

**HANDBUCH**  
**FÜR DEN**  
**FERNMELDEHANDWERKER**  
**der Deutschen Bundespost**



**BAND B5**

**Elektrische Meßgeräte  
und Meßschaltungen**

AB

116

---

VERLAG: DEUTSCHE POSTGEWERKSCHAFT - HAUPTVORSTAND  
FRANKFURT (MAIN)

# Handbuch für den Fernmeldehandwerker der DBP

(zur Vorbereitung auf die Fernmeldehandwerkerprüfung)

# 14

wichtige Lehr- und Lernwerke für den FLehrl.; auch für den Handwerker (F) und den Fernmeldehandwerker gut geeignet!

## Band A 1 — Allgemeines Prüfungswissen

Weg und Ziel der Ausbildung — Der Lehrvertrag — Die Fernmeldehandwerkerprüfung — Die Tätigkeitsgebiete des Fernmeldehandwerkers, sein beruflicher Werdegang und seine Aufstiegsmöglichkeiten — Der Tarifvertrag — Gesetze und Verordnungen des Fernmeldewesens — Vorschriften zum Schutz gegen Starkstrom und Unfallschäden

## Band A 2 — Allgemeines Prüfungswissen

Allgemeines über den Staatsaufbau — Aufgaben und Gliederung der DBP — Die Sozialeinrichtungen bei der DBP — Allgemeines über Dienst- und Arbeitsunfälle — Allgemeines aus der Geschichte des Post- und Fernmeldewesens — Wie fertige ich meine schriftlichen Prüfungsarbeiten? — Musterausarbeitungen und Musterthemen

## Band B 1 — Die Fachkunde

Einführung in die Mathematik — Grundgesetze der Physik

## Band B 2 — Die Fachkunde

Fachzeichnen — Technisches Zeichnen — Stromlaufzeichnen

## Band B 3 — Die Fachkunde

Die Gleichstromlehre

Weitere Lehr- und Lernwerke siehe 3. und 4. Umschlagseite

# HANDBUCH

FÜR DEN

## FERNMELDEHANDWERKER

### der Deutschen Bundespost



**BAND B 5**

I/183/1963

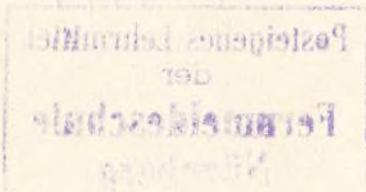
## Elektrische Meßgeräte und Meßschaltungen



HERAUSGEBER: DEUTSCHE POSTGEWERKSCHAFT - HAUPTVORSTAND  
FRANKFURT (MAIN)



Erwerbsbuch des  
Postmuseums Nürnberg  
Nr. **B 1459**



## Vorwort

Die vierzehn Bände des „Handbuch für den Fernmeldehandwerker der DBP“ sollen

1. den Fernmeldelehrlingen während der Lehrzeit ein ständiger Begleiter sein und ihnen eine umfassende und gute Prüfungsvorbereitung ermöglichen,
2. den Handwerkern (F) aufzeigen, welches Fachwissen erforderlich ist, um genauso viel zu wissen wie die Lehrlinge am Ende ihrer Lehrzeit, und
3. den Fernmeldehandwerkern die Möglichkeit geben, ihr Wissen aufzufrischen und es auf den neuesten Stand der Fernmeldetechnik zu bringen.

In der Fernmeldehandwerkerprüfung, in den Grundlagen- und Aufbaulehrgängen müssen neben dem rein praktischen technischen Können auch die theoretischen Fachkenntnisse über die Fernmeldetechnik vorhanden sein. Das gleiche gilt hinsichtlich des wichtigen allgemeinen Prüfungswissens sowie in bezug auf die Grundkenntnisse über die für das Fernmeldewesen wichtigen Gesetze und Verordnungen, wie FAG, TWG und FO. Einer der Bände allein kann dem Leser dieses umfangreiche Wissen nicht vermitteln; alle vierzehn Bände zusammen (vgl. hierzu die Angaben auf der 2. und 3. Umschlagseite) enthalten jedoch das Fachwissen, das sich der Leser im Interesse seines Prüfungserfolgs und seines weiteren Aufstiegs aneignen muß.

In dem „Handbuch für den Fernmeldehandwerker der DBP“ ist nur der unbedingt notwendige Lehrstoff in einfachster Form behandelt worden. Die Verfasser erheben nicht den Anspruch, daß die Bände alle Vorschriften und technischen Einzelheiten sowie das in der Praxis selten oder gar nicht Vorkommende enthalten. Ihnen ging es vielmehr darum, eine

**Fibel** für den Fernmeldelehrling,  
für den Handwerker (F) und  
für den Fernmeldehandwerker

zu schaffen, die der gestellten Aufgabe im Interesse der Leser ohne unnötigen Ballast gerecht wird.

Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>A. Elektrisches Messen</b>	
<b>I. Elektrische Maßeinheiten</b> . . . . .	7
<b>B. Meßgeräte, Meßinstrumente, Meßwerk</b> . . . . .	9
<b>I. Unterscheidung der Meßgeräte nach den zu messenden Größen</b> . . . . .	9
<b>II. Allgemeiner Aufbau der Zeigerinstrumente</b> . . . . .	10
1. Luftdämpfung . . . . .	10
2. Wirbelstromdämpfung . . . . .	11
3. Kurzschlußdämpfung . . . . .	12
<b>III. Aufschriften der Meßinstrumente</b> . . . . .	12
1. Stromartzeichen . . . . .	12
2. Klasseneinteilung . . . . .	12
3. Prüfspannungszeichen . . . . .	13
4. Lagezeichen . . . . .	13
5. Meßwerksymbole . . . . .	13
<b>IV. Unterscheidung der Meßgeräte nach der Art des Meßwerks</b> . . . . .	16
1. Dreheiseninstrumente . . . . .	16
a) Tauchspulinstrumente . . . . .	17
b) Flachspulinstrumente . . . . .	18
c) Rundspulinstrumente . . . . .	19
2. Drehspulinstrumente . . . . .	20
a) Drehspulinstrument mit Meßgleichrichter . . . . .	23
3. Elektrodynamische Instrumente . . . . .	24
4. Thermische Instrumente . . . . .	25
a) Hitzdrahtinstrument . . . . .	26
b) Bimetallinstrument . . . . .	27
c) Thermokreuz-Instrument . . . . .	28
5. Vibrationsinstrumente . . . . .	29
6. Elektrostatische Meßinstrumente . . . . .	31
<b>C. Meßschaltungen</b> . . . . .	33
<b>I. Schaltung eines Meßinstrumentes als Strommesser</b> . . . . .	33
<b>II. Schaltung eines Meßinstrumentes als Spannungsmesser</b> . . . . .	34
1. Erweiterung des Meßbereiches eines Strommessers . . . . .	36

	Seite
2. Erweiterung des Meßbereiches eines Spannungsmessers . . . . .	39
<b>III. Widerstandsmesser</b> . . . . .	41
1. Indirekte Messung . . . . .	41
a) Meßschaltung für niederohmige Widerstände . . . . .	42
b) Meßschaltung für hochohmige Widerstände . . . . .	44
2. Direkte Messung . . . . .	45
a) Widerstandsmesser für hochohmige Widerstände . . . . .	46
b) Widerstandsmesser für niederohmige Widerstände . . . . .	49
<b>IV. Meßbrücken</b> . . . . .	50
1. Wheatstonesche Meßbrücke . . . . .	50
2. Schleifdrahtmeßbrücke . . . . .	53
<b>D. Einige bei der Deutschen Bundespost gebräuchliche Meßinstrumente</b> . . . . .	55
<b>I. Das umschaltbare Volt-Ampere-meter (UVA)</b> . . . . .	55
<b>II. Das Triohm</b> . . . . .	56
<b>III. Das Mayo-Ohm (umschaltbares Ohmmeter)</b> . . . . .	57
<b>IV. Das Universal-Ohmmeter (UNO)</b> . . . . .	58
<b>V. Vielfachmeßgerät „Tritest“</b> . . . . .	58
<b>E. Der Prüfschrank</b> . . . . .	61
<b>I. Prüfen der Anschlußleitung auf Stromfähigkeit</b> . . . . .	62
<b>II. Prüfen auf Schleifenberührung</b> . . . . .	63
<b>III. Messen des Leitungswiderstandes mit oder ohne angeschaltetem Sprechapparat und weiterer Zusatzeinrichtungen</b> . . . . .	64
<b>IV. Messen des Isolationswiderstandes einer Ader gegen Erde</b> . . . . .	66
<b>V. Messen des Isolationswiderstandes Ader gegen Ader</b> . . . . .	67
<b>VI. Prüfen auf Außenstrom</b> . . . . .	67
<b>VII. Prüfen auf Sprechverständigung</b> . . . . .	68
<b>VIII. Prüfen des abgehenden Rufes</b> . . . . .	69
<b>IX. Prüfen des Nummernschalters</b> . . . . .	69
<b>F. Übungsaufgaben</b> . . . . .	71
<b>G. Lösungen</b> . . . . .	74

## A. Elektrisches Messen

Messen heißt vergleichen; vergleichen mit bekannten Größen.

Wir sehen es heute als eine Selbstverständlichkeit an, daß man die Länge einer Strecke in Metern, die Größe eines Raumes in Quadratmetern mißt und damit eine Größenvorstellung verknüpft. Nicht immer war es so. Noch im Mittelalter benutzte man die immer verfügbaren Naturmaße, um überhaupt eine vergleichende Möglichkeit zu haben. Erwähnt seien die Längenmaße, z. B. Elle, Fuß usw. Ein großer Nachteil dieser Naturmaße waren die nicht unbedeutlichen Abweichungen, Meßungenauigkeiten. Erst die internationale Einführung des Meters (abgekürzt m) als Längeneinheit brachte ein einheitliches Längenmaß. Hierbei wurde das **Meter als der 40 000 000. Teil des Erdumfangs**, bzw. der 10 000 000. Teil des Erdquadranten festgelegt. Neuere Messungen ergaben Abweichungen, so daß der modernen Meßtechnik heute Lichtwellen als Maßgrundlage dienen. **So ist das Meter jetzt festgelegt als das 1 553 164,13fache der Wellenlänge des roten Cadmiumlichtes.** Hier handelt es sich um eine Naturkonstante, die nach unseren Kenntnissen unveränderlicher und genauer meßbar ist als die Gestalt der Erde. Weitere Fehlerquellen, die bei der Übertragung des Urmeters auf etwaige Nachbildungen unvermeidbar sind, werden somit ausgeschaltet (Urmeter, ein im Internationalen Büro für Maße und Gewichte in Sèvres bei Paris aufbewahrter Platin-Iridium-Stab).

So wie als Maßeinheit der Länge das Meter festgelegt wurde, bedient sich die Physik weiterer Maßeinheiten. Diese **physikalischen Maßeinheiten** sind heute fast alle **international festgelegt**.

### I. Elektrische Maßeinheiten

Im nachstehenden Teil sollen aus der Vielzahl der Maßeinheiten einige **elektrische Maßeinheiten** herausgestellt werden.

#### Das Volt

Als Einheit der elektrischen Spannung hat man das Volt (abgekürzt V) festgelegt. Volt, benannt nach dem italienischen Physiker Graf Alessandro Volta, ein Pionier auf dem Gebiet der Elektrizität.

Die Spannung von einem Volt erzeugt in einem Leiter von einem Ohm Widerstand einen Strom von einem Ampere.

### Das Ampere

Zur Messung der Stromstärke benutzt man die **Maßeinheit Ampere** (abgekürzt **A**). Diese Einheit ist zu Ehren eines französischen Physikers Ampère benannt worden, der zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts sich sehr eingehend mit dem elektrischen Strom beschäftigte und dabei wichtige Erkenntnisse gesammelt hat. Für **schwache Ströme** ist das Ampere weniger geeignet. Sie werden deshalb in **Milliampere (mA)** angegeben;  $1000 \text{ mA} = 1 \text{ A}$ .

Die Stromstärke ein Ampere scheidet aus einer Silbernitratlösung in einer Sekunde 1,118 mg Silber ab, oder ein Ampere bewegt in einer Sekunde die Ladung von einem Coulomb.

### Das Ohm

Die **Maßeinheit des Widerstands** ist nach dem deutschen Physiker Georg Simon Ohm, der als erster die **Gesetzmäßigkeit** zwischen Strom, Spannung und Widerstand erkannt hatte, benannt worden.

Ein Ohm (abgekürzt  $\Omega$ ) ist der Widerstand eines Quecksilberfadens von 106,3 cm Länge und einem Querschnitt von  $1 \text{ mm}^2$  bei  $0^\circ \text{ Celsius}$ .

### Das Watt

Die **Einheit der elektrischen Leistung** ist das **Watt** (abgekürzt **W**), benannt nach dem englischen Erfinder James Watt.

Ein Watt ist die elektrische Leistung bei Gleichstrom als Produkt aus Strom und Spannung.

### Die Wattsekunde

Die **Wattsekunde** ist die **Einheit der elektrischen Arbeit** (abgekürzt **Ws**). Sie ergibt sich aus dem Produkt Leistung  $\cdot$  Zeit. Bekannter als die Wattsekunde ist die Kilowattstunde (**kWh**).

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws}$$

### Das Neper

Das **Neper** (abgekürzt **N**) ist die **Maßeinheit der elektrischen Dämpfung**, benannt nach dem englischen Mathematiker John Napier. Die Größe der Dämpfung in „N“ ist eine **dimensionslose Zahl** (ohne Größenordnung) und ist **keine Maßzahl im üblichen Sinne**.

## B. Meßgeräte, Meßinstrumente, Meßwerk

Die Elektrotechnik, ein Teilgebiet der Physik, ist ohne Messungen nicht denkbar. Da diese Messungen nicht **unmittelbar**, sondern nur **mittelbar** durchgeführt werden können, sind zum Messen elektrischer Größen besondere Meßgeräte mit empfindlichen Meßwerken geschaffen worden.

Die **VDE-Vorschriften 0410/1.53** geben hier folgende Erklärung:

- a) Meßgerät ist ein Meßinstrument zusammen mit sämtlichem Zubehör, also auch mit solchem, das nicht untrennbar mit dem Instrument verbunden, sondern getrennt vorhanden ist.
- b) Meßinstrument ist das Meßwerk zusammen mit dem Gehäuse und gegebenenfalls eingebautem Zubehör. Ein Meßinstrument kann auch mehrere Meßwerke enthalten.
- c) Ein Meßwerk besteht aus den eine Bewegung erzeugenden Teilen und den Teilen, deren Bewegung oder Lage von der Meßgröße abhängt.

Die **Grundbegriffe der Meßtechnik** sind in **DIN 1319** festgelegt.

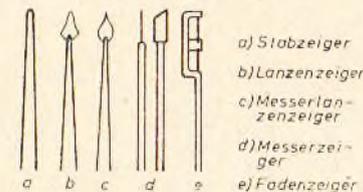
### I. Unterscheidung der Meßgeräte nach den zu messenden Größen

Nach den zu messenden elektrischen Größen unterscheidet man:

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| 1. Spannungsmesser   | 5. Arbeitsmesser   |
| 2. Strommesser       | 6. Frequenzmesser  |
| 3. Widerstandsmesser | 7. Dämpfungsmesser |
| 4. Leistungsmesser   |                    |

Die weitaus gebräuchlichsten Meßinstrumente sind **Zeigerinstrumente**, an denen man den zu messenden Wert unmittelbar ablesen kann. Abb. 1 zeigt die bekanntesten Zeigerformen.

#### Zeigerformen



(Abb. 1)

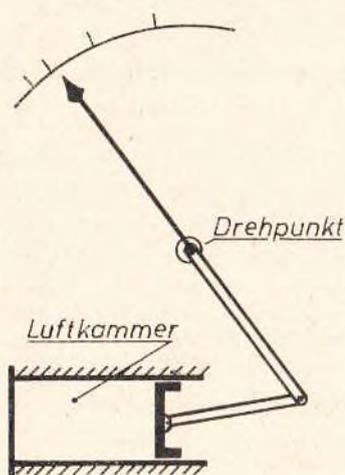
## II. Allgemeiner Aufbau der Zeigerinstrumente

Das Zeigerinstrument besteht aus einem beweglichen System, welches drehbar angeordnet ist und durch den elektrischen Strom aus der Ruhelage heraus abgelenkt wird. Es besteht aus **Achse, Weicheisenstück oder Spule und Zeiger**. Die Ablenkung wird durch den Zeiger auf eine Skala übertragen, auf der die zu messende Größe abgelesen werden kann. Um den Zeiger in seine Ruhelage wieder zurückzubringen, ist eine Gegenkraft erforderlich, die in den meisten Fällen durch eine einfache Spiralfeder (auch Blattfeder und Schraubfeder) erzeugt wird. Da sich der Zeiger nur pendelnd auf die zu messende Größe einstellt und dadurch ein genaues Ablesen nicht sofort möglich ist, versucht man, die Pendelbewegung abzukürzen, zu dämpfen. Diese **Dämpfung** ist in das Meßinstrument eingebaut.

### 1. Luftdämpfung

Die Luftdämpfung eignet sich für fast alle Meßwerke. Man unterscheidet zwei Arten von Luftdämpfung: die **Luftkammerflügeldämpfung** und die **Luftkammerkolbendämpfung** (vgl. hierzu Abb. 2).

#### Luftkammerdämpfung



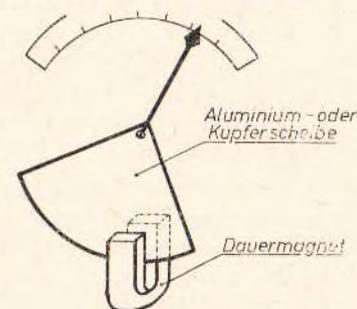
(Abb. 2)

Im Prinzip beruht die Luftdämpfung auf einer Luftverdichtung innerhalb der Dämpfungskammer, die durch die Bewegung des Zeigers und des damit verbundenen Dämpfungsflügels hervorgerufen wird. Da der Flügel an der Kammerwand nicht fest anschließt, kann die Luft langsam entweichen. Die entstehenden Luftwirbel verhindern weitgehendst ein Zurückschlagen des Zeigers.

### 2. Wirbelstromdämpfung

Legt man eine Spule (Feldspule) in einen Stromkreis, so baut sich um die Spule ein magnetisches Feld auf. Eine Zweitspule, die in die Nähe dieser Spule gerückt wird und deren Enden an ein Meßinstrument geführt sind, zeigt, beim Einschalten des elektrischen Stroms einen Ausschlag.

#### Wirbelstromdämpfung



(Abb. 3)

In der Zweitspule fließt also ein kurzdauernder Strom, den man als Induktionsstrom bezeichnet. Unterbricht man den Strom in der Feldspule, so zeigt das Instrument wiederum einen Ausschlag, allerdings in entgegengesetzter Richtung. Diese Wirkungen lassen sich nur auf die Feldspule zurückführen, da nur diese im Stromkreis liegt. Offenbar wird in der Zweitspule beim **Ein- und Ausschalten des Stroms eine Spannung induziert**, die den Stromfluß zur Folge hat.

Ein weiterer Versuch zeigt, daß der Strom in der Zweitspule nicht nur dann auftritt, wenn in der Feldspule der Strom ein- oder ausgeschaltet wird, sondern auch dann, wenn er stärker oder schwächer wird. Solange der Strom in der Feldspule mit gleicher Stromstärke fließt, entsteht in der Zweitspule kein Induktionsstrom; es tritt keine Änderung des magnetischen Feldes auf. Hieraus folgt:

**Nur bei zeitlich veränderlichen Magnetfeldern wird eine Spannung induziert.**

Es gibt noch weitere Möglichkeiten, um einen Induktionsstrom zu erzeugen.

Verwendet man an Stelle der stromdurchflossenen Spule einen Dauermagneten und an Stelle der Zweitspule eine Kupfer- oder Aluminiumscheibe und bewegt letztere zwischen den Polen des Dauermagneten mit seinem homogenen Kraftfeld, so wird in der Scheibe ebenfalls eine Spannung induziert, die Induktionsströme in der Scheibe fließen läßt. Diese Ströme nennt man Wirbelströme.

Bei dieser Betrachtung werden die magnetischen Feldlinien des Dauermagneten geschnitten. Hieraus folgt:

**Bewegt man einen Leiter (Leiterschleife oder auch Metallscheibe) in einem Magnetfeld, so wird im Leiter eine Spannung induziert, die in der geschlossenen Leiterschleife einen Induktionsstrom fließen läßt.**

Im allgemeinen sind diese Induktionsströme (Wirbelströme) unerwünscht, man versucht sie zu unterbinden, da sie den Vorgang, durch den sie entstehen, zu hemmen suchen, also z. B. bremsend auf die sich bewegende Metallscheibe wirken. Sie setzen sich in Wärme um, bedingen also Energieverluste, seien es Verluste an elektrischer oder, in unserem Beispiel, Verluste an Bewegungsenergie.

Bei der vielfach verwendeten **Wirbelstromdämpfung der Meßinstrumente** ist die **Entstehung von Wirbelströmen erwünscht**. Auch hier bewegt sich **zwischen den Polen eines Dauermagneten eine Metallscheibe** (Cu, Al), die mit dem Zeiger fest verbunden ist. (Vgl. hierzu Abb. 3.) In der Scheibe entstehen während der Bewegung Wirbelströme, die auf die Scheibe und somit auf den Zeiger bremsend wirken.

### 3. Kurzschlußdämpfung

Die **Kurzschlußdämpfung** wird überall dort **angewendet**, wo sich eine **Drehspule im Magnetfeld** bewegt. In einem Metallrähmchen, das als Kurzschlußwicklung wirkt, entstehen bei der Bewegung des Meßwerkes **Kurzschlußströme**, die der Bewegung des Zeigers entgegenwirken.

## III. Aufschriften der Meßinstrumente

### 1. Stromartzeichen

Nicht alle Meßinstrumente können für Gleich- und Wechselstrom verwendet werden. Es gibt daher Geräte, die **nur für Gleichstrom**, **nur für Wechselstrom** und solche, die für **beide Stromarten** verwendbar sind.

Die Stromartzeichen sind daher auf den Skalen der Meßinstrumente vermerkt.

-  nur für Gleichstrom
-  nur für Wechselstrom
-  für Gleich- und Wechselstrom

### 2. Klasseneinteilung

Die Meßgeräte unterscheiden sich nach **Feinmeßgeräten** und **Betriebsmeßgeräten**, je nach der späteren Verwendung des Geräts. Feinmeßgeräte (Präzisionsinstrumente) werden z. B. in verschiedenen Ausführungen in Forschungsanstalten und Laboratorien verwendet. Der **Anzeigefehler** dieser Geräte muß möglichst **gering** sein; er wird in % **des Endwertes** des Meßbereichs ausgedrückt.

	0,1	
	0,2	Feinmeßgeräte
	0,5	
<b>Klassenzeichen</b>	1,0	
	1,5	Betriebsmeßgeräte
	2,5	
	5,0	

### 3. Prüfspannungszeichen

Dieses Zeichen ist ein **schwarzumrandeter fünfzackiger Stern**. Es gibt an, mit welcher Spannung das Meßgerät geprüft worden ist. Diese Prüfung erfolgt nach den **VDE-Vorschriften 0410**.

Die Prüfspannung stimmt mit der Nenn- oder Betriebsspannung nicht überein.

Für Nennspannungen bis 40, bis 650 bzw. bis 1500 V ist eine Prüfspannung von 500, 2000 bzw. 5000 V vorgeschrieben.

### 4. Lagezeichen

Geräte, die für eine bestimmte Gebrauchslage vorgesehen sind, erhalten ein Lagezeichen.

-  für senkrecht
-  für waagrecht
-  für schräg

### 5. Meßwerksymbole (VDE 0410)

Die wichtigsten Meßwerksymbole sind in Abb. 4 zusammengestellt.

Meßwerksymbole

Drehspulmeßgerät mit Dauermagnet, allgemein		Elektrodynamischer Quotientenmesser, eisenlos	
Drehspulmeßgerät mit Dauermagnet, Quotientenmesser		Elektrodynamischer Quotientenmesser, eisengeschlossen	
Eisennadelmeßgerät		Induktions-Meßgerät	
Drehmagnet-Meßwerk		Induktions-Quotientenmesser	
Drehmagnet-Quotientenmesser		Thermisches Meßgerät	
Dreheisen-Meßgerät		Elektrostatisches Meßgerät	
Dreheisen-Quotientenmesser		Vibrationsmeßgerät	
Elektrodynamisches Meßgerät, eisenlos		Thermoumformer, allgemein	
Elektrodynamisches Meßgerät, eisengeschlossen		Thermoumformer mit Drehspulmeßgerät	

(Abb. 4)

Meßwerksymbole

Isolierter Thermoumformer		Drehstrommeßgerät mit 1 Meßwerk	
Isolierter Thermoumformer mit Drehspulmeßgerät		Drehstrommeßgerät mit 2 Meßwerken	
Gleichrichter		Drehstrommeßgerät mit 3 Meßwerken	
Gleichrichter in Verbindung mit Drehspulmeßgerät		Senkrechte Gebrauchslage	
Meßgerät mit Eisenschirm (Sinnbild für Schirm)		Waagerechte Gebrauchslage	
Meßgerät mit elektrostatischem Schirm (Sinnbild für Schirm)		Schräge Gebrauchslage mit Angabe des Neigungswinkels	
Astatisches Meßwerk	ast	Nulleinstellung	
Gleichstrom	—	Prüfspannungszeichen	
Wechselstrom	~	Achtung (Gebrauchsanweisung beachten)	
Gleichstrom- u. Wechselstrom	— ~	Instrument entspricht bezüglich Prüfspannung nicht den Regeln	

(Abb. 4)

## IV. Unterscheidung der Meßgeräte nach der Art des Meßwerks

Nach der Art des Meßwerks lassen sich die Meßinstrumente einteilen in:

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dreheiseninstrumente</li> <li>2. Drehspulinstrumente</li> <li>3. Elektrodynamische Instrumente</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Thermische Instrumente</li> <li>5. Vibrationsinstrumente</li> <li>6. Elektrostatische Instrumente</li> </ol> |
|---|--|

### 1. Dreheiseninstrumente

Befestigt man einen Stabmagneten waagrecht an einem dünnen Faden (möglichst reibungslos) und läßt ihn anschließend freischwebend ausschlagen, so stellt er sich in die Nord-Süd-Richtung ein. Den nach Norden weisenden Pol nennt man Nordpol, den nach Süden zeigenden Südpol (geographisch Nord bzw. Süd). Nähert man diesem Magneten einen zweiten, so wird er aus seiner Richtung abgelenkt. Er wird entweder angezogen oder abgestoßen. Wird die Polarität beider Magneten festgelegt, so läßt sich aus diesem Versuch folgern:

**Gleichnamige Pole stoßen sich ab;  
ungleichnamige ziehen sich an.**

Wiederholt man diesen Versuch mit zwei vom Strom durchflossenen Spulen, so wird die gleiche abstoßende oder anziehende Wirkung beobachtet. Eine stromdurchflossene Spule verhält sich also wie ein Dauermagnet; auch sie hat eine Polarität, einen Nord- und einen Südpol. Betrachtet man das Kraftlinienfeld dieser Spule, so verlaufen die Kraftlinien innerhalb der Spule parallel und treten an den beiden Spulenden ein bzw. aus. An dem Spulende, an dem die Kraftlinien austreten, befindet sich der Nordpol. Kraftlinien sind geschlossene Feldlinien.

Ein weiterer Versuch zeigt das Verhalten eines Weicheisenstücks in der Nähe einer vom Strom durchflossenen Spule. Das Weicheisenstück wird durch das Ein- und Austreten der magnetischen Feldlinien zum Magneten; es nimmt die Polarität der Spule an.

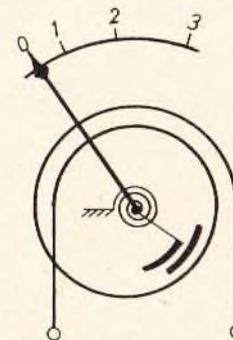
### Wirkungsweise des Dreheiseninstrumentes

In einer Spule sind zwei Eisenplättchen angebracht, das eine fest mit der Spule verbunden, das andere beweglich und mit einem Zeiger versehen (vgl. hierzu Abb. 5).

Schickt man nun durch die Spule einen Strom, so werden beide Eisenplättchen gleichnamig magnetisch, und das bewegliche wird von dem festen abgestoßen. Es bewegt sich also der Zeiger, der mit dem zweiten Plättchen verbunden ist.

Je stärker der die Spule durchfließende Strom, desto größer die Kraft der Abstoßung.

### Schema eines Dreheiseninstrumentes



(Abb. 5)

Da die gleichartige Magnetisierung der beiden Eisenplättchen unabhängig von der Richtung des fließenden Stromes ist, zeigt das Dreheiseninstrument auch die Stärke von Wechselströmen an.

Das Dreheiseninstrument, früher auch „Weicheiseninstrument“ genannt, ist für Gleich- und Wechselstrommessungen am gebräuchlichsten, da es preisgünstig und im Gebrauch unempfindlich ist, vor allen Dingen gegen kurzzeitige Überlastung.

### Aufbau

Man unterscheidet nach ihrem Aufbau:

- a) Tauchspulinstrumente
- b) Flachspul- und
- c) Rundspulinstrumente

#### a) Tauchspulinstrumente

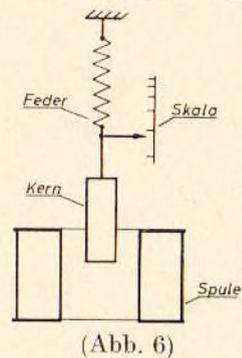
Neben dem Hitzdrahtinstrument ist das Tauchspulinstrument eines der ältesten Meßinstrumente und das erste geeignete Meßinstrument zur Messung von Wechselströmen (vgl. hierzu Abb. 6).

Das Tauchspulinstrument besteht aus einer Spule, einem Weicheisenkern, der an einer Feder befestigt ist, und einer geeichten Skala. Wird nun die Spule vom Strom durchflossen, so verhält sie sich wie ein Magnet (Bestimmung der Polarität nach der „rechten Handregel“). Der vorgelagerte Weicheisenkern wird also mehr oder weniger stark in die Spule hineingezogen. Die anziehende Kraft wird durch die Größe des durch die Spule fließenden Stromes bestimmt, während die Feder die erforderliche Gegen-

kraft erzeugt. Nach der Messung bringt die Feder den Kern wieder in die Ruhelage zurück. Die Federnlängenänderung wird über einen Zeiger auf der geeichten Skala abgelesen. Die **Skaleneinteilung ist quadratisch**.

Die Weiterentwicklung des Tauchspulinstrumentes führte zum **Flachspulinstrument**.

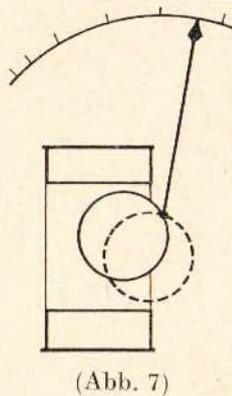
### Tauchspulinstrument



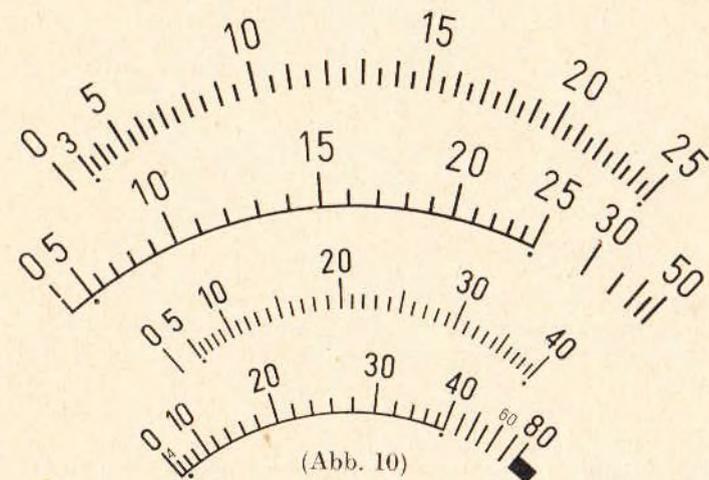
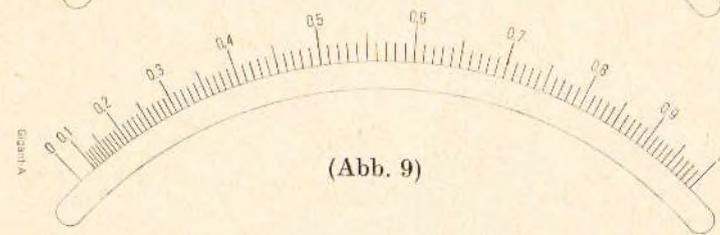
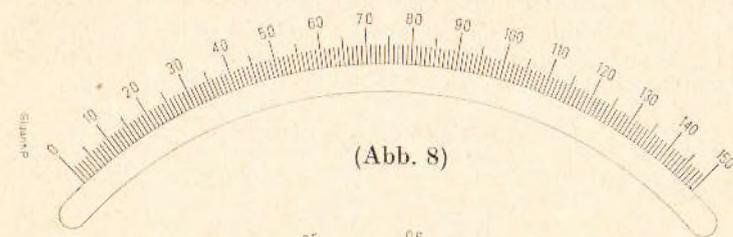
### b) Flachspulinstrumente

An Stelle des Weicheisenkerns tritt beim Flachspulinstrument eine **Weicheisenscheibe**, die drehbar um eine Achse gelagert ist. Sie wird beim Anlegen der Meßspannung in die Spule gezogen. Auf derselben Achse, die mit dem Zeiger verbunden ist, befindet sich eine Spiralfeder, die die

### Flachspulinstrument



### Skalenmuster in natürlicher Größe



erforderliche Gegenkraft erzeugt. Die Skaleneinteilung ist nicht linear, weil die magnetische Kraft mit dem Quadrat der magnetischen Induktion wächst. Jedoch läßt sich durch **geeignete Maßnahmen** (Wahl des Drehpunktes der Scheibe, Form der Scheibe) die **Skala weitgehendst linearisieren** (vgl. hierzu die Abb. 7, 8, 9 und 10).

### e) Rundspulinstrumente

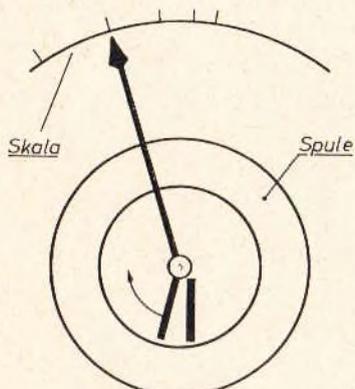
In einer **Rundspule** sind **zwei Plättchen** aus magnetisch weichem Eisen angeordnet. Leitet man einen Meßstrom durch die Spule, so werden die

beiden **Eisenplättchen** im **gleichen Sinne magnetisiert** und stoßen einander **ab**. Das bewegliche Plättchen wird durch eine Achse gehalten, mit der der **Zeiger** verbunden ist. Achse und Zeiger drehen sich so lange, bis das **Gegendrehmoment**, das durch eine **Spiralfeder** erzeugt wird, gleich dem **elektrischen Drehmoment** ist (vgl. hierzu Abb. 11 und 12).

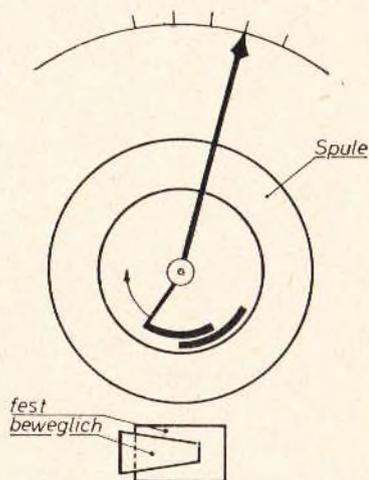
**Rundspulinstrument**

(ältere Bauart)

(modernere Bauart)



(Abb. 11)



(Abb. 12)

Eine eingebaute **Luftdämpfung** sorgt für eine schnelle Zeigereinstellung. Die **Skaleneinteilung** ist annähernd linear (im Prinzip quadratisch). Abb. 13 zeigt ein **Dreheisenmeßwerk** mit **Rundspule** und **Luftkammerdämpfung**.

**Merke:**

**Weicheiseninstrumente** sind zum Messen von **Gleich- und Wechselströmen** geeignet. Bei Verwendung sehr weicher Eisenlegierungen kann eine **hohe Genauigkeit** erreicht werden. Weicheiseninstrumente sind **unempfindlich** gegen **Überlastung**, haben aber einen hohen **Eigenverbrauch**.

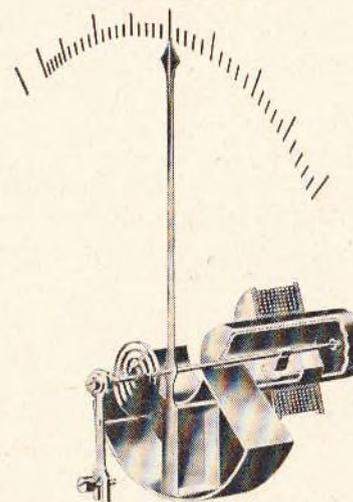
**2. Drehspulinstrumente**

**Wirkungsweise**

Bringt man zwischen die **Pole** eines **Hufeisenmagneten** eine **Spule**, die leicht drehbar gelagert ist, und schiebt durch diese **Spule** einen **Strom**, so verhält sich die **stromdurchflossene Spule** wie ein **Stabmagnet**. Es dreht

sich der entsprechende **Nordpol** in die Richtung zum **Südpol** des **Hufeisenmagneten**. Die **Anziehung** ist um so größer, je stärker der die **Spule**

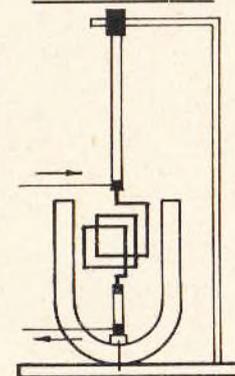
**Dreheisenmeßwerk**



(Abb. 13)

**durchfließende Strom** ist. Ein mit der **Spule** verbundener **Zeiger** könnte die **Größe der Drehung** (**Drehmoment**) anzeigen. Abb. 14 zeigt eine **stromdurchflossene Spule** zwischen den **Polen** eines **Hufeisenmagneten**.

**Hufeisenmagnet**



(Abb. 14)

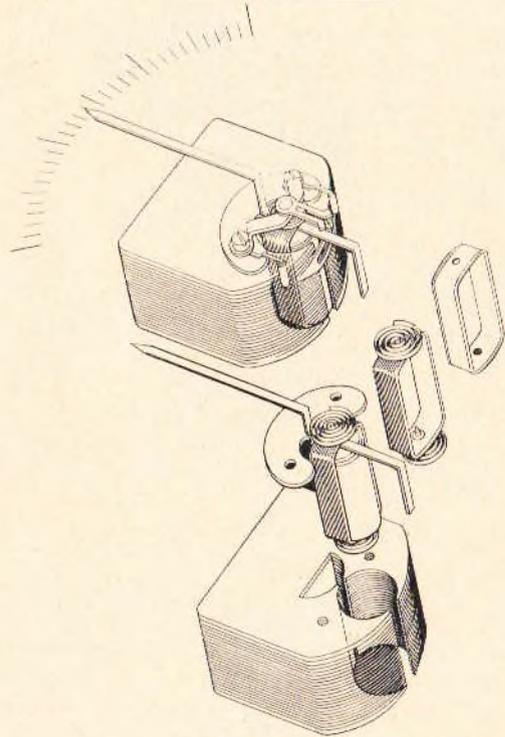
**Aufbau**

In der Praxis erhält der **Magnet** **zylindrisch** **ausgedrehte Polschuhe**, um ein **homogenes** (gleichmäßiges) **magnetisches Feld** zwischen den beiden

Polen zu erhalten. Die Polschuhe umschließen konzentrisch einen **Weicheisenzylinder**, den Polkern. Dieser ist so angeordnet, daß zwischen Polschuhen und Kern nur ein schmaler Luftspalt bleibt. In diesem Luftspalt befindet sich die mit der Achse und dem Zeiger fest verbundene Drehspule.

Fließt nun ein Meßstrom durch die Spule, so wird die Spule im Magnetfeld abgelenkt. Die Ablenkung kann auf einer geeichten Skala (lineare Einteilung) in Ampere oder Milliampere abgelesen werden. Die Gegenkraft (Gegendrehmoment) wird durch zwei Spiralfedern erzeugt, die gleichzeitig zur Stromzuführung dienen. Da die Drehrichtung bei nicht veränderlichem Magnetfeld von der Stromrichtung abhängt, ist das **Drehspulinstrument nur für Gleichstrom geeignet** (vgl. hierzu Abb. 15).

Drehspulinstrument



(Abb. 15)

**Drehspulinstrumente** können mit sehr hoher **Empfindlichkeit** gebaut werden.

Um noch sehr schwache Ströme anzeigen zu können, verwendet man sogenannte **Spiegelgalvanometer**, die nach dem gleichen Prinzip gebaut

sind. An Stelle des Zeigers tritt ein kleiner Spiegel, der einen auffallenden Lichtstrahl nach einer Skala ablenkt. Mit einem solchen Instrument können Ströme bis zu  $10^{-10}$  A gemessen werden.

**Jeder Strommesser** kann, vorausgesetzt, daß sein Widerstand konstant und bekannt ist, **grundsätzlich als Spannungsmesser benutzt werden**. Zweckmäßig versieht man natürlich ein solches Gerät mit einer in Volt (V) geeichten Skala.

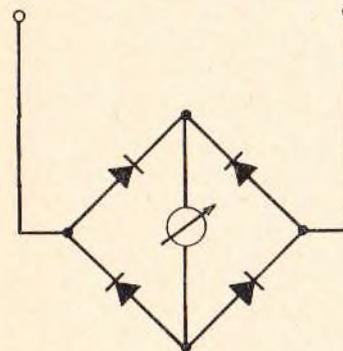
**Merke:**

**Drehspulinstrumente sind nur für Gleichstrom geeignet. Sie besitzen höchste Genauigkeit und Empfindlichkeit und haben einen geringen Eigenverbrauch. Die Skaleneinteilung ist linear.**

a) **Drehspulinstrument mit Meßgleichrichter**

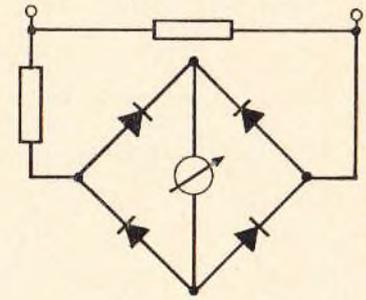
**Drehspulinstrumente** können zur **Messung von Wechselströmen und Wechselspannungen** benutzt werden, wenn **Trockengleichrichter** vor die Drehspule geschaltet werden (vgl. hierzu Abb. 16a). Verwandt werden **Selen-, Kupferoxydul- und Germanium-Gleichrichter**, die im allgemeinen in Graetzschaltung angeordnet sind.

Einfacher Strommesser



(Abb. 16a)

Strommesser mit Nebenwiderstand



(Abb. 16b)

Durch diese Schaltung erreicht man, daß der zu messende Strom in beiden Halbwellen in der gleichen Richtung über die Drehspule fließt. Drehspulinstrumente mit Meßgleichrichter eignen sich bis zu einem **Frequenzbereich von 10 000 Hz**. Darüber hinausgehende Messungen enthalten einen zu großen Meßfehler.

Zur Messung größerer Ströme kann ein Nebenwiderstand (vgl. hierzu Abb. 16b) benutzt werden.

Um einen möglichst geringen Eigenverbrauch zu erreichen, verwendet man an Stelle des Nebenwiderstandes häufig einen Stromwandler.

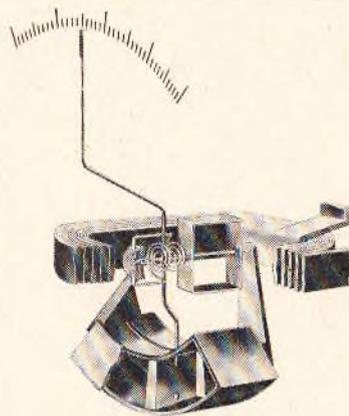
Stromwandler sollen den zu messenden Wechselstrom auf einen meist kleineren Wert bei einem möglichst gleichbleibenden Übersetzungsverhältnis herabsetzen. Der Stromwandler ist nach Aufbau und Wirkungsweise ein Umspanner (Transformator), der praktisch im Kurzschluß betrieben wird (geringer äußerer Widerstand). Er darf daher niemals mit offenen Klemmen auf der Sekundärseite in Betrieb genommen werden. Große Eisenverluste und Erwärmungen wären die Folge.

### 3. Elektrodynamische Instrumente

Das Meßwerk der **elektrodynamischen Meßinstrumente** besteht aus einer **festen** und einer **beweglichen Spule**. An der beweglichen Spule ist der Zeiger befestigt. Beide Spulen sind so geschaltet, daß der Strom die Spulen im gleichen Richtungssinn durchfließt. Zur **Stromzuführung** für die bewegliche Spule werden, wie bei den Drehspulinstrumenten, **zwei Spiralfedern** verwendet, die gleichzeitig bei Zeigerausschlag das erforderliche Gegenmoment liefern. Die **Wirkungsweise** ist **ähnlich** wie bei den **Drehspulinstrumenten**. An Stelle des Dauermagneten tritt der Elektromagnet der festen Spule. Dieses Gerät kann auch für **Wechselstrommessungen** verwendet werden, da bei Richtungsänderungen des Stromes, sowohl das magnetische Feld der festen als auch das Feld der beweglichen Spule umgepolt wird und der Zeiger nur nach einer Richtung ausschlägt.

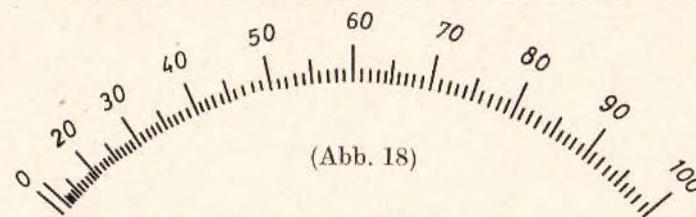
Da das Meßwerk eisenlos ist, sind die magnetischen Felder verhältnismäßig schwach (vgl. hierzu Abb. 17).

#### Eisenloses elektrodynamisches Meßwerk



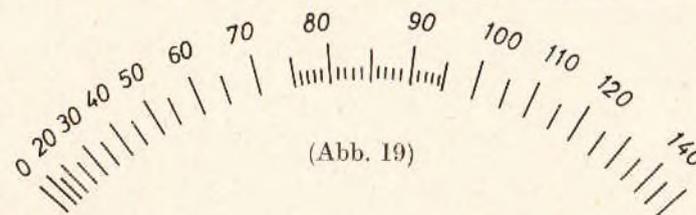
(Abb. 17)

#### Skalenbild eines elektro-dynamischen Strommessers



(Abb. 18)

#### Skalenbild eines elektro-dynamischen Spannungsmessers



(Abb. 19)

Als **Leistungsmesser** benutzt man elektrodynamische Instrumente mit **eisengeschlossenem Meßwerk**. Bei diesen Meßwerken ist das magnetische Feld der festen Spule erheblich verstärkt, da die Feldlinien nicht durch Luft, sondern fast ausschließlich durch Eisen verlaufen. In der Fernmeldetechnik werden elektrodynamische Meßinstrumente wenig verwendet.

**Merke:**

Elektrodynamische Meßinstrumente sind zum Messen von Gleichströmen und Wechselströmen mittlerer Frequenz geeignet. Sie sind sehr zuverlässig, aber weniger geeignet für schwache Ströme. In der Starkstromtechnik werden sie als Leistungsmesser verwandt. Die Skaleneinteilung ist quadratisch.

### 4. Thermische Instrumente

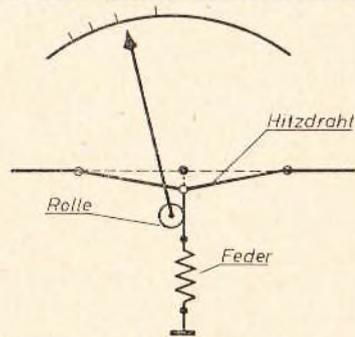
Wie allgemein bekannt, dehnen sich Körper bei Erwärmung aus. Je größer die Wärme, um so größer die Ausdehnung. **Wärme und Ausdehnung** sind also **proportional**. Die Längenänderung eines Stabes ist aber nicht nur von der Wärme, sondern auch von dem verwendeten Material abhängig. Es ist also wichtig, wenn man auf die Längenänderung schließen will, daß man etwas über das verwendete Material weiß, z. B. über die Längenänderung, die bei einer Erwärmung um ein Grad Celsius an einem Stab von einem Meter Länge bei 0° C auftritt. Diese Zahl bezeichnet man als den linearen Ausdehnungskoeffizienten. Gleiche Materialien haben den gleichen Ausdehnungskoeffizienten.

Dieses Verhalten der Körper bei Erwärmung bildet die physikalische Grundlage bei der Fertigung der thermischen Meßinstrumente.

#### a) Hitzdrahtinstrument

Bei den **Hitzdrahtinstrumenten** macht man sich eine der Wirkungen des elektrischen Stromes, die **Wärmewirkung**, zunutze. Die Erwärmung des Drahtes erfolgt also bei Stromdurchfluß. Die entstandene Längenänderung wird auf ein Zeigersystem übertragen (vgl. hierzu Abb. 20).

##### Schema eines Hitzdrahtinstrumentes

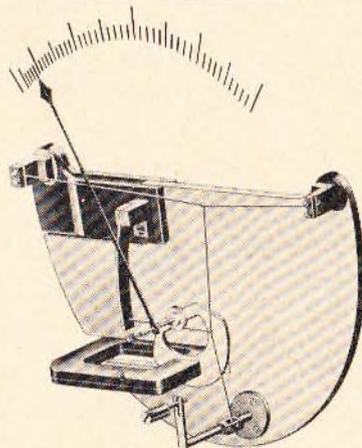


(Abb. 20)

#### Aufbau

Zwischen zwei Spannvorrichtungen ist ein Hitzdraht befestigt (Abb. 21). Ein zweiter Draht, der in der Mitte des Hitzdrahtes befestigt ist, führt

##### Hitzdrahtinstrument



(Abb. 21)

senkrecht nach unten und ist an der Grundplatte befestigt. Von diesem Draht führt ein weiterer Draht über die Zeigerwelle zu einer Blattfeder (vgl. hierzu Abb. 21).

Fließt nun ein **Meßstrom** über den **Hitzdraht**, so bewirkt die **aufretende Längenänderung**, unter dem Einfluß der Federspannung der Blattfeder, eine **Drehung der Zeigerrolle**. Der Zeiger stellt sich auf die zu messende Größe ein. Die eingebaute Wirbelstromdämpfung (Aluminiumscheibe und Dauermagnet) bewirkt eine schwingungsfreie Einstellung des Zeigers. Da die Erwärmung des Hitzdrahtes **vom Quadrat der Stromstärke abhängig** ist, kann die verwendete Skala **nicht linear** sein.

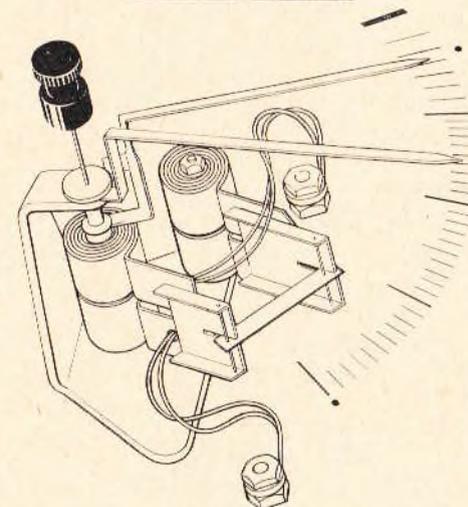
#### Merke:

Da die Erwärmung des Drahtes von der Stromrichtung unabhängig ist, eignen sich Hitzdrahtinstrumente für Gleichströme und Wechselströme bis zu hohen Frequenzen. Die Einstellung des Zeigers erfolgt nur langsam, da die Erwärmung des Hitzdrahtes Zeit in Anspruch nimmt. Hitzdrahtinstrumente sind heute nur noch wenig gebräuchlich und haben für die Fernmeldetechnik keinen größeren Wert.

#### b) Bimetallinstrument

Eine Art von Hitzdrahtinstrument ist das **Bimetallinstrument**. Zwei verschiedene Metalle mit **unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten** sind miteinander fest verschweißt. Bei Erwärmung haben sie das Bestreben, sich unterschiedlich stark auszudehnen. Da sie aber miteinander ver-

##### Bimetallinstrument



(Abb. 22)

schweißt sind, treten unterschiedliche mechanische Spannungen in den Metallstreifen auf, die ein weiteres Zusammenrollen des bereits zu einer Spirale aufgerollten Bimetallstreifens verursachen. Das auftretende Drehmoment wird zur Stromanzeige benutzt (vgl. hierzu Abb. 22).

Verbindet man zwei verschiedene Metalle an den Enden mit Lötstellen und erwärmt eine der Lötstellen, so fließt in den beiden Metallen ein nachweisbarer Strom. Die unterschiedliche Temperatur der beiden Lötstellen hat also die Entstehung einer elektromotorischen Kraft (Spannung) zur Folge. Durch Hinzuschalten eines Instrumentes wird der im Leiterkreis fließende Strom nicht geändert, vorausgesetzt, daß alle Verbindungsstellen die gleiche Temperatur haben.

**Ein Metallpaar, welches bei Erwärmung einer Lötstelle einen elektrischen Strom fließen läßt, heißt Thermoelement.**

Erwärmt man in einem weiteren Versuch beide Lötstellen, so fließt kein Strom, da kein Temperaturgefälle vorhanden ist. **Je größer das Temperaturgefälle, um so größer der fließende Strom.**

So wie bei den galvanischen Elementen die Voltasche Spannungsreihe die Höhe der Spannung bestimmt, können die Metalle in eine sogenannte thermoelektrische Spannungsreihe eingeordnet werden.

**Thermoelektrische Spannungsreihe:**

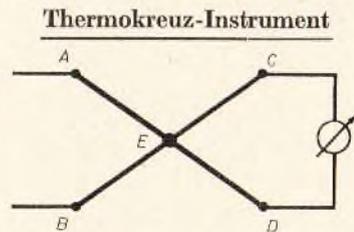
+ Selen, Tellur, Antimon, Eisen, Messing, Zinn, Kupfer, Silber, Gold, Zink, Blei, Quecksilber, Platin, Nickel, Konstantan, Wismut —

Die thermoelektrische Spannung ist um so größer, je weiter die Metalle in der Reihe auseinanderstehen.

Am häufigsten werden Thermoelemente zu Temperaturmessungen verwendet. In der elektrischen Meßtechnik sind sie unter dem Namen **Thermokreuz-Instrument** bekannt.

### c) Thermokreuz-Instrument

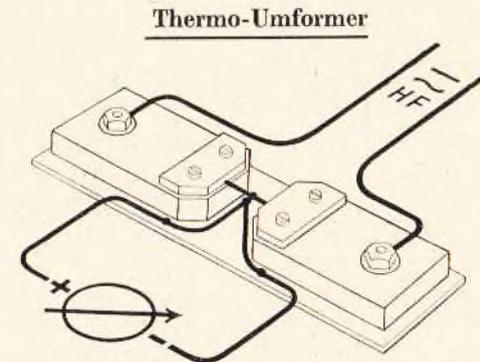
Während beim **Hitzdraht-** und **Bimetallinstrument** die Wärmeausdehnung des Drahtes bzw. der beiden Metallstreifen für eine Anzeige benutzt wird,



(Abb. 23a)

wird beim **Thermokreuz-Instrument** ein **Thermoelement**, welches die Erwärmung des Drahtes direkt mißt, verwendet (vgl. hierzu Abb. 23a).

Die Punkte AD und BC werden kreuzweise untereinander verbunden und im Punkt E fest miteinander verschweißt. Die beiden Drähte bestehen aus verschiedenen Metallen, z.B. Eisen und Konstantan. An die Punkte A und B wird das zu messende Objekt angeschlossen. Zwischen den Punkten CD liegt ein empfindliches Galvanometer, welches die Thermoströme anzeigt (vgl. hierzu Abb. 23a und Abb. 23b).



(Abb. 23b)

**Merke:**

Thermokreuz-Instrumente werden zur Messung schwacher Wechselströme und besonders zum Messen hochfrequenter Wechselströme verwendet.

### 5. Vibrationsinstrumente

**Frequenzmesser** werden zur Feststellung der Frequenz oder zur **Frequenzüberwachung** verwendet. Am gebräuchlichsten sind **Zungenfrequenzmesser**.

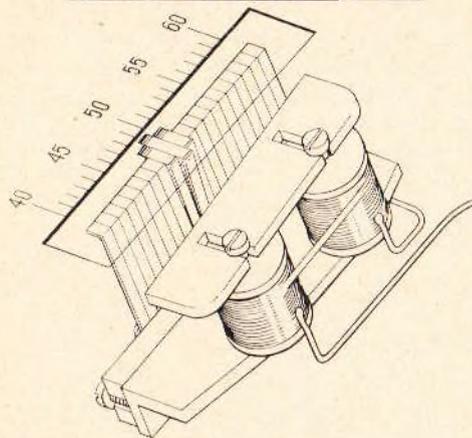
#### Aufbau

Der **Zungenfrequenzmesser** besteht aus einem **Elektromagneten** und einer Reihe eingespannter **Stahlzungen**. Diese Stahlzungen sind am oberen Ende abgewinkelt und tragen zur besseren optischen Sicht weiße Markierungen.

#### Wirkungsweise

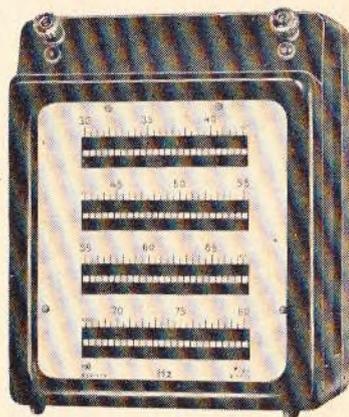
Die Stahlzungen, deren Eigenschwingungszahl in der Nähe der zu messenden Frequenz liegen (10 Hz Nummernschalterfrequenz; 25 Hz Rufwechselstrom; 50 Hz technischer Wechselstrom), werden durch den Elektromagneten erregt, d.h. wechselseitig angezogen und dadurch in Schwingungen versetzt. **Am stärksten reagieren die Stahlzungen, deren Eigenschwingungszahl der doppelten Frequenz des Meßstromes entsprechen.** Schwingen zwei Zungen gleich stark, so liegt die erregende Frequenz

Schema eines Frequenzmessers



(Abb. 24a)

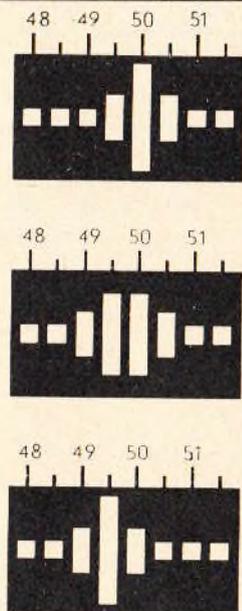
Frequenzmesser



(Abb. 24b)

zwischen diesen beiden Zungen. Die an den Frequenzmesser angelegte Spannung bestimmt nur die Amplitude des Zungenausschlages (vgl. hierzu Abb. 24a, 24b und Abb. 25).

Schwingungsbilder des Frequenzmessers



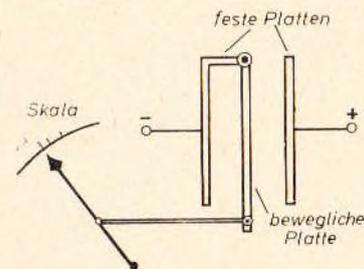
(Abb. 25)

**6. Elektrostatische Meßinstrumente**

Statisch aufgeladene Körper stoßen sich bei gleichartiger Ladung ab, ziehen sich jedoch bei verschiedenartiger Ladung an.

Man unterscheidet zwei Arten von elektrischen Ladungen, die negativ und positiv genannt werden. Zum Beispiel befinden sich nach Reiben

Schema eines elektrostatischen Meßwerks

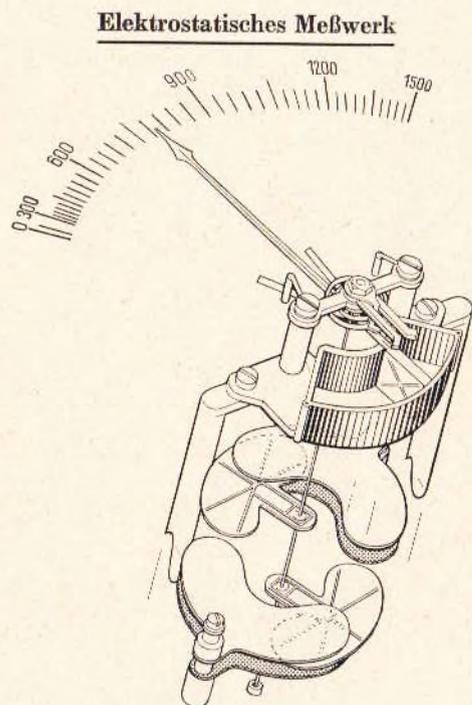


(Abb. 26a)

einer Glasscheibe oder eines Glasstabes auf der Oberfläche des Glases positive elektrische Ladungen. Negative Ladungen treten auf, wenn man z. B. einen Hartgummistab reibt. Bringt man diese Ladungen auf Holundermarkkügelchen, so stoßen sich diese ab.

Nach diesem Prinzip sind elektrostatische Meßinstrumente aufgebaut. Meist verwendet man zwei **feststehende Platten**, die eine **bewegliche Platte umschließen**. Wird nun an die feststehenden Platten und an die bewegliche Platte ein unterschiedliches Spannungspotential gelegt, so wird die **bewegliche Platte** von einer der **feststehenden Platten abgestoßen**, von der anderen aber angezogen. Die Bewegung der beweglichen Platte überträgt man auf ein Zeigersystem (vgl. hierzu Abb. 26a und Abb. 26b).

Elektrostatische Meßwerke sind reine Spannungsmesser, da ihre Wirkung nicht von einem Strom abhängig ist. Im allgemeinen benutzt man sie zur Messung hoher Spannungen.



(Abb. 26b)

## C. Meßschaltungen

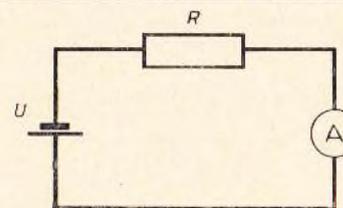
### I. Schaltung eines Meßinstrumentes als Strommesser

Ein Strommesser soll die Größe des elektrischen Stromes anzeigen, also die **Elektrizitätsmenge, die in der Zeiteinheit (1s) durch den Leiterquerschnitt fließt**. Das ist aber nur möglich, wenn der Strommesser in die Leitung geschaltet wird.

**Merke:**

Zum Messen des Stromes schaltet man den Strommesser (Ampere-meter) in die Leitung (vgl. hierzu Abb. 27).

#### Schaltung eines Amperemeters in die Leitung



(Abb. 27)

Es ist unwesentlich, an welche Stelle der Strommesser in die Leitung geschaltet wird, denn die Stromstärke ist in einem unverzweigten Stromkreis überall gleich. Das Amperemeter müßte demnach nach dem ohmschen Gesetz einen Strom von  $I = \frac{U}{R}$  anzeigen. Eine Nachprüfung ergibt

aber einen kleineren Stromwert. Diese Abweichung ist auf den Eigenwiderstand des Meßinstrumentes zurückzuführen. Um ein möglichst unverfälschtes Ergebnis zu erhalten, müßte der Eigenwiderstand des Instrumentes bekannt sein. Aber auch so ließe sich die Größe des Stromes ohne vorhergehende Rechnung nicht bestimmen, es sei denn, der Eigenwiderstand des Meßinstrumentes wäre gleich „Null“. Jedes Instrument hat aber nun aufgrund seiner Fertigung zwangsläufig einen Eigenwiderstand. Ein Drehspulinstrument z. B. den **Widerstand** der Spule, bedingt durch **Länge, Querschnitt und spezifischem Widerstand** des verwendeten Spulendrahtes. Eine gewisse Abweichung zwischen Meßergebnis und zu messender Größe läßt sich also nicht vermeiden, läßt sich aber in bestimmten Grenzen halten, wenn man versucht, den Eigenwiderstand des Instrumentes möglichst klein zu halten. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch das Parallelschalten eines niederohmigen Widerstandes zum

Meßwerk. Hierdurch wird der gesamte innere Widerstand des Instrumentes kleiner als der kleinste Widerstand der Parallelschaltung.

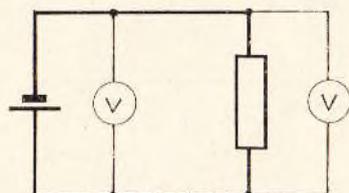
**Merke:**

**Der innere Widerstand eines Strommessers muß möglichst klein gehalten werden. Je kleiner der Widerstand, je kleiner die Fehlergröße. Die Drehspule der Drehspulinstrumente erhält daher nur wenige Windungen dicken Drahtes.**

## II. Schaltung eines Meßinstrumentes als Spannungsmesser

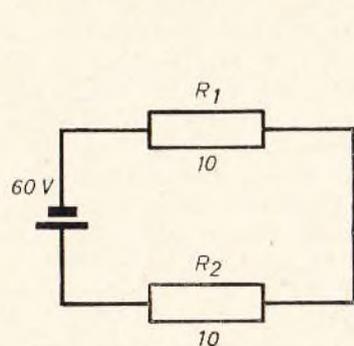
Spannungsmesser dienen zum Messen der Spannung zwischen zwei Punkten, die einen Potentialunterschied aufweisen; sei es der Potentialunterschied an den Klemmen von Stromerzeugern oder der Spannungsabfall über einen Widerstand. Damit diese Potentialdifferenz gemessen werden kann, müssen Spannungsmesser parallel zum Stromerzeuger oder parallel zu dem Widerstand geschaltet werden, über dem der Spannungsabfall auftritt; Abb. 28 zeigt die Schaltung zweier Spannungsmesser.

Schaltung zweier Spannungsmesser

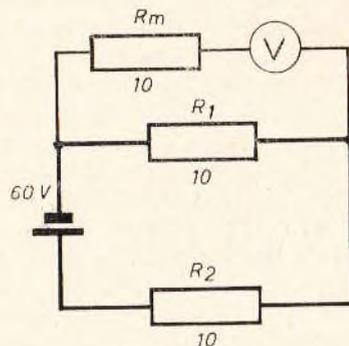


(Abb. 28)

Der Eigenwiderstand des Spannungsmessers ist wie beim Strommesser von Wichtigkeit, um größere Meßfehler zu vermeiden. Wie die beiden



(Abb. 29a)



(Abb. 29b)

nachstehenden Beispiele zeigen, muß der **Eigenwiderstand des Spannungsmessers**, im Gegensatz zum Strommesser, **groß** sein. Ein Spannungsmesser mit einem unendlich großen Widerstand wäre das ideale Meßinstrument (vgl. hierzu Abb. 29a und Abb. 29b).

Der Strom in Abb. 29a berechnet sich nach dem ohmschen Gesetz zu

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{20} = 3 A$$

Die Summe der Spannungsabfälle ist gleich der angelegten Klemmenspannung.

Über Widerstand  $R_1$  tritt ein Spannungsabfall von

$$U_1 = I \cdot R_1 = 3 \cdot 10 = 30 V \text{ auf.}$$

Da  $R_2$  ebenfalls 10 Ohm beträgt, tritt über  $R_2$  der gleiche Spannungsabfall auf.

$$\text{Damit ist } U_k = U_1 + U_2 = 30 + 30 = 60 V$$

Schaltet man parallel zu  $R_1$  einen Spannungsmesser mit einem inneren Widerstand von 10 Ohm (Abb. 29b), so treten andere Stromverhältnisse auf.

Der Widerstand dieses Stromkreises errechnet sich zu

$$R = \frac{R_m \cdot R_1}{R_m + R_1} + R_2 = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} + 10 = 15 \text{ Ohm}$$

$$\text{und der Gesamtstrom zu } I = \frac{U_k}{R} = \frac{60}{15} = 4 A$$

Der Spannungsabfall, der durch den Spannungsmesser angezeigt würde, wäre nicht wie nach Abb. 29a für  $R_1 = 30 V$ , sondern

$$U_1 = I \cdot R_e = 4 \cdot 5 = 20 V$$

$$R_e = \frac{R_m \cdot R_1}{R_m + R_1}$$

Der über das Meßinstrument fließende Strom berechnet sich zu

$$I_m = \frac{U_1}{R_m} = \frac{20}{10} = 2 A$$

**Gegenüberstellung:**

Abb. 29a	Abb. 29b
$I = 3 A$	$I = 4 A$
$U_1 = 30 V$	$U_1 = 20 V$

Ein solches Meßinstrument verfälscht die ursprünglichen Strom- und Spannungsverhältnisse im Stromkreis.

Erhöhen wir nun den Eigenwiderstand des Meßgerätes auf 20 000 Ohm, so ergeben sich nach folgender Rechnung für den Gesamtstrom  $I = 3,001 A$  und für den Spannungsabfall  $U_1 = 30,01 V$ .

$$R_e = \frac{R_m \cdot R_1}{R_m + R_1} = \frac{20\,000 \cdot 10}{20\,000 + 10} = 9,99 \text{ Ohm}$$

$$R = R_e + R_2 = 9,99 + 10 = 19,99 \text{ Ohm}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{19,99} = 3,001 A$$

$$U_1 = I \cdot R_1 = 3,001 \cdot 10 = 30,01 V$$

$$I_m = \frac{U}{R_m} = \frac{30,01}{20\,000} = 1 \text{ mA}$$

Aus dieser Überlegung erkennen wir, daß der über das Instrument fließende Strom möglichst klein gehalten werden muß, um ein brauchbares Meßergebnis zu erhalten. Darum ist der Eigenwiderstand von Spannungsmessern entsprechend groß. Gute Spannungsmesser haben 200 bis 1000 Ohm/Volt. Ein Spannungsmesser mit einem Meßbereich bis 30 V muß demnach einen inneren Widerstand von 6 000 bis 30 000 Ohm besitzen.

**Merke:**

Der innere Widerstand eines Spannungsmessers muß möglichst hoch gehalten werden. Je höher der Widerstand, um so geringer wird der Teilstrom, der über das Meßinstrument fließt und um so größer wird die Meßgenauigkeit. Die Drehspulen der Spannungsmesser erhalten daher viele Windungen dünnen Drahtes.

**1. Erweiterung des Meßbereiches eines Strommessers**

Strommesser werden für bestimmte Meßbereiche geeicht; sie können also nicht zur Messung jeder beliebigen Stromstärke verwendet werden. Wird aus Unachtsamkeit der angegebene Meßbereich überschritten, das Meßinstrument überlastet, so brennt infolge der größeren Wärmeentwicklung ( $I^2 \cdot R$ ) die Drehspule durch, abgesehen von weiteren Beschädigungen des Meßwerks (Verbiegen des Zeigers u. a. m.). Soll das Instrument aber auch größere Ströme anzeigen, so muß dafür gesorgt werden, daß nur die zulässige Stromstärke über die Drehspule fließt.

Nach den Kirchhoffschen Gesetzen ist bei einer Stromverzweigung die Summe der Teilströme in den Zweigen gleich dem Gesamtstrom. Weiterhin verhalten sich die Teilströme umgekehrt wie die Widerstände.

$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1 \quad I = I_1 + I_2$$

Je größer die Widerstände in den Zweigen, um so kleiner die Ströme. Schaltet man also zwei Widerstände parallel, so wird der Gesamt-

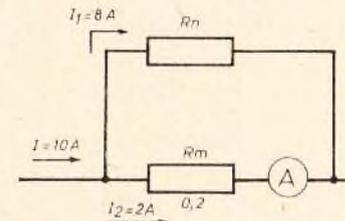
stand beider nicht größer, sondern kleiner, und zwar kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Schaltet man zu dem Meßwerk eines Strommessers mit seinem bekannten Eigenwiderstand einen gleich großen Widerstand parallel, so fließt nur noch die Hälfte des Gesamtstromes über das Amperemeter, während die andere Hälfte über den Nebenwiderstand fließt. Das Amperemeter zeigt nur noch den halben Strom an, d. h. sein Meßbereich ist doppelt so groß geworden. Man erhält also jetzt die richtige Stromstärke, indem man die Angaben des Amperemeters verdoppelt.

In ähnlicher Weise kann durch Anschalten geeigneter bemessener Nebenwiderstände der Meßbereich beliebig erweitert werden.

**1. Beispiel:**

Ein Strommesser mit einem Eigenwiderstand  $R_m = 0,2 \text{ Ohm}$  hat einen Meßbereich bis 2 A. Sein Meßbereich soll auf 10 A erweitert werden. Wie groß muß der Nebenwiderstand gewählt werden?



(Abb. 30)

Über das Meßinstrument darf nur ein Strom von 2 A fließen. Folglich muß über den Widerstand  $R_n$  ein Strom von  $I_1 = I - I_2 = 8 A$  fließen.

Die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände.

Demnach:  $R_n : R_m = I_2 : I_1$   
 $R_n : 0,2 = 2 : 8$

Die vorstehende Schreibweise bezeichnet man mit Proportion. Eine Proportion ist eine Verhältnisgleichung. Sie entsteht durch Gleichsetzen zweier Quotienten (Brüche), z. B.  $\frac{4}{3} = \frac{8}{6}$ . Diese Schreibweise (Quotientenschreibweise) läßt sich in die nachstehende überführen.

$4 : 3 = 8 : 6$

Aus der Gegenüberstellung dieser beiden Schreibweisen läßt sich die Regel entwickeln:

Bei einer Proportion ist das Produkt der Innenglieder gleich dem Produkt der Außenglieder.

Allgemein:

$$a : b = c : d$$

**a** und **d** sind **Außenglieder**

**b** und **c** sind **Innenglieder**

Demnach  $a \cdot d = b \cdot c$

(Diese Schreibweise bezeichnet man auch als **Produktenschreibweise**)

Wendet man bei dem Beispiel  $R_n : 0,2 = 2 : 8$  diese Regel an, so ergibt sich die Produktschreibweise zu

$$R_n \cdot 8 = 0,2 \cdot 2 \quad \text{oder}$$

$$R_n = \frac{0,2 \cdot 2}{8} = 0,05 \text{ Ohm}$$

Der Nebenwiderstand muß also zu 0,05 Ohm bemessen sein, damit das Instrument nicht überlastet wird.

Zur Bestimmung des Nebenwiderstandes kann auch die allgemein gültige, aus der vorhergehenden Rechnung bestimmbare, Formel

$$R_n = \frac{R_m}{n - 1} \quad \text{verwendet werden.}$$

In dieser Formel bedeutet:

$R_n$  = Nebenwiderstand

$R_m$  = Eigenwiderstand des Meßinstrumentes

$n$  = Meßbereichserweiterungsfaktor

Der Meßbereich des Amperemeters sollte von 2 auf 10 A erweitert werden.

Der Meßbereichserweiterungsfaktor errechnet sich zu  $\frac{10}{2} = 5$  (Fünffache Erweiterung des ursprünglichen Meßbereiches)

$$R_n = \frac{R_m}{n - 1} = \frac{0,2}{5 - 1} = \frac{0,2}{4} = 0,05 \text{ Ohm}$$

## 2. Beispiel:

Ein Drehspulamperemeter für 200 mA soll auf einen Meßbereich von 4 A erweitert werden. Der Eigenwiderstand des Instrumentes beträgt 2,85 Ohm. Wie groß muß der Nebenwiderstand gewählt werden?

$$n = \frac{4}{0,2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ (zwanzigfache Meßbereichserweiterung)}$$

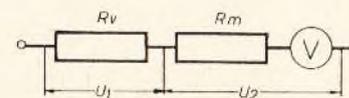
$$R_n = \frac{R_m}{n - 1} = \frac{2,85}{20 - 1} = \frac{2,85}{19} = \underline{0,15 \text{ Ohm}}$$

## 2. Erweiterung des Meßbereiches eines Spannungsmessers

Mit einem Spannungsmesser, dessen Skala bis 60 V geeicht ist, kann keine größere Spannung gemessen werden, es sei denn, daß man seinen Meßbereich erweitert. Diese **Meßbereichserweiterung erreicht man durch Vorschalten eines entsprechenden Widerstandes** (Vorschaltwiderstand). Dieser Widerstand muß so bemessen sein, daß die über 60 V zu messende Spannung an diesem Widerstand abfällt, d.h. an der Drehspule des Instrumentes darf keine höhere Spannung als 60 V anliegen.

Wählt man den Widerstand genauso groß wie den Eigenwiderstand des Spannungsmessers, so ist der Gesamtwiderstand, da beide Widerstände in Reihe geschaltet sind, der doppelte des Spannungsmessers. Der über das Instrument fließende Strom hat nur noch die halbe Stromstärke und der Spannungsmesser, ein in Volt geeichter Strommesser, zeigt nur noch die halbe Spannung an. Der Meßbereich des Voltmeters hat sich verdoppelt (120 V).

Durch passend gewählte Vorwiderstände können auch andere gewünschte Meßbereiche hergestellt werden. Hierbei geht man von folgender Überlegung aus:



(Abb. 31)

Abb. 31 zeigt einen Widerstand  $R_v$  in Reihe mit  $R_m$ , dem Eigenwiderstand des Instrumentes. In diesem unverzweigten Stromkreis fließt sowohl über  $R_v$  als auch über  $R_m$  ein gleich großer Strom. Da sich nach dem ohmschen Gesetz der Spannungsabfall zu  $U = I \cdot R$  errechnet,

tritt am Widerstand  $R_v$  ein Spannungsabfall von  $U_1 = I \cdot R_v$  und am Widerstand  $R_m$  ein Spannungsabfall von  $U_2 = I \cdot R_m$  ein. Löst man beide Gleichungen nach „ $I$ “ auf, so erhält man

$$I = \frac{U_1}{R_v} \quad \text{bzw.} \quad I = \frac{U_2}{R_m}$$

(Sind zwei Größen einer dritten gleich, so sind sie unter sich gleich)

Demnach:  $\frac{U_1}{R_v} = \frac{U_2}{R_m}$  oder

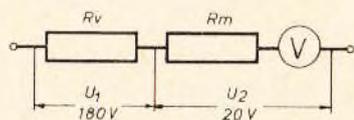
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_v}{R_m}$$

**Die Spannungsabfälle verhalten sich wie die Widerstände.**

Aus dieser Verhältnisgleichung läßt sich der jeweils erforderliche Vorwiderstand errechnen.

Beispiel:

Ein Spannungsmesser mit einem Endausschlag von 20 V soll auf den 10fachen Spannungsbereich (200 V) erweitert werden. Der Eigenwiderstand des Instruments beträgt 6000 Ohm. Wie groß muß der Vorwiderstand gewählt werden ?



(Abb. 32)

An der Drehspule darf keine höhere Spannung als 20 V anliegen. Infolgedessen muß über  $R_v$  eine Spannung von  $200 - 20 = 180 \text{ V}$  abfallen.

Die Spannungsabfälle verhalten sich wie die Widerstände.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_v}{R_m} \quad \frac{180}{20} = \frac{R_v}{6000} \quad R_v = \frac{180 \cdot 6000}{20}$$

$R_v = 54\,000 \text{ Ohm}$

Der Vorwiderstand muß also 54 000 Ohm betragen.

Ähnlich wie bei der Meßbereichserweiterung von Strommessern, kann zur Berechnung der Vorwiderstände von Spannungsmessern die allgemein gültige Formel

$$R_v = R_m (n - 1)$$
 verwendet werden.

- $R_v$  = Vorwiderstand
- $R_m$  = Eigenwiderstand des Meßinstrumentes
- $n$  = Meßbereichserweiterungsfaktor

Die Lösung der vorstehenden Aufgabe würde nun wie folgt aussehen: Das Meßinstrument soll auf das 10fache des ursprünglichen Meßbereiches erweitert werden.

Demnach  $n = 10$

$$R_v = R_m (n - 1) = 6000 \cdot (10 - 1)$$

$$= 6000 \cdot 9$$

$$= \underline{\underline{54\,000 \text{ Ohm}}}$$

### III. Widerstandsmesser

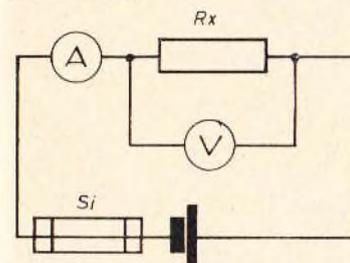
Widerstandsmessungen können sowohl in **indirekter** als auch in **direkter Messung** durchgeführt werden.

#### 1. Indirekte Messung

Widerstandsmessungen werden am einfachsten mit Gleichstrom durch die sogenannte „**indirekte**“ Messung ausgeführt. Verwendet werden zwei Meßinstrumente, Spannungs- und Strommesser, die je nach Größe des zu messenden Widerstandes in die Meßschaltung eingeschaltet werden.

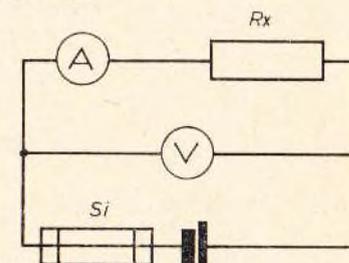
Bei niederohmigen Widerständen wird parallel zum unbekannten Widerstand  $R_x$  der Spannungsmesser und in Reihe zu dieser Parallelschaltung der Strommesser angeschaltet.

#### Schaltung für niederohmige Widerstände



(Abb. 33)

#### Schaltung für hochohmige Widerstände



(Abb. 34)

Der Strommesser liegt in Reihe mit  $R_x$  und parallel zu dieser Reihenschaltung der Spannungsmesser bei hochohmigen Widerständen (vgl. hierzu Abb. 33 und Abb. 34).

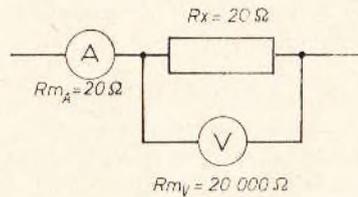
Nach dem ohmschen Gesetz errechnet sich der Widerstand aus den Anzeigewerten des Strom- und Spannungsmessers

$$R = \frac{U}{I}$$

**a) Meßschaltung für niederohmige Widerstände**

**Beispiel** (vgl. hierzu Abb. 35):

- $R_x = 20 \text{ Ohm}$  (der zu messende Widerstand)
- $R_{mV} = 20\,000 \text{ Ohm}$  (Eigenwiderstand des Spannungsmessers)
- $R_{mA} = 20 \text{ Ohm}$  (Eigenwiderstand des Strommessers)
- $U = 2 \text{ V}$  (verwendete Meßspannung)



(Abb. 35)

Der Widerstand der Parallelschaltung ergibt

$$R = \frac{R_x \cdot R_{mV}}{R_x + R_{mV}} = \frac{20 \cdot 20\,000}{20 + 20\,000} = \underline{19,98 \text{ Ohm}}$$

Der Gesamtwiderstand beträgt dann

$$R_g = R_{mA} + R = 20 + 19,98 = \underline{39,98 \text{ Ohm}}$$

Der Strommesser zeigt somit, da über ihn der gesamte Strom fließt, einen Wert von

$$I = \frac{U}{R_g} = \frac{2}{39,98} = \underline{0,05 \text{ A an.}}$$

Der Spannungsabfall beträgt  $U = I \cdot R_{mA} = 0,05 \cdot 20 = \underline{1 \text{ V}}$

An der Parallelschaltung liegt somit eine Spannung von  $U - U_{R_{mA}} = 2 - 1 = 1 \text{ V}$  an, die durch das Voltmeter angezeigt werden müßte.

Der Widerstand  $R_x$  müßte sich daher aus den Anzeigewerten des Ampere- und Voltmeters ergeben zu

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{1}{0,05} = \underline{20 \text{ Ohm}}$$

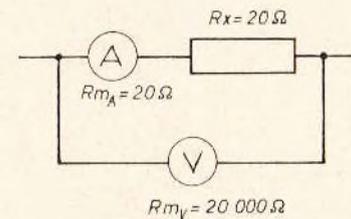
Prüft man das Meßergebnis des Voltmeters nach dem Kirchhoffschen Gesetz (die Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände), so ergibt sich folgende Ausrechnung:

$$\begin{aligned} i_1 + i_2 &= I & \frac{i_2}{i_1} &= \frac{R_x}{R_{mV}} \\ \frac{i_1}{i_2} &= \frac{R_{mV}}{R_x} & \frac{i_1}{i_2} &= \frac{20\,000}{20} = \frac{1000}{1} \\ i_1 &= 1000 i_2 \\ i_1 + i_2 &= I \\ 1000 i_2 + i_2 &= 0,05 \\ i_2 &= \frac{0,05}{1001} = \frac{5}{100\,100} = \underline{0,000\,049\,95 \text{ A}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{R_{mV}} &= i_2 \cdot R_{mV} = 0,000\,049\,95 \cdot 20\,000 \\ &= 0,499\,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^4 \\ &= \underline{0,999 \text{ V}} \end{aligned}$$

Der aufgetretene Fehler ist vernachlässigbar klein. Die abgelesenen Meßergebnisse (Volt und Ampere) waren richtig.

Würde an Stelle der Meßschaltung für niederohmige Widerstände bei vorstehendem Beispiel die Meßschaltung für hochohmige Widerstände angewendet, so erhielte man ein falsches Ergebnis. Um zum richtigen Ergebnis zu gelangen, müßte vom errechneten Widerstand  $R_x$  der Eigenwiderstand des Amperemeters abgezogen werden.



(Abb. 36)

Amperemeter und zu messender Widerstand  $R_x$  liegen in Reihe (vgl. hierzu Abb. 36).

$$R_e = R_{mA} + R_x = 20 + 20 = \underline{40 \text{ Ohm}}$$

Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung beträgt:

$$R = \frac{R_e \cdot R_{mV}}{R_e + R_{mV}} = \frac{40 \cdot 20\,000}{40 + 20\,000} = \frac{800\,000}{20\,040} = \underline{\underline{39,92 \text{ Ohm}}}$$

Der Gesamtstrom:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2}{39,92} = \underline{\underline{0,0501 \text{ A}}}$$

Die Teilströme:

$$i_1 = \frac{R_{mV}}{R_e} \cdot I = \frac{20\,000}{40} \cdot 0,0501 = 250,5 \text{ mA}$$

$$i_2 = \frac{R_e}{R_e + R_{mV}} \cdot I = \frac{40}{20\,040} \cdot 0,0501 = 1,002 \text{ mA}$$

$$I = i_1 + i_2$$

$$0,0501 = 250,5 i_2 + i_2$$

$$0,0501 = 501 i_2$$

$$i_2 = \frac{0,0501}{501} = \underline{\underline{0,000\,999\,8 \text{ A}}}$$

$$i_1 = I - i_2 = 0,0501 - 0,000\,999\,8 = \underline{\underline{0,0491 \text{ A}}}$$

Anzeige des Voltmeters:

$$U_{R_{mV}} = i_2 \cdot R_{mV} = 0,000\,999\,8 \cdot 20\,000 = \underline{\underline{1,9996 \text{ V}}}$$

Anzeige des Amperemeters:

$$I = \underline{\underline{0,05 \text{ A}}}$$

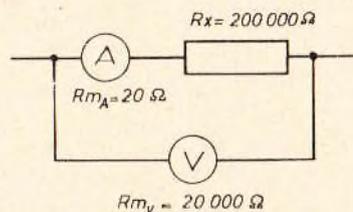
Es würde sich somit ein Meßergebnis ergeben von:

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{1,9996}{0,05} = \underline{\underline{39,992 \text{ Ohm}}}$$

Um das Meßergebnis zu revidieren, müßte von  $R_x$  der Eigenwiderstand des Amperemeters in Abzug gebracht werden. Es ist daher nicht zweckmäßig, die letztere Schaltung für das Messen niederohmiger Widerstände zu verwenden.

## b) Meßschaltung für hochohmige Widerstände

Beispiel (vgl. hierzu Abb. 37):



(Abb. 37)

Die Hintereinanderschaltung von Strommesser und zu messendem Widerstand  $R_x$  ergibt einen Ersatzwiderstand von  $R_e = 20 + 200\,000 = \underline{\underline{200\,020 \text{ Ohm}}}$ .

Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung beträgt:

$$R = \frac{R_e \cdot R_{mV}}{R_e + R_{mV}} = \frac{200\,020 \cdot 20\,000}{200\,020 + 20\,000} = \underline{\underline{18\,181 \text{ Ohm}}}$$

Nach dem ohmschen Gesetz wäre der Gesamtstrom demnach

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2}{18\,181} = 0,00011 \text{ A}$$

und die Teilströme, die sich ebenfalls nach dem ohmschen Gesetz ergeben

$$i_1 = \frac{U}{R_e} = \frac{2}{200\,020} = 0,000009999 \text{ A}$$

$$i_2 = I - i_1 = 0,00010001 \text{ A}$$

Meßergebnis des Strommessers: **0,000999 mA**

Meßergebnis des Spannungsmessers:

$$U_{R_{mV}} = i_2 \cdot R_{mV} = 0,00010001 \cdot 20\,000 = \underline{\underline{2,0002 \text{ V}}}$$

Aus den Werten des Strom- und Spannungsmessers errechnet sich der zu messende Widerstand zu

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{2,0002}{0,00009999} = \underline{\underline{20\,022 \text{ Ohm}}}$$

Das vorliegende Ergebnis ist richtig; der Fehler hält sich in zulässigen Grenzen.

Die Meßschaltung für niederohmige Widerstände würde ein falsches Ergebnis bringen; es sei denn, daß man den inneren Widerstand des Spannungsmessers vom errechneten  $R_x$ -Wert in Abzug bringt.

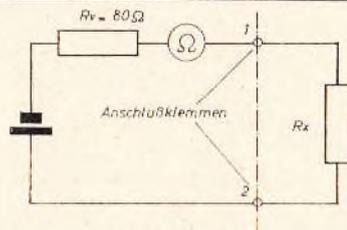
## 2. Direkte Messung

Wenn die Meßgeräte (Spannungs- und Strommesser), je nach Art ihres Meßeinsatzes, keine einwandfreien Meßwerte anzeigen, kann bei der indirekten Messung kein genaues Ergebnis errechnet werden. Bei genaueren Messungen verwendet man daher besondere Widerstandsmesser, sogenannte Ohmmeter. Ohmmeter sind im eigentlichen Sinne auch Strommesser, deren Skala aber in Ohm geeicht sind.

**a) Widerstandsmesser für hochohmige Widerstände**

Die Meßschaltung eines Meßwerkes zum Messen hochohmiger Widerstände zeigt Abb. 38. Mit Hilfe dieser Meßschaltung kann der Wert eines unbekanntes Widerstandes ( $R_x$ ) ermittelt werden.

**Meßschaltung für hochohmige Widerstände**



(Abb. 38)

Eine Meßbatterie liegt in Reihe mit einem Ohmmeter, dessen Vorwiderstand und dem zu messenden Widerstand, der an die Klemmen 1 und 2 angeschlossen werden kann.

Die Spannung der Batterie ist so bemessen, daß bei Kurzschluß der Klemmen 1 und 2 sich der Zeiger auf den Endausschlag einstellt. Die Spannung der Meßbatterie wird also unmittelbar an das Meßwerk gelegt (der Vorschaltwiderstand muß so bemessen sein, daß das Instrument nicht überlastet wird). Der zu messende Widerstand  $R_x$  braucht durchaus kein Festwiderstand zu sein. Zum Beispiel lassen sich an die Klemmen 1 und 2 die Doppeladern einer Fernsprechleitung anschließen, um so den Leitungswiderstand oder den Schleifenwiderstand bestimmen zu können.

**Der Widerstand bestimmt sich nach dem ohmschen Gesetz, aus dem in der Meßschaltung fließenden Strom und der verwendeten Meßspannung. Je größer der Wert des unbekanntes Widerstandes, um so schwächer der Strom.**

Die Eichung des Gerätes erfolgt zwischen den Werten  $R_x = 0$  und  $R_x = \infty$  (unendlich).  $R_x = 0$ , wenn die Klemmen 1 und 2 des Meßinstrumentes kurzgeschlossen sind. Es fließt der größtmögliche Strom; die Skala erhält hier die Eichung 0 Ohm.  $R_x = \infty$ , wenn die Klemmen offen sind; der fließende Strom ist dann gleich „0“ (der Zeiger bleibt in der Ruhelage). Hier erhält die Skala die Eichung  $\infty$ . Die weiteren Werte errechnen sich nach dem ohmschen Gesetz.

**Beispiel:**

Verwendet wird ein Meßinstrument, dessen Drehspule einen inneren Widerstand von  $R_m = 20$  Ohm besitzt und bei einem Stromdurchfluß

von  $0,02 A$  zum Endausschlag kommt. Der Vorwiderstand hat eine Größe von  $80$  Ohm. Der Endausschlag von  $0,02 A$  wird erreicht bei einer Meßspannung von  $2 V$ .

$$I = \frac{U}{R_m + R_v} = \frac{2}{20 + 80} = \frac{2}{100} = \underline{0,02 A}$$

Durch Kurzschließen der Klemmen 1 und 2 würde man auf der Skala den Endausschlag von  $0,02 A$  erreichen und an dieser Stelle der Skala den Wert  $0$  Ohm vermerken.

Weitere Eichung (vgl. hierzu Abb. 39a):

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0,2}{0,02} = 100 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 100 - 100 = \underline{0 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,01} = 200 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 200 - 100 = \underline{100 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,0033} = 600 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 600 - 100 = \underline{500 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,00182} = 1100 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 1100 - 100 = \underline{1000 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,00095} = 2100 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 2100 - 100 = \underline{2000 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,00065} = 3100 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 3100 - 100 = \underline{3000 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,00049} = 4100 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 4100 - 100 = \underline{4000 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,00039} = 5100 \text{ Ohm}$$

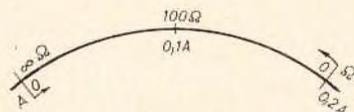
$$R_x = R - (R_m + R_v) = 5100 - 100 = \underline{5000 \text{ Ohm}}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,00019} = 10100 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 10100 - 100 = \underline{10000 \text{ Ohm}}$$

**Dieses Beispiel zeigt, daß die Genauigkeit der Ablesung zwischen dem Vollausschlag des Zeigers ( $0,02 A$ ) und dem halben Zeigerausschlag ( $0,01 A$ )**

liegt, also zwischen 0 und 100 Ohm, während sich die höheren Ohmwerte zwischen Mitte und Ende der Ohmskala zusammendrängen. Für **hochohmige Widerstände** wäre dieses Meßinstrument **nicht geeignet**.



(Abb. 39a)

Die Meßgenauigkeit eines Widerstandsmessers richtet sich nach dem gemessenen Widerstand bei halbem Zeigerausschlag. Gegenüber hochohmigen Widerständen ist die Meßgenauigkeit daher um so größer, je größer der gemessene oder errechnete Widerstandswert bei halbem Zeigerausschlag ist.

Wenn der Zeiger des Instrumentes in Mittelstellung steht, dann ist

$$R_x = R_m + R_v$$

#### Beispiele:

- Die Meßempfindlichkeit des Instrumentes liegt bei einem Endausschlag von 0,02 A. Der Widerstand des Meßwerks beträgt  $R_m = 20$  Ohm und der Vorwiderstand  $R_v = 80$  Ohm.

Bei einer Meßspannung von 2 V ergibt sich die Skalenmittelstellung zu:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,01} = 200 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 200 - (20 + 80) = \underline{\underline{100 \text{ Ohm}}}$$

Im zweiten Beispiel ist die Meßempfindlichkeit des Instrumentes auf 0,0002 A erhöht worden.

- Endausschlag (Meßempfindlichkeit) 0,0002 A

$R_m = 20$  Ohm und  $R_v = 9980$  Ohm

Meßspannung  $U = 2$  V

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,0001} = 20000 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 20000 - (20 + 9980) = \underline{\underline{10000 \text{ Ohm}}}$$

Aus diesen beiden Beispielen ersieht man, daß sich **hochohmige Widerstände** um so **genauer** messen lassen, je **größer** die Meßempfindlichkeit des Instrumentes ist.

Aber nicht nur die Meßempfindlichkeit ist für den Meßbereich eines Widerstandsmessers von ausschlaggebender Bedeutung, sondern auch die **Höhe der Meßspannung**, denn mit **steigender Meßspannung** muß auch der **Vorwiderstand** entsprechend **vergrößert** werden.

#### Beispiele:

- Die Meßempfindlichkeit des Instrumentes liegt bei einem Endausschlag von 0,02 A; der innere Widerstand bei  $R_m$  bei 20 Ohm. Der Vorwiderstand hat eine Größe von 80 Ohm und die verwendete Meßspannung beträgt 2 V.

Die Skalenmittelstellung errechnet sich zu:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,01} = 200 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 200 - (20 + 80) = \underline{\underline{100 \text{ Ohm}}}$$

- Verwendet wird dasselbe Meßinstrument mit der gleichen Meßempfindlichkeit (Endausschlag: 0,02 A) und dem gleichen inneren Widerstand ( $R_m = 20$  Ohm). Durch Erhöhung der Meßspannung (20 V) muß auch der Vorwiderstand, wie bei einem Spannungsmesser, erhöht werden ( $R_v = 980$  Ohm).

Skalenmitteleinstellung:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{20}{0,01} = 2000 \text{ Ohm}$$

$$R_x = R - (R_m + R_v) = 2000 - (20 + 980) = \underline{\underline{1000 \text{ Ohm}}}$$

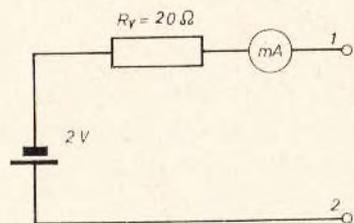
#### b) Widerstandsmesser für niederohmige Widerstände

Für das Messen **niederohmiger Widerstände** muß im Gegensatz zu den Messungen hochohmiger Widerstände, sowohl der **innere Widerstand** des Meßinstrumentes, als auch die verwendete **Meßspannung** möglichst **klein** gehalten werden. Je **kleiner die Meßspannung**, um so **kleiner der Vorwiderstand**  $R_v$ . Auch hier richtet sich die Meßgenauigkeit nach dem gemessenen Widerstand bei halbem Zeigerausschlag.

Gegenüber niederohmigen Widerständen muß daher der gemessene oder errechnete **Widerstandswert** bei halbem Zeigerausschlag **möglichst klein** gehalten werden.

**Beispiel** (vgl. hierzu Abb. 39b):

Gewählt wird ein Meßinstrument (Strommesser) mit einem vernachlässigbar kleinen inneren Widerstand und einem Vorwiderstand von 20 Ohm. Die verwendete Meßspannung betrage 2 V.



(Abb. 39b)

Der im Kurzschlußfall (Verbinden der Klemmen 1 und 2) fließende Strom errechnet zu:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2}{20} = \mathbf{0,1\ A}$$

Die verwendete Skala muß daher einen Meßbereich bis 100 mA aufweisen. Bei halbem Zeigerausschlag beträgt der errechnete Widerstandswert:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{0,05} = \mathbf{40\ Ohm}$$

Demnach:

$$R_x = R - R_v = 40 - 20 = \mathbf{20\ Ohm}$$

Die höheren Widerstandswerte drängen sich auf dem verbleibenden halben Skalenteil zusammen.

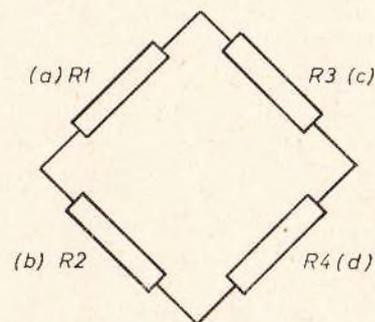
#### IV. Meßbrücken

Neben den bisher besprochenen Meßmethoden zur Widerstandsmessung, bei denen die Genauigkeit der Messung durch die Meßfehler der vorhandenen Meßinstrumente bestimmt wurde, sind die nachstehend aufgeführten **Brückenmethoden** im wesentlichen nur von der Genauigkeit der Vergleichswiderstände abhängig.

##### 1. Wheatstonesche Meßbrücke

Die Wheatstonesche Meßbrücke ist eine der gebräuchlichsten Meßbrücken zur Widerstandsmessung. In einem Viereck sind vier Wider-

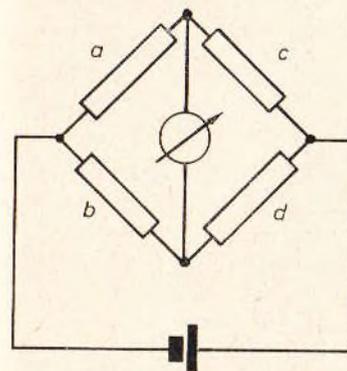
stände, drei bekannte und ein unbekannter Widerstand, angeordnet (vgl. hierzu Abb. 40).



(Abb. 40)

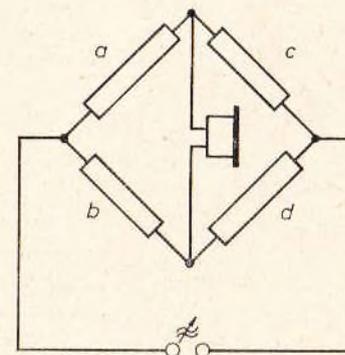
In der Diagonalen liegt bei Gleichstrommessungen ein Meßinstrument und bei Wechselstrommessungen vielfach ein Fernhörer (vgl. hierzu Abb. 41 und Abb. 42).

##### Brückenschaltung für Gleichstrommessungen



(Abb. 41)

##### Brückenschaltung für Wechselstrommessungen



(Abb. 42)

In der anderen Diagonalen liegt dabei die Spannungsquelle.

Die Brücke ist abgeglichen, wenn über das Galvanometer oder den Fernhörer kein Strom fließt.

Dies ist der Fall, wenn sich die Brückenarme nach der nachstehenden Proportion (Verhältnisgleichung) verhalten.

$$a : b = c : d \quad \text{oder} \quad R_1 : R_2 = R_3 : R_4$$

Der Galvanometerstrom ist gleich Null, wenn zwischen den Punkten  $P_1$  und  $P_2$  kein Spannungsunterschied (Potentialdifferenz) besteht. Der Spannungsabfall über dem Widerstand  $R_1$  ist dann gleich dem Spannungsabfall über dem Widerstand  $R_2$ . Entsprechend ist der Spannungsabfall über  $R_3$  gleich dem Spannungsabfall über  $R_4$ . Gleichfalls muß, da der Instrumentenstrom gleich Null ist, im Stromverzweigungspunkt  $P_1$   $i_1 = i_3$  und in  $P_2$   $i_2 = i_4$  sein. Der Spannungsabfall über  $R_1$  errechnet sich somit zu  $U_{R_1} = i_1 \cdot R_1$  und über  $R_2$  zu  $U_{R_2} = i_2 \cdot R_2$ .

Demnach wäre:

$$i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$$

Für  $R_3$  und  $R_4$  errechnen sich die Spannungsabfälle zu:

$$U_{R_3} = i_3 \cdot R_3 \text{ und } U_{R_4} = i_4 \cdot R_4$$

Demnach:

$$i_3 \cdot R_3 = i_4 \cdot R_4$$

Da  $i_1 = i_3$  und  $i_2 = i_4$  ist, ergibt sich folgende Gleichung:

$$\frac{i_1 \cdot R_1}{i_1 \cdot R_3} = \frac{i_2 \cdot R_2}{i_2 \cdot R_4} = \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad \text{oder} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (\text{Quotientengleichung})$$

$$\text{oder } R_1 : R_2 = R_3 : R_4$$

Da in dieser Verhältnisgleichung das Produkt der Innenglieder gleich dem Produkt der Außenglieder ist, ergibt sich nachstehende Produktgleichung.

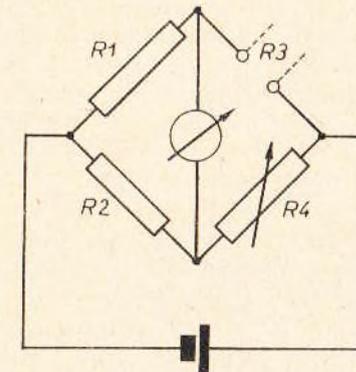
$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

Es fließt also kein Strom über das Galvanometer oder den Fernhörer, wenn das Produkt der gegenüberliegenden Brückenarme gleich ist.

**Beispiel:**

Die bekannten Widerstände der Brückenschaltung sind  $R_1 = 100 \text{ Ohm}$ ,  $R_2 = 200 \text{ Ohm}$  und  $R_4 = 400 \text{ Ohm}$ . Der Widerstand  $R_3$  ist stufenweise regelbar und wurde bei Stromlosigkeit des Galvanometers abgelesen.

Die Größe des Widerstandes  $R_3$  soll ermittelt werden (vgl. hierzu Abb. 43)



(Abb. 43)

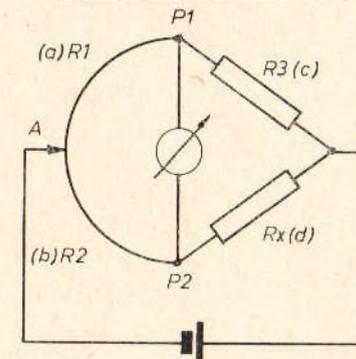
Die Brücke ist abgeglichen, wenn  $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2} = \frac{100 \cdot 400}{200} = \underline{\underline{200 \text{ Ohm}}}$$

**2. Schleifdrahtmeßbrücke**

Die Schleifdrahtmeßbrücke ist im Prinzip eine Wheatstonesche Meßbrücke, denn auch sie besteht aus vier Brückenarmen, in deren Diagonalen ein Galvanometer und in der anderen die verwendete Meßbatterie liegt (vgl. hierzu Abb. 44).

Schleifdrahtmeßbrücke



(Abb. 44)

Im Brückenarm d liegt der zu messende unbekannte Widerstand  $R_x$ . Die **Brückenwiderstände a und b** sind durch einen **Schleifdraht** ersetzt (Widerstandsdraht, z. B. Konstantan).

Während bei der Wheatstoneschen Meßbrücke der Widerstand im Brückenarm b stufenweise (im allgemeinen dekadisch) regelbar war und durch Verändern dieses Widerstandes die Anpassung der Brücke erreicht wurde, wird bei der **Schleifdrahtmeßbrücke der Punkt A nicht starr, sondern beweglich gehalten** und so lange auf dem Schleifdraht verschoben, bis der Ausgleich der Brücke erfolgt ist. Durch das Verschieben des Punktes A entlang des Schleifdrahtes, teilt der Punkt A den Schleifdraht in zwei mehr oder weniger ungleiche Widerstände a und b.

Auch hier ist der Galvanometerstrom gleich Null, wenn zwischen den Punkten  $P_1$  und  $P_2$  kein Spannungsunterschied besteht. Dies ist der Fall, wenn sich die Brückenarme verhalten, wie

$$a : b = c : d \quad \text{oder}$$

$$R_1 : R_2 = R_3 : R_x$$

Die Quotientenschreibweise ergibt:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \quad \text{und} \quad R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3$$

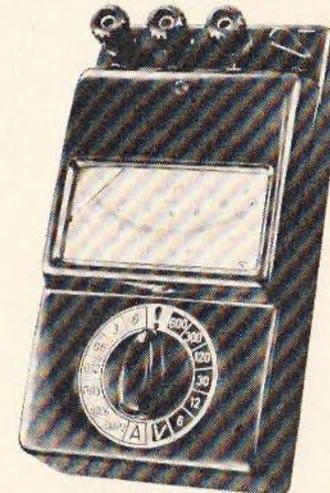
Das Verhältnis (Quotient) von  $\frac{R_2}{R_1}$  läßt sich auf einer Skala ablesen, so daß dieses Verhältnis mit  $R_3$  multipliziert, den unbekannten Widerstand  $R_x$  ergibt. In dieser **rechnerischen Vereinfachung** liegt ein Vorteil der Schleifdrahtmeßbrücke.

## D. Einige bei der Deutschen Bundespost gebräuchliche Meßinstrumente

### I. Das umschaltbare Volt-Amperemeter (UVA)

Ein in der Praxis viel verwendetes Meßinstrument ist das umschaltbare Volt-Amperemeter, kurz **UVA** genannt (vgl. hierzu Abb. 45). Es ist sowohl für **Gleichstrom** als auch für **Wechselstrom bis zu einer Frequenz**

#### Das Volt-Amperemeter



(Abb. 45)

von **10 000 Hz gut geeignet**. Die Anzeigegenauigkeit beträgt bei Gleichstrom  $\pm 1\%$  und bei Wechselstrom (50 Hz)  $\pm 1,5\%$  des Endwertes.

Meßbereiche:

Volt	Ampere/Milliampere
600	6 A
300	3 A
120	600 mA
30	120 mA
12	30 mA
6	6 mA
	1,2 mA

#### Meßvorgang

Bei der **Spannungsmessung** wird die zu messende Spannung über die Buchsen, die sich am oberen Rand des Gehäuses befinden, zugeleitet.

Bei der Wahl der Buchsen ist auf Gleich- oder Wechselstrom zu achten. Ein am oberen rechten Rand des Gehäuses befindlicher Umschalter wird auf Gleich- oder Wechselstrommessung eingestellt. Ist eine Korrektur der Zeigerstellung erforderlich, so wird die Nullstellungsschraube nach links oder rechts gedreht. Erst jetzt wählt man den Meßbereich. Man achte darauf, daß vor Inbetriebnahme des Gerätes der Umschalter in Nullstellung steht. Das Gerät wird dadurch vor Überspannungen geschützt.

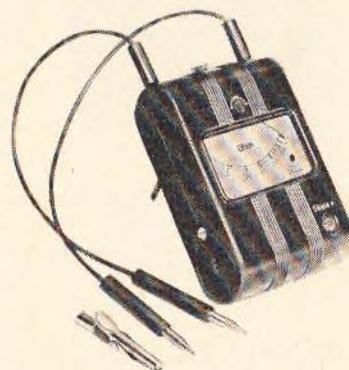
Bei der **Strommessung** wird der Umschalter in entgegengesetzter Richtung gedreht und der gewünschte Meßbereich eingestellt.

Nach der Messung dreht man den Umschalter grundsätzlich wieder in seine Ausgangsstellung zurück (gekennzeichnet durch ein Ausrufezeichen).

## II. Das Triohm (Ohmmeter und Leistungsprüfer)

Dieses Meßgerät (vgl. hierzu Abb. 46) zeichnet sich durch seine kleine handliche Form aus und ist für den Innen- und Außendienst gleich gut geeignet. Der Anschluß erfolgt über zwei Prüflleitungen mit Prüfspitzen über Steckbuchsen an der Stirnseite des Gehäuses.

Das Triohm



(Abb. 46)

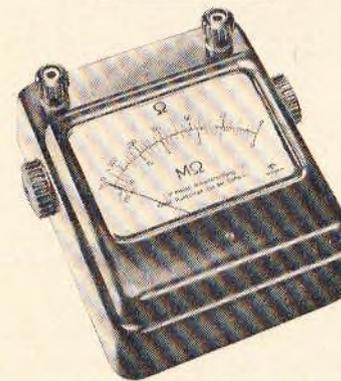
Das Gehäuse besteht aus schwarzem Preßstoff; die Skala ist von 0 bis 5 k $\Omega$  geeicht. Ein an der rechten Gehäusesseite eingebauter Umschalter besitzt drei Schalterstellungen für 1-, 10- und 100fachen Skalenwert. Der eingestellte Meßbereich wird durch ein kleines Fenster unterhalb der Skala angezeigt. Eine eingebaute Zelle einer Stabbatterie von 1,5 V liefert die Meßspannung. Durch einen verstellbaren magnetischen Nebenschluß wird der Zeigerausschlag auf den Skalenwert eingeregelt.

Meßbereiche:	Anzeigebereiche:	Stromverbrauch:
0 bis 500 Ohm	0 bis 5 kOhm	max. 20 mA
0 bis 5 000 Ohm	0 bis 50 kOhm	max. 2 mA
0 bis 50 000 Ohm	0 bis 500 kOhm	max. 0,2 mA

## III. Das Mavo-Ohm (umschaltbares Ohmmeter)

Dieses **umschaltbare Ohmmeter** (vgl. hierzu Abb. 47) ist zur **schnellen Widerstandsmessung** bestimmt. Es hat fünf Meßbereiche, die mit einem an der Seite eingebauten Umschalter wahlweise eingeschaltet werden können. Der jeweils eingeschaltete Meßbereich ist in einem Fenster sichtbar. Die verwendete Meßspannung beträgt 1,5 V (normale Stabbatterie) bei den Ohm-Meßbereichen und wird bei dem Megohm-Bereich durch eine eingebaute Transistorenschaltung auf 60 V erhöht. Ein auf

Das Mavo-Ohm



(Abb. 47)

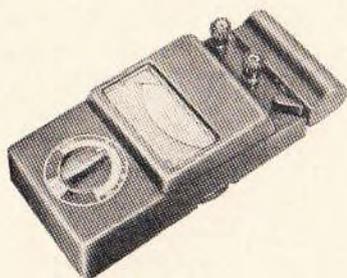
der linken Seite eingebautes Potentiometer dient zur genauen Abstimmung des Ohmmeters auf die Meßspannung.

Schalterstellung:	Meßbereich:	Anzeigebereich:	Meßspannung:
· 1	500 Ohm	5 kOhm	1,5 V
· 10	5 000 Ohm	50 kOhm	1,5 V
· 100	50 000 Ohm	500 kOhm	1,5 V
· 1000	500 000 Ohm	5000 kOhm	1,5 V
Megohm	50 Megohm	200 Megohm	60 V

#### IV. Das Universal-Ohmmeter (UNO)

Das **Universal-Ohmmeter** (vgl. hierzu Abb. 48) gehört zu den **Meßgeräten der Klasse 1,0**. Die Meßspannung beträgt 3 bzw. 30 V und wird einer Stabbatterie entnommen bzw. durch besondere Steckbuchsen dem Gerät zugeführt. Die Einstellung des Nullpunktes (Skalenwert  $\infty$ ) wird bei

##### Das Universal-Ohmmeter



(Abb. 48)

stromlosem Gerät durch die Nullstellungsschraube vorgenommen. Um die Meßwerksempfindlichkeit der Spannung der eingebauten Batterie anzupassen, dreht man die seitlich mit „Magn. Corr.“ bezeichnete Rändelschraube, bis der Zeiger des Instrumentes auf den Skalenwert Null einspielt.

Meßbereiche:		Anzeigebereiche:	Meßspannung:
1 bis	10 Ohm	0 bis 500 Ohm	3 V
10 bis	100 Ohm	0 bis 5 000 Ohm	3 V
100 bis	1 000 Ohm	0 bis 50 000 Ohm	3 V
1 000 bis	10 000 Ohm	0 bis 500 000 Ohm	3 V
10 000 bis	100 000 Ohm	0 bis 5 Megohm	3 V
100 000 bis	1 000 000 Ohm	0 bis 50 Megohm	30 V

Der gewünschte Meßbereich wird durch den eingebauten Umschalter eingestellt.

#### V. Vielfachmeßgerät „Tritest“

Bei dem **Vielfachmeßgerät „Tritest“** (vgl. hierzu Abb. 49a) handelt es sich um ein von der Firma Gossen – Erlangen – hergestelltes Meßinstru-

ment, das sowohl zu **Strom- und Spannungsmessungen, Widerstandsmessungen** als auch zu **Kapazitätsmessungen** herangezogen werden kann.

##### Das Vielfachmeßgerät „Tritest“



(Abb. 49a)

##### Messen von Wechselspannungen

**Meßbereiche:** 30 V bei einer Anzeigegenauigkeit von  
 300 V  $\pm 2,5\%$  vom Endwert  
 600 V

Nach Anschließen der zu messenden Wechselspannung (Buchsen  $\sim$  und  $\sim V$ ) wird mit Hilfe des Umschalters der entsprechende Meßbereich eingestellt und der Meßwert auf der in Volt geeichten Skala abgelesen.

Bei der **Wechselstrommessung** wird der zu messende Wechselstrom an die Buchsen  $\sim$  und  $\sim A$  gelegt.

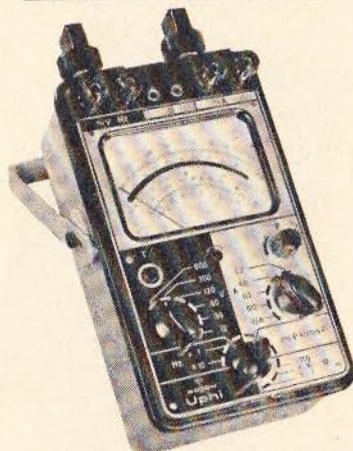
**Meßbereiche:** 1,2 A Anzeigegenauigkeit  $\pm 2,5\%$  vom  
 6 A Endwert  
 12 A

Die **Widerstandsmessungen** können in den Meßbereichen 500 Ohm, 5000 Ohm und 50 000 Ohm ausgeführt werden. Die Meßspannung liefert eine eingebaute 1,5-V-Batterie.

Der entladene Kondensator wird bei der **Kapazitätsmessung** an die Buchsen  $\infty / \mu F$  angeschlossen. Der Ladestrom der Batterie lädt den Kondensator, der Zeiger schlägt aus und geht bei der anschließenden Entladung wieder in die Ausgangslage zurück. Der Umkehrpunkt des Zeigers gibt

die Kapazität in  $\mu F$  an. Abb. 49b zeigt das universelle Vielfachmeßinstrument „Uphi“.

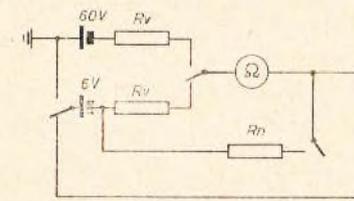
### Das Vielfachmeßgerät Uphi



(Abb. 49b)

## E. Der Prüfschrank

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Arten von Prüfständen; die sogenannten „großen“ und „kleinen“ Prüfstände. Sie sind bei den Fernsprechvermittlungsstellen eingebaut und dienen zur Fehlermessung der zum Fernsprechteilnehmer führenden Anschlußleitung und der auf der Sprechstelle befindlichen technischen Einrichtungen (Apparate, Wecker usw.). Die Messungen werden mittels Gleich- und Wechselstrom durchgeführt. Für die Gleichstrommessungen dient in erster Linie ein Widerstandsmesser mit mehreren Meßbereichen. Die Meßspannung wird der Zentralbatterie (oder auch Gleichrichter) des Amtes entnommen (60 V) oder für kleine Meßbereiche einer besonderen Batterie mit einer Spannung von im allgemeinen 6 V. Vielfach schaltet man parallel zum Meßinstrument und dem Vorwiderstand der Batterie von 6 V einen Nebenwiderstand und erhält dadurch einen weiteren Meßbereich (vgl. hierzu Abb. 50).



(Abb. 50)

In der nachfolgenden Aufstellung sind die Prüfstände älterer und neuerer Bauart gegenübergestellt.

Bezeichnung	Anzahl der Meßbereiche	Meßgerät (Meßbereich)
Kleiner Prüfschrank 15	2	WM bis 0,5 Megohm
Großer Prüfschrank 15	3	WM bis 10 Megohm
Kleiner Prüfschrank 27	2	WM bis 0,5 Megohm
Großer Prüfschrank 27	3	WM bis 10 Megohm
Kleiner Prüfschrank 29	2	WM bis 0,5 Megohm
Großer Prüfschrank 29	3	WM bis 10 Megohm

Mit dem Prüfschrank werden im allgemeinen folgende Einzelmessungen durchgeführt (die zu prüfende Leitung kann unter Verwendung eines

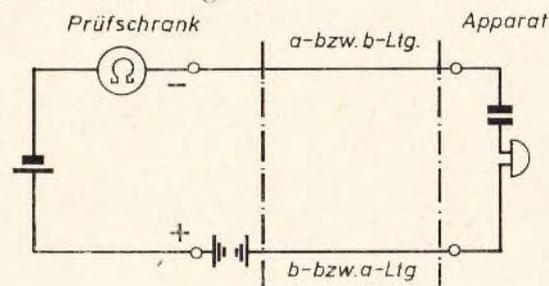
Prüfstöpsels, der mit dem Prüfschrank in leitender Verbindung steht, an der senkrechten Seite des Hauptverteilers abgenommen werden):

1. Prüfen der Anschlußleitung (Al) auf Stromfähigkeit
2. Prüfen auf Schleifenberührung
3. Messen des Leitungswiderstandes mit und ohne angeschaltetem Sprechapparat und weiterer Zusatzeinrichtungen
4. Messen des Isolationswiderstandes (Ader gegen Ader)
5. Messen des Isolationswiderstandes einer Ader gegen Erde
6. Prüfen auf Außenstrom
7. Prüfen der Sprechverständigung
8. Prüfen des abgehenden Rufes
9. Prüfen des Nummernschalters

## I. Prüfen der Anschlußleitung auf Stromfähigkeit

Durch Drücken einer bestimmten Prüfschranktaste wird der Kondensator in der Weckerbrücke des Teilnehmers an die Zentralbatterie des Amtes gelegt (vgl. hierzu Abb. 51).

Der a- und b-Zweig der Anschlußleitung muß vorher im Prüfschrank geerdet werden; der a-Zweig, wenn die b-Leitung auf Stromfähigkeit gemessen werden soll und umgekehrt.



(Abb. 51)

Der Zeiger des Meßinstrumentes schlägt kurz aus und zeigt hiermit den Ladestrom des Kondensators an. Durch Vertauschen der Zweige (a mit b oder umgekehrt) entlädt sich der Kondensator, das Instrument schlägt abermals aus und geht in die Ruhelage zurück.

Schlägt der Zeiger durch Anlegen der vollen Meßspannung nicht aus, so ist der Meßzweig unterbrochen; es liegt eine Leitungsunterbrechung vor. Schlägt dagegen der Zeiger aus, geht anschließend aber nicht in seine

Ausgangslage zurück, so hat der **Kondensator Stromdurchgang** und muß ausgewechselt werden.

## II. Prüfen auf Schleifenberührung

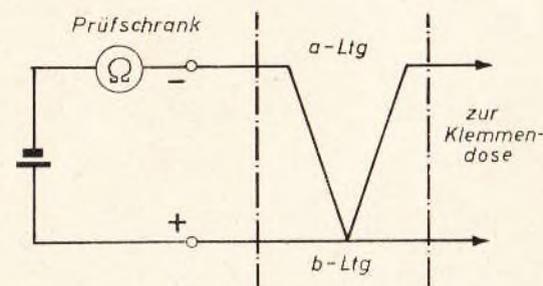
Die Widerstandswerte für 1 km Freileitung (Bronze oder Kupfer) betragen:

1. bei 1,5 mm  $\varnothing = 31,4 \text{ Ohm}$
2. bei 2,0 mm  $\varnothing = 17,7 \text{ Ohm}$
3. bei 3,0 mm  $\varnothing = 5,1 \text{ Ohm}$

und bei Ortskabeln je 1 km Leitungslänge:

- 1) bei 0,4 mm  $\varnothing = 292,0 \text{ Ohm}$
- 2) bei 0,6 mm  $\varnothing = 130,0 \text{ Ohm}$
- 3) bei 0,8 mm  $\varnothing = 73,2 \text{ Ohm}$

Bei der Prüfung auf Schleifenberührung des a- und b-Zweiges legt der Meßbeamte des Prüfschanks die kleinste Meßspannung (im allgemeinen 6 V) an die Doppelleitung (vgl. hierzu Abb. 52). Mißt er hierbei einen kleineren Widerstand als den Sollwert der a/b-Schleife, so liegt eine Schleifenberührung vor. Hierzu wird die Anschlußleitung auf der Sprechstelle isoliert.



(Abb. 52)

Durch die Größe des gemessenen Widerstandes läßt sich der ungefähre Fehlerort bestimmen. Beträgt z. B. der gemessene Widerstandswert einer Anschlußleitung von 2 km Länge 250 Ohm (Aderdurchmesser 0,4 mm), so muß der Sollwert der Leitung  $2 \cdot 292 = 584 \text{ Ohm}$  betragen. Der ungefähre Fehlerort errechnet sich somit zu:

$$\begin{aligned} 584 \text{ Ohm} &= 2 \text{ km Länge} \\ 250 \text{ Ohm} &= ? \text{ Länge} \\ &= \frac{2 \cdot 250}{584} = \underline{0,856 \text{ km}} \end{aligned}$$

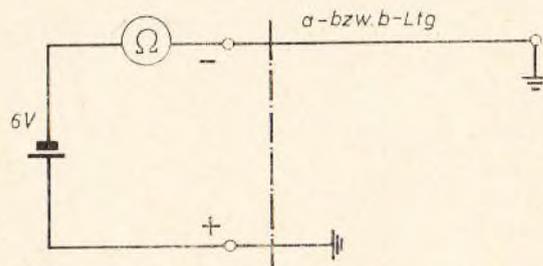
### III. Messen des Leitungswiderstandes mit oder ohne angeschaltetem Sprechapparat und weiterer Zusatzeinrichtungen

Hinsichtlich der Messung unterscheidet man:

- Messen des Widerstandes einer Einzelleitung
- Messen des Schleifenwiderstandes (ohne Sprechapparat)
- Messen des Schleifenwiderstandes (mit Sprechapparat)

#### Zu a) Messen des Widerstandes einer Einzelleitung

Die zu messende Einzelleitung (a- oder b-Leitung) wird an der Klemmdose des Fernsprechapparates geerdet (vgl. hierzu Abb. 53). Bei ZB/W-Betrieb kann der Fernsprechapparat mit der Anschlußleitung verbunden bleiben, da die a- und b-Leitung durch den Kondensator in der Weckerbrücke gleichstrommäßig voneinander getrennt sind. Der Handapparat muß selbstverständlich während der Messung auf der Gabel liegen, weil sonst eine gleichstrommäßige Schleife gegeben ist.



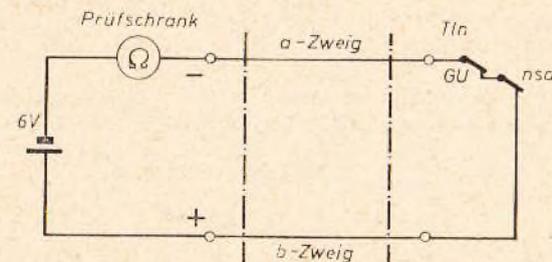
(Abb. 53)

Durch Drücken der entsprechenden Prüfschranktaste zeigt der Widerstandsmesser den zu messenden Einzelwiderstand an. Ist dieser höher als der angenommene **Sollwert der Leitung**, so kommen zum Leitungswiderstand **zusätzliche Übergangswiderstände**, bedingt durch **schlechte Kontakte** in den Schalt- oder Lötstellen, hinzu. Zeigt das Meßinstrument hingegen **keinen Ausschlag**, so liegt eine **Unterbrechung des Leitungszweiges** vor.

#### Zu b) Messen des Schleifenwiderstandes (ohne Sprechapparat)

Während der Nummernwahl bleibt der nsa-Kontakt des Nummernschalters geschlossen (vgl. hierzu Abb. 54). Soll nun der Schleifenwiderstand (ohne Apparatwiderstand) gemessen werden, so ist es nicht erforderlich, die a- und b-Leitung an der Klemmdose des Apparates abzulösen und eine direkte Schleife durch Verbinden der a- und b-Leitung

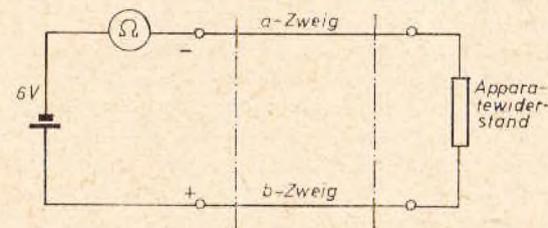
herbeizuführen. Durch Aufziehen des Nummernschalters, bei abgenommenem Handapparat, gibt man die erforderliche Schleife. **Liegt der gemessene Widerstandswert über dem Sollwert der Doppelleitung, so liegt auch hier eine schlechte Kontaktgabe an den Schalt- oder Lötstellen vor.** Ist der gemessene Widerstand **kleiner als der Sollwert**, so besteht **Schleifenberührung** zwischen a- und b-Leitung.



(Abb. 54)

#### Zu c) Messen des Schleifenwiderstandes (mit Sprechapparat)

Zur Messung des Schleifenwiderstandes mit Apparatwiderstand wird der Handapparat des Fernsprechapparates abgenommen (vgl. hierzu Abb. 55). Der Apparat liegt somit mit seinem Gesamtwiderstand an der zu messen-



(Abb. 55)

den Leitung. Der Schleifenwiderstand erhöht sich um den Apparatwiderstand. **Zeigt das Meßinstrument aber einen wesentlich höheren Widerstandswert** (Schleifenwiderstand und Apparatwiderstand), **so liegt eine Störung im Fernsprechapparat des Teilnehmers vor.**

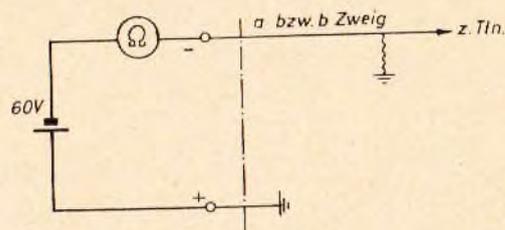
#### IV. Messen des Isolationswiderstandes einer Ader gegen Erde

Die Mindestisolationswerte je Kilometer Doppelleitung betragen:

a) Freileitungen	0,3 Megohm
b) Ortskabeln	5 000 Megohm
c) Fernkabeln	10 000 — 50 000 Megohm

Bei der Messung (vgl. hierzu Abb. 56) ist zu beachten, daß der Isolationswiderstand mit der Länge der Leitung abnimmt.

Unter Isolationswiderstand versteht man den Widerstand, den die Isolation eines Leiters gegenüber dem benachbarten Leiter oder gegen Erde besitzt. Er muß daher möglichst groß gehalten werden, damit Ableitungen und Nebenschlüsse vermieden werden.



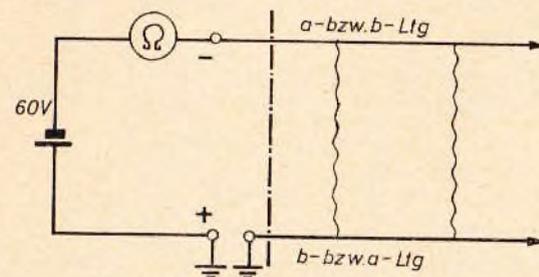
(Abb. 56)

Durch Drücken der entsprechenden Taste des Prüfschrankes wird das Meßinstrument an die Leitung gelegt. Eingeschaltet wird der höchste Meßbereich und somit auch die volle Meßspannung. Der Plus-Pol der Batterie ist im Prüfschrank geerdet. Während der Messung kann der Fernsprechapparat mit der Anschlußleitung verbunden bleiben; sonstige Erdungen (z. B. bei Nebenstellenanlagen) müssen allerdings vorher abgelegt werden. Da das Meßinstrument Widerstandswerte bis zu 10 Megohm anzeigt, stellt sich der Zeiger des Instruments auf  $\infty$  ein, da der Isolationswiderstand sehr groß, praktisch  $\infty$  ist. **Wird dagegen ein beträchtlich kleinerer Wert als  $\infty$  gemessen, so liegt ein Isolationsfehler vor.** Zwar könnte der Kondensator in der Weckerbrücke Stromdurchgang haben (schadhaftes Dielektrikum); diese Fehlerquelle kann aber umgangen werden, indem man den Fernsprechapparat von der Anschlußleitung trennt und die Messung wiederholt.

Durch Betätigen des Vertauschungsschalters kann die b-Leitung auf ihre Isolationsfähigkeit geprüft werden.

#### V. Messen des Isolationswiderstandes Ader gegen Ader

Bei dieser Messung (vgl. hierzu Abb. 57) wird durch den Vertauschungsschalter abwechselnd die a- und b-Leitung an die Minus-Klemme des Meßinstrumentes gelegt und jeweils der zweite Zweig geerdet. Der

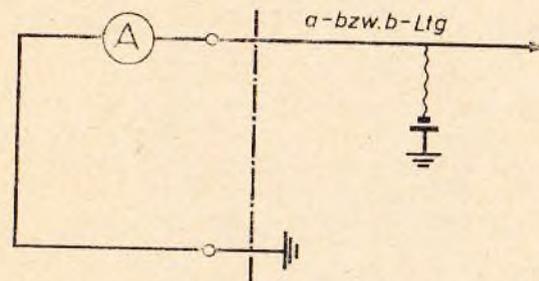


(Abb. 57)

gemessene Isolationswert darf nicht kleiner sein als der Isolationswiderstand der Einzelzweige. **Ist der gemessene Wert bedeutend kleiner, so liegt ein voraussichtlicher Nebenschluß zwischen a- und b-Zweig vor (Feuchtigkeit im Kabel).**

#### VI. Prüfen auf Außenstrom

Bei der Prüfung auf Außenstrom (vgl. hierzu Abb. 58) wird das Meßinstrument durch Tastendruck von der Meßbatterie abgelegt. Es arbeitet jetzt als Strommesser mit hohem inneren Widerstand. **Zeigt das Meßinstrument einen Ausschlag, so führt die zu messende Leitung Außenstrom.**



(Abb. 58)

Der Außenstrom könnte beim Durchmessen einzelner Kabeladern auf eine direkte Berührung zwischen zu messender Ader und stromführender,

benachbarter Ader zurückzuführen sein oder bei Freileitungen durch mögliche direkte Berührung mit einer Starkstromleitung.

## VII. Prüfen auf Sprechverständigung

Die Dämpfung längs einer Leitung muß zwischen zwei Teilnehmersprechstellen möglichst klein gehalten werden, um eine gute Sprechverständigung zu erreichen.

Unter **Dämpfung** versteht man das in logarithmischem Maß gemessene Verhältnis der Eingangs- zur Ausgangsspannung.

$$a = \ln \frac{U_1}{U_2}$$

Logarithmieren heißt, den Exponenten suchen, der mit „a“ potenziert, die Zahl (Numerus) „p“ ergibt.

Schreibweise:

Aus  $a^n = p$  wird  ${}^a \log p = n$

(Sprich: Logarithmus p zur Basis a gleich n).

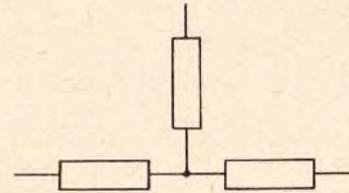
Jede Potenz läßt sich in der logarithmischen Schreibweise darstellen. Da es unendlich viele Zahlen gibt, die alle als Grundzahl bzw. Basis einer Potenz gewählt werden können, gibt es auch unendlich viele Logarithmensysteme. Von diesen Systemen hat sich das dekadische System, die Logarithmen zur Basis „10“ und das System zur Basis „e“ ( $e = 2,718$ ) durchgesetzt. Die Logarithmen zur Basis „e“ bezeichnet man im Gegensatz zu den Logarithmen zur Basis „10“, die als Briggsche Logarithmen bezeichnet werden, als natürliche Logarithmen (abgekürzt: ln). Sie haben für die Elektrotechnik große Bedeutung.

Die Einheit der Dämpfung ist das Neper. Je größer die Dämpfung, um so schlechter die Sprechverständigung. Hieraus ersieht man, daß an eine Fernsprechleitung in bezug auf ihre Dämpfung gewisse Anforderungen gestellt werden müssen.

Die Dämpfungswerte können mit einem Instrument (Dämpfungsmesser), welches in Neper geeicht ist, direkt gemessen werden. Als Sender dient dann ein Tonfrequenzgenerator.

Bei der Prüfschrankmessung bedient man sich sogenannter Dämpfungsglieder. Diese bestehen im allgemeinen aus einer Widerstandsanzordnung in Stern- oder T-Schaltung (vgl. hierzu Abb. 59).

Sie sind in ihrer Größe so bemessen, daß sie unterschiedlichen Dämpfungswerten entsprechen. Die Dämpfung einer Anschlußleitung soll **0,45 Neper nicht überschreiten**. Während des Gespräches mit der Sprechstelle schaltet der Prüfschrankbeamte stufenweise die Dämpfungsglieder ein und stellt somit fest, ob die Sprechverständigung ausreicht. Reicht sie nicht aus, so muß der Fehler geortet werden (Wiederholung der Messung vom EVz, KVz oder LVz).



(Abb. 59)

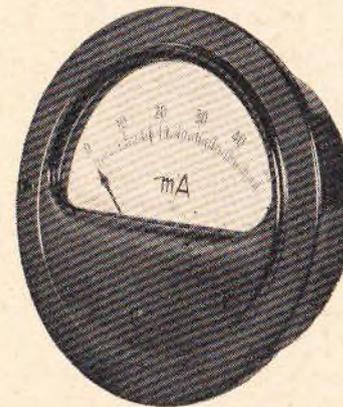
## VIII. Prüfen des abgehenden Rufes

Durch Drücken eines bestimmten Schalters wird die Ruf- und Signalmaschine an die Doppellader der zu prüfenden Anschlußleitung gelegt.

## IX. Prüfen des Nummernschalters

Hierzu dient der bereits besprochene im Prüfschrank eingebaute Frequenzmesser.

Milliamperemeter



(Abb. 60)

Die Nummernschalterfrequenz beträgt 10 Hz, d.h. beim Aufziehen und anschließendem Ablaufen des Nummernschalters soll die Ziffer Null in einer Sekunde ablaufen. **Zeigt der Frequenzmesser eine geringere Frequenz (starkes Schwingen der entsprechenden Zunge) oder eine zu hohe Frequenz, so muß der Nummernschalter justiert werden.**

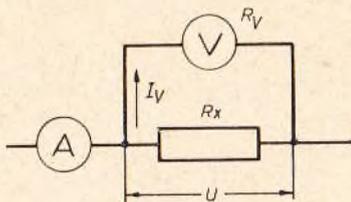
Mit Hilfe des Milliampereometers läßt sich das **Impulsverhältnis zwischen Unterbrechung und Schließung** des nsi-Kontaktes (Nummernschalterimpulskontakt) messen. Das Verhältnis soll bei richtiger Justierung 1,6 : 1 betragen (vgl. hierzu Abb. 60).

## F. Übungsaufgaben

Die nachstehenden Übungsaufgaben befassen sich mit Meßbereichserweiterungen von Strom- und Spannungsmessern und Widerstandsmessungen mit Hilfe des Volt- und Amperemeters. Sie sind nach verschiedenen Schwierigkeitsgraden gegliedert; die Lösungen befinden sich auf Seite 74 bis 77.

1. Ein Meßinstrument, dessen Zeiger bei 5 mA voll ausschlägt, wenn am System eine Spannung von 12 mV liegt, soll als Spannungsmesser für die Meßbereiche 15 mV, 150 mV, 1,5 V und 15 V verwendet werden.
  - a) Innerer Widerstand des Instrumentes?
  - b) Welche Vorschaltwiderstände sind herzurichten?
  - c) Welches sind die jeweiligen Gesamtwiderstände?
2. Der Meßbereich eines Spannungsmessers für 3 V, dessen innerer Widerstand 300 Ohm beträgt, soll auf 100 V erweitert werden. Wieviel Ohm muß der Vorschaltwiderstand haben?
3. Ein Drehspulinstrument hat einen Meßbereich von 60 mV und einen inneren Widerstand von 20 Ohm. Der Meßbereich soll auf
  - a) 1,5, b) 3, c) 15, d) 75 und e) 300 V
 erweitert werden. Welche Vorschaltwiderstände sind erforderlich?
4. Ein Spannungsteiler von 24 cm bewickelter Länge liegt an einer Spannung von 220 V. An welchen Stellen müssen die Abgriffe für 20, 40 und 150 V angebracht werden?
5. Von einem 15 cm langen Spannungsteiler, an dem eine Spannung von 80 V liegt, werden 35 V abgenommen. Entfernung der beiden Abgriffe voneinander?
6. Ein Spannungsteiler von insgesamt 500 Ohm und 30 cm bewickelter Länge wird von 0,15 A durchflossen. Welche Spannungen kann man 3, 10, 15 und 20 cm von dem einen Ende entfernt abzweigen?
7. Der Meßbereich eines Drehspulinstrumentes (3 mA) von 20 Ohm innerem Widerstand soll auf 7,5; 15; 30; 75; 150; 300 mA erweitert werden. Welche Nebenwiderstände sind anzuschließen?
8. Welche Meßbereiche hat das eben genannte Instrument bei Anschluß folgender Nebenwiderstände: 0,04008 Ohm; 0,618 Ohm; 1,277 Ohm; 0,004 Ohm; 0,0008 Ohm?
9. Der innere Widerstand eines Strommessers beträgt 10 Ohm. Der Meßbereich soll auf den 5-, 10-, 50-, 100-, 500-, 1000fachen Wert erweitert werden. Welche Werte müssen die Nebenwiderstände haben?
10. Der Meßbereich eines Instrumentes beträgt 1,5 A bei einem inneren Widerstand von 0,004 Ohm. An seine Anschlußklemmen wird als Nebenschluß ein Kupferdraht von 10 mm<sup>2</sup> Querschnitt und 20 cm Länge gelegt. Wie groß wird dadurch der Meßbereich?
11. Ein Spiegelgalvanometer besitzt eine Empfindlichkeit von  $1,73 \cdot 10^{-9}$  A (1 mm Ausschlag des Lichtzeigers bei 1 m Abstand) und einen Widerstand von 60 Ohm. Die Empfindlichkeit soll auf  $5 \cdot 10^{-9}$ ;  $1 \cdot 10^{-8}$ ;  $1 \cdot 10^{-7}$  A herabgesetzt werden. Welche Nebenschlußwiderstände sind anzulegen?
12. Der Meßbereich von 10 mA eines 10ohmigen Instrumentes soll auf 6 A erweitert werden. Nebenwiderstand?

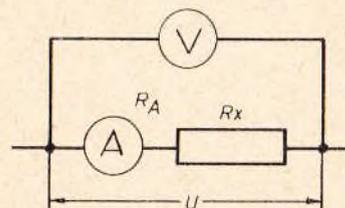
13. Der Zeiger eines Drehspulinstrumentes gibt bei Vollausschlag  $2\text{ mA}$  an und besitzt einen Spannungsabfall von  $150\text{ mV}$ . Welcher Nebewiderstand ist für einen Meßbereich von  $15\text{ mA}$  erforderlich?
14. Die Empfindlichkeit des in Aufgabe 11 genannten Instrumentes soll in 4 Stufen auf  $0,1$ ;  $0,01$ ;  $0,001$ ;  $0,0001$  des ursprünglichen Wertes verringert werden. Welche Nebenschlußwiderstände sind erforderlich?
15. Welche Nebenschlußwiderstände sind nötig, um den Meßbereich eines  $1\text{-Ohm}$ -Instrumentes auf das  $10\text{-}$ ,  $100\text{-}$  und  $1000\text{-fache}$  zu erweitern?
16. Welchen Gesamtwiderstand hat ein Strommesser, an dessen Meßwerk von  $5,5\text{ Ohm}$  ein Nebenschlußwiderstand von  $0,05\text{ Ohm}$  liegt?
17. Ein Widerstand wird nach Abb. 61 gemessen. Das Amperemeter zeigt einen Strom von  $185\text{ mA}$ , das Voltmeter eine Spannung von  $14,3\text{ V}$  an.  $R_{mV} = 14\text{ 300 Ohm}$ .
  - a) Berechne  $R_x$ .
  - b) Wie groß ist der Fehler, wenn der Voltmeterstrom nicht berücksichtigt wird?
  - c) Berechne den prozentualen Fehler.



(Abb. 61)

18. Schaltbild wie in Aufgabe 17.
  - a) Welcher Widerstand und
  - b) welcher prozentuale Fehler ergibt sich bei Vernachlässigung des Voltmeterstromes, wenn ein Spannungsmesser von  $1000\text{ Ohm}$  verwendet wird?
19. Es soll ein auf etwa  $50\text{ Ohm}$  geschätzter Widerstand nach Abb. 61 gemessen werden. Der Fehler bei Vernachlässigung des Voltmeterstromes soll höchstens  $3\%$  betragen. Welchen Widerstand muß der Spannungsmesser wenigstens haben?
20. Ein Widerstand soll mit einem Spannungsmesser von  $500\text{ Ohm}$  unter Vernachlässigung des Voltmeterstromes gemessen werden. Wieviel Ohm darf der zu messende Widerstand höchstens betragen, wenn der Fehler gegenüber einer korrekten Messung höchstens  $2\%$  ausmachen soll?
21. Der Widerstand eines Spannungsmessers hat den  $45\text{-fachen}$  Wert des zu messenden Widerstandes. Mit wieviel % wird bei Nichtbeachtung des Voltmeterstromes der Widerstand des zu messenden Widerstandes zu gering gemessen?

22. Ein Widerstand ergab sich durch einfache Strom- und Spannungsmessung zu  $352\text{ Ohm}$ . Bei genauerer Messung unter Berücksichtigung des Voltmeterstromes stellte sich ein Wert von  $365\text{ Ohm}$  heraus. Welchen Widerstand hatte der Spannungsmesser?
23. Ein Widerstand wurde ohne Berücksichtigung des Voltmeterstromes zu  $135\text{ Ohm}$  bestimmt. Welchen Wert hätte man erhalten, wenn der Eigenstrom des Instrumentes von  $6500\text{ Ohm}$  berücksichtigt worden wäre?
24. Wie groß ist ein Widerstand, wenn nach Abb. 62 eine Spannung von  $64\text{ V}$  und ein Strom von  $15\text{ mA}$  gemessen wurde und der Strommesser einen Widerstand von  $10\text{ Ohm}$  besitzt?



(Abb. 62)

25. Es wird eine Spannung von  $17,19\text{ V}$  sowie ein Strom von  $0,013\text{ A}$  gemessen (Abb. 62). Als Strommesser dient ein Instrument von  $10\text{ Ohm}$  mit einem Nebenschlußwiderstand von  $10/9\text{ Ohm}$ . Welchen Wert hat der zu messende Widerstand?
26. Es wird nach Abb. 62 ein Widerstand von  $82,4\text{ Ohm}$  gemessen. Wie groß ist der Eigenwiderstand des Strommessers, wenn der Meßstrom  $0,12\text{ A}$  und die Meßspannung  $10\text{ V}$  beträgt?
27. Ein Widerstand wird nach Abb. 61 gemessen, wobei  $U = 3,1\text{ V}$ ,  $I = 82\text{ mA}$ ,  $R_{mV} = 1500\text{ Ohm}$  und  $R_{mA} = 0,5\text{ Ohm}$ . Welche Werte zeigen die Instrumente an, wenn nach Abb. 62 verfahren wird, und wie berechnet sich hieraus der Widerstand?

**Anmerkung:**

Formel für Messung nach Abb. 61 (bei kleinen Widerständen)

$$R_x = \frac{U}{I - I_V}$$

Formel für Messung nach Abb. 62 (bei großen Widerständen)

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A$$

- $U$  = gemessene Spannung
- $I$  = gemessener Strom
- $R_x$  = zu messender Widerstand
- $R_A$  = Widerstand des Strommessers
- $R_V$  = Widerstand des Spannungsmessers

## G. Lösungen zu den Aufgaben von Seite 71 bis 73

1. a)  $R_1 = \frac{12}{5} = \underline{2,4 \text{ Ohm}}$   
 b)  $R_{V1} = \frac{3}{5} = \underline{0,6 \text{ Ohm}}$      $R_{V2} = \frac{138}{5} = \underline{27,6 \text{ Ohm}}$   
 $R_{V3} = \frac{1488}{5} = \underline{297,6 \text{ Ohm}}$   
 $R_{V4} = \frac{14988}{5} = \underline{2997,6 \text{ Ohm}}$   
 c)  $R_1 = \underline{3 \text{ Ohm}}$      $R_2 = \underline{30 \text{ Ohm}}$      $R_3 = \underline{300 \text{ Ohm}}$   
 $R_4 = \underline{3\,000 \text{ Ohm}}$
2.  $R_V = \frac{97 \cdot 300}{3} = \underline{9\,700 \text{ Ohm}}$
3.  $I = \frac{60}{20} = \underline{3 \text{ mA}}$   
 $R_{V1} = \frac{1,440}{0,003} = \underline{480 \text{ Ohm}}$   
 $R_{V2} = \frac{2,940}{0,003} = \underline{980 \text{ Ohm}}$   
 $R_{V3} = \underline{4\,980 \text{ Ohm}}$      $R_{V4} = \underline{24\,980 \text{ Ohm}}$   
 $R_{V5} = \underline{99\,980 \text{ Ohm}}$
4.  $x_1 = \frac{24 \cdot 20}{220} = \underline{2,18 \text{ cm}}$   
 $x_2 = \frac{24 \cdot 40}{220} = \underline{4,36 \text{ cm}}$   
 $x_3 = \frac{24 \cdot 150}{220} = \underline{16,4 \text{ cm}}$
5.  $l_1 = \frac{15 \cdot 35}{80} = \underline{6,56 \text{ cm}}$
6.  $U = 0,15 \cdot 500 = \underline{75 \text{ V}}$   
 a)  $U_1 = \frac{75 \cdot 3}{30} = \underline{7,5 \text{ V}}$     b)  $U_2 = \frac{75 \cdot 10}{30} = \underline{25 \text{ V}}$   
 c)  $U_3 = \underline{37,5 \text{ V}}$     d)  $U_4 = \underline{50 \text{ V}}$
7.  $R_{n1} = \frac{3 \cdot 20}{4,5} = \underline{13,33 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n2} = \frac{3 \cdot 20}{12} = \underline{5 \text{ Ohm}}$      $R_{n3} = \frac{3 \cdot 20}{27} = \underline{2,22 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n4} = \underline{0,833 \text{ Ohm}}$      $R_{n5} = \underline{0,408 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n6} = \underline{0,202 \text{ Ohm}}$

8.  $I_1 = 3 + \frac{3 \cdot 20}{0,041} = \underline{1,5 \text{ A}}$   
 $I_2 = 3 + \frac{60}{0,618} = \underline{100 \text{ mA}}$   
 $I_3 = \underline{50 \text{ mA}}$      $I_4 = \underline{15 \text{ A}}$      $I_5 = \underline{75 \text{ A}}$
9.  $R_{n1} = \frac{10}{4} = \underline{2,5 \text{ Ohm}}$      $R_{n2} = \frac{10}{9} = \underline{1,11 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n3} = \frac{10}{49} = \underline{0,204 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n4} = \underline{0,101 \text{ Ohm}}$      $R_{n5} = \underline{0,02 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n6} = \underline{0,01 \text{ Ohm}}$
10.  $R_n = \frac{0,0175 \cdot 0,2}{10} = \underline{0,000\,35 \text{ Ohm}}$   
 $I = 1,5 + \frac{1,5 \cdot 0,004}{0,000\,35} = \underline{18,64 \text{ A}}$
11.  $R_{n1} = \frac{1,73 \cdot 10^{-9} \cdot 60}{3,27 \cdot 10^{-9}} = \underline{31,7 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n2} = \frac{1,73 \cdot 10^{-9} \cdot 60}{8,27 \cdot 10^{-9}} = \underline{12,55 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n3} = \frac{1,73 \cdot 10^{-9} \cdot 60}{98,27 \cdot 10^{-9}} = \underline{1,056 \text{ Ohm}}$
12.  $R_n = \frac{10}{600-1} = \underline{0,0167 \text{ Ohm}}$
13.  $R_1 = \frac{150}{2} = \underline{75 \text{ Ohm}}$      $R_n = \frac{75}{7,5-1} = \underline{11,54 \text{ Ohm}}$
14.  $R_{n1} = \frac{60}{9} = \underline{6,67 \text{ Ohm}}$      $R_{n2} = \frac{60}{99} = \underline{0,606 \text{ Ohm}}$   
 $R_{n3} = \underline{0,060 \text{ Ohm}}$      $R_{n4} = \underline{0,006 \text{ Ohm}}$
15.  $R_n = \frac{1}{10-1} = \underline{1/9 \text{ Ohm}}$ ;     $\underline{1/99 \text{ Ohm}}$ ;     $\underline{1/999 \text{ Ohm}}$
16.  $R = \frac{5,5 \cdot 0,05}{5,55} = \underline{0,0495 \text{ Ohm}}$
17. a)  $R_x = \frac{14,3}{0,185 - 0,001} = \underline{77,7 \text{ Ohm}}$   
 $I_V = \frac{14,3}{14\,300} = \underline{1 \text{ mA}}$   
 b)  $R_x = \frac{14,3}{0,185} = \underline{77,3 \text{ Ohm}}$  Fehler =  $\underline{-0,4 \text{ Ohm}}$   
 c)  $p = \frac{0,4 \cdot 100}{77,7} = \underline{0,515\%}$

$$18. a) I_V = \frac{14,3}{1000} = \underline{14,3 \text{ mA}}$$

$$R_x = \frac{14,3}{0,185 - 0,0143} = \underline{83,8 \text{ Ohm}}$$

$$b) \text{ Fehler} = \underline{-6,5 \text{ Ohm}}; \quad \underline{7,76\%}$$

$$19. I_V = \frac{U}{R_V} \quad \frac{U}{I} = \underline{48,5 \text{ Ohm}} \text{ (d.h. 3\% weniger als 50 Ohm)}$$

$$\frac{U}{I - I_V} = 50 \text{ Ohm} \quad \frac{U}{48,5} = \frac{U}{R_V} = 50 \text{ Ohm}$$

$$\text{Hieraus: } R_V = \underline{1617 \text{ Ohm}}$$

$$20. \frac{U}{I} = 0,98 \cdot \frac{U}{I - I_V}; \text{ setzt man } \frac{U}{I} = R_x \text{ und } I_V = \frac{U}{500} \text{ und löst}$$

die Gleichung nach  $R_x$  auf, so erhält man  $R_x = \underline{10 \text{ Ohm}}$ .

$$21. R_x \text{ mit Fehler} = \frac{U}{I}; R_x \text{ ohne Fehler} = \frac{U}{I - I_V};$$

$$\text{prozentualer Fehler } x(\%) = \frac{\frac{U}{I - I_V} - \frac{U}{I}}{\frac{U}{I}} \cdot 100$$

$$\text{vereinfacht } x(\%) = \frac{I_V}{I} \cdot 10$$

$$\text{Gesamtwiderstand} = \frac{R_x \cdot 45}{R_x + 45} = R_x \frac{45}{46};$$

$$I_V = \frac{R_x}{45} \frac{45}{R_x} = \frac{1}{46}; x = \underline{2,17\%}$$

$$22. \frac{U}{I} = 352 \text{ Ohm}; \quad \frac{U}{I - I_V} = 365 \text{ Ohm};$$

$$\frac{I - I_V}{U} = \frac{1}{365}$$

$$\frac{1}{365} - \frac{1}{R_V} = \frac{1}{365}; \quad R_V = \underline{9883 \text{ Ohm}}$$

$$23. \frac{1}{135} - \frac{1}{R_V} = \frac{1}{R_x}; \quad R_x = \underline{138 \text{ Ohm}}$$

$$24. R_x = \frac{64}{0,015} - 10 = \underline{4257 \text{ Ohm}}$$

$$25. R_A = 1 \text{ Ohm}; \quad R_x = \frac{17,19}{0,013} - 1 = \underline{1321 \text{ Ohm}}$$

$$26. \text{ Ohne Berücksichtigung des Amperemeter-Widerstandes würde sich der}$$

Widerstand zu  $\frac{10}{0,12} = 83,3 \text{ Ohm}$  berechnen.

$$R_A = \underline{0,9 \text{ Ohm}}$$

$$27. R_x = \frac{3,1}{0,082 - 0,002} = 38,75 \text{ Ohm};$$

$$\text{Gesamtwiderstand} = \frac{1500 \cdot 39,25}{1500 + 39,25} = 38,25 \text{ Ohm}$$

$$\text{Gesamtspannung} = 3,1 + 0,082 \cdot 0,5 = 3,141 \text{ V};$$

$$I_x = \frac{3,141}{39,25} = 0,08 \text{ A}$$

$$R_x = \frac{3,141}{0,08} - 0,5 = \underline{38,75 \text{ Ohm}}$$

**Band B 4 — Die Fachkunde**

Die Wechselstromlehre

**Band B 5 — Die Fachkunde**

Elektrische Meßgeräte und Meßschaltungen

**Band C 1 — Die handwerkliche Ausbildung**

Werkstoffe der Fernmeldetechnik und ihre Bearbeitung —  
Werkzeuge und Werkzeugmaschinen

**Band C 2 — Die handwerkliche Ausbildung**

Der oberirdische Linienbau

**Band C 3 — Die handwerkliche Ausbildung**

Der unterirdische Linienbau

**Band C 4 — Die handwerkliche Ausbildung**

Fernsprechapparate und Zusatzeinrichtungen

**Band C 5 — Die handwerkliche Ausbildung**

Grundzüge der Wählvermittlungstechnik

**Band C 6 — Die handwerkliche Ausbildung**

Nebenstellenanlagen

**Band C 7 — Die handwerkliche Ausbildung**

Sprechstellenbau

*Umfang je Band etwa 140 Seiten*

*Preis je Band 3,95 DM*

**Weitere Lehr- und Lernwerke siehe 2. und 4. Umschlagseite**

# Deutsch und Rechnen

*Wichtig zur Vorbereitung  
auf Eignungsfeststellungen und Prüfungen*

## Deutsch

Rechtschreibung — Wortlehre — Satzlehre  
Zeichensetzung — Stil- und Aufsatzkunde  
Umfang 120 Seiten                      Preis 2,50 DM

## Rechenlehre

Rechnen — Raumlehre — Algebra  
Übungs- und Prüfungsaufgaben — Lösungs-  
heft  
Umfang 160 Seiten                      Preis 3,20 DM

Sämtliche Lehrwerke können bestellt werden bei

**DEUTSCHE POSTGEWERKSCHAFT, VERLAG GMBH.**

(16) Frankfurt (Main) — Savignystraße 29