

6. Messtechnik

Hinweis:

Der Themenbereich „Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik“ wird in Nordrhein-Westfalen in einem gesonderten Kurs der überbetrieblichen Ausbildung vermittelt. Daher wird in diesem Handbuch nicht in vollem Umfang auf diesen Bereich eingegangen.

6.1 Einführung in die Messtechnik

In technischen Vorgängen und Prozessen werden zahlreiche physikalische Größen erfasst, umgewandelt und ausgewertet. Grundlage der Erfassung physikalischer Größen ist das Messen. Messen ist der Vergleich einer unbekanntes mit einer bekannten, definierten physikalischen Größe. Diese Größen können nichtelektrischer Art, z. B. Wege, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Temperatur, Wärmemenge, Lautstärke, Arbeit oder elektrischer Art, z. B. Spannung, Strom, Widerstand, Induktivität, Kapazität, elektrische Energie sein.

Mit fortschreitender Automatisierung gewinnt die elektrische Messung nichtelektrischer Größen zunehmend an Bedeutung.

Messeinrichtung, Messkette

Das nach einem Messprinzip ausgewählte Messverfahren wird in einer Messanordnung oder Messeinrichtung verwirklicht. Eine Einrichtung zum Messen nicht elektrischer Größen besteht grundsätzlich aus drei Teilen (Messkette). Ein Aufnehmer, heute vielfach auch Sensor genannt, als das erste Glied, erfasst den Messwert und gibt ein entsprechendes Messsignal ab.

Das Messsignal wird zur Aufbereitung dem zweiten Glied, einem Messumformer, zugeführt. Bei der elektrischen Messung ist das Messsignal eine elektrische Größe, die für eine Weiterverarbeitung oder eine Anzeige bereitgestellt werden kann. Ist das Messsignal für die Weiterverarbeitung zu groß oder zu klein, so ist eine Anpassung oder eine Nachverstärkung erforderlich. Ist das Messsignal für den Anzeiger nicht geeignet, so muss das Signal umgewandelt werden. Man spricht dann von einer Messwertumwandlung. Wird der Messwert einer Steuerung oder zentralen Leitwarte zugeführt, so wird er oft entkoppelt, damit keine Störungen in die Steuerung oder Leitwarte eingebracht werden können; man spricht dann von einer galvanischen Trennung.

Heute werden oft Messwertaufnehmer und Messumformer in ein gemeinsames Gehäuse montiert, so dass man von einer Messeinrichtung sprechen kann. Als Ausgang stehen verschiedene Gleichspannungen / Gleichströme zur Verfügung. Moderne Messeinrichtungen sind mit Schnittstellen zum Anschluss an einen PC ausgerüstet.

Das dritte Glied der Messkette ist die Messwertanzeige oder –registrierung.

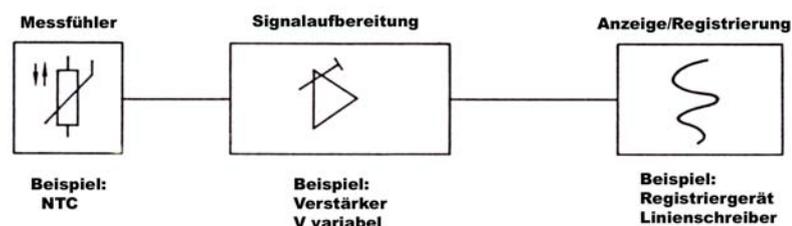


Abb. 6.1: Grundaufbau einer Messeinrichtung

Messverfahren

Die Nutzung eines Messprinzips kann in unterschiedlicher Weise erfolgen.

Unterschieden werden:

- direkte und indirekte Messverfahren
- sowie
- analoge und digitale Messverfahren.

Direktes Messverfahren

Bei einem direkten Messverfahren wird der gesuchte Messwert einer Messgröße durch unmittelbaren Vergleich mit einem Bezugswert derselben Messgröße gewonnen.

Das direkte Messverfahren ist ein Vergleichsverfahren.

Ein Beispiel ist das Vielfachmessgerät zur Messung von Spannung, Strom und Widerstand.

Indirektes Messverfahren

Bei dem indirekten Messverfahren wird der gesuchte Messwert einer Messgröße aus einer anderen physikalischen Größe ermittelt. Der Zusammenhang zwischen den physikalischen Größen muss bekannt sein. Ein Beispiel ist die Widerstandsmessung nach der Strom – Spannungs – Methode.

Analoge und digitale Messverfahren

Unabhängig von direkter oder indirekter Messung unterscheidet man analoge und digitale Messverfahren.

Ein Messverfahren heißt analog, wenn die Messgröße (Eingangsgröße) durch das Verfahren, das Gerät oder die Einrichtung in eine Ausgangsgröße (Anzeige) umgewandelt wird, die der Eingangsgröße proportional ist.

Ein Messverfahren wird als digital bezeichnet, wenn eine Messgröße in einen Digitalwert umgewandelt und als solchen zur Anzeige gebracht wird. Hier gilt die Proportionalität zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße nicht, weil die Ausgangsgröße sich nur stufenweise verändern kann. Zu den digitalen Verfahren zählt auch die Umwandlung einer Eingangsgröße in eine bestimmte Anzahl von Impulsen oder von Impulsen je Zeiteinheit.

Analoge Messwertübertragung

Bei der analogen Messwertübertragung unterscheidet man hauptsächlich zwischen zwei Arten:

1. Übertragung als Spannungswert, z. B. 0 bis 10 Volt;
2. Übertragung als Stromwert, z. B. 0 bis 20 mA und 4 bis 20 mA.

Die Übertragung von Spannungswerten ist sehr störungsanfällig. Sie sollte deshalb nur über kurze Entfernungen, z. B. innerhalb von Warten, ausgeführt werden. Die Hauptstörungsursachen sind: Spannungsabfälle auf den Leitungen, Kontaktwiderstände an Verbindungsstellen, induktive und kapazitive Einstreuungen sowie Wärmeprobleme. Wirkungsvolle Abhilfe kann man durch Abschirmung schaffen.

Werden die Signalwerte jedoch als Stromwerte übertragen sind die vorgenannten Störungen zu vernachlässigen. Als Stromwerte werden heute hauptsächlich 0 bis 20 mA oder 4 bis 20 mA übertragen. Besondere Bedeutung hat der Strombereich 4 bis 20 mA, da bei einem Signalwert 0 bereits 4 mA Strom fließen müssen. Dieser Nullwert, mit einem definierten Strom von 4 mA, wird auch als life – zero (engl. = lebender Nullwert) bezeichnet. Wird der Strom von 4 mA unterschritten, liegt eine Störung vor, z. B. eine Leitungsunterbrechung.

Digitale Messwertübertragung

Zur Übertragung über größere Entfernungen ist ein digitales Signal besser geeignet, als ein analoges. Eine digitale Informationsübertragung arbeitet ohne Signalwertverfälschung und gestattet eine Mehrfachnutzung der Übertragungsleitung.

Eine verlustarme Signalübertragung ist mit Hilfe von Lichtwellenleitern (LWL) möglich.

Analoge und digitale Anzeigen

Bei analog dargestellten Messwerten wird die Messgröße z. B. durch einen von einem Zeiger überstrichenen Winkel α oder einem zurückgelegten Weg s dargestellt (Abb. 6.2). Durch Veränderung der Messgröße (z. B. Spannung oder Temperatur) wird eine Änderung des Zeigerausschlages bzw. der Länge des Weges erreicht.

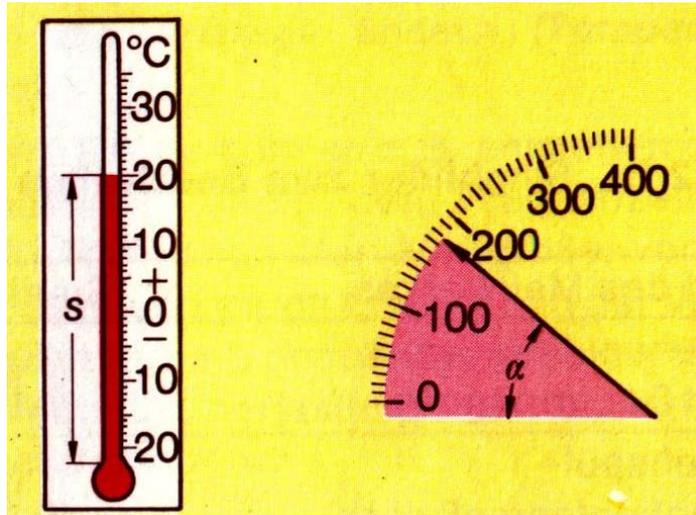


Abb. 6.2: Analoge Anzeigen

Bei digital dargestellten Messwerten wird der Messwert in Form von Zahlen angezeigt (Abb. 6.3). Als Beispiel für eine digitale Anzeige ist der Kilometerzähler im Auto zu nennen, während die Geschwindigkeit in der Regel analog durch die Tachonadel angezeigt wird.



Abb. 6.3: Digitale Anzeige

Vorteil der digitalen Anzeigen ist die bequeme und fehlerfreie Ablesemöglichkeit. Bei analogen Anzeigen wird die Größenordnung der Messwertänderung deutlicher.

Sinnbilder zum Beschriften von Messgeräten

Art des Meßwerkes	Sinnbild	Art des Meßwerkes	Sinnbild
Drehspul-Meßwerk mit Dauermagnet		Meßwerk mit Eisenschirm (Sinnbild für den Schirm)	
Drehspul-Quotientenmeßwerk		Meßwerk mit elektrostatischem Schirm (Sinnbild für den Schirm)	
Drehmagnet-Meßwerk		Astatisches Meßwerk	ast
Dreheisen-Meßwerk		Gleichstrominstrument	—
Elektrodynamisches Meßwerk		Wechselstrominstrument	~
Eisengeschlossenes, elektrodynamisches Meßwerk		Gleich- und Wechselstrom-Instrument	— ~
Elektrodynamisches Quotientenmeßwerk		Drehstrominstrument mit einem Meßwerk	
Eisengeschlossenes elektrodynamisches Quotientenmeßwerk		Drehstrominstrument mit zwei Meßwerken	
Induktionsmeßwerk		Drehstrominstrument mit drei Meßwerken	
Bimetall-Meßwerk		Senkrechte Gebrauchslage	⊥
Elektrostatisches Meßwerk		Waagerechte Gebrauchslage	└┘
Vibrations-Meßwerk		Schräge Gebrauchslage mit Angabe des Neigungswinkels	∠
Thermoumformer allgemein		Zeigernullstellvorrichtung	
Drehspul-Meßwerk mit Thermoumformer		Prüfspannungszeichen: Die Ziffer im Stern bedeutet die Prüfspannung in kV (Stern ohne Ziffer 500 V Prüfspannung)	
Isolierter Thermoumformer		Achtung (Gebrauchsanweisung beachten)	
Gleichrichter		Instrument entspricht bezüglich Prüfspannung nicht den Regeln	
Drehspul-Meßwerk mit Gleichrichter			

Abb. 6.4: Sinnbilder zum Beschriften von Messgeräten

Fehlerquellen

Konstruktionsbedingte Fehler der Messgeräte werden durch die Güteklasse gekennzeichnet.

	Feinmessgeräte			Betriebsmessgeräte			
Güteklasse	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5

Die **Güteklasse** gibt den höchstzulässigen Fehler in Prozent vom Messbereichsendwert an.

Beispiel:

Ein Spannungsmesser mit der Güteklasse 1,5 hat einen Messbereichsendwert von 100 V.

- Wie groß kann der absolute Fehler sein?
- Wie groß kann der wahre Wert bei einer Anzeige von 80 V bzw. 10 V sein?
- Wie groß kann der jeweilige relative Fehler werden?

$$\text{Zu a) } F = 100 \text{ V} * \frac{1,5}{100}; \underline{F = 1,5 \text{ V}}$$

Der wahre Wert kann also um 1,5 V vom angezeigten Wert abweichen.

$$\text{Zu b) } 78,5 \text{ V} \leq W \leq 81,5 \text{ V} \\ 8,5 \text{ V} \leq W \leq 11,5 \text{ V}$$

$$\text{Zu c) } f = \frac{F}{W}; \quad f = \frac{1,5 \text{ V}}{78,5 \text{ V}}; \quad \underline{f = 1,91 \%}$$

$$f = \frac{F}{W}; \quad f = \frac{1,5 \text{ V}}{8,5 \text{ V}}; \quad \underline{f = 17,65 \%}$$

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass der relative Fehler umso größer wird, je kleiner der Messwert ist. Deshalb sollte der Messbereich so gewählt werden, dass sich der Zeigerausschlag im oberen Drittel der Skala befindet.

Lagefehler entstehen, wenn die Gebrauchslage von Messgeräten nicht eingehalten wird.

Weitere Fehler können durch Fremdfelder, durch Abweichen der Messgröße von der Sinusform, durch Erwärmung der Widerstände innerhalb des Messgerätes durch den Stromfluss, durch externe Temperatur oder durch mechanische Beschädigung entstehen.

Beispiel:

Ein Spannungsmesser wird an eine Eichspannung von 100 V angelegt. Er zeigt 98 V an.

- Wie groß ist der absolute Fehler?
- Wie groß ist der relative Fehler?

$$\text{Zu a) } F = A - W; \quad F = 98 \text{ V} - 100 \text{ V}; \quad \underline{F = -2 \text{ V}}$$

$$\text{Zu b) } f = \frac{F}{W}; \quad f = \frac{-2 \text{ V}}{100 \text{ V}}; \quad f = -0,02; \quad \underline{f = -2 \%}$$

Durch die Zeigerform (Abb. 6.5) und die Anordnung über der Skala können **Ablesefehler** minimiert werden. Um **Parallaxenfehler** zu vermeiden, werden Skalen mit einem Spiegel unterlegt (Abb. 6.6). Decken sich Zeiger und Spiegelbild ist die Ablesung genau.

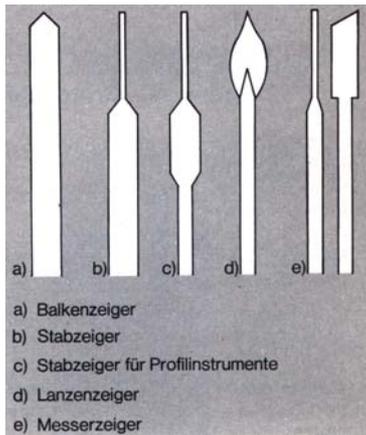


Abb. 6.5: Zeigerformen

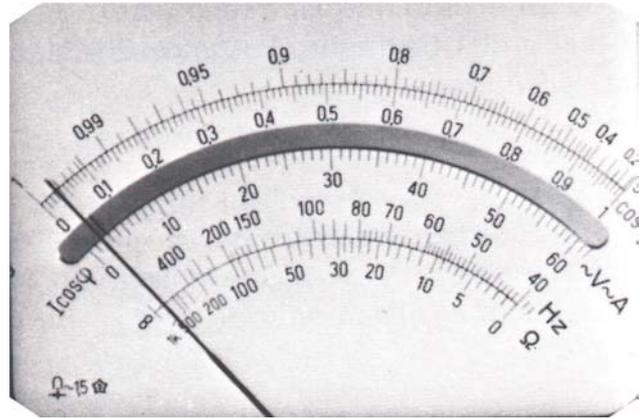


Abb. 6.6: Spiegelunterlegung der Skala

6.2 Zeigermessinstrumente

Ein Messinstrument einschließlich Zubehör wird als Messgerät bezeichnet. Das Zubehör kann vom Messinstrument trennbar sein.

Ein **Messwerk** besteht aus den eine Bewegung erzeugenden Teilen (z. B. Spulen) und den Teilen, deren Bewegung oder Lage von der Messgröße abhängen (z. B. Lagerung, Zeiger).

Ein **Messinstrument** besteht aus dem Gehäuse und dem eingebauten Zubehör. Messleitungen, Prüfspitzen usw. stellen **Zubehör** dar.

Bei den Skalen von Messinstrumenten werden lineare und nichtlineare Skalen unterschieden (Abb. 6.7). Außerdem gibt es Skalen mit unterdrücktem Nullpunkt (Abb. 6.8).

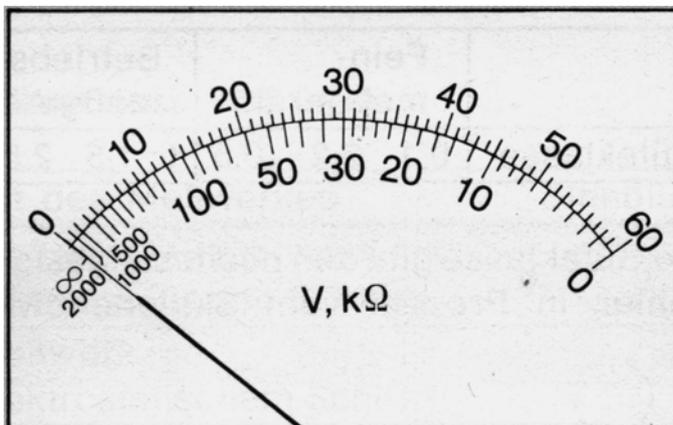


Abb. 6.7: Lineare und nichtlineare Skalenteilung

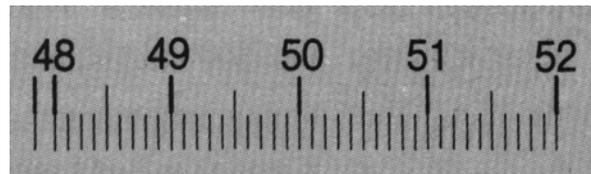


Abb. 6.8: Skala mit unterdrücktem Nullpunkt

Der **Messbereich** umfasst nur den Teil der Skala, für den die Genauigkeitsbestimmungen der VDE-Richtlinien eingehalten werden. Er wird durch Punkte auf der Skala gekennzeichnet.

6.3 Spannungs- und Strommessung

Messung mit dem Drehspulmessgerät

In Abbildung 6.9 ist der Aufbau eines Drehspulmesswerkes dargestellt.

- 1 Polschuh
- 2 Weicheisenzylinder
- 3 Wicklung
- 4 Aluminiumrahmen
- 5 Rückstellfedern (Stromzuführung)

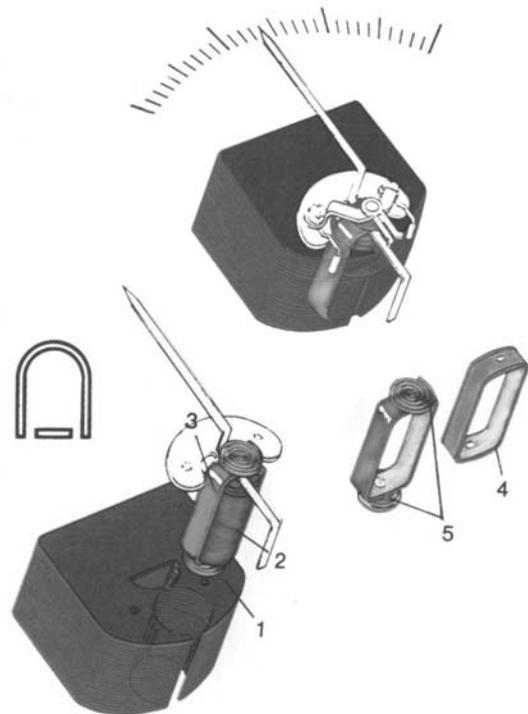


Abb. 6.9: Drehspulmesswerk

Wird die Wicklung (siehe Abbildung 6.10) von einem Strom durchflossen, bildet sich um die Spule ein Magnetfeld, welches mit dem Feld des Permanentmagneten ein Drehmoment erzeugt. Der mit der Spule verbundene Zeiger bewegt sich. Befindet sich das Drehmoment der Magnetfelder mit dem Drehmoment der Rückstellfeder im Gleichgewicht, kommt der Zeiger zum Stillstand.

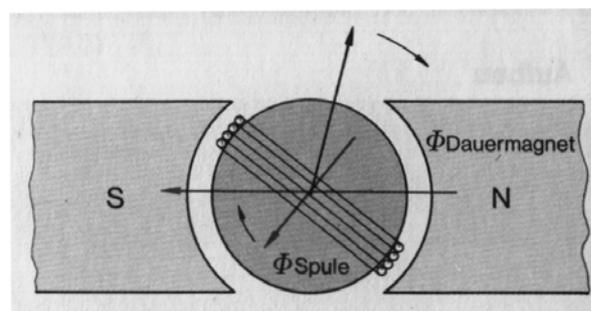


Abb. 6.10: Wirkungsweise des Drehspulmesswerkes

Bevor der Zeiger zum Stillstand kommt, schwingt er zunächst über den Messwert hinaus, bis er sich nach kurzer Zeit auf den richtigen Messwert einpendelt. Um diesen Einschwingvorgang des Zeigers zu verkürzen, werden Drehspulmesswerke mit einer Dämpfung ausgestattet. Daher können kurze Spannungs- oder Stromstöße, wie z. B. Einschaltströme, nicht richtig gemessen werden.

Messung des Mittelwertes

Die Drehrichtung des Zeigers eines Drehspulmesswerkes ist ausschließlich von der Stromrichtung in der Spule abhängig. Bei Messung einer Gleichspannung stellt sich ein konstanter Zeigerausschlag ein. Bei Messung einer Wechselspannung geringer Frequenz schwingt der Zeiger

um den Nullpunkt. Bei höheren Frequenzen bleibt er auf dem Nullpunkt stehen. Bei Messung einer Mischspannung zeigt das Messgerät den arithmetischen Mittelwert an.

Mit Drehspulmessinstrumenten können nur Gleichspannungen oder Gleichströme gemessen werden. Sollen Wechselspannungen oder Wechselströme gemessen werden müssen sie vorher gleichgerichtet werden.

Messung des Effektivwertes

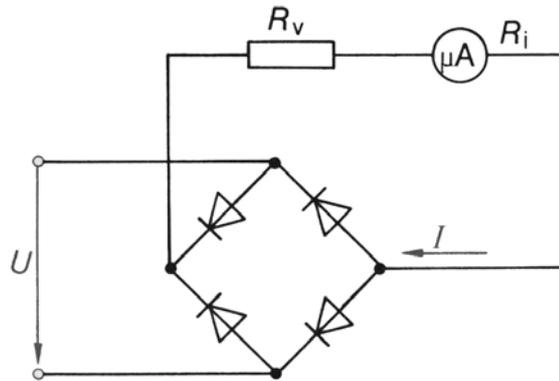


Abb. 6.11: Drehspulmessinstrument mit Brückengleichrichter

In Abbildung 6.11 ist die Schaltung eines Drehspulmessgerätes mit einem Brückengleichrichter zur Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes dargestellt. Da dieser Wert in der Praxis ohne Bedeutung ist, werden die Skalen so geeicht, dass der Effektivwert abgelesen werden kann.

Messung mit dem Dreheisenmessgerät

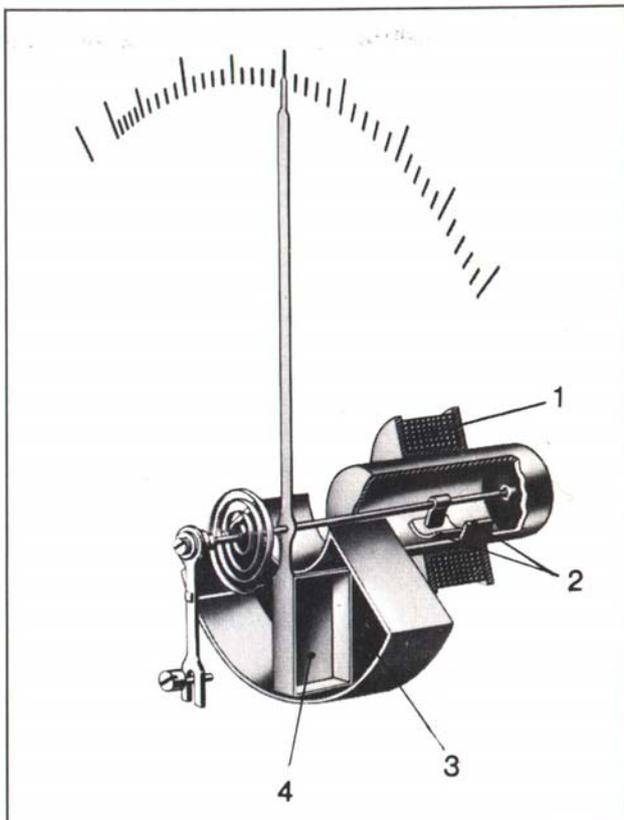


Abb. 6.12: Dreheisenmesswerk für Präzisionsinstrumente

Wird die Spule (1) eines Dreheisenmessgerätes von einem Strom durchflossen, wird in zwei Eisenplättchen (2) ein gleichsinniges Magnetfeld erzeugt. Die Eisenplättchen stoßen sich gegenseitig ab. Da das eine Eisenplättchen mit dem Zeiger verbunden ist kommt es zu einem Zeigerausschlag. Dieser ist proportional dem Quadrat des Stromes. Da beide Eisenplättchen immer gleichsinnig magnetisiert werden, können mit Dreheisenmessgeräten sowohl Wechsel- als auch Gleichströme gemessen werden. Diese Messgeräte werden hauptsächlich zur Messung großer Ströme verwendet.

Bedingt durch die Induktivität der Spule ist der Zeigerausschlag stark von der Frequenz abhängig. Darum wird in der Regel der Frequenzbereich, für den die Messwerte innerhalb der Genauigkeitsklasse liegen, auf der Skala angegeben. Bei Dreheiseninstrumenten wird meist die Luftkammerdämpfung angewendet. Dabei ist der Zeiger (4) mit einem Flügel verbunden, der Luft in einer Kammer (3) komprimiert.

Im Folgenden wird dargestellt, dass mit verschiedenen Messgeräten bei gleicher Messspannung unterschiedliche Messwerte ermittelt werden.

Spannungsmessung mit verschiedenen Messgeräten

Durchführung:

Spannungen mit verschiedenem Spannungsverlauf werden mit einem Drehspulmessgerät und mit einem Dreheisenmessgerät gemessen.

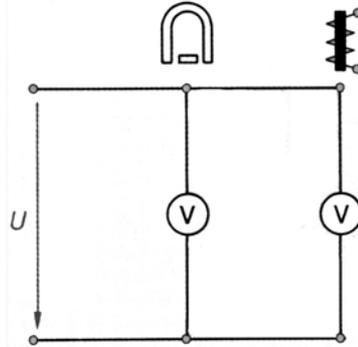


Abb. 6.13: Versuchsaufbau

Messung 1

Eine Gleichspannung wird gemessen.

Messung 2

Eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz wird gemessen.

Messung 3

Hinter einem Doppelweggleichrichter wird eine Mischspannung gemessen.

Messergebnis

Messung	Drehspulmessgerät	Dreheisenmessgerät
1	6 V	6 V
2	0 V	2,12 V
3	18 V	14,2 V

Abb. 6.14: Messergebnisse

6.4 Hinweise zur Messung elektrischer Größen

Messen elektrischer Größen

Bevor eine Messung vorgenommen wird, gilt es immer einige Punkte zu beachten, damit die Messung auch zu einer eindeutigen Aussage führen kann. Mit einem ungeeigneten Messgerät oder einer falschen Messmethode sind grobe Fehler des Messwertes unvermeidlich. Wenn es um Messungen bezüglich der Sicherheit in Versorgungsnetzen geht, kann das verheerende Folgen nach sich ziehen.

Deshalb sind vor der Messung u. a. folgende Fragen zu klären:

- Welche Messmethode ist für die Messung die richtige?
- Welches Messgerät ist dafür geeignet, Messbereich, usw.?
- Ist das Messgerät in Ordnung?
- Ist das Messgerät auf den richtigen Messbereich eingestellt, stimmt die Gebrauchslage?
- Nach dem Ablesen des Messwertes ist dieser auf Plausibilität zu prüfen.

- Kann das Ergebnis stimmen? Wie hoch geht ein Messfehler in das Messergebnis ein?
- Kann er durch Fremdeinflüsse wie Störfelder, Oberwellen oder falsche Umgebungstemperatur verfälscht sein?
- Ist man mit dem vorhandenen Messgerät nicht vertraut, ist vorher unbedingt die Gebrauchsanweisung zu studieren! Gehen Sie sorgsam mit Messgeräten um!

Analog oder Digital

Diese Auswahl richtet sich nach der Zweckmäßigkeit. Soll nur ein Wert erfasst oder gemessen werden, ist eine digitale Anzeige sehr bequem ablesbar. Um bei Messwertschwankungen Tendenzen erkennen zu können, ist eine analoge Anzeige vorteilhafter. Es gibt jedoch inzwischen viele Digitalmultimeter mit einem Bargraphen, der diesen Nachteil ausgleicht. Digitalmultimeter sind in der Regel robuster als analoge Geräte mit ihren empfindlichen Messwerken.

Spannungsmessung

Die elektrische Spannung wird immer zwischen zwei Punkten gemessen. Vor der Messung ist darauf zu achten, dass die Messart und der Messbereich richtig eingestellt sind. In der täglichen Praxis werden häufig Vielfachmessgeräte eingesetzt, mit denen neben der Spannungsmessung auch Strom- und Widerstandsmessungen möglich sind. Es ist besonders darauf zu achten, dass nicht irrtümlich ein Strommessbereich gewählt wurde. Dies würde bei der Spannungsmessung zu einem Kurzschluss führen, der das Messgerät zerstören kann.

Analoge Vielfachmessgeräte haben Eingangswiderstände, die zwischen 50 und 100 k Ω /V liegen, digitale Messgeräte besitzen Eingangswiderstände von 10 M Ω . Besonders bei Messungen an hochohmigen Schaltungen ist der Eingangswiderstand des Messgerätes zu berücksichtigen.

Im Allgemeinen ist der Innenwiderstand der Messquelle nicht bekannt. Weil der Eingangswiderstand bei großen Messbereichen höher ist, empfiehlt es sich mit großen Messbereichen zu beginnen, um dann den Messbereich zu verkleinern bis sich die Anzeige im oberen Drittel der Skala befindet. Zeigt sich bei niedrigem Messbereich ein kleinerer Wert als bei großem Messbereich, ist der Innenwiderstand der Messquelle nicht zu vernachlässigen. Die Messung ist mit einem hochohmigeren Gerät zu wiederholen.

Bei Wechselspannungen ist darauf zu achten, dass das Messgerät für den Kurvenverlauf und die Frequenz der Wechselspannung geeignet ist.

Strommessung

Auch für die gebräuchliche Strommessung stehen heute Multimeter in vielfältiger Art zur Verfügung. Dabei wird das Messgerät direkt in den Messkreis eingeschleift (sofern der Stromkreis aufgetrennt werden kann).



Abb. 6.15: Digitales Vielfachmessgerät

Beim Auftrennen des Stromkreises ist unbedingt darauf zu achten, dass kein Strom fließt. Zu Beginn der Messung wird ein großer Messbereich gewählt und dann schrittweise verkleinert. Eine Überlastung des Strombereiches ist zu vermeiden, da diese zur Zerstörung des Messgerätes führen kann. Bei Gleichstrommessung ist auf die Polarität zu achten.

Durch das Einschleifen des Strommessers in den Stromkreis erhöht sich der Gesamtwiderstand des Stromkreises, weil der Innenwiderstand des Strommessers dazukommt. Der Messwert ist deshalb systembedingt zu niedrig. Bei der Auswahl eines Strommessers ist der Innenwiderstand ein wesentliches Kriterium.

Strommessung außerhalb der Leiter

Die Strommessung innerhalb von Leitern mit einem Querschnitt größer 6 mm² gestaltet sich auf Grund der Steifigkeit der Leiter schwierig. Hier bietet sich eine Messmethode ohne Auftrennen des Stromkreises an.

Strom und Magnetismus

Zwischen dem elektrischen Strom und dem Magnetismus besteht ein enger Zusammenhang. Um jeden stromdurchflossenen Leiter entsteht ein magnetisches Feld. In einem Modellversuch lässt sich

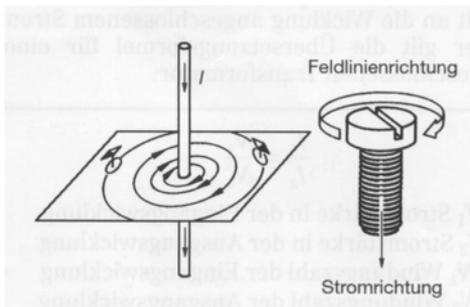


Abb. 6.16: Magnetfeld des elektrischen Stromes

das magnetische Feld durch magnetische Feldlinien darstellen. Die Richtung der Feldlinien hängt von der Stromrichtung ab. Bei Wechselstrom entsteht ein magnetisches Feld, dessen Feldlinien ständig ihre Richtung ändern. Fließt Wechselstrom durch einen Leiter, entsteht in der Umgebung des Leiters ein magnetisches Wechselfeld. Das magnetische Wechselfeld in der Umgebung eines Wechselstrom führenden Leiters kann durch geeignete Vorrichtungen zur Messung des Stromes, der durch den Leiter fließt, verwendet werden.

Stromwandler

Die Gesamtzahl der magnetischen Feldlinien um einen stromdurchflossenen Leiter wird als magnetischer Fluss bezeichnet. Der magnetische Fluss wird besonders groß, wenn der stromdurch-

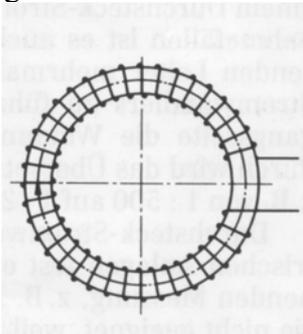


Abb. 6.17: Ringspule

flossene Leiter um einen Eisenkern aus Elektroblech, z. B. in Form einer Ringspule, gewickelt wird. Wird durch einen derartigen Ringkern ein von Wechselstrom durchflossener Leiter gesteckt, so entsteht im Ringkern ein kräftiges magnetisches Wechselfeld. Trägt der Ringkern eine Wicklung, so induziert das magnetische Wechselfeld in der Wicklung eine Wechselspannung. Diese Wechselspannung ist um so größer je mehr Windungen die Wicklung hat und je kräftiger das Wechselfeld im Eisenkern ist. Im Prinzip liegt ein Transformator vor, bei dem der stromdurchflossene Leiter die Eingangswicklung und die Wicklung des Ringkernes die Ausgangswicklung bildet. Nun ist bei einer derartigen Anordnung die Windungszahl der Spule auf dem Ringkern sehr viel höher, als die eine Windung, die durch den stromdurchflossenen Leiter dargestellt wird. Deshalb entsteht in der Wicklung eine sehr hohe Spannung, die zur Zerstörung der Isolation führen könnte. Schließt man aber einen Strommesser an die Enden der Wicklung an, so liegt eigentlich ein Kurzschluss vor. Dadurch fließt in der Wicklung ein Strom, der nach der Lenz'schen Regel seine Ursache, also das starke Magnetfeld, aufheben will. Mit an die Wicklung angeschlossenem Strommesser gilt die Übersetzungsformel für einen kurzgeschlossenen Transformator:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

I_1 : Stromstärke in der Eingangswicklung

I_2 : Stromstärke in der Ausgangswicklung

N_1 : Windungszahl der Eingangswicklung

N_2 : Windungszahl der Ausgangswicklung

Eine Anordnung nach Abbildung 6.17 ist zur Messung der Stromstärke geeignet, sofern die Ringkernspule bekannt ist. Bei 500 Windungen liegt ein Übersetzungsverhältnis von 1:500 vor. Ein derartiger Transformator zur Übersetzung des Stromes wird als Stromwandler bezeichnet.

Stromwandler sind Transformatoren, mit denen eine große Stromstärke zur Messung herunter transformiert wird.

Wird der Leiter durch einen derartigen Stromwandler durchgesteckt, so spricht man von einem Durchsteckstromwandler.

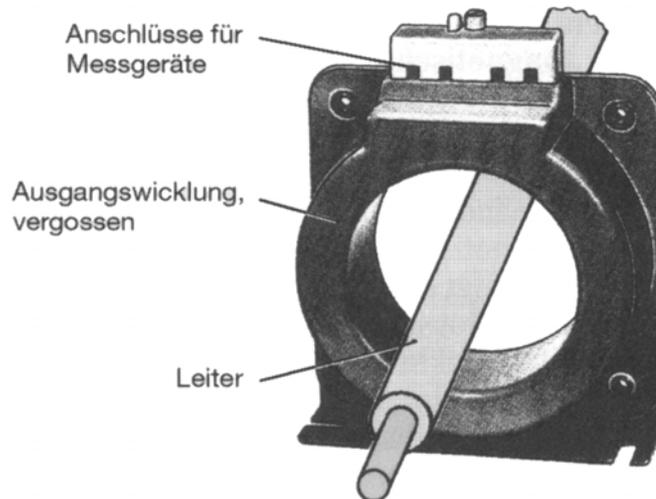


Abb. 6.18: Durchsteckstromwandler

In Ausnahmefällen ist auch möglich den Leiter mehrmals durch den Stromwandler zu führen, so dass auf der Eingangsseite die Windungszahl erhöht wird. Dadurch ändert sich das Übersetzungsverhältnis.

Durchsteckstromwandler werden oft in elektrischen Anlagen fest eingebaut. Zur mobilen Messung z. B. zur Fehlersuche sind sie ungeeignet, weil der Leiter abgeklemmt und durch den Stromwandler gesteckt werden müsste. Deshalb wurden nach dem Prinzip des Durchsteckstromwandlers Stromwandler entwickelt, bei denen sich der Eisenkern wie bei einer Zange aufklappen lässt. Solche Stromwandler werden als Zangenstromwandler bezeichnet.

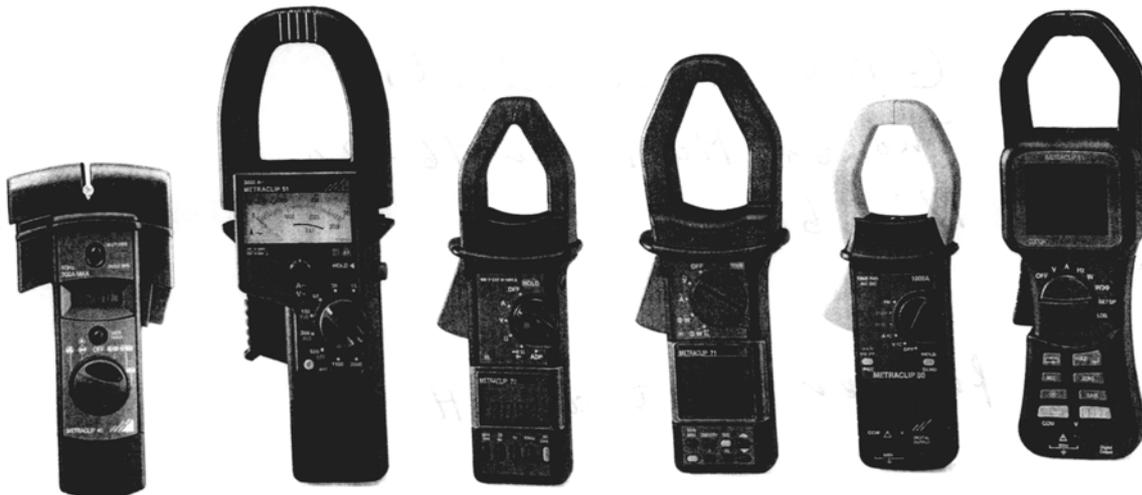


Abb. 6.19: Zangenstromwandler

Bei der Messung klappt man die Zange auf, schiebt die Öffnung über den stromführenden Leiter und schließt die Zange, so dass für das Magnetfeld ein geschlossener Eisenweg entsteht. Bei alten Zangenstromwandlern muss an die Wicklung ein getrennter Strommesser angeschlossen werden.

Bei modernen Geräten ist der Strommesser direkt eingebaut, so dass ein handliches Messgerät entsteht.

Zangenstromwandler mit eingebautem Strommesser ermöglichen die Strommessung ohne Auftrennen des Stromkreises.

Widerstandsmessung

Für die Widerstandsmessung gibt es ein reichhaltiges Spektrum an Messverfahren. Die heutigen Digitalmultimeter decken aber die meisten Anwendungsfälle im betrieblichen Bereich ab, so dass auf Widerstandsmessbrücken verzichtet werden kann. Digitalmultimeter decken die Bereiche bis 10 MΩ oder gar bis 100 MΩ ab. Auf Grund ihrer niedrigen Messspannung sind sie keinesfalls zur Messung von Isolationswiderständen geeignet. Hier sind Messgleitspannungen zwischen 100 V und 500 V gefordert.

Beim Messen kleiner Widerstände von wenigen Ohm ist bei Digitalmultimetern darauf zu achten, dass die Anzeige nicht eine Genauigkeit vorgaukelt, die nicht vorhanden ist. Hier ist genau die Anleitung des Herstellers zu beachten. Außerdem ist bei der Messung kleiner Widerstände der Widerstand der Messleitung sowie der Übergangswiderstand an den Anschlussklemmen zu berücksichtigen.

Bei Analogmultimetern ist der Skalenverlauf fast immer gegenläufig zur Strom- bzw. Spannungsskala. Der Nullpunkt liegt also auf der rechten Seite der Skala. Zum Abgleich des Nullpunktes ist meist eine kleine Einstellschraube vorhanden. Nach jeder Änderung des Messbereichs ist die Nullpunkteinstellung neu vorzunehmen. Die Skalenteilung des Widerstandsmessbereiches ist meist logarithmisch.

Messung der elektrischen Arbeit/Leistung mit einem Zähler

Wird mit einem Zähler die Arbeit und mit einer Uhr die Betriebszeit ermittelt, so lässt sich die Leistung des Verbrauchers errechnen. Aus $W = P \cdot t$ erhält man $P = W / t$.

Bei der Leistungsmessung lässt man den Verbraucher nicht so lange eingeschaltet bis man am Zählwerk ablesen kann. Die Leistungsmessung geht schneller unter Verwendung der Zählerkonstanten vom Leistungsschild des Zählers. Diese gibt an, wie oft sich die Zählerscheibe dreht bis 1 kWh verbraucht ist. Die Umdrehung der Zählerscheibe lässt sich zählen, da die Zählerscheibe eine Markierung hat.

$$P = \frac{n}{C_z}$$

P = Leistung in kW

n = Zählerumdrehungen pro Stunde

C_z = Zählerkonstante in Umdrehungen pro kWh



Abb. 6.20: Messwandlerzähler (siehe Anhang)

Dreht die Zählerscheibe zu langsam, muss man die Zeit für mehrere Umdrehungen messen und daraus die Umdrehungen pro Stunde errechnen. Vor der Leistungsmessung mit dem Zähler müssen alle anderen Verbraucher, die an diesen Zähler angeschlossen sind, ausgeschaltet werden. Handelt es sich um einen Wandlerzähler muss das Ergebnis noch mit dem Übersetzungsverhältnis multipliziert werden.

6.5 Isolationsmessung

Allgemeines zum Isolationswiderstand

Jede elektrische Leitung im Installationsbereich ist von einer Isolierung umgeben. Es soll damit verhindert werden, dass Materialien, die die Leitung umgeben, keine gefährliche Berührungsspannung annehmen. Gleichzeitig soll damit erreicht werden, dass der Strom nur durch den angeschlossenen Verbraucher fließt, und nicht schon ein Strom zum Erdepotenzial auf dem Wege dorthin abfließt. Es gibt allerdings kein Material, das 100 %ig isoliert. Aus diesem Grunde wird eine Isolationswiderstandsmessung nach **DIN VDE 0100 Teil 610**, **DIN VDE 0105 Teil 1** und **BGV A 2** vorgeschrieben. In der **DIN VDE 0100 Teil 610** ist vor Inbetriebnahmen bzw. nach Änderungen einer Anlage:

1. Besichtigen
2. Erproben und Messen durchzuführen.

Zum ersten Punkt ist zu sagen, dass optisch überprüft werden muss, ob die Isolierungen der Anlage in Ordnung sind. Da dies bei verlegten Leitungen oft nicht mehr möglich ist, bekommt dieser Punkt geringere Bedeutung. Also muss der Widerstand messtechnisch erfasst werden.

In der **DIN VDE 0105 Teil 1** und in den **BGV A 2** - Bestimmungen ist ebenfalls eine Überprüfung des Isolationswiderstands gefordert. In den zuletzt genannten Vorschriften, wird zudem nicht nur eine Überprüfung von Anlagen verlangt, sondern auch folgende Überprüfung von ortsveränderlichen Betriebsmitteln vorgeschrieben:

- mindestens alle 4 Jahre elektrische Anlagen und ortsfeste Betriebsmittel
- alle 6 – 24 Monate ortsveränderliche Betriebsmittel je nach Einsatzort

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Prüffristen von ortsveränderlichen Geräten im gewerblichen Bereich von: Betriebe – Handwerk – Handel

Prüffristen

Prüffrist	Nicht ortsfeste Betriebsmittel
6 Monate	<p>Bäder Flüssigkeitsstrahler, Wassersauger, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, Unterwassersauger, Zentrifugen, usw.</p> <p>Schlachthöfe Betäubungszangen, elektrisch betriebene Sägen, elektrisch betriebene Messer, usw.</p> <p>Küchen für Gemeinschaftsverpflegung Aufschnittmaschinen, Kaffeeautomaten, Kochplatten, Toaster, Rührgeräte, Wärmewagen/Warmhaltegeräte, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, elektrische Handgeräte, usw.</p> <p>Ausnahme: sonstige Küchen = 12 Monate</p>
12 Monate	<p>Feuerwehren/Technische Hilfeleistung (für Betriebsmittel, die bei Übung und Einsatz benutzt worden sind) Elektrische Handgeräte, Handleuchten, Flutlichtscheinwerfer, Umfüllpumpen, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw.</p>
12 Monate	<p>Unterrichtsräume in Schulen Elektrische Betriebsmittel im Bereich Hauswirtschaft: Toaster, Handrührgeräte, Warmhalteplatten, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw. Elektrische Betriebsmittel im Bereich Technikunterricht: LötKolben, Dekupiergeräte, Handbohrmaschinen, Schwingschleifer, mobile Holzbearbeitungsgeräte, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw.</p>

	Elektrische Betriebsmittel im naturwissenschaftlichen Unterricht: Heizplatten, Elektrolysegeräte, Netzgeräte, Signalgeneratoren, Oszilloskope, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen Elektrische Betriebsmittel im Werkstattbereich von berufsbildenden Schulen: Geräte → Abschnitt Werkstätten
12 Monate	Wäschereien Bügelmaschinen, mobile Bügelmaschinen, Nähmaschinen, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw.
12 Monate	Gebäudereinigung Staubsauger, Bohrer- und Bürstengeräte, Teppichreinigungsgeräte, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw.
12 Monate	Laboratorien Rotationsverdampfer, bewegliche Analysegeräte, Heizgeräte, Messgeräte, netzbetriebene Laborgeräte, Tischgeräte, Rührgeräte, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw.
12 Monate	Unterrichtsräume in Schulen Elektrische Betriebsmittel im Bereich Medien: Dia-, Film-; Tageslichtprojektoren, Videogeräte usw., Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw. Elektrische Betriebsmittel im Bereich textiles Gestalten: Bügeleisen, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw.
12 Monate	Werkstätten/Baustellen Hand- und Baustellenleuchten, Handbohrmaschinen, Winkelschleifer, Band- und Schwingschleifer, Handkreissägen, Stichsägen, LötKolben, Schweißgeräte, Belüftungsgeräte, Flüssigkeitsstrahler, mobile Tischkreissägen, mobile Abricht Hobelmaschinen, Späneabsaugung, Mischmaschinen, Bohrhämmer, Heckenscheren, Rasenmäher, Häcksler, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, usw.
24 Monate	Bürobetriebe Schreibmaschinen, Diktiergeräte, Overheadprojektoren, Tischleuchten, Belegstempelmaschinen, Ventilatoren, Buchungsautomaten, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, mobile Kopiergeräte Pflegestationen/Heime Föhne, Frisierstäbe, Rotlichtleuchten, Rasiergeräte, Flaschenwärmer, Heizöfen, elektrische Handgeräte, Tischleuchten, Stehleuchten, Verlängerungs- und Geräteanschlussleitungen, Heizkissen, usw.

Abb. 6.21: Prüffristen nicht ortsfester Betriebsmittel

Weitere Prüffristen sind u. a. geregelt in den:

- Gerätesicherheitsgesetz GSG
- Bauordnung der Länder
- Zusatzbedingungen der Sachversicherer
- 2. Durchführungsordnung zum Energiewirtschaftsgesetz

Anforderungen an die Isolationsmessgeräte

Die verwendeten Isolationsmessgeräte müssen den Anforderungen nach **DIN VDE 0413 Teil 1** entsprechen. Eine Isolationsmessung darf danach nur mit Gleichspannung als Messspannung durchgeführt werden. Man hat sich für die Gleichspannung entschieden, um den Einfluss der Kapazitäten zwischen den Leitern sowie den Leitern und Erde bei der Messung auszuschließen. Man würde dadurch den Scheinwiderstand der Leitung messen. Für Schutzkleinspannungsstromkreise ist eine Prüfgleichspannung von 250 V gefordert. Für Spannungen bis einschließlich 500 V werden 500 V Messspannung vorgeschrieben. In Anlagen mit Nennspannung größer 500 V ist mit einer Prüfgleichspannung von 1000 V zu messen. Der

Nennstrom muss mindestens 1 mA betragen, und der Kurzschlussstrom darf 12 mA Gleichstrom nicht überschreiten. Der maximale Gebrauchsfehler darf $\pm 30\%$ betragen.

Es gibt verschiedene Ausführungen von Isolationsmessgeräten:

- Isolationsmessgeräte mit Kurbelinduktor
- Isolationsmessgeräte mit wiederaufladbarer Batterie
- Isolationsmessgeräte mit nicht wiederaufladbarer Batterie

Widerstandswerte und Messungen in Anlagen

Bei den Werten der Isolationswiderstände ist 1976 (**alte Norm DIN VDE 0100g**) eine Änderung gemacht worden. Bis zu diesem Zeitpunkt galt die Regelung 1 k Ω /Volt. Bei der Norm ab 1987 (**DIN VDE 0100 Teil 610**) ist dies nicht mehr der Fall.

Die Tabelle zeigt die Veränderungen durch die neue Norm:

Zeitbereich	Stromkreis	Nennwert der Messgleichspannung	Mindestwert des Isolationswiderstands
alte Forderung bis 1987	für alle Stromkreise	mindest gleich dem Nennwert der Betriebsspannung, 100 V...1000 V	1 k Ω pro V, d.h. 0,2 M Ω bis 1 M Ω
neue Forderung ab 1987	Spannung bei SELV und PELV	250 V-	$\geq 0,25$ M Ω
	bis 500 V, außer SELV u. PELV	500 V-	$\geq 0,5$ M Ω
	500 V ...1000 V Nennspannung	1000 V-	≥ 1 M Ω

Abb. 6.22: Isolationswiderstände nach alter und neuer Norm

Auch wurde mit der neuen Norm (**DIN VDE 0100 Teil 610**) nicht mehr unterschieden zwischen Anlagen im Freien und Anlagen in besonderen Räumen gegenüber anderen Anlagen. Außerdem gibt es keinen Unterschied mehr zwischen trockenen und nassen Räumen.

Ebenso hat sich geändert, dass bei der Messung nicht mehr Außenleiter gegen Außenleiter überprüft werden muss, es sei denn, es wird kein geerdeter Leiter mitgeführt oder es handelt sich um eine feuergefährdete Betriebsstätte.

Um den Messaufwand zu reduzieren, dürfen Außen- und Neutralleiter während der Messung miteinander verbunden sein, siehe Abb. 6.23.

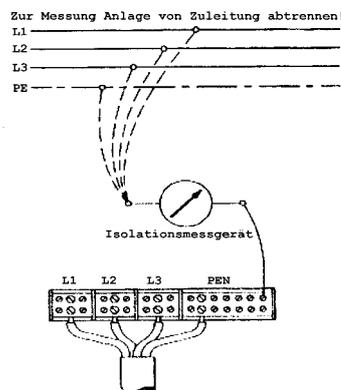


Abb. 6.23: Messen des Isolationswiderstands

Enthalten Stromkreise elektronische Einrichtungen, müssen Außen- und Neutralleiter während der Messung verbunden sein. Der Verzicht auf Messung des Isolationswiderstandes bei Schalterleitungen in Lichtstromkreisen – wie nach **DIN VDE 0100 Teil 600** noch möglich – ist mit in Kraft treten der **DIN VDE 0100 Teil 610 (1987)** entfallen.

Nach allen Änderungen sind immer noch nachstehende Werte zu ermitteln
 - jedem Außenleiter (L1, L2, L3) und Erde (Schutzleiter PE oder PEN)
 - dem Neutralleiter N und dem Schutzleiter PE

Der Isolationswiderstand reicht aus, wenn in jedem Stromkreis - ohne angeschlossene Verbraucher - die Werte in Abbildung 6.23 unter Berücksichtigung des Messfehlers (nachfolgend erklärt) gemessen werden.

Es ist zulässig, den Isolationswiderstand mit angeschlossenen Elektrogeräten zu messen. Werden die geforderten Werte jedoch nicht erreicht, ist die Prüfung ohne angeschlossene Verbraucher zu wiederholen. An dieser Stelle sei auch auf Glühlampen, Klingeltransformatoren oder Überspannungsableiter hingewiesen; sie können das Messergebnis beeinflussen.

Nicht zu vergessen ist, dass noch die Toleranz des Messgerätes (in der Regel $\pm 30\%$) zu den Grenzwerten zuaddiert werden muss.

Hier ein Beispiel:

Einzuhalten ist ein Isolationswert von $0,5\text{ M}\Omega$. Möglicher Messfehler nach **DIN VDE 0413 Teil 1** $\pm 30\%$. Der am Messgerät abzulesende Wert muss also mindestens $0,5\text{ M}\Omega + 30\% = 0,65\text{ M}\Omega$ betragen.

Vor der Messung ist die Anlage spannungsfrei zu schalten. Anschließend ist die Spannungsfreiheit zu überprüfen und danach gegen wiederzuschalten zu sichern!

Isolationsüberwachungsgeräte

Dies sind Geräte, die während des Betriebes einer Anlage die Isolationswiderstände überwachen. Mit einer überlagerten Gleichspannung auf jedem Außenleiter wird bei Wechselstromnetzen der Isolationswiderstand gegen Erde dauernd überwacht. Solche Geräte werden häufig in IT- Systemen eingesetzt. Sie alarmieren, wie in der **DIN VDE** gefordert, wenn der Widerstand unter den in der Norm vorgeschriebenen Wert sinkt.

Bei einer Messung sollte dieses Gerät abgeklemmt werden.

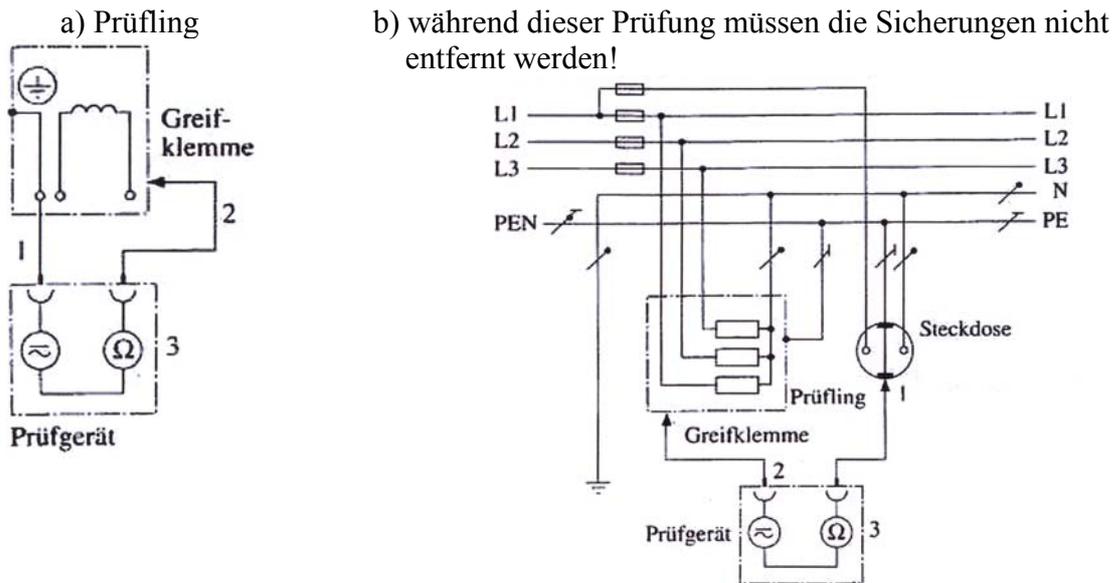
Isolationsmessung an ortsveränderlichen Geräten

Unter anderem schreibt die **BGV A 2** eine Messung bei den Wiederholungsprüfungen vor. Auch muss nach jeder Reparatur eines ortsveränderlichen Gerätes eine Messung durchgeführt werden. Die Werte der Isolationswiderstände, die sich nach **DIN VDE 0701/0702 Teil 1** ergeben, sieht man in der folgenden Tabelle, (je nach Messgerät bis $+ 30\%$ Messgerätetoleranz).

Geräte-Schutzklasse	Isolationswiderstand
Schutzklasse I (Schutzleiter)	$R \geq 0,5\text{ M}\Omega$
Schutzklasse II (Schutzisolierung)	$R \geq 2\text{ M}\Omega$
Schutzklasse III (Kleinspannung)	$R \geq 1\text{ k}\Omega/\text{V}$ bei $\geq 25\text{ VA}$

Abb. 6.24: Werte der Isolationswiderstände nach DIN VDE 0701/0702 Teil 1

Zuerst ist eine Schutzleiterwiderstandsprüfung an den ortsveränderlichen Betriebsmitteln der Schutzklasse I durchzuführen (siehe Abb. 6.25). Die maximalen Widerstandswerte sind nach **DIN VDE 0702** auf $\leq 0,3\ \Omega$ für eine Anschlusslänge bis 5 m und für jede weiteren 7,5 m zusätzlich $0,1\ \Omega$ festgelegt.



zu a) Messung bei Geräten, die vom Netz getrennt sind

- 1 Schutzleiter
- 2 Verbindung des Körpers über Greifklemme
- 3 Widerstandsmessgerät

zu b) Messung bei Geräten mit schwer erreichbar Anschluss, z. B. Herde, Waschmaschinen

- 1 PE-Anschluss einer Steckdose
- 2 Verbindung des Körpers über Greifklemme
- 3 Widerstandsmessgerät

Abb. 6.25: Messung des Schutzleiterwiderstands

Wichtige Anmerkung: Während der Messung muss die Anschlussleitung auf der gesamten Länge bewegt werden, um festzustellen, ob die Schutzleiterverbindung nicht beschädigt ist. Danach ist eine Isolationswiderstandsmessung (wie auf Abb. 6.26) durchzuführen.

Messen des Isolationswiderstands:

Bei Geräten der Schutzklasse 1: a), b) und c)
Geräte mit Steckeranschluss, d) Gerät fest
angeschlossen. Zur Prüfung müssen die
Sicherungen entfernt werden!

- 1 Verbindung zwischen Messgerät und den spannungsführenden Teilen des zu prüfenden Geräts
- 2 Innenschaltung des zu prüfenden Geräts
- 3 Verbindung zwischen Messgerät und dem Schutzleiteranschluss des zu prüfenden Gerätes
- 4 Messgerät für Isolationsmessung

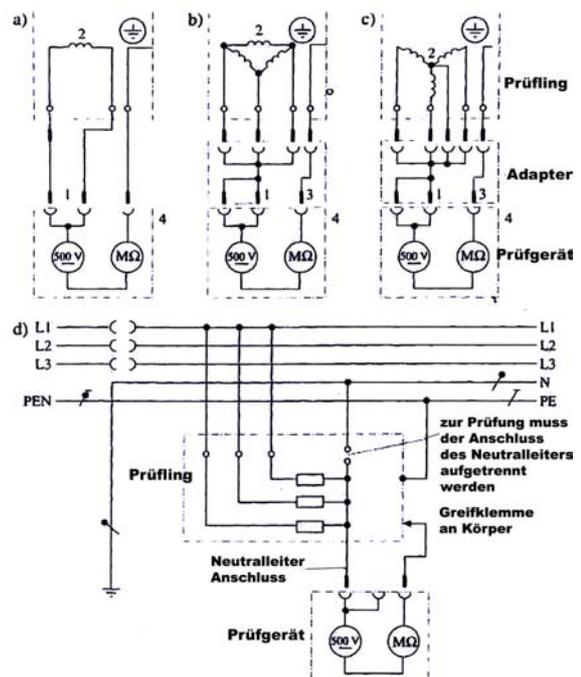
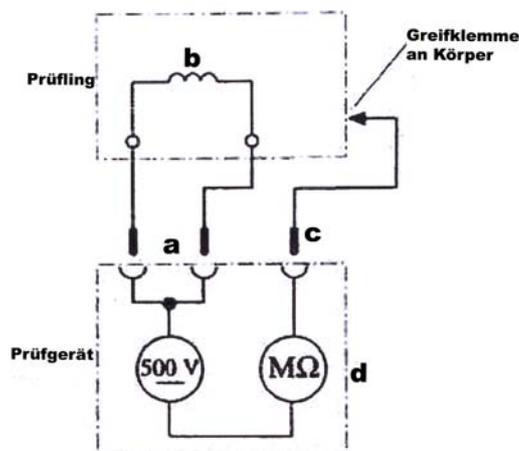


Abb. 6.26: Messen des Isolationswiderstands bei Geräten der Schutzklasse 1

Bei Geräten der Schutzklasse II und III ist der Anschluss des Isolationsmessgerätes wie in Abb. 6.27 durchzuführen.



Messen des Isolationswiderstands bei Geräten der Schutzklasse II und III

- Verbindung zwischen Messgerät und den spannungsführenden Teilen des zu prüfenden Gerätes
- Innenschaltung des zu prüfenden Geräts
- Verbindung zwischen Messgerät und dem Schutzleiteranschluss des zu prüfenden Gerätes
- Messgerät für Isolationsmessung

Abb. 6.27: Messen des Isolationswiderstands bei Geräten der Schutzklasse II / III

Hinweise zur praktischen Durchführung von Isolationsmessungen

Die Messung des Isolationswiderstandes ist sehr wichtig, da die Isolation ein direktes Berühren von aktiven Teilen verhindert. Weiterhin verhindert die Isolation das Fließen von Ausgleichsströmen zwischen zwei oder mehr Adern, die in unmittelbarer Nähe verlaufen. Solche Ausgleichströme führen an der Schadensstelle zu einer Erwärmung, die einen Brand verursachen kann.

Die Isolationsmessung ist somit die einzige Messung, die dem Brandschutz dient.

Beispiel:

Bedingt durch einen Isolationsfehler fließt zwischen zwei Leitern ein Ausgleichsstrom. Dieser führt an der fehlerhaften Stelle zu einer Erwärmung. Im schlimmsten Fall führt diese Erwärmung zu einem Brand. Da der Ausgleichsstrom unter Umständen sehr klein ist, löst eine im Fehlerstromkreis befindliche Sicherung nicht aus.

Aus diesem Beispiel wird deutlich, dass eine Überprüfung des Isolationswiderstandes einen solchen Fehler zu Tage bringt. Durch das Beispiel wird die Wichtigkeit der Isolationsmessung noch einmal unterstrichen.

Die Isolationsmessung ist an den folgenden Stellen durchzuführen:

1. Zwischen allen Außenleitern und Erde (im TN- System kann auch gegen den PEN Leiter gemessen werden).

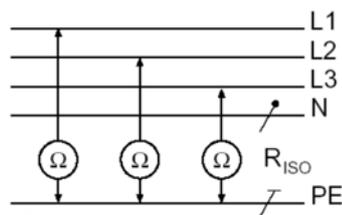


Abb. 6.28: Isolationsmessung zwischen Außenleiter und Erde

2. Zwischen Neutralleiter und Erde (diese Messung entfällt im TN-System).

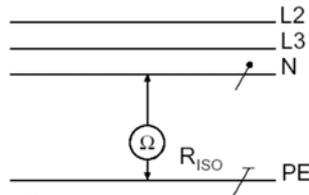


Abb. 6.29: Isolationsmessung zwischen Neutralleiter und Erde

3. Zwischen den Außenleitern

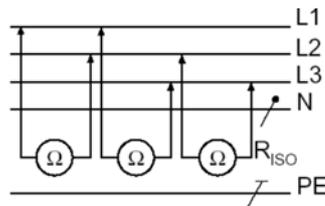


Abb. 6.30: Isolationsmessung zwischen Außenleitern

4. Zwischen den Außenleitern und dem Neutralleiter

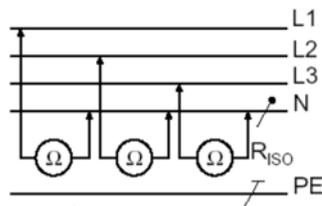


Abb. 6.31: Isolationsmessung zwischen Außenleiter und Neutralleiter

Hinweise: Bei allen Isolationsmessungen ist der Neutralleiter von Erde zu trennen. Der PEN-Leiter darf nicht abgeklemmt werden.

Um den Messaufwand zu verringern ist es erlaubt die Außenleiter und den Neutralleiter miteinander zu verbinden. Bei dieser Vorgehensweise sind dann nur noch zwei Messungen notwendig:

1. Die verbundenen Außenleiter inklusive Neutralleiter gegen Erde.
2. Die verbundenen Außenleiter ohne Neutralleiter gegen den Neutralleiter.

Die Verbrauchsmittel brauchen nur abgeklemmt zu werden, wenn der Isolationswiderstand zu gering ist. Die Anlage und das Verbrauchsmittel müssen dann einzeln gemessen werden. Handelt es sich bei den Verbrauchsmitteln um empfindliche elektronische Bauteile, so ist sicher zu stellen, dass diese keinen Schaden erleiden.

Bevor eine Anlage in Betrieb genommen wird sind die Leitungsabschnitte zwischen zwei Überstromschutzeinrichtungen zu prüfen. Ebenso ist der Abschnitt hinter der letzten Überstromschutzeinrichtung zu prüfen und zwar an den Stellen, die in den Abbildungen 6.28 bis 6.31 angegeben sind.

6.6 Testfragen

1. Was sind nichtelektrische Größen?
2. Wie unterscheiden sich direktes und indirektes Messverfahren?
3. Was ist ein analoges Messverfahren?
4. Warum ist bei einem digitalen Messverfahren der Ausgangswert nicht proportional dem Eingangswert?
5. Aus welchen Teilen setzt sich eine Messkette zusammen?
6. Was ist eine galvanische Trennung?
7. Mit welchen Spannungen und Strömen wird in der Regel in der analogen Messtechnik gearbeitet?
8. Was ist ein Life – Zero Messwert?
9. Was bedeutet die Ziffer 1,5 auf der Skala eines Messinstrumentes?
10. Welche Fehler können bei der Benutzung von Messgeräten auftreten?
11. Aus welchen Bestandteilen besteht ein Messgerät?
12. Warum können mit Drehspulmessinstrumenten nur Gleichströme bzw. Gleichspannungen gemessen werden?
13. Worauf ist bei der Strommessung mittels Vielfachmessgerät zu achten?
14. Welchen Vorteil bietet der Einsatz von Zangenstromwandlern gegenüber Vielfachmessgeräten bei der Strommessung?
15. Wie läßt sich die Leistung eines Verbrauchers mit Uhr und kWh-Zähler ermitteln?
16. Warum ist eine Messung des Isolationswiderstandes vorgeschrieben?
17. Warum ist es wichtig, bei der Isolationsmessung an ortsveränderlichen Elektrogeräten das Anschlusskabel auf der gesamten Länge zu bewegen?

6.7 Übungen

1. Überprüfung eines reparierten Verlängerungskabels

Ein repariertes 230 V-Verlängerungskabel muss vor Inbetriebnahme geprüft werden. Führen Sie die entsprechenden Messungen durch.

Notwendige Geräte: Isolationsmessgerät, Widerstandsmessgerät

Durchführung: Gemessen wird der Isolationswiderstand mit dem Isolationsmessgerät zwischen dem Außenleiter und dem Neutralleiter, zwischen Außenleiter und dem Schutzleiter und zwischen dem Neutralleiter und dem Schutzleiter. Der Isolationswiderstand muss bei jeder Einzelmessung $\geq 0,5 \text{ M}\Omega$ betragen. Während der Messung muss das Verlängerungskabel auf der gesamten Länge bewegt werden. Anschließend wird der Schutzleiterwiderstand zwischen Stecker und Kupplung mit dem Widerstandsmessgerät gemessen. Er darf bei einer Anschlusslänge bis $5 \text{ m} \leq 0,3 \Omega$ und zzgl. für jede weitere $7,5 \text{ m}$ $0,1 \Omega$ betragen. Bei dieser Messung ist das Kabel ebenfalls auf der gesamten Länge zu bewegen.

2. Spannungsmessung an der Klemmleiste eines Drehstrommotors

Notwendige Geräte: Vielfachmessgerät

Durchführung: Messgerät auf den größten Wechselspannungsmessbereich stellen. Die Prüfspitzen an die Klemmleiste führen. Messwert ablesen und gegebenenfalls den Messbereich so weit verkleinern, bis der Messwert möglichst dicht am Messbereichsendwert liegt.

3. Strom- und Spannungsmessung am Beispiel einer Sauerstoffregelung

Der Sauerstoffgehalt eines Belebungsbeckens wird mittels eines Sauerstoffmessumformers erfasst und in ein Stromsignal von 4 bis 20 mA umgeformt. Der Sauerstoffgehalt 0 mg/l O₂ entspricht einem Stromsignal von 4 mA, 5 mg/l O₂ entsprechen 20 mA. Über einen Trennverstärker, der das Stromsignal in eine Spannung von 0 bis 10 V umwandelt, gelangt das Signal auf den Analogeingang einer SPS. Mit diesem Signal wird der Sauerstoffgehalt über den Öffnungsgrad eines Blendenregulierschiebers geregelt.

Der Stromausgang des Sauerstoffmessumformers sowie der Spannungsausgang des Trennverstärkers ist bezogen auf die Vor-Ort-Anzeige des Sauerstoffmessumformers zu prüfen.

- a.) Was ist bei der Messung zu beachten?
- b.) Wie groß ist der Strom am Ausgang des Sauerstoffmessumformers bei einem angezeigten Sauerstoffgehalt von 2,5 mg/l O₂?
- c.) Wie groß ist die Spannung am Ausgang des Trennverstärkers bei diesem Sauerstoffgehalt?

Notwendige Geräte: Vielfachmessgerät, Kleinwerkzeug

Durchführung: Zur Messung des Stromes ist es notwendig den Stromkreis zu unterbrechen und das Vielfachmessgerät (eingestellt auf Strommessung) in den Messkreis einzuschleifen. Daher sind vor Beginn der Messung Ersatzmaßnahmen zur Regelung des Sauerstoffgehaltes vorzunehmen (z. B. Blendenregulierschieber von Hand regeln).

Die Messung der Spannung am Ausgang des Trennverstärkers wird ohne Unterbrechung des Messkreises durchgeführt. Eine Außerbetriebnahme der Regelung ist daher nicht erforderlich.

Berechnung des Ausgangsstromes:

Als Stromsignal steht eine Spanne von $20 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 16 \text{ mA}$ zur Verfügung.

$$\begin{aligned} 16 \text{ mA} / 5 \text{ mg/l} &= 3,2 \text{ mA/mg/l} \\ 2,5 \text{ mg/l} * 3,2 \text{ mA/mg/l} &= 8 \text{ mA} \\ 8 \text{ mA} + 4 \text{ mA} &= \underline{12 \text{ mA}} \end{aligned}$$

Berechnung der Ausgangsspannung:

$$\begin{aligned} 0 - 20 \text{ mA} &\text{ entsprechen } 0 - 10 \text{ V.} \\ 10 \text{ V} / 20 \text{ mA} &= 0,5 \text{ V/mA} \\ 0,5 \text{ V/mA} * 12 \text{ mA} &= \underline{6 \text{ V}} \end{aligned}$$

Bei einem Sauerstoffgehalt von 2,5 mg/l O₂ muss sich am Ausgang des Sauerstoffmessumformers ein Strom von 12 mA einstellen und am Ausgang des Trennverstärkers eine Spannung von 6 V anstehen.

