

Wiederholungsprüfung an mehrphasigen elektrischen Geräten

K. Bödeker, Berlin

In den Normen für Sicherheitsprüfungen an gebrauchten elektrischen Geräten [1] [2] und ebenso in der Fachliteratur [3] [4] werden die Prüfverfahren vorwiegend an Prüflingen mit einem zweipoligen Anschluss erläutert. Offen blieb bisher die Frage, welche Besonderheiten bei mehrphasigen Geräte zu beachten sind. Im nachstehenden Beitrag werden die Prüfverfahren und entstehende Messprobleme betrachtet.

1 Prüfmöglichkeiten bei mehrphasigen elektrischen Geräten

Die bisher nach DIN VDE 0701 Teil 1 [1] und DIN VDE 0702 [2] üblichen Prüf- bzw. Messverfahren der Sicherheitsprüfung an elektrischen Geräten – die Schutzleiterwiderstands- und die Isolationswiderstandsmessung – waren und sind für ein- und mehrphasige Geräte anwendbar (Bild 1).

Bei Prüflingen mit spannungsabhängigen Schalteinrichtungen (Relais o. ä.) ist

- weder das Messen des Isolationswiderstands
- noch das Messen des Ableitstroms mit dem Verfahren der Ersatz-Ableitstrommessung ordnungsgemäß möglich. Diese Einschränkung gilt für Wechselstrom- und Drehstromprüflinge gleichermaßen. Sagen wir es ehrlich, diese Geräte wurden vordem – und werden in vielen Fällen wohl auch jetzt noch – praktisch nicht normgerecht geprüft.

Jedoch wurde zum Nachweis des Isoliervermögens neben der Isolationswiderstandsmessung auch das Messen des Ableitstroms mit Netzspannung (Schutzleiter- bzw. Berührungsstrom; je nach Schutzklasse des Prüflings) zugelassen. Somit sind auch diese Geräte ordnungsgemäß prüfbar. Es bestehen jedoch bei mehrphasigen Geräten einige Einschränkungen, die beim Anwenden dieser Messverfahren und dem Beurteilen ihrer Ergebnisse gelten.

2 Nachweis des Isoliervermögens

Zu beachten ist, dass in den beiden Normen [1][2] zwei physikalisch völlig unterschiedliche Verfahren,

- die Isolationswiderstandsmessung und
- die Ableitstrommessung (Schutzleiter- bzw. Berührungsstrommessung),

zur Beurteilung des Isoliervermögens verwendet werden. Sie beruhen auf verschiedenen elektrischen Wirkmechanismen und auch ihre Messergebnisse sind unterschiedlich zu bewerten.

Bei der **Isolationswiderstandsmessung** (Bild 1 b) werden nur die ohmschen Widerstände erfasst. Der Isolationswiderstand wird vom Prüfgerät errechnet, nachdem bei einer konstanten Spannung von 500 V DC der fließende Strom gemessen wurde. Das Messergebnis beschreibt somit die Summe der ohmschen Widerstände der Isolierungen, Kriechstrecken und etwaiger Beschaltungen. Der Messwert ermöglicht dem erfahrenen Prüfer eine Aussage über den Zustand (Defekte, Verschmutzung, Nässe usw.), und auch über etwaige Schwachstellen der Isolierung (Alterung), die Einfluss auf die Lebensdauer des Prüflings haben können. Er bietet allerdings keine Aussage über die Funktion etwa vorhandener Beschaltungskondensatoren. Auch die im Moment der Prüfung vorhan-

dene Gefährdung durch Ableit- bzw. Fehlerströme wird damit nicht exakt bzw. nur indirekt erfasst.

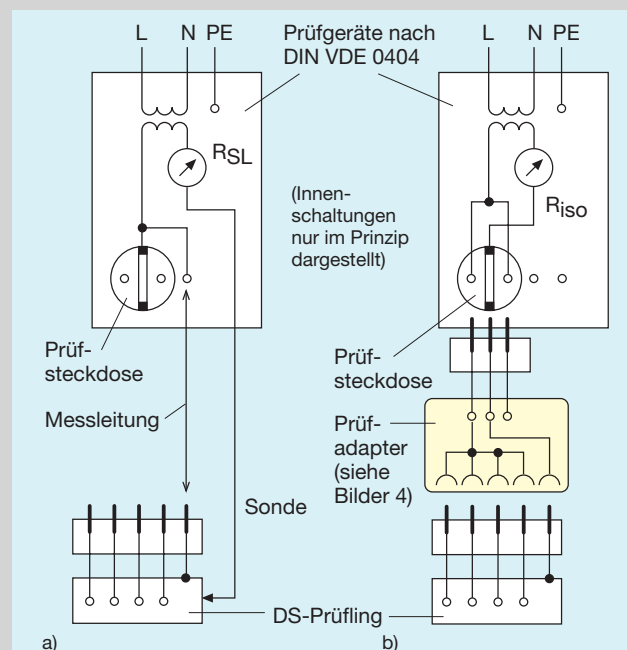
Der **Ableitstrom** hingegen (Bilder 2 und 3) entsteht durch das Anlegen einer Wechsellspannung und ist die Summe der Ströme, die über die ohmschen Widerstände der Isolierungen und Kriechstrecken als auch über die Beschaltungen (vorwiegend kapazitive Elemente) fließen. Bei dieser Messung beeinflussen etwa vorhandene Beschaltungskondensatoren das Messergebnis erheblich, da sie den weitaus größeren Anteil des Ableitstroms verursachen. Die Tendenz einer Verschlechterung der Isolierung (z. B. durch Verschmutzungen) ist daher bei Geräten mit einer kapazitiven Beschaltung, vor allem bei Geräten der Schutzklasse I, durch die Ableitstrommessung kaum feststellbar. Außerdem werden die Ableitströme entsprechend ihrer Phasenlage geometrisch addiert und können nicht als einfache Summe betrachtet werden.

Diese Messung bietet somit nur die Möglichkeit, den augenblicklichen Zustand des Prüflings bezüglich einer möglichen Gefährdung von Personen durch den Ableit- bzw. Fehlerstrom zu beurteilen. Eine Bewertung der Isolierungen kann anhand des Messwerts kaum oder gar nicht erfolgen. Hier wird der Unterschied zur Aussage einer Isolationswiderstandsmessung deutlich.

Der gemessene Ableitstrom stimmt wegen der genannten Zusammenhänge nicht mit einem aus dem ohmschen Isolationswiderstand und der Nennspannung errechneten Strom überein.

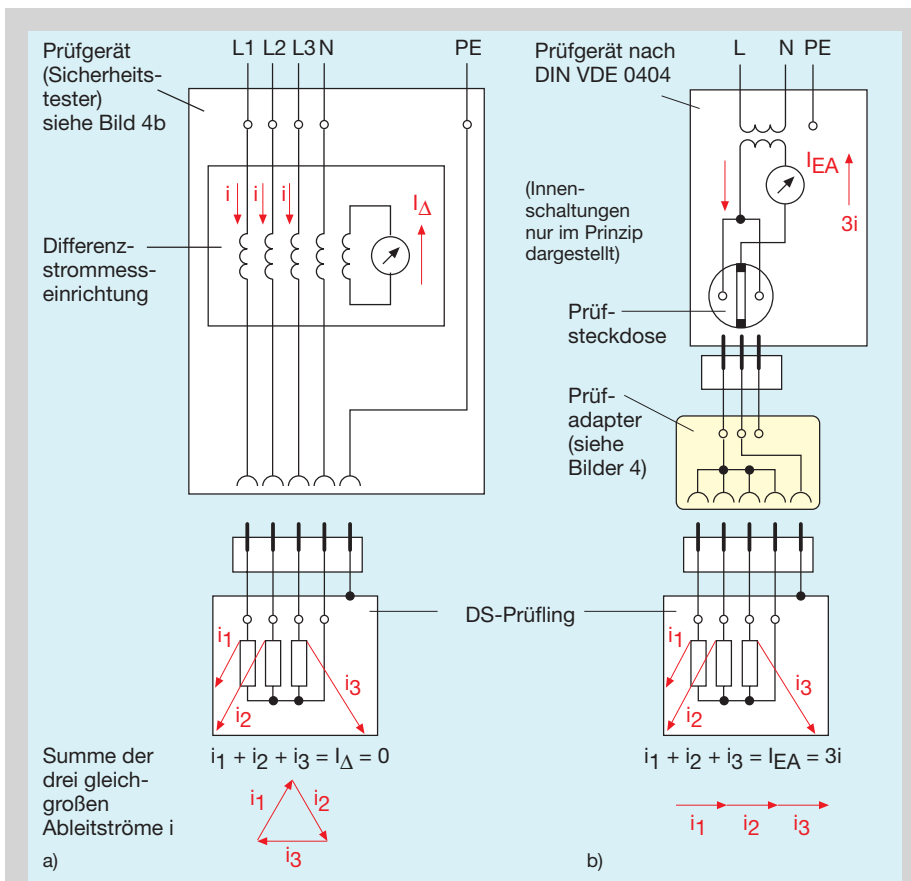
Man muss auch feststellen, dass mit beiden Verfahren

1 Messung des Schutzleiter- und des Isolationswiderstands bei mehrphasigen Geräten
a) Messung des Schutzleiterwiderstands
b) Messung des Isolationswiderstands

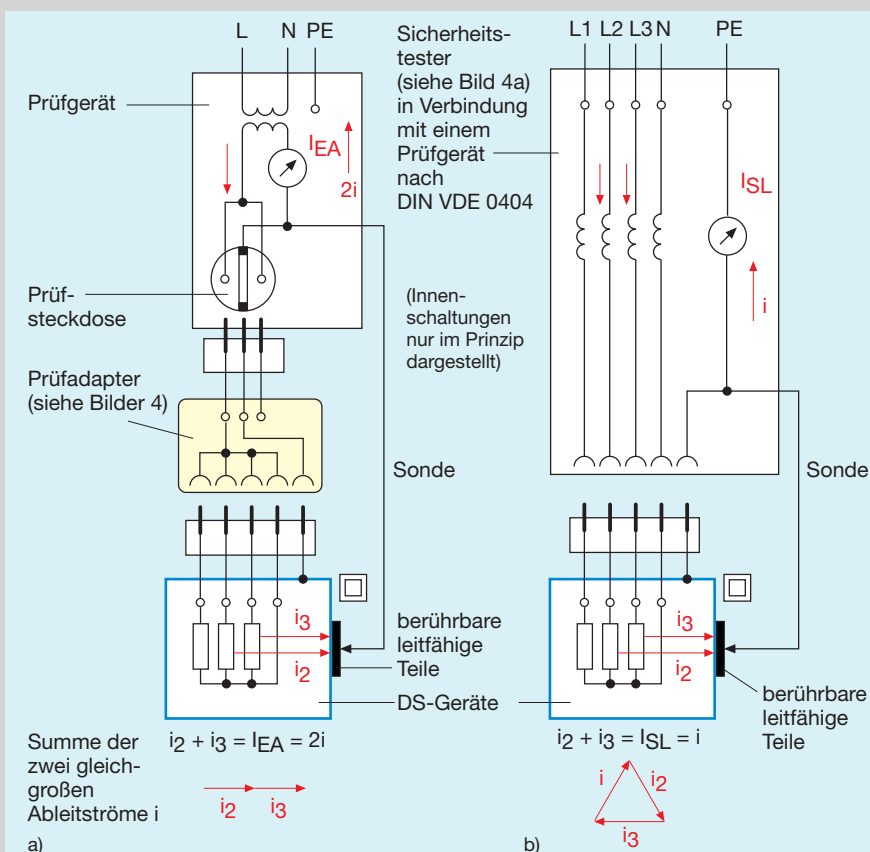


Autor

Dipl.-Ing. Klaus Bödeker ist freier Fachjournalist, Berlin.



2 Messung des Schutzleiterstroms bei dreiphasigen Geräten der Schutzklasse I



3 Messung des Berührungsstroms bei dreiphasigen Geräten der Schutzklasse II

- krasse Mängel wie durchnässte Isolierungen, niederohmige Isolationsfehler und Ähnliches gefunden werden.
- kleinere Mängel, die Grundlage späterer Ausfälle sein können, praktisch nicht erkennbar sind. Bestenfalls kann sie ein erfahrener Prüfer in beiden Fällen durch Abweichungen von den üblicherweise auftretenden Messwerten erkennen. Schwachstellen werden möglicherweise weder auf die eine noch auf die andere Weise erkannt.
- sich widersprechende Prüfergebnisse bezüglich der einzuhaltenden Grenzwerte erreicht werden können, d. h. möglicherweise mit dem einen Verfahren ein positives ($R_I \gg 0,5 \text{ M}\Omega$) und dem anderen ein negatives ($I_{SL} > 3,5 \text{ mA}$) Ergebnis erzielt wird. Auf die verschiedenen Ursachen dieser Situation soll hier nicht näher eingegangen werden.

Es wird aber damit klar, dass bei der Prüfung eines elektrischen Geräts immer beide Messverfahren angewandt werden sollten, um eine möglichst umfassende Aussage zu erhalten und das Prüfergebnis mit großer Sicherheit vertreten zu können. Diese Verfahrensweise ist in DIN VDE 0701-1 [1] auch vorgeschrieben. Bei der Wiederholungsprüfung nach DIN VDE 0702 [2] wird jedoch zugelassen [3], das eine oder das andere Prüfverfahren anzuwenden. Diese Festlegung (DKE-Komitee 211) ergab sich

- einerseits aus technischen Einschränkungen, denn das Messen des Isolationswiderstands bei Geräten mit spannungsabhängigen Schaltelementen ist logischerweise nach wie vor nicht möglich, und
- andererseits als ein Zugeständnis an die Alltagspraxis, weil viele der in den Betrieben vorhandenen Prüfgeräte das Messen des Schutzleiterstroms und oft auch des Berührungsstroms mit Nennspannung nicht gestatten.

Außerdem muss festgestellt werden, dass bei den Prüflingen mit spannungsabhängigen Schalt- oder Steuergeräten auch das Messen des Ableitstroms nach dem Verfahren der Ersatz-Ableitstrommessung nicht durchführbar ist. Es ergibt sich, dass bei diesen Geräten nur das Messen des Ableitstroms mit angelegter Nennspannung (d. h. nach dem direkten oder dem Differenzstrommessverfahren) zum Beurteilen des Zustands der Isolation bzw. der Sicherheit zur Verfügung steht.

Somit blieb den Normensetzern ohnehin keine Wahl. Es ist unumgänglich, den Verzicht auf die Isolationswiderstandsmessung auch in der Norm zuzulassen.

Welche Möglichkeiten und Einschränkungen sich dazu dann noch bei den mehrphasigen Geräten ergeben, wird nachstehend aufgezeigt. Es wird dabei vorausgesetzt, dass es sich um mehrphasige Geräte handelt, die nicht nur als eine Zusammenschaltung von mehreren selbständigen einphasi-

gen Geräten betrachtet werden können. In diesem Fall wäre natürlich jedes einphasige Teilgerät getrennt und wie üblich zu prüfen.

3 Prüfverfahren mehrphasiger Geräte der Schutzklasse I

Die Ableit- (Schutzleiter-) strommessung ist mit den herkömmlichen Prüfgeräten und/oder dem Einsatz von speziellen Adaptern möglich. Sie kann erfolgen

- mit dem Verfahren der Differenzstrommessung (Bild 2 a) und auch
 - der direkten Messung
- und, wenn im Prüfling keine spannungsabhängigen Schaltelemente vorhanden sind,
- mit dem Verfahren der Ersatz-Ableitstrommessung (Bild 2 b).

Gegenüber der Messung des Schutzleiterstroms einphasiger Geräte ist hier zu beachten, dass mit dem Ersatz-Ableitstrommessverfahren erzielte Messergebnisse völlig anders zu beurteilen sind als diejenigen, die sich bei der Direktmessung oder dem Differenzstrommessverfahren ergeben.

Das Messergebnis der **Differenzstrommessung** (Bild 2 a)

- kommt durch eine geometrische Addition der Ableitströme der Phasen zu Stande.
- ermöglicht keine sichere Beurteilung des Zustands der Isolierungen/Beschaltungen, da sich symmetrische Ableit-/Fehlerströme aufheben und somit keinen Schutzleiterstrom verursachen.
- gestattet Aussagen über die Größe des fließenden Schutzleiterstroms und somit über die im Augenblick der Prüfung vorhandene Sicherheit für den Benutzer:
 $I_{SL} = 0 - 3,5 \text{ mA} \Rightarrow$ Sicherheit vorhanden
 $I_{SL} > 3,5 \text{ mA} \Rightarrow$ nicht ausreichend.

Das Messergebnis der **Ersatz-Ableitstrommessung** (Bild 2 b)

- ergibt sich durch eine arithmetische Addition der Ableitströme der Phasen.
- ermöglicht dem erfahrenen Prüfer eine gewisse Beurteilung des Zustands der Isolierungen und der Beschaltungen, da er den durch die Beschaltungen verursachten Anteil des Stromes kennt.
- gestattet nach dem Vermindern des Messergebnisses um den dreifachen Wert des Ableitstromes i_c der Beschaltung in einer Phase folgende Aussagen:
 $I_{EA} = 0 - 3,5 \text{ mA} \Rightarrow$ Sicherheit vorhanden
 $I_{EA} > 3,5 \text{ mA} \Rightarrow$ Sicherheit möglicherweise vorhanden (die phasenverschobenen Ableit-/Fehlerströme i_a im Schutzleiter heben sich ganz oder teilweise auf).

4 Prüfverfahren mehrphasiger Geräte der Schutzklasse II

Die Berührungsstrommessung kann bei einem mehrphasigen Gerät mit einem auch für einphasige Geräte üblichen Prüfgerät

Tafel 1 Prüfverfahren und Bewertung beim Nachweis des Isoliermögens von mehrphasigen Geräten

Art des Geräts		Prüfverfahren		Bemerkung
Schutzklasse	spannungsabhängige Schaltelemente im Prüfling sind	Als Prüfverfahren kann angewandt werden die Messung des	Das Messergebnis bietet die Möglichkeit der Beurteilung von dem/der	
I	nicht vorhanden	• Isolationswiderstand • Schutzleiterstroms nach dem Differenzstromverfahren ³⁾ • Schutzleiterstroms nach dem Ersatz-Ableitstromverfahren	Zustand der Isolierung Sicherheit für den Benutzer	1)
	vorhanden	• Schutzleiterstroms nach dem Differenzstromverfahren ³⁾	Sicherheit für den Benutzer	2)
II	nicht vorhanden	• Isolationswiderstands • Berührungsstroms nach dem direkten Messverfahren ⁴⁾ • Berührungsstroms nach dem Ersatzableitstromverfahren	Zustand der Isolierung Sicherheit für den Benutzer	1)
	vorhanden	• Berührungsstroms nach dem direkten Messverfahren ⁴⁾	Sicherheit für den Benutzer	2)

1) Durch das Anwenden der drei Messungen sowie durch das Besichtigen ist eine ordnungsgemäße Beurteilung möglich
 2) Das Besichtigen muss das Beurteilen/Einschätzen des Zustands der Isolierungen ermöglichen.
 3) Möglich ist auch die Anwendung des direkten Messverfahrens.
 4) Möglich ist auch die Anwendung des Differenzstromverfahrens.

- über das Verfahren der direkten Messung (Bild 3 a) oder
 - über das Verfahren der Ersatz-Ableitstrommessung (Bild 3 b)
- vorgenommen werden. Die Folgen der geometrischen bzw. arithmetischen Addition sind im Prinzip die gleichen wie bei der Messung an Geräten der Schutzklasse I. Für das Beurteilen der Messergebnisse folgt:

Das Ergebnis der **direkten Messung** (Bild 3 a)

- kommt durch eine geometrische Addition der Ableitströme der Phasen zu Stande.
- ermöglicht keine sichere Beurteilung des Zustands der Isolierungen/Beschaltungen, da sich symmetrische Ableit-/Fehlerströme aufheben. Außerdem fließt nicht von allen aktiven Teilen ein Ableit-/Fehlerstrom als Berührungsstrom zu dem jeweiligen berührbaren leitenden Teil.
- gestattet aber eine Aussage über die Größe des fließenden Berührungsstroms und somit über die im Augenblick der Prüfung vorhandene Sicherheit bzw. mögliche Gefährdung für den Benutzer, d. h. bei
 $I_{SL} = 0 - 0,5 \text{ mA} \Rightarrow$ Sicherheit vorhanden
 $I_{SL} > 0,5 \text{ mA} \Rightarrow$ nicht ausreichend.

Das Messergebnis der **Ersatz-Ableitstrommessung** (Bild 3 b)

- ergibt sich durch eine arithmetische Addition der Ableitströme der Phasen.
- ermöglicht dem erfahrenen Prüfer eine bessere Beurteilung des Zustands der Isolierungen als das Differenzstrommessverfahren, die aber trotzdem nicht befriedigend ist, da nicht von allen aktiven

Teilen ein Ableit-/Fehlerstrom als Berührungsstrom zu dem jeweiligen berührbaren leitenden Teil fließt.

- gestattet folgende Aussagen:
 $I_{EA} = 0 - 0,5 \text{ mA} \Rightarrow$ Sicherheit vorhanden
 $I_{EA} > 0,5 \text{ mA} \Rightarrow$ Sicherheit möglicherweise vorhanden, da sich die phasenverschobenen Ableit-/Fehlerströme i_a bei ihrer Addition zum Berührungsstrom ganz oder teilweise aufheben.

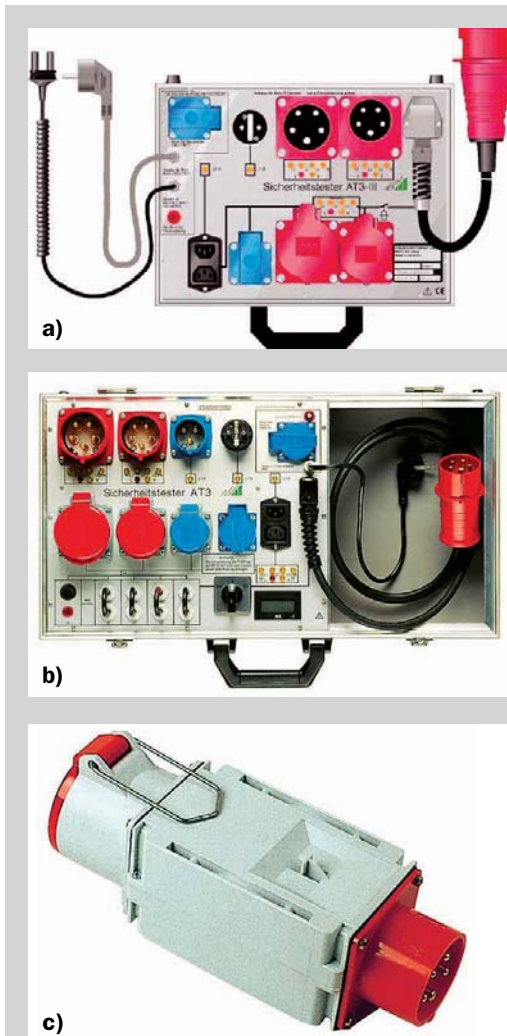
5 Ergebnisse der Messungen

Bei mehrphasigen Geräten der Schutzklasse I und II – ohne spannungsabhängige Schaltelemente – ist es somit durch das Besichtigen, die Isolationswiderstandsmessung und das Anwenden eines oder beider der jeweilig aufgeführten Messverfahren möglich, eine recht gute Aussage über die vorhandene Sicherheit zu erhalten. Auch der Zustand der Isolierungen lässt sich damit sicher beurteilen.

Da bei Geräten mit spannungsabhängigen Schaltelementen die Isolationswiderstands- und die Ersatz-Ableitstrommessung nicht vorgenommen werden können, muss über die derzeit vorhandene Sicherheit

- bei mehrphasigen Geräten der Schutzklasse I auf Grund der Differenzstrommessung und
- bei mehrphasigen Geräten der Schutzklasse II auf Grund der direkten Messung entschieden werden.

Der Zustand und somit die Zuverlässigkeit der Isolierungen, lassen sich nur – und erfahrungsgemäß ausreichend gut – durch das Besichtigen beurteilen.



4 Prüfhilfsmittel, die gemeinsam mit den herkömmlichen Prüfgeräten nach DIN VDE 0404 das Prüfen von dreiphasigen elektrischen Geräten ermöglichen.

- a) Sicherheitstester AT 3 III (Adapter in Kofferform) (GMC)
- ermöglicht zusammen mit den Prüfgeräten Secutest SII und SIII von Gossen-Metrawatt, das vollständige Prüfprogramm von DIN VDE 0701-1/0702 an DS-Geräten durchzuführen
 - ermöglicht den Anschluss und die Prüfung von ein- und dreiphasigen Geräten und Verlängerungsleitungen bis 16 A
 - sichert für den Prüfling den Zusatzschutz durch elektronische Fehlerstromüberwachung
- b) Sicherheitstester AT 3 (Adapter in Kofferform) (GMC)
- ermöglicht im Zusammenwirken mit einem beliebigen externen Prüfgerät das vollständige Prüfprogramm von DIN VDE 0701-1/0702 an DS-Geräten durchzuführen
 - ergänzt die Prüfverfahren der externen Prüfgeräte um die Messung des Schutzleiterstroms nach dem Differenzstromverfahren, die Drehfeldrichtungsanzeige und weitere Funktionen
 - ermöglicht den Anschluss und die Prüfung von ein- und dreiphasigen Geräten und Verlängerungsleitungen bis 16 A
- c) Differenzstrom-Messadapter AD/I-D/3P (HJS) für DS-Prüflinge mit je einem Strom- und Spannungs-Messausgang. Anschluss an den I-ABL-Eingang jedes VDE-0701/0702-Messgerätes mit direkter Ableitstrom-Messmöglichkeit. Der Messbereich beträgt, in Abhängigkeit vom Messgeräte-Innenwiderstand:
- | | |
|--|---------------------------|
| • bei Messgeräten für VDE 0701 mit $R_i \approx 2 \text{ k}\Omega$ | 5 μA bis 4 mA |
| • bei Messgeräten für VDE 0751 mit $R_i \approx 1 \text{ k}\Omega$ | 5 μA bis 8 mA |
| • bei RMS-Multimetern mit $R_i \approx 2...5 \Omega$ | 5 μA bis 20 mA |
- Die Markteinführung ist für das erste Drittel 2002 vorgesehen. Der VK-Listenpreis wird etwa 300,- Euro netto plus USt. betragen.
- d) Drehstromadapter 1142 und e) 1143 (BEHA)
- zum Anschluss von Drehstromgeräten an die Prüfsteckdosen von Prüfgeräten zum Durchführen der Schutzleiter- und Isolationswiderstandsmessung sowie der Schutzleiterstrommessung nach dem Ersatz-Ableitstromverfahren (Bilder 1 und 2b)



Bei allen Geräten und allen Prüfverfahren sind diese Messungen in allen Stellungen vorhandener Schalter und Regler vorzunehmen.

6 Prüfgeräte, Prüfhilfsmittel

Für die in den Bildern 1 bis 3 dargestellten Messschaltungen zum Prüfen der Drehstrom- (DS-) Geräte werden neben den zum Prüfen der einphasigen elektrischen Geräte bereits vorhandenen Prüfgeräten die in den Bildern 4 beispielhaft dargestellten Adapter/Sicherheitstester o. ä. benötigt.

7 Zusammenfassung

Das Prüfen mehrphasiger Geräte erfolgt nach den gleichen Grundsätzen und den gleichen Bewertungsmaßstäben wie sie bei den einphasigen Geräten vorgegeben bzw. üblich sind. Als Folge der geometrischen Addition der Ableit-/Fehlerströme, der notwendigen speziellen Prüfadapter und der sich damit ergebenden etwas

schwer zu übersehenden Sachlage ist jedoch das Bewerten der Prüfergebnisse nicht immer einfach. Eine Hilfe bietet der Merksatz:

Ergibt sich der Messwert Null, so heißt das

- beim Differenzstrom- oder dem direkten Messverfahren: die Sicherheit ist gewährleistet, möglicherweise sind aber symmetrische Ableitströme in allen Phasen vorhanden.
- beim Ersatzableitstrommessverfahren: die Sicherheit ist gewährleistet, es treten keine Ableitströme auf.

Um über die Weiterverwendbarkeit der geprüften Geräte entscheiden zu können (vor allem bei über den Grenzwerten liegenden Messwerten), muss der Prüfer

- die Eigenarten der zu beurteilenden Geräte (Beschlaltungen, konstruktive Gestaltung, übliche Ableitströme usw.) kennen und
- sich das Zustandekommen der Messergebnisse bei den verschiedenen Gerätarten erklären können.

Tafel 1 zeigt die Zuordnung der Prüfverfahren zu den Prüflingen und die Qualität dann möglicher Bewertungen. Im Bild 4

werden einige Prüfhilfsmittel vorgestellt, die das Prüfen von Drehstromgeräten ermöglichen. Die in den Bildern 2 und 3 dargestellten Fälle sind nur Beispiele, die den Zusammenhang erläutern sollen. Je nach der Größe und dem Ort der sich ausbildenden Ableit-/Fehlerströme und auch durch die etwaigen Beschlaltungen sind viele andere Messwerte der Schutz- bzw. Berührungsströme möglich. Insgesamt ist nicht zu übersehen, dass es schon erheblicher Fachkenntnisse und der Erfahrungen einer mit dem Prüfen vertrauten Elektrofachkraft bedarf, um die an den Drehstromgeräten erzielten Messergebnisse sicher beurteilen zu können.

Literatur

- [1] DIN VDE 0701 Instandsetzung Änderung und Prüfung elektrischer Geräte.
- [2] DIN VDE 0702 Wiederholungsprüfung elektrischer Geräte.
- [3] Bödeker: Prüfung ortsveränderlicher Geräte. 4. Auflage. Berlin: Verlag Technik, erscheint voraussichtlich I/2002.
- [4] Bödeker, Kammerhoff, Kindermann, Matz: Prüfung elektrischer Geräte nach DIN VDE 0701/0702, 0751; Anwendung in der Praxis. Buch 62 der VDE Reihe. Berlin-Offenbach: VDE-Verlag.