 V) heruntertransformiert. Die drei Leiter (Spulen) werden auf der Sekundärseite (Niederspannungsseite) des Transformators zu einem Stern zusammengeschaltet (Sternschaltung). Der Mittelpunkt des Sterns wird mit der Erde verbunden. Daraus ergibt sich dann ein TN- oder TT-Netz.

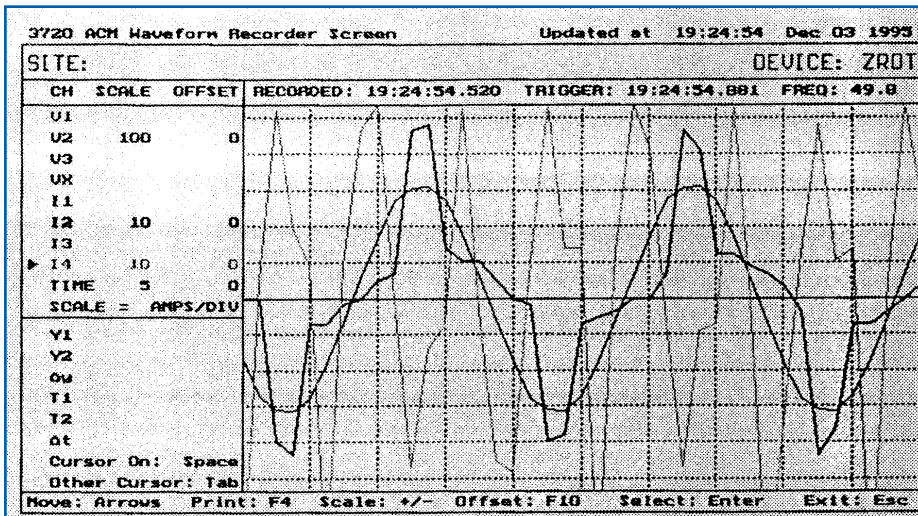
Korrosion geführt. Der Grund liegt in dem gehäuften Einsatz von einphasigen Verbrauchern wie EDV-Geräte, PC, moderne Leuchten und gesteuerte Antriebsmotore, die als nicht sinusförmige Verbraucher die Spannung durch ihre kurzzeitige, hohe Stromaufnahme „verbiegt“.

Wechselspannung muß nicht unbedingt die bekannte Wellenform (Sinusschwingung) haben. Oberschwingungen mit zusätzlichen Frequenzanteilen oberhalb 50 Hz können die Sinusschwingung der Wechselspannung bis hin zu „eckigem“ Spannungsverlauf verändern .

Dadurch aber enthält die auf diese Art „verbogene“ Sinuskurve kurze waagerechte „Schultern“, also kurze Gleichspannungsanteile. Möglicherweise sind diese kurzen Gleichströme die Ursache für die Korrosi-



**Einphasige Verbraucher schicken ihren Rückstrom über den N- oder PEN-Leiter, der bei Drehstrom spannungsfrei wäre [1]**



**Viele moderne einphasige Verbraucher verändern die Sinuskurve der Wechselspannung zu bizarren Formen mit kurzen Gleichstromanteilen [5]**

an an stromdurchflossenen Rohrleitungen. Die Wechselstromkorrosion wird in der Fachliteratur kaum behandelt, und die wenigen Untersuchungen sind erst jüngeren Datums. Die Kurvenform ist der entscheidende Faktor (10–12fach) der Beschleunigung der Korrosion.

Mit Hilfe von empfindlichen Strommeßzangen, die in der Lage sind, bereits wenige mA Wechselstrom zu erkennen, und dennoch groß genug sind, um Rohrsysteme zu „umfassen“, lassen sich Ströme in Rohrleitungen messen. Überall dort, wo Rückströme aus dem Neutralleiter über die Rohrsysteme fließen, treten verstärkt Korrosionen auf.

## Abhilfe

Fachleute empfehlen als Abhilfe bei wechselstrombedingter Korrosion, bereits im Hausanschlußkasten den Neutralleiter N vom PEN-Leiter zu trennen, wenn diese nicht schon getrennt ankommen, wie es die

VDE 0100 T 540 bindend vorgibt. Aus dem TN-C-System mit vier Leitern wird dann das Fünfleitersystem TN-S, erzeugt ab Zähler oder Unterverteiler. Bei Neuinstallationen empfiehlt sich von vorn herein das TN-S-System ab der Einspeisung.

Die VDE-Richtlinie VDE 0100 ist gewissermaßen die Bibel der elektrischen Schutzmaßnahmen. Bis jetzt stand der Schutz des Menschen im Vordergrund. Im Entwurf zur Neufassung der VDE 0100 geht es auch um den Schutz von Betriebsmitteln und Gebäudeausrüstungen. In Teil 540 (A3) „Elektrische Anlagen von Gebäuden“ IEC Publikation 64 (Sec)633, wird unter 5.4.8 „Vermeiden von Korrosion“ zur Vermeidung von elektrolytischer Korrosion das TN-S-System empfohlen, d. h. die konsequente

## Netzformen

Alle Verteilungsnetze für Drehstrom haben die drei Außenleiter gemeinsam. Sie unterscheiden sich aber hinsichtlich der Erdungsverhältnisse der Stromquelle oder des Niederspannungsverteilungsnetzes und durch die Erdungsverhältnisse der Körper in elektrischen Verbraucheranlagen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Schutzleiter anzuordnen. Daraus ergeben sich im wesentlichen drei verschiedene Netzformen:

- TN-Netz
- TT-Netz
- IT-Netz

Da es aber das TN-Netz in drei Ausführungen gibt, stehen insgesamt fünf Netzformen zur Verfügung [9].

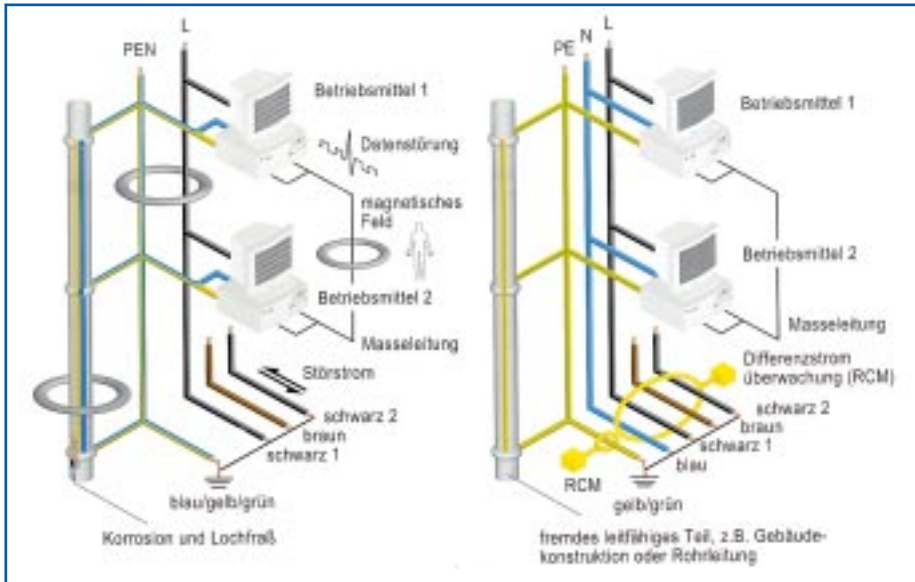
Der erste Buchstabe bezeichnet die Erdungsverhältnisse der Stromquelle oder des Niederspannungsnetzes (z. B. Transformator). „T“ kommt vom französischen „terre“ und heißt Erde, was Betriebserdung bedeutet. „I“ heißt Isolierung der dem Energietransport dienenden Teile gegenüber der Erde.

Der zweite Buchstabe beschreibt die Erdungsverhältnisse der elektrischen Verbraucher (Betriebsmittel). „T“ bedeutet direkt geerdet. „N“ kommt von „neutral“ und meint, daß der Körper des Verbrauchers mit dem Erder der Stromquelle verbunden ist.

Im TN-Netz wird der Neutralleiter N (früher Mittelpunktleiter Mp, oft auch „Nulleiter“ genannt) als eigene Leitung mitgeführt. Für die drei Ausführungen des TN-Netzes gibt es noch einen dritten Buchstaben: „C“ stammt vom englischen „combined“ und meint, daß Neutral- und Schutzleiter im bereits erwähnten PEN-Leiter kombiniert sind. „S“ kommt vom englischen „separated“ und bedeutet, daß Neutral- und Schutzleiter als zwei separate (getrennte) Leitungen ausgeführt werden.

Der PE-Leiter hat seinen Namen vom englischen „protection earth“, was Schutzerde bedeutet. Tritt er mit dem Neutralleiter kombiniert auf, heißt er PEN-Leiter.

In der Praxis hat man es fast ausschließlich mit dem TN-C oder TN-C-S-Netz zu tun. Das TN-S-Netz ist noch heute die Ausnahme. In kleineren Orten ist auch das TT-Netz anzutreffen.



**Elektrisch bedingte Korrosion läßt sich wirksam verhindern, wenn der PEN-Leiter in N- und PE-Leiter aufgetrennt wird (TN-S-System)**

Trennung von Neutralleiter und Schutzleiter hinter dem Einspeisepunkt (Hausanschluß). Das TN-S-System muß natürlich dauerhaft überwacht werden. Damit lassen sich ungewollte Ströme auf dem Erdungssystem und damit auf den Rohrleitungen verhindern und im Verdachtsfall auch messen.



**Mit Hilfe von Strommeßzangen läßt sich feststellen, ob Rückströme nicht nur über den Neutralleiter, sondern auch über das Rohrnetz fließen [2]**

Die Überwachung beruht auf der Tatsache, daß der Strom, der aus einem Verbraucher fließt, auch durch den Neutralleiter als Rückweg wieder zurückfließen muß, um den Stromkreis zu schließen. Zur Überwachung gibt es verschiedene Gerätetypen. Sie haben alle gemeinsam, dass die drei Leiter und der N-Leiter durch das Gerät geführt werden, während der PE-Leiter außen vorbleibt oder gesondert gemessen wird. So läßt sich messen, ob über den N-Leiter weniger Strom fließt, als aus einem der drei Leiter entnommen wird. Der fehlende Strom muß dann über den PE-Leiter fließen oder seinen Weg zur Erde über andere leitfähige Systeme finden.

Ein Fehlerstromschutzschalter (FI-SS) schaltet bei zu niedrigem Rückstrom die Leitungen ab. Andere Geräte zeigen dagegen die Höhe des fehlenden Stroms an. In der Fachsprache heißen schaltende Geräte RCD (englisch: Residual Current protective Device = Rückstandsstromschutzeinrichtung). In diese Gruppe gehört der bekannte FI-SS. Überwachungsgeräte mit Anzeigefunktion werden als RCM (englisch: Residual Current Monitor = Rückstandsstromanzeiger) bezeichnet. □

#### Bild- und Literaturnachweis

- [1] Fachkunde Elektrotechnik, Europa Lehrmittel
- [2] Otto, K.-H.; diverse Unterlagen
- [3] Elektrotechnik; BIBB
- [4] Fischer, R.; diverse Aufsätze; sbz-monteur
- [5] s+s report
- [6] Deutsches Kupferinstitut
- [7] Hofheinz, W.; Fehlerstromüberwachung in elektrischen Anlagen
- [8] Krämer, W., Trnekler, G.; Das neue Lexikon der populären Irrtümer
- [9] DIN 57100/VDE 0100 Teil 310