

Ableit-/Fehler- und/oder Differenzströme

Nur gelegentlich oder ständig überwachen?

K. Bödeker, Berlin; R. Kindermann, Nürnberg

Im ersten Teil dieser Beitragsreihe [1] wurden die Ableit-/Fehlerströme sowie der Differenzstrom ausführlich erläutert. Nachfolgend wird dargelegt, wie hoch der Aufwand für das Messen, Überwachen und Auswerten der zu berücksichtigenden Ströme ist und wie oft und an wie vielen Stellen einer Anlage unbedingt gemessen werden muss, um die gewünschten Informationen zu erhalten.

1 Analyse der Differenzströme

Je nach dem Messort, den zu überwachenden Betriebsmitteln und dem im Messmoment vorhandenen Zustand der Anlage wird der jeweils gemessene Differenzstrom anders „zusammengesetzt“ sein, andere Anteile von Ableit- und Fehlerströmen enthalten. Dass heißt, an einer bestimmten Messstelle kann

der ermittelte Messwert in jedem Moment durch eine andere Zusammensetzung der Ableit-/Fehlerströme entstanden sein und somit immer andere Ursachen haben. Die für das Überwachen/Messen zuständige Elektrofachkraft muss trotzdem in der Lage sein, diese Ursachen zu erkennen.

Dass es die Messsonden (RCM) und die Strommesszangen gibt, ist ein wahrer Segen. Man muss allerdings wissen, wie sie richtig angewendet werden sowie ihre Grenzen (Fremdfelder, Oberschwingungen) und die möglichen Fehlanzeigen kennen. Dieses gehört jedoch heutzutage zum Grundwissen einer Elektrofachkraft, die eine Anlage zu betreiben oder zu prüfen hat. Darauf wird in einem folgenden Beitrag näher eingegangen.

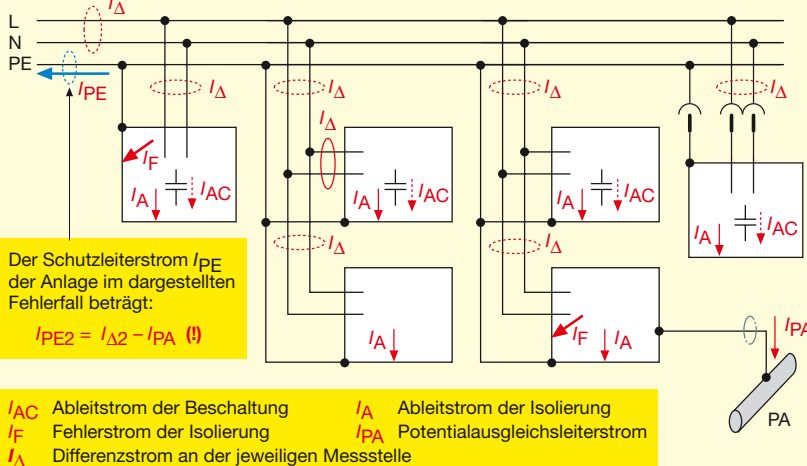
Autoren

Dipl.-Ing. Klaus Bödeker ist freier Fachjournalist, Berlin; Dipl.-Ing. Robert Kindermann ist Mitarbeiter der Firma Gossen-Metrawatt, Nürnberg.

Wert des **Differenzstroms** I_{Δ} eines Wechselstromkreises (Beispiel), er beträgt:

$$I_{\Delta 1} = \Sigma I_A + \Sigma I_{AC} \quad (!) \text{ ohne Isolationsfehler}$$

$$I_{\Delta 2} = \Sigma I_A + \Sigma I_{AC} + \Sigma I_F \quad (!) \text{ mit Isolationsfehler}$$



❶ Prinzip und Besonderheiten der Differenzstrom-(Ableit-/Fehlerstrom-)Überwachung einer Wechselstromanlage

Merkmale:

- Der Differenzstrom und der Schutzleiterstrom sind ein Gemisch von Ableit- und Fehlerströmen.
- Um zu klären, aus welchen Teilströmen der Differenzstrom besteht und welche Ursachen diese haben, sind weitere Messungen notwendig.

Erschwerend beim Beurteilen des Differenzstroms ist, dass in Abhängigkeit von der Art der Anlage/Teilanlage (Bilder ❶ bis ❸) und der von ihr versorgten Betriebsmittel, bei der Analyse des an **zentraler Stelle** ermittelten Messwerts, immer andere Zusammenhänge beachtet werden müssen. Infolge der unterschiedlichen Phasenlage der einzelnen Ströme und der dadurch erforderlichen geometrischen Addition, ist der Wert des Differenzstroms zwar ein wichtiges, allein dann doch nicht ausreichendes Merkmal für den Zustand der Anlage. Er kann

- einen sehr geringen oder im Prinzip sogar den Wert Null haben, obwohl in den Anlageanteilen/Betriebsmitteln unzulässig hohe symmetrische Ableit-/Fehlerströme fließen oder
- als Ergebnis der EMV-Beschaltungen einen zu hohen, aber trotzdem betriebsmäßigen Wert aufweisen.

Zu beachten ist weiterhin, dass Änderungen des Differenzstroms auftreten können, die

- zwar geringfügig sind, aber auf einen gefährlichen Zustand hinweisen oder solche,
- die einen erheblichen Wert haben, aber durch betriebsmäßige Einflüsse sowie Schaltzustände hervorgerufen wurden.

Nachstehend wird dies am Beispiel einiger Anlagenarten gezeigt.

1.1 Wechselstromanlage

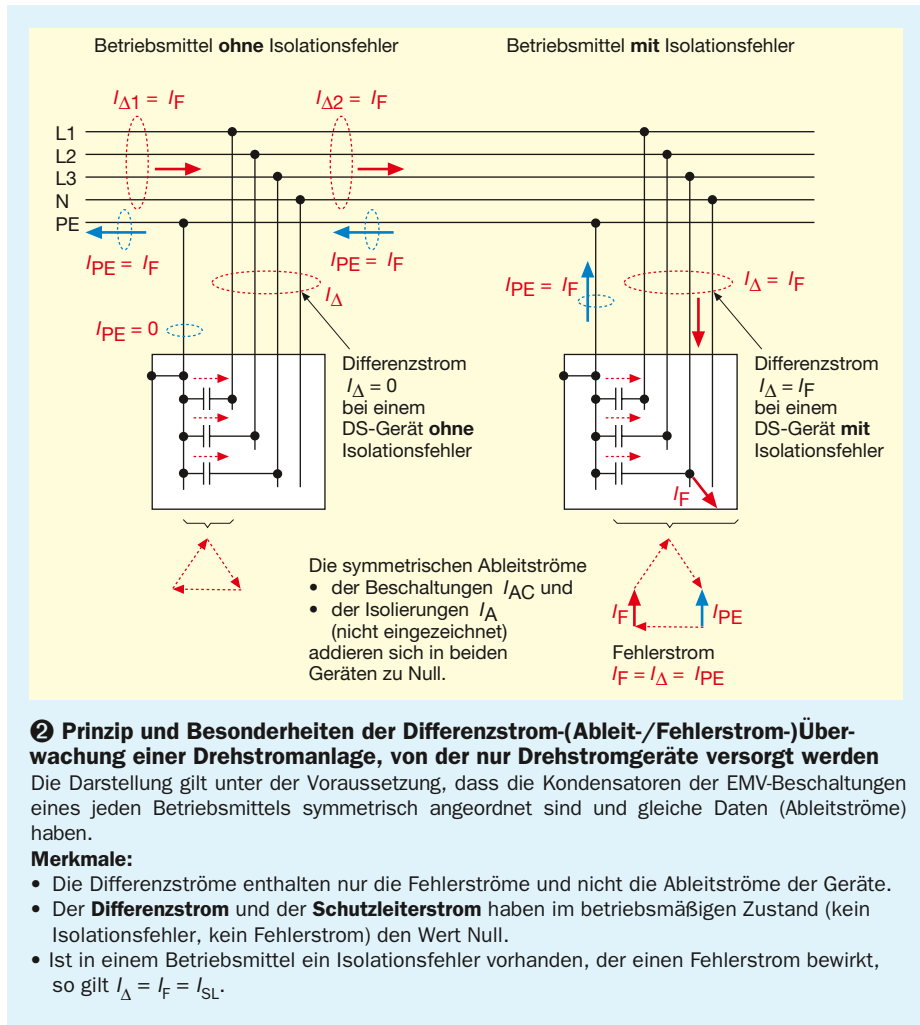
Die Differenzströme einer Wechselstromanlage (Bild ❶) – geometrischen Summen aller in dieser Anlage entstehenden und sie auf vielerlei Wegen verlassende Ableit- oder Fehlerströme – können sehr unterschiedliche und vielfach wechselnde Werte annehmen. Im dargestellten Beispiel müssen der die Anlage überwachenden Person die typischen Werte des „betriebsmäßigen“ Differenzstroms bekannt sein, die an bestimmten Messpunkten bei bestimmten betriebsmäßigen Zuständen (mögliche Schalt- und Betriebszustände der Arbeitsmittel) auftreten. Nur dann ist es für sie möglich abzuschätzen,

- ob im jeweiligen momentanen Messwert auch ein Fehlerstrom enthalten sein kann und
- ob eine Änderung durch einen Fehlerstrom hervorgerufen worden sein kann und ein Isolationsfehler zu suchen ist.

Gegebenenfalls sind der betreffenden Person bestimmte innerbetrieblich festgelegte Grenzwerte vorzugeben.

Das Analysieren einer Differenzstromänderung und das Lokalisieren einer eventuellen Fehlerstelle erfordert in diesem Fall (Bild ❶), dass 5 bis 9 weitere Überwachungsgeräte abgefragt oder entsprechende Messungen mit Strommesszangen jeweils an den gleichen Messstellen vorgenommen werden. Problematisch ist dabei, dass

- die Fehlerströme geringfügiger Isolationsfehler von den Ableitströmen der EMV-Beschaltungen überdeckt werden (**s. Kasten**),
- die Messunsicherheiten der Messmittel –



auch infolge der sich ja ebenfalls ändernden Fremdfelder – mitunter größer sind, als die interessierenden, aber noch geringen Werte der Fehlerströme und

- sich Veränderungen der Ableitströme auch durch betriebsmäßige Einflüsse (Erwärmung, Nässe, Spannungsfall) sowie durch betriebsmäßige Änderungen der Anzahl oder der Belastung der Betriebsmittel ergeben können.

Um die notwendige Information zu erhalten ist es in jedem Fall erforderlich, auch den Schutzleiterstrom der betreffenden Anlage zu messen.

Besteht ein erheblicher Unterschied (Bild ❶) zwischen dem Differenzstrom (I_{Δ}) und dem Schutzleiterstrom (I_{PE}), so sollte durch weitere Messungen festgestellt werden, welche Schutzleiterströme von welchen Anlageanteilen/Betriebsmitteln kommen und über welche leitenden Systeme (PA-Leiter) ein weiterer Anteil des Differenzstroms (I_{PA}) das Gebäude bzw. die Anlage verlässt.

Es muss beim Beurteilen der Messwerte immer wieder daran gedacht werden, dass die gemessenen Ströme eine unterschiedliche Phasenlage haben und daher nicht wie sonst immer üblich arithmetisch addiert werden dürfen.

1.2 Drehstromanlage

Bei einer Drehstromanlage, die ausschließlich Drehstrombetriebsmittel, d. h. keine Wechselstromkreise, versorgt (Bild ❷), ist die Analyse wesentlich einfacher. Die Ableitströme der Isolierungen und der symmetrischen Beschaltungen (L–PE) der Außenleiter addieren sich infolge ihrer Phasenlage im Schutzleiter eines jeden Betriebsmittels zu Null ([1], Bild 1). Sofern kein Isolationsfehler vorhanden ist und daher auch kein Fehlerstrom entsteht, fließt kein Strom im Schutzleiter. Die Differenzstrommessungen der Betriebsmittel und der Anlage ergeben den Wert Null.

Für die Überwachung gilt damit, dass der Differenzstrom $I_{\Delta} = \text{Null}$ als betriebsmäßiger Zustand anzusehen ist. Ein jeder Fehlerstrom, der infolge eines Isolationsfehlers in einem Außenleiter auftritt, ist somit einfach zu erkennen. Er kann erfasst und dann durch weitere Messungen eindeutig lokalisiert werden, wenn er die Empfindlichkeitsgrenze des Stromsensors oder der Strommesszange erreicht.

Problematisch ist hier, dass

- die symmetrischen Ableitströme und
- eventuell durch Nässe oder Alterung entstandene symmetrische Fehlerströme und
- auch einzelne (unsymmetrische) noch geringfügige Isolationsfehler

der Betriebsmitteln durch die Differenzstromüberwachung nicht oder nicht immer erfasst werden.

1.3 Drehstromanlage, die auch Wechselstromkreise enthält

Kompliziert wird die Situation bei Drehstromkreisen/-anlagen, von deren Außenleitern auch Wechselstromkreise ausgehen (Bild 3). Zunächst gilt auch hier der für eine Wechselstromanlage (Bild 1) dargelegte Zusammenhang. Hinzu kommt, dass sich die Summe der phasenverschobenen Ableitströme der einphasigen Betriebsmittel in Abhängigkeit vom Betriebszustand, vom Zu- oder Abschalten einer unbekannten Zahl von Wechselstrom-Verbrauchern, ständig ändern kann. Es kommt dann auch am jeweiligen Speisepunkt der Wechselstromkreise (Bild 3, $I_{\Delta 2}$) und auch am Eingang der Drehstromanlage (Bild 3, $I_{\Delta 1}$) zwangsläufig immer wieder zu „betriebsmäßigen“ Änderungen des Differenzstroms. Damit ist es kaum möglich,

- die betriebsmäßigen „Normalzustände“, d. h. zulässige Werte des Differenzstroms der Anlage festzustellen und
- einen geringen oder in der Größenordnung der betriebsmäßigen Änderungen der Ab-

leitströme liegenden Fehlerstrom zu erkennen und

- so die Übersicht zu behalten.

Ebenso schwierig ist es, die sich bei verschiedenen Betriebszuständen ergebenden Ströme I_{PE} in den Schutzleitern innerhalb der Anlage zu überblicken.

Um den gemessenen Differenzstrom am Eingang der Anlage wenigstens annähernd bewerten zu können ist es unumgänglich, zeitgleich auch die Differenzströme in der Anlage sowie ständig oder nach Erfordernis die ihnen zuzuordnenden Schutz- und Potentialleiterströme zu messen.

2 Konsequenzen für die verantwortliche Elektrofachkraft

Es ist nicht zu übersehen, dass es nötig und immer dringlicher wird, die Ableit- und Fehlerströme der Anlagen zu erfassen, d. h. regelmäßig und bei jeder Prüfung zu messen oder ständig zu überwachen. Die so genannte Differenzstromüberwachung ist eine solche Möglichkeit. Klar muss aber sein, dass es nicht um die Differenzströme geht, sondern darum,

- die in den Schutzleitern und in den PA-Systemen fließenden Ableit- und/oder Fehlerströme zu erfassen und
- die von diesen Strömen möglicherweise ausgehenden Betriebsstörungen ([1], Tafel 1) zu erkennen.

Um dies zu gewährleisten muss die zuständige Elektrofachkraft, der Anlagenverantwortliche,

- den Zusammenhang des ermittelten Differenzstroms und/oder Schutzleiterstroms mit den anderen Strömen ([1], Tafel 1) sowie deren Ursachen, Wege, Folgen und Störungen vollständig überblicken,
- die im Beitrag genannten technischen Grenzen der Differenzstromüberwachung/-messung kennen [die Ableitströme addieren sich geometrisch und möglicherweise zu Null, während die Fehlerströme nur bei einem entsprechenden Wert (I_F größer etwa $0,2 \times \sum I_A + I_{AC}$) zu erfassen sind],
- die zu überwachende Anlage hinsichtlich der technologischen Abläufe sowie der elektrischen Besonderheiten ([1], Bilder 6, 7, 8 – und Bilder 1 bis 3) vollständig durchschauen und
- die technischen Möglichkeiten der Strommesssonden und -zangen sowie ihre Einsatzmöglichkeiten in einer Anlage kennen und richtig nutzen.

Sie muss weiterhin berücksichtigen, dass es zur rationellen Gestaltung der Differenzstromüberwachung/-messung und einer einfachen Bewertung der Messwerte z. B. auch erforderlich sein kann,

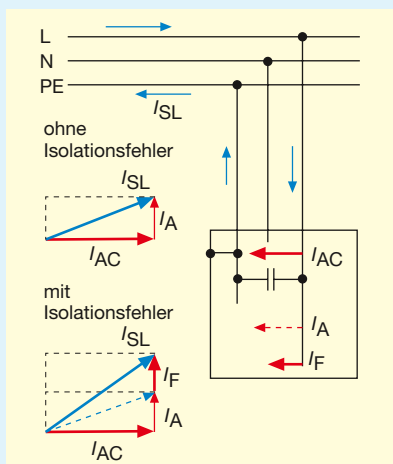
- die zu überwachende Anlage oder die Stromkreiszuordnung zu ändern,
- zusätzlich oder anstatt der Differenzstromüberwachung/-messung eine Schutzleiterstromüberwachung/-messung vorzunehmen,

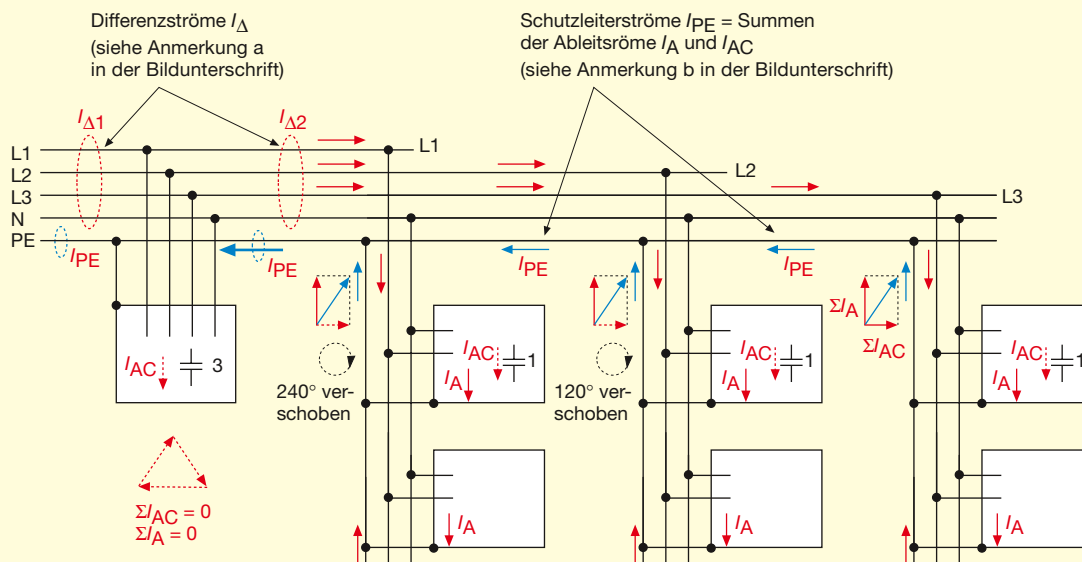
Einfluss der Phasenlage der Ströme auf die Stromsumme

Der im Schutzleiter (PE, PA) oder einem fremden leitfähigen Teil fließende Strom ist (fast) immer die Summe von mehreren Ableit- oder Fehlerströmen. Dabei ist egal,

- unter welchen Bezeichnungen diese Ströme einzeln oder gemeinsam auftreten,
- womit und wie sie gemessen werden.

Da sie aus mehreren Gründen eine unterschiedliche Phasenlage haben können, ist der gemessene Stromwert das Ergebnis einer durch die Messeinrichtung bewirkten Addition. Dies macht es schwierig und in vielen Fällen praktisch unmöglich zu erkennen, dass im gemessenen Schutzleiter- oder Differenzstrom, der im Wesentlichen von den Ableitströmen (I_A , I_{AC}) bestimmt wird, auch ein geringer Fehlerstrom I_F (siehe Bild) enthalten ist.





③ Prinzip und Besonderheiten der Differenzstrom-(Ableit-/Fehlerstrom-)Überwachung einer Drehstromanlage, von der auch Wechselstromgeräte versorgt werden

Anmerkung a: Die Werte der Differenzströme I_{Δ} (auch der Schutzleiterstrom I_{PE}) des Wechselstromkreises ändern sich ständig

- in Abhängigkeit von Schaltzustand/Anzahl der angeschlossenen fehlerfreien Wechselstrom-Betriebsmittel und/oder
- beim Auftreten von Fehlerströmen (Isolationsfehlern).

Um zu klären, welche Ursachen der Differenzstrom der Anlage hat, sind weitere Messungen der Differenz- und Schutzleiterströme der Betriebsmittel und Anlagenteile erforderlich.

Anmerkung b: Dargestellt sind hier die Summen der Ableitströme I_A und I_{AC} , die sich infolge ihrer Phasenlage (geometrische Addition !) zwischen den Wechselstromkreisen teilweise ausgleichen und daher nicht oder nur teilweise beim Messen des Differenzstroms I_{Δ} mit erfasst werden.

- die bisher nicht beachteten Verbindungen der PE-Leiter mit den PA-Leitern in der Anlage herauszufinden und zu beseitigen oder zu überwachen.

Wenn eine Differenzstromüberwachung eingerichtet werden soll bzw. wenn über ihre Zweckmäßigkeit zu entscheiden ist, sollte als Erstes eine gründliche Analyse der zu überwachenden Anlage und aller Betriebsmittel hinsichtlich der betriebsmäßig oder im Fehlerfall auftretenden Ableit-/Fehlerströme und deren Auswirkungen erfolgen. Dann sind die Messorte festzulegen, an denen die auftretenden Differenz- bzw. Ableit-/Fehlerströme gemessen werden müssen, um eine Lokalisierung ihrer Wege und Entstehungsorte zu ermöglichen. Dabei ist zu bedenken, dass die Notwendigkeit der dazu nötigen Messungen bzw. Messstellen möglicherweise erst im Verlauf des späteren Betriebes der Überwachungsanlage erkannt werden kann, d. h. beim Analysieren der Ströme.

Außerdem sollte in diesem Zusammenhang geklärt werden, ob es in der betreffenden Anlage infolge der Oberwellenbelastung durch moderne Arbeitsmittel auch nötig ist, die Neutralleiterströme zu überwachen.

Zweckmäßig ist weiterhin, dass der Anlagenverantwortliche die Erfahrungen anderer Betreiber der Differenzstromüberwachung nutzt. Dies hinsichtlich

- der in diesem Beitrag behandelten technischen Belange,
- der rationellen Gestaltung der Überwachungsanlage und
- der beim Errichten/Betrieben entstandenen Kosten sowie

- der Aussagekraft der Unterlagen, die vom Hersteller der Differenzstromüberwachungsgeräte zur Verfügung gestellt wurden.

3 Zusammenfassung

Bei allen Überlegungen und Entscheidungen zur Differenzstrommessung/-überwachung ist immer zu berücksichtigen, dass es nicht direkt um den Differenzstrom geht. Die eigentlichen Störenfriede sind die im Schutzleiter oder im PA-Leiter fließenden Ableit-/Fehlerströme. Deren Ursachen müssen erkannt und beseitigt werden. Der zu messenden Differenzstrom ist lediglich Ansatzpunkt der Untersuchungen. Eigentlich wäre es eindeutiger, von der „Schutzleiterstromüberwachung“ oder einer „Ableit-/Fehlerstromüberwachung“ zu sprechen. Klar muss auch sein, dass diese Überwachung keine Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag ist und daher auch das Anwenden von Überwachungsgeräten (RCM) nicht als Ersatz für den Einsatz von Fehlerstrom-Schutzschaltern angesehen werden kann.

Unbestritten ist, dass eine solche regelmäßige Messung oder ständige Überwachung – je nach der Art der Anlage – mehr oder weniger erforderlich ist und mit dem zunehmenden Einsatz moderner Komponenten in unseren Anlagen auch immer notwendiger wird. Jeder Anlagenverantwortliche sollte sich Klarheit darüber verschaffen, ob und wann und wie sie bei ihm eingeführt werden sollte.

Dabei ist zu beachten, dass die Möglichkei-

ten dieser Messung/Überwachung je nach Anlagenart mehr oder weniger beschränkt sind. Erst dann, wenn völlig geklärt wurde,

- welche Aussagekraft die einzelnen Messergebnisse an den möglichen Messorten haben,
- ob sie ausreichen, um aus ihnen die nötigen Schlussfolgerungen abzuleiten,
- ob sich der mitunter erhebliche Aufwand wirklich lohnt,
- ob durch die Differenzstrommessung/-überwachung nicht nur erhebliche Kosten, sondern wirklich auch Einsparungen z. B. bei der Wiederholungsprüfung entstehen [2],

ist zu entscheiden, welche Messungen/Überwachungen wirklich sinnvoll sind, um die elektrische Anlage sicher und wirtschaftlich zu betreiben.

Literatur

- [1] Bödeker, K.; Kindermann, R.: Ableit-/Fehler- und/oder Differenzströme; Ursachen, Probleme, Konsequenzen. Elektropraktiker, Berlin 61 (2007)9, S. 792–797.
- [2] BGFE (SD 52); Information zur Sicherstellung der Anforderungen gemäß § 5 UVV-VBG A3. ■

Fortsetzung

ep ELEKTRO
PRAKTIKER

**Differenzstromüberwachung –
Vergleich mit anderen Mess-
und Prüfverfahren**