

GIRKE · SPROCKHOFF

PHYSIKALISCHE SCHULVERSUCHE

SECHSTER TEIL

EINFÜHRUNG IN DIE ELEKTRIZITÄTSLEHRE



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

PHYSIKALISCHE SCHULVERSUCHE

SECHSTER TEIL
EINFÜHRUNG IN DIE
ELEKTRIZITÄTSLEHRE

Herausgegeben von Georg Sprockhoff
Mit 182 Abbildungen



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN · 1968

Verfaßt von
Wolfgang Brunstein, Josef Fischer, Dr. Otto Joachimi, Max Liebscher,
Wolfgang Manthei, Heinrich Paucker, Hans Reichelt, Dr. Ernst Schneider,
Georg Sprockhoff, Kurt Weber

Unveränderter Nachdruck der dritten, durchgesehenen Auflage

Zeichnungen von Kurt Dornbusch

Redaktionsschluß: 1. 9. 1964

ES 10 C · Bestell-Nr. 022106-4 · Preis 7,20 · Lizenz Nr. 203 · 1000/67 (UN)
Satz: Oswald Schmidt KG, Leipzig III/18/65
Druck: Musikaliendruckerei F. M. Geidel,
Leipzig III/18/11

VORWORT ZUR 1. UND 2. AUFLAGE

Das Buch hat die Einführung in die Elektrizitätslehre zum Gegenstand. Es bringt Versuche zu den *Grundbegriffen der strömenden Elektrizität*, Versuche zu den *Grundgesetzen des elektrischen Stromkreises* und Versuche über *Wärmewirkungen, chemische Wirkungen* und *magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes*. Mit einbegriffen sind Versuche über den *permanenten Magnetismus*. Versuche zu allen anderen Stoffgebieten der Elektrizitätslehre werden in einem später erscheinenden zweiten Teil des Buches zusammengefaßt werden.

Wie seine Vorgänger in der Reihe der Physikalischen Schulversuche will auch dieses Buch den Physiklehrern aller Schularten ein Helfer bei der experimentellen Gestaltung des Unterrichts sein. Es wendet sich daher nicht nur an die Lehrer der allgemeinbildenden Schulen, sondern darüber hinaus an alle Lehrer, die in Berufsschulen und im Werkunterricht tätig sind. Das Buch will auch allen Leitern von Arbeitsgemeinschaften und Zirkeln eine Hilfe sein. Ihnen allen möchte es Anregungen für die Durchführung des Unterrichts geben. Eine der wichtigsten Aufgaben des Buches aber ist darin zu sehen, daß es den jungen Kollegen, die noch nicht über eine ausreichende Unterrichtserfahrung verfügen, bei der Vorbereitung ihres Unterrichts zu einem zuverlässigen Berater wird.

DER HERAUSGEBER

VORWORT ZUR 3. AUFLAGE

Seit Erscheinen der 1. und 2. Auflage ist auch der Fortsetzungsband der Elektrizitätslehre (9. Teil der Physikalischen Schulversuche) herausgegeben.

In der 3. Auflage sind aus technischen Gründen nur geringe Änderungen vorgenommen worden. Unverändert sind z. B. die veralteten Begriffe Voltmeter (statt Spannungsmesser), Amperemeter (statt Strommesser) und dgl. sowie die Tabellenköpfe.

DER VERLAG

INHALTSVERZEICHNIS

<i>Einleitung</i>	1
-------------------------	---

ERSTES KAPITEL

Allgemeine Hilfsmittel und Anweisungen für die Durchführung elektrischer Versuche

§ 1. Allgemeine Vorbemerkungen	3
§ 2. Spannungsquellen	5
§ 3. Schaltelemente. Zusammenschalten eines Stromkreises	10
§ 4. Regel- und Meßwiderstände	12
§ 5. Meßgeräte für Stromstärke und Spannung	14
§ 6. Elektromotoren als Antriebsmittel	17
§ 7. Wichtige Vorschriften für das Arbeiten mit elektrischen Geräten – Unfallverhütung	19
§ 8. Hinweise für die Aufbewahrung und die Pflege elektrischer Geräte – Handwerkliche Hinweise	21
§ 9. Die wichtigsten Schaltzeichen	25

ZWEITES KAPITEL

Grundbegriffe und Grunderscheinungen der strömenden Elektrizität

§ 10. Methodische Bemerkungen	28
§ 11. Die Grundbegriffe der Elektrizitätslehre	32
1. Vorversuch zum elektrischen Stromkreis – Verwendung einer Steckdose als Span- nungsquelle	32
2. Grundversuch zum elektrischen Stromkreis – Verwendung einer Kleinspannungs- quelle	33
3. Die Unterscheidung von Leitern und Nichtleitern	34

4. Nachweis der Spannung	34
5. Der Aufbau eines Stromkreises – Die Schaltung der Meßgeräte	36
6. Modellversuch zum elektrischen Stromkreis	37
7. Nachweis einer Stromrichtung bei Gleichstrom	40
8. Untersuchung der Polarität einer Spannungsquelle	41
9. Vorversuch zur Einführung des Wechselstrombegriffes	42
10. Unterscheidung von Gleich- und Wechselstrom	42
§ 12. Wärmewirkungen des elektrischen Stromes	44
11. Erwärmung eines Drahtes bei Stromdurchgang	44
12. Glühen eines Drahtes bei Stromdurchgang	46
13. Einleitung von Zündvorgängen durch den elektrischen Strom	46
14. Erwärmen einer Kochsalzlösung bei Stromdurchgang	47
15. Vergleich der Leuchtwirkung eines gestreckten und eines gewendelten Glüh- drahtes	47
16. Herstellen von Glühlampenschaltungsmodellen	48
17. Vorversuch zur Bogenlampe	50
18. Modell einer einfachen Bogenlampe	50
19. Modell einer Jablotschkow-Kerze	52
20. Schweißen mit Hilfe eines Lichtbogens	53
21. Modellversuch zur Erklärung der Wirkungsweise einer Schmelzsicherung	53
22. Modellversuch zum Sicherungsautomaten	54
§ 13. Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes	56
23. Die elektrische Leitfähigkeit von wäßrigen Flüssigkeiten	56
24. Elektrolyse des angesäuerten Wassers („Wasserzersetzung“)	57
25. Nachbildung der Oberfläche einer Münze oder einer Plakette – Galvanoplastik ..	59
26. Die Wirkungsweise des Bleiakкумуляtors	59
27. Unterscheidung der Pole einer Gleichspannungsquelle durch verschiedene Fär- bung einer Natriumsulfatlösung	60
28. Nachweis des negativen Pols einer Spannungsquelle mit Hilfe von Polreagenz- papier	60

DRITTES KAPITEL

Die Grundgesetze des elektrischen Stromkreises

§ 14. Methodische Bemerkungen	62
§ 15. Das Ohmsche Gesetz	67
29. Vorversuch zur Einführung des Widerstandes – Glühlampen als Stromanzeiger ..	67
30. Festlegung behelfsmäßiger Widerstandseinheiten	67
31. Ableitung des Ohmschen Gesetzes an einem Widerstandsbrett	68
32. Ableitung des Ohmschen Gesetzes mit Hilfe von Glühlampen	71

33. Ableitung des Ohmschen Gesetzes mit Hilfe einer Heizwendel	72
34. Die Definition des Widerstandes als Quotient von Spannung und Stromstärke ..	74
35. Nachweis des Ohmschen Gesetzes für einen Leiterteil	76
36. Ableitung des Ohmschen Gesetzes bei Verwendung von Flüssigkeiten als Widerstandsmaterial	77
§ 16. Das Widerstandsgesetz – Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur	78
37. Abhängigkeit des Widerstandes eines Drahtes von der Länge bei konstantem Querschnitt	78
38. Abhängigkeit des Widerstandes eines Drahtes vom Querschnitt bei konstanter Länge	79
39. Abhängigkeit des Widerstandes vom Material	81
40. Ableitung des Widerstandsgesetzes an Drähten verschiedenen Querschnittes bei konstanter Stromstärke	82
41. Nachweis der Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur	83
42. Temperaturabhängigkeit des Widerstandes einer Bleistiftmine	84
43. Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Glas	85
§ 17. Widerstandsmessung	86
44. Bestimmung des Widerstandes von Konstantan-, Manganin-, Eisen- und Kupferdrähten durch Substitution	86
45. Bestimmung des Ohmschen Widerstandes einer elektrischen Kochplatte und einer Glühlampe mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes	87
46. Vorversuch zur Wheatstoneschen Brücke	89
47. Widerstandsmessung mit Hilfe der Wheatstoneschen Brücke	90
48. Widerstandsbestimmung mit Hilfe eines Ohmmeters und einer technischen Meßbrücke	92
§ 18. Leistung und Arbeit eines elektrischen Stromes	93
49. Abhängigkeit der Stromleistung von Spannung und Stromstärke	93
50. Widerstand und Leistung eines Tauchsieders	95
51. Die Stromleistung und -arbeit an einem Motormodell	97
§ 19. Der unverzweigte Stromkreis	98
52. Die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis	98
53. Die Spannung in Reihe geschalteter Spannungsquellen	98
54. Spannungsabfall längs eines homogenen Leiters	99
55. Spannungsverteilung beim Hintereinanderschalten von Verbrauchern	101
56. Spannungsverteilung beim Hintereinanderschalten zweier Glühlampen	102
§ 20. Der verzweigte Stromkreis	102
57. Stromverteilung in einem verzweigten Stromkreis – Verwendung von Widerstandsgeräten	102

58. Gruppenschaltung von Verbrauchern	103
59. Modell des Stromkreises einer Wohnung	104
60. Stromverteilung in einem verzweigten Stromkreis – Verwendung von Glühlampen gleicher und verschiedener Leistungsaufnahme	105
61. Demonstrationsversuch zur Erweiterung des Meßbereichs eines Amperemeters... ..	105
62. Demonstrationsversuch zur Erweiterung des Meßbereichs eines Voltmeters	106
63. Einfluß des inneren Widerstandes eines Amperemeters auf das Meßergebnis	107
64. Einfluß des inneren Widerstandes eines Voltmeters auf das Meßergebnis	108
65. Spannungsabfall einer Spannungsquelle bei Belastung	108
66. Der Spannungsteiler	109

VIERTES KAPITEL

Der Elektromagnetismus

§ 21. Methodische Bemerkungen	111
§ 22. Die Grunderscheinungen des permanenten Magnetismus	115
67. Kraftwirkung eines Magneten auf verschiedene Stoffe	115
68. Nachweis der magnetischen Wirkung von Magneteisenstein	115
69. Nachweis der Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Eisenstück..	115
70. Künstliches Magnetisieren	115
71. Untersuchen der Kraftverteilung an Magneten mit Hilfe von Eisenfeilspänen... ..	116
72. Untersuchen der Kraftverteilung an einem Stabmagneten mit Hilfe von Eisen- nägeln verschiedener Größe	116
73. Bestimmen der Polarten eines Stabmagneten	116
74. Vergleich der Pole eines Magneten	117
75. Bestimmen der Nord-Süd-Richtung mit Hilfe einer schwimmenden Rasierklinge	118
76. Bestimmen der Nord-Süd-Richtung mit Hilfe einer Magnetonadel	118
77. Herstellen einer behelfsmäßigen Magnetonadel aus einer Rasierklinge oder einer Stricknadel	119
78. Kraftwirkungen zwischen Magnetpolen	120
79. Schauversuche zur Kraftwirkung zwischen Magnetpolen	120
80. Die Abschirmung magnetischer Kräfte durch einzelne Stoffe	122
§ 23. Das permanente magnetische Feld – Die magnetische Influenz	123
81. Veranschaulichung magnetischer Feldlinien durch Eisenfeilspäne	123
82. Herstellen dauerhafter Feldlinienbilder mit Hilfe von paraffiniertem Papier oder mit Hilfe von Photopapier	123
83. Nachweis der magnetischen Influenz mit Hilfe von Nägeln	124
84. Teilung eines Magnetstabes	125
85. Modellversuch zum Veranschaulichen des Magnetisierungsvorganges	125
86. Schwächen des Magnetismus durch Erwärmen des Magneten	126

87. Magnetisieren eines Stahlkörpers mit Hilfe von Influenz durch das Magnetfeld der Erde	126
88. Vergleich der geographischen mit der magnetischen Nord-Süd-Richtung – Bestimmung der Deklination	127
89. Bestimmen der magnetischen Inklination	127
§ 24. Magnetische Wirkungen und magnetisches Feld des Gleichstromes	128
90. Ablenkung einer Magnetnadel durch das Magnetfeld eines stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters	128
91. Das Magnetfeld eines einzelnen stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters	129
92. Das magnetische Feld eines stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters – Verwendung eines Bündels in Reihe geschalteter Leiter	130
93. Die Richtung der magnetischen Feldlinien eines stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters – Bestimmung mit Hilfe einer Magnetnadel	131
94. Richtung der magnetischen Feldlinien eines vom Strom durchflossenen, geradlinigen Leiters – Nachweis durch eine schwimmende Stricknadel	132
95. Die Ablenkung einer Magnetnadel in einer stromdurchflossenen Leiterschleife ...	133
96. Der Marschkompaß als behelfsmäßiges Galvanoskop	133
97. Selbstanfertigen eines behelfsmäßigen Vertikalgalvanoskops	134
98. Veranschaulichen des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Leiterschleife	135
99. Das magnetische Feld einer vom Strom durchflossenen Drahtwindung – Nachweis durch einen Kabelring	136
100. Das magnetische Feld einer vom Strom durchflossenen Spule – Nachweis an einer Kupferdrahtwendel	136
101. Das magnetische Feld einer vom Strom durchflossenen Spule – Nachweis an einer aus Verbindungskabeln zusammengesetzten Spule	137
102. Veranschaulichen des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule	138
§ 25. Kraftwirkungen und magnetische Felder zwischen zwei von Gleichstrom durchflossenen Leitern	139
103. Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier stromdurchflossener, geradliniger Leiter	139
104. Das magnetische Feld zweier vom Strom durchflossener, geradliniger Leiter – Nachweis an zwei aus einzelnen Verbindungskabeln gebildeten Kabelrechtecken	140
105. Das magnetische Feld zweier vom Strom durchflossener Leiter – Nachweis mit Hilfe von Drahtrechtecken	142
106. Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier stromdurchflossener Leiter – Nachweis durch eine elastische Drahtwendel	143
107. Aufwindeln eines stromdurchflossenen Lamettafadens um einen Magnetstab	144
§ 26. Der Elektromagnet	145
108. Anziehen eines länglichen Eisenkörpers durch eine stromdurchflossene Spule ...	145
109. Hineinziehen eines Weicheisenkerns in eine stromdurchflossene Spule – Modell eines Weicheisenamperemeters	145

110. Kraftwirkung einer stromdurchflossenen Spule auf eine Magnetnadel	146
111. Elektromagnet	146
112. Das magnetische Feld eines U-förmigen Elektromagneten mit Anker	147
113. Der Topfmagnet	148
114. Nachweis des remanenten Magnetismus	149
§ 27. Technische Anwendungen des Elektromagneten	149
115. Wagnerscher Hammer – Elektrische Klingel	149
116. Modell eines Morseapparates	150
117. Modell einer Fallklappe	151
118. Modell eines Mikrophons	151
119. Modell eines Relais	152
120. Modell eines Drehpulgerätes	153
121. Abstoßung zweier Eisenstäbe in einer stromdurchflossenen Spule	154
122. Vorversuch zum Dreheisengerät	154
123. Modell eines Dreheisengerätes	155
§ 28. Der Gleichstrommotor	156
124. Bewegungsantrieb eines stromdurchflossenen Leiters in einem magnetischen Feld	156
125. Vorversuche zum Gleichstrommotor	158
126. Modelle eines Hauptschluß- und eines Nebenschlußmotors für Gleichstrom	159
127. Ändern der Drehrichtung eines Elektromotors	160
<i>Sachverzeichnis</i>	162

EINLEITUNG

Das Buch steht grundsätzlich auf dem Standpunkt der Einführung der Elektrizitätslehre vom elektrischen Strom her, ein Gedanke, der sich heute allgemein durchgesetzt hat, nachdem er zum ersten Male von *R. W. Pohl* in seinem im Jahre 1927 erschienenen Buch „Einführung in die Elektrizitätslehre“ Gestalt gewonnen hatte. Es ist nicht die Aufgabe dieses Buches, im einzelnen das Für und Wider dieser methodischen Neuordnung darzulegen. Es soll nur so viel gesagt werden, daß das brennende Problem der Stofffülle, das schon vor 30 Jahren genauso akut war wie jetzt, einfach dazu zwingt, die Schüler, ohne viel Zeit zu verlieren, an die *Kernpunkte der Elektrizitätslehre* heranzuführen und dafür weniger dringliche Gebiete zu kürzen. Und dazu gehört die *Elektrostatik*. Dabei wurde die Elektrostatik keineswegs ganz aus dem Schulunterricht beiseite. Sie wurde nur in ihrem Umfang stark eingeschränkt. Auf diese Weise und durch andere hier nicht zu erwähnende Stoffkürzungen wurde Zeit gewonnen für die Behandlung neuer, dringlich erscheinender Gebiete, wie des *Wechselstromkreises*, der *Schwingungen und Wellen*, der *Atomphysik*.

Die Neuordnung der Elektrizitätslehre im Sinne Pohls muß sich auch in den Lehrmitteln widerspiegeln. Während früher in den Schulen die Lehrmittel zur Elektrostatik mit den Influenzmaschinen, den Elektrisiermaschinen, dem Elektrophor, den Leidener Flaschen und dem sonstigen Zubehör einen beträchtlichen Raum einnahmen, lassen sie sich heute auf einem kleinen Raum unterbringen. An die Stelle der Influenzmaschine ist längst der Bandgenerator getreten, der in vielen Fällen durch einen in der Schule verwendbaren Hochspannungstransformator, verbunden mit einem Hochspannungsgleichrichter, ersetzt wird.

Erfreulicherweise stehen den Schulen heute gerade in der Elektrizitätslehre recht brauchbare Lehrmittel zur Verfügung, und zwar in Gestalt von *Aufbaugerätesätzen für Elektrophysik*. Wie schon der Name verrät, liegt diesen Gerätesätzen das Prinzip der *Aufbauphysik* zugrunde, das sich ebenfalls in den letzten 30 Jahren im Physikunterricht Bahn gebrochen hat. Der Herausgeber muß von sich bekennen, daß er sich seit jeher als entschiedener Verfechter sowohl der Pohlschen Idee wie der Aufbauphysik betätigt hat. Es wird daher in diesem Buche den Versuchsbeschreibungen ein Aufbaugerätesatz zugrunde gelegt. Dies fällt dem Herausgeber um so leichter, als sich die meisten Schulen im Besitz eines Gerätesatzes befinden. Damit soll natürlich nicht gesagt sein, daß sich die Versuche nicht auch mit anderen Geräten durchführen ließen. Vielfach kann man sich auch behelfsmäßig hergestellter Geräte bedienen.

Den eigentlichen Versuchsbeschreibungen ist im Buche ein Kapitel vorangestellt, das sich mit *allgemeinen Hilfsmitteln* und mit *allgemeinen Anregungen für elektrische Versuche* befaßt. Der Herausgeber und seine Mitarbeiter glaubten, die Versuchsbeschreibungen dadurch zu entlasten, daß sie Allgemeingültiges in einem geschlossenen Kapitel

voranstellten. Außerdem hoffen sie, damit dem Wunsche vieler unterrichtender Kollegen entgegenzukommen, die sicher solche Mitteilungen begrüßen werden. Auch einige Hinweise, die für den Erwerb handwerklicher Fertigkeiten nützlich sein könnten, sind nicht vergessen worden.

In seiner Grundhaltung und in seiner äußeren Form schließt sich das Buch eng an die vorangegangenen Teile der *Physikalischen Schulversuche* an. Es will insbesondere kein Lehrbuch sein und setzt die Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge bei den Lesern voraus. Dementsprechend ist auch bei den Versuchen auf alle physikalischen Begründungen und näheren Ausführungen verzichtet worden. Nur dort, wo es aus methodischen Gründen ratsam erschien, wurden die ursächlichen Zusammenhänge der physikalischen Erscheinungen angegeben.

Auf folgende Einzelheiten des Buches sei noch besonders hingewiesen:

1. Jedes Kapitel wird durch einen Paragraphen „*Methodische Bemerkungen*“ eingeleitet. Die in ihm enthaltenen Ausführungen sind beim Durchführen der in den einzelnen Kapiteln beschriebenen Versuche zu beachten. Hinweise auf „*Methodische Bemerkungen*“ im Buchtext werden durch das Zeichen MB und die angehängte Seitenzahl gekennzeichnet.
Beispiel: MB, S. 62.
2. Jeder Versuch ist in sich abgeschlossen und mit einer laufenden Nummer versehen. Hinweise auf andere Versuche erfolgen im Buchtext durch das Zeichen V mit angehängter Versuchsnummer.
Beispiel: V 12, V 53.
3. An der Spitze jedes Versuches steht eine im Kleindruck wiedergegebene, durch Einrücken hervorgehobene Aufzählung sämtlicher zum Versuch gebrauchten Geräte.
4. Den TGL-Blättern entsprechend werden in den Geräteaufzählungen Längenangaben, die sich auf Geräte beziehen, wie Länge, Breite, Höhe, Durchmesser, in Millimetern wiedergegeben. Nur Kabel- und Drahtlängen von mehr als 1000 mm erscheinen in Metern. Im Text werden daneben zur Angabe irgendwelcher Strecken auch Zentimeter verwendet.
5. Zusätzliche Ausführungen, die über die eigentlichen Versuchsbeschreibungen hinausgehen, werden unter dem Stichwort „*Bemerkungen*“ im Kleindruck beigelegt.
6. Das an die Überschrift angehängte Zeichen [Ü] drückt aus, daß der Versuch für Schülerübungen geeignet ist. Selbstverständlich kann er auch vor der gesamten Klasse als Schauversuch durchgeführt werden.

ERSTES KAPITEL

Allgemeine Hilfsmittel und Anweisungen für die Durchführung elektrischer Versuche

§ 1. ALLGEMEINE VORBEMERKUNGEN

Wie kaum in einem anderen Sachgebiet der Physik sind in der *Elektrizitätslehre* für den unterrichtenden Lehrer die genaue Kenntnis und die praktische Beherrschung einer Reihe physikalisch-technischer Hilfsmittel erforderlich, wenn er mit Erfolg experimentieren will. Ebenso sind bei der Durchführung von Versuchen zahlreiche Einzelheiten zu beachten, wenn Personen und Geräte vor Schaden bewahrt werden sollen. Insbesondere die jüngeren Physiklehrer, die über eine gut fundierte Schulerfahrung noch nicht verfügen, werden es daher begrüßen, wenn in dem vorliegenden Buch den eigentlichen Versuchsbeschreibungen ein Überblick über die in Frage kommenden Geräte und über einige für den Unterricht besonders wichtige Verfahrensweisen vorangestellt wird.

1. Die wichtigste Frage für jeden Lehrer, der Versuche zur Elektrizitätslehre durchführen will, ist die, welche *Spannungsquellen* ihm zur Verfügung stehen. Es gibt wohl heute kaum noch eine Schule, die nicht an das Wechselstrom- bzw. Drehstromnetz angeschlossen ist, so daß einer im Klassenraum angebrachten Steckdose ohne weiteres die Wechselspannung von 220 V entnommen werden kann. Nur ist mit dieser Spannung beim Experimentieren wenig anzufangen, da die meisten Schulversuche mit einer Spannung von 2 V, 4 V bis höchstens 20 V durchgeführt werden. Es sind somit Geräte erforderlich, die die Netzspannung auf diese Spannungswerte herabsetzen.

Als sehr brauchbar haben sich die von der Lehrmittelindustrie entwickelten Stromversorgungsgeräte bewährt. Durch ihre handliche Form und die Möglichkeit des unmittelbaren Anschlusses an jede gewöhnliche Wechselstromsteckdose sind sie ideale Stromversorgungsanlagen und können weitgehend Schalttafeln ersetzen.

Jeder Physiklehrer wird aber auf Grund seiner unterrichtlichen Erfahrungen bald zu der Überzeugung kommen, daß es Fälle gibt, in denen die Stromversorgungsgeräte unbeschadet ihrer Vorzüge aus methodischen Gründen eine echte Gleichspannungsquelle nicht zu ersetzen vermögen. Er wird dann zweckmäßigerweise nach einer *Akkumulatorenbatterie* greifen. § 2 geht auf die verschiedenen Spannungsquellen und ihre technischen Besonderheiten noch ausführlich ein.

2. Der Auswahl der Spannungsquelle folgt sogleich ihre Verwendung in einem *Stromkreis*. Das Zusammenschalten eines Stromkreises mag einfach erscheinen, will aber doch gelernt sein und ist mit der erforderlichen Sorgfalt auszuführen. Es sind dabei verschiedene technische und methodische Gesichtspunkte zu beachten, die in § 3 ausführ-

lich zur Sprache kommen. Mit jedem Stromkreis ist der Begriff des *elektrischen Widerstandes* aufs engste verknüpft. Man hat bei diesem Wort bekanntlich zwischen zwei verschiedenen Bedeutungen zu unterscheiden. Zunächst hat das Wort Widerstand die Bedeutung einer rein elektrischen Größe und kennzeichnet die jedem Leiter, aber auch die jedem Nichtleiter zukommende Eigenschaft, einen hindurchfließenden Strom in seiner Stärke zu begrenzen. Der Wert des Leiterwiderstands kann zahlenmäßig angegeben werden und wird in Ohm (Ω) gemessen. Er ist mit der Stromstärke und mit der angelegten Spannung durch das *Ohmsche Gesetz* verbunden.

Mit demselben Wort Widerstand bezeichnet man aber auch eine Vorrichtung, deren Widerstandswirkung vorwiegend zur Strombegrenzung in einem Stromkreis verwendet wird. Durch einen Gleitkontakt, der sich mit Hilfe eines Schiebers oder durch eine Kurbel betätigen läßt, kann der Widerstandswert dieser Vorrichtung verändert werden. Man kann solche Widerstandsgeräte zum Regeln der Stromstärke verwenden und nennt sie dann *Regelwiderstände*, über die in § 4 Näheres nachzulesen ist. Für Schulzwecke kommen in erster Linie wegen ihres einfachen Aufbaus *Schiebewiderstände* in Frage. Sind die Widerstandswerte der Geräte genau auf bestimmte Werte abgeglichen, so können die Geräte zum Vergleichen und Messen der Widerstandswerte anderer Verbraucher verwendet werden. Man bezeichnet die eigens für diesen Zweck geschaffenen Widerstandsgeräte als *Meßwiderstände* oder auch als *Rheostaten*. Die Meßwiderstände werden fast durchweg als *Kurbelwiderstände* oder als *Stöpselwiderstände* ausgeführt. Auf eine für Schulzwecke besonders vorteilhafte Anordnung der Widerstandsspulen in einer Ebene übereinander ist in § 4, 4 besonders hingewiesen. Beim Benutzen von Widerstandsgeräten ist stets die zulässige Belastung durch den Strom zu beachten. Eine Überlastung könnte insbesondere bei Meßwiderständen zu einer Zerstörung der Spulen oder zumindest zu einer Veränderung der Widerstandswerte führen und so das ganze Gerät entwerten. Auf keinen Fall dürfen Meßwiderstände als Regelwiderstände verwendet werden.

3. Eine ganz besondere Bedeutung kommt im Unterricht den *Meßgeräten* für Stromstärke und Spannung zu. In jede Schulsammlung gehören mindestens ein *Amperemeter* und ein *Voltmeter*. Über die verschiedenen Typen der Meßgeräte berichtet § 5 des näheren. Hier sei nur darauf hingewiesen, daß die Dreheisengeräte von vielen Lehrern bevorzugt werden, da sie in Gleichstrom- wie in Wechselstromkreisen verwendbar sind. Doch haben sie den Drehspulgeräten gegenüber den Nachteil, eine *nichtlineare Skale* zu besitzen. Ihre Ablesegenauigkeit ist deshalb in den Anfangswerten des Meßbereiches sehr gering. Erst von einem bestimmten Ausschlage an können genaue Messungen durchgeführt werden. Aus diesem Grunde sind sie für den Anfangsunterricht in der Elektrizitätslehre nur bedingt zu empfehlen. In den oberen Klassen sind Drehspulgeräte neben den Dreheisengeräten nicht zu entbehren.

4. In zunehmendem Maße wird heute der *Elektromotor* als Antriebsmittel für rotierende Teile der Versuchsanordnungen verwendet. Aus diesem Grunde erschien es angebracht, das Wesentlichste hierüber in das Buch aufzunehmen (siehe § 6). Besonders nachdrücklich aber sei auf § 7 hingewiesen, der das Wichtigste über die einschlägigen *Vorschriften* für das Arbeiten mit elektrischen Geräten bringt. Jeder Physiklehrer sollte sich sehr eingehend mit diesen Vorschriften vertraut machen. Zum Schluß des ersten Kapitels werden in § 8 noch einige Hinweise für die *Aufbewahrung* und die *Pflege elek-*

trischer Geräte und Hilfsmittel gegeben. Auch einige oft gebrauchte handwerkliche *Fertigkeiten* werden in diesem Paragraphen beschrieben. Doch wird jedem Lehrer, der sich diese Fertigkeiten aneignen will, geraten, gelegentlich einmal einem Handwerker bei der Arbeit zuzuschauen und so sein Wissen zu vervollständigen.

§ 2. SPANNUNGSQUELLEN

1. Spannungsstufen. In der Technik unterscheidet man folgende Spannungsstufen:

Kleinspannung von 0 V bis 42 V gegen Erde,
Niederspannung über 42 V bis 250 V gegen Erde,
Hochspannung über 250 V gegen Erde.

In der Schule hat man es vorwiegend mit **Kleinspannungen** zu tun. Das Interesse der Lehrer gilt daher vor allem den Spannungsquellen für Kleinspannung.

2. Akkumulatoren. *Akkumulatoren* sind *Gleichspannungsquellen*. Man verwendet sie bei physikalischen Versuchen insbesondere dann, wenn konstante Spannungen bei unterschiedlicher Belastung erforderlich sind. Die maximale Entladungsstromstärke ist in den Betriebsanleitungen der einzelnen Akkumulatortypen angegeben. Man kann einen Akkumulator jedoch sehr kurzfristig sogar bis zum Kurzschlußstrom überlasten, ohne daß Schäden verursacht werden. Doch sollte man trotzdem nicht versäumen, wenigstens einen geringen Widerstand an den Akkumulator anzuschließen. Man kann sich einen solchen Widerstand behelfsmäßig aus den Kohlestäben einer Taschenlampenbatterie herstellen. Sein Wert liegt in der Größenordnung von etwa $0,5 \Omega$.

Die wichtigsten Akkumulatorenarten sind die *Bleiakkumulatoren* sowie die *Nickel-Stahl-* und die *Nickel-Cadmium-Akkumulatoren*. Über den Betrieb und die Wartung dieser Akkumulatoren soll hier das Wichtigste angegeben werden.

a) Bleiakkumulatoren. Das *Laden der Bleiakkumulatoren* erfolgt durch eine Gleichspannungsquelle. Man kann dazu neben besonderen Ladegleichrichtern auch ein Stromversorgungsgerät benutzen. Vor Beginn des Ladens überzeugt man sich von einer ausreichenden Füllung des Akkumulators mit verdünnter Schwefelsäure und *prüft die Säuredichte mittels eines Aräometers*. Die Säure soll etwa 1 cm über die Platten hinausreichen und im entladenen Zustand eine Dichte von $1,16 \text{ g/cm}^3$ bis $1,18 \text{ g/cm}^3$ haben. Meist muß zur Korrektur des Flüssigkeitsstandes etwas destilliertes Wasser nachgefüllt werden.

Während des Ladens müssen die Zellenverschlüsse wegen der Gasentwicklung geöffnet sein.

Der *Pluspol des Akkumulators* wird an den *Pluspol der Spannungsquelle* angeschlossen. Entsprechend werden die beiden *Minuspole* miteinander verbunden.

Die zum Laden benutzte Spannungsquelle soll nach Möglichkeit mit einem Spannungsregler ausgestattet sein. Ist dies nicht der Fall, so muß man einen besonderen Spannungsteiler parallel zu ihr schalten.

Außerdem muß im Ladestromkreis ein Amperemeter liegen. Die Ladestromstärke

darf den in der Betriebsanleitung des Akkumulators angegebenen Wert nicht überschreiten. Gleich zu Beginn des Ladevorganges steigt die Spannung des Akkumulators durch Polarisierung auf etwa 2,1 V an, so daß ein Nachregeln der dadurch absinkenden Ladestromstärke zweckmäßig ist. Während des mehrstündigen Ladevorganges steigt die Spannung des Akkumulators nur langsam auf etwa 2,2 V je Zelle an. Ein Beobachten der Ladestromstärke ist während dieser Zeit nicht nötig.

Gegen Ende des Ladevorganges erfolgt ein schneller Spannungsanstieg auf etwa 2,7 V je Zelle. Dadurch sinkt die Ladestromstärke ab. Es setzt jetzt eine starke Gasentwicklung ein. Der Akkumulator „kocht“. Damit ist das Laden beendet. *Wegen der Knallgasentwicklung ist das Rauchen und das Vorhandensein einer offenen Flamme in Räumen, in denen Akkumulatoren geladen werden, verboten.*

Am Schluß des Ladens wird die Säuredichte überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Sie soll je nach Akkumulatortyp 1,20 g/cm³ bis 1,24 g/cm³ betragen.

Beim Entladen sinkt die Spannung rasch auf den Wert von etwa 1,95 V je Zelle und nimmt dann langsam weiter ab. Beträgt sie nur noch 1,8 V, so soll keine weitere Stromentnahme erfolgen, damit Plattenschäden vermieden werden.

Bei der *Pflege der Akkumulatoren* sind folgende Grundsätze zu beachten:

1. Durch Überlastung und auch bei längerem Betrieb lösen sich aus den Platten kleine Bleiteilchen, die sich am Boden als Schlamm absetzen. Dadurch kommt es zu einer Selbstentladung. Dieser Schlamm muß bei Erneuern der Elektrolytlösung beseitigt werden. Vor dem Neufüllen wird der Akku mit destilliertem Wasser ausgespült.
2. Als Elektrolytlösung darf nur eine Mischung von destilliertem Wasser und reiner Schwefelsäure, die speziell als Akkumulatorensäure geliefert wird, verwendet werden. Unreine Säure und Leitungswasser würden zu Salzbildungen auf den Platten führen.
3. Steht ein Akkumulator längere Zeit unbenutzt, so bildet sich auf den Platten kristallines Bleisulfat. Diese sogenannte Sulfatierung tritt besonders bei ungeladenen Akkumulatoren ein. Sie führt zu einem Absinken der Kapazität. Jeder unbenutzte Akkumulator ist deshalb etwa alle vier Wochen aufzuladen, nachdem er vorher entladen worden ist. Dieses Aufladen soll nicht zu frühzeitig abgebrochen werden, sondern immer bis zum „Kochen“ andauern. Die Sulfatierung ist an einem weißen Niederschlag auf den Platten zu erkennen. Sie kann durch vorsichtiges Abkratzen oder durch mehrmaliges Entladen und Aufladen mit den Höchststromstärken beseitigt werden, wobei allerdings eine Schädigung des Akkumulators meist nicht zu vermeiden ist.
4. Die Anschlußklemmen sollen zum Schutz gegen das Anfressen durch Säure leicht eingefettet werden. Beim Anschließen von Kabeln sind die Verbindungsstellen zu entfetten.

b) Alkalische Akkumulatoren. Bei den *Nickel-Stahl-Sammlern* bestehen die Elektroden aus vernickelten Stahlrahmen, in die zur Aufnahme der aktiven Masse Röhren aus durchlöcherter Stahlblech eingesetzt sind. Die aktive Masse besteht bei den positiven Platten aus Nickelsalzen, bei den negativen Platten aus Eisen- oder Cadmiumsalzen. Als Elektrolytlösung wird eine 20%ige Kalilauge verwendet.

Infolge ihrer Bauart sind diese Akkumulatoren widerstandsfähiger als Bleiakkumulatoren, sowohl gegen mechanische als auch gegen elektrische Beanspruchung. Die höchste Ladespannung liegt bei etwa 1,8 V, die mittlere Entladespannung bei 1,2 V je Zelle. Das Entladen soll bei einer Zellenspannung von 1 V abgebrochen werden.

Für die *Wartung und Pflege* gelten sinngemäß ähnliche Vorschriften wie für den Bleiakкумуляtor. Im einzelnen sind die Betriebswerte den beigegebenen Anleitungen zu entnehmen.

Insbesondere ist die Zusammensetzung der Elektrolytlösung genau zu beachten. Die Dichte der Lösung ändert sich zwischen dem Laden und dem Entladen nur unwesentlich; sie kann demnach nicht als sicheres Maß für den Ladungszustand benutzt werden. Im übrigen ist bei den Nickel-Eisen-Sammlern nicht dieselbe sorgsame Pflege wie bei Bleisammlern erforderlich. Sie können insbesondere längere Zeit ungeladen stehenbleiben, ohne Schaden zu nehmen.

3. Galvanische Elemente. *Galvanische Elemente* werden heute kaum noch als Spannungsquellen im Unterricht verwendet. Sie werden im allgemeinen nur als *Unterrichtsgegenstand* behandelt, damit die Schüler die Wirkungsweise der Trockenelemente kennenlernen.

Es ist jedoch durchaus gut möglich, im Werkunterricht oder in Arbeitsgemeinschaften *Zink-Kohle-Elemente* herstellen zu lassen und diese dann in Schülerübungen als Spannungsquellen zu verwenden. Hier kann man jedoch auch sehr gut industriell gefertigte Trockenelemente, beispielsweise Taschenlampenbatterien, einsetzen.

Die Spannung eines Zink-Kohle-Elements liegt bei etwa 1,5 V. Der innere Widerstand steigt bei Belastung durch Polarisation erheblich an, so daß ein starker Spannungsabfall eintritt. Eine lang andauernde starke Stromentnahme ist bei Trockenelementen auf jeden Fall zu vermeiden.

Das *Zink-Kupfer-Element* kann als behelfsmäßiges Spannungsnormal verwendet werden und wird bei Bedarf frisch zusammengestellt. Seine Spannung beträgt annähernd 1,0 V. Bei Belastung tritt ebenfalls ein Spannungsabfall ein.

Für bestimmte Versuche ist es wünschenswert, daß ein *Weston-Normal-Element* vorhanden ist. Beim Benutzen des Normalelementes ist darauf zu achten, daß es niemals belastet wird. Das Normalelement darf nur, durch ein anderes Element kompensiert, zum Messen von Spannungen verwendet werden.

4. Elektrische Batterien. Eine elektrische Batterie ist die *Vereinigung mehrerer Akkumulatorzellen* oder *mehrerer galvanischer Elemente*. Die einzelnen Zellen oder Elemente sind dabei gewöhnlich in Reihe geschaltet, so daß sich ihre Spannungen addieren. Damit man der Batterie auch geringere Spannungen entnehmen kann, empfiehlt es sich, je zwei miteinander verbundene Pole benachbarter Zellen mit *einer* Steckbuchse zu verbinden. Die Batterie darf nicht mit einer höheren Stromstärke belastet werden, als für die Einzelzelle zulässig ist.

Will man stärkere Ströme aus Batterien entnehmen, so müssen zwei oder mehr Batterien parallelgeschaltet werden. Sie sollen möglichst gleichartig sein und den gleichen Ladungszustand haben, da sonst Ausgleichströme zu Energieverlusten führen. Die Spannung parallelgeschalteter Batterien ist gleich der Spannung der Einzelbatterie.

5. Stromversorgungsgeräte. Im Physikunterricht haben sich für die Durchführung der meisten Versuche *Stromversorgungsgeräte* bewährt. Sie werden in verschiedenen Ausführungsformen geliefert.

Der Spannungsabfall der Stromversorgungsgeräte bei wechselnder Belastung hält sich in erträglichen Grenzen. Jedoch muß man das Stromversorgungsgerät mit einem

Spannungsteiler zusammen verwenden, wenn man Versuchsreihen mit verschiedenen Stromstärken bei konstanter Spannung durchführen will, damit ein Nachregeln der Spannung möglich ist.

Der methodische Vorzug der Stromversorgungsgeräte gegenüber fest eingebauten Schalttafeln liegt darin, daß man die Spannungsquelle jeweils in die Versuchsanordnung mit einbeziehen kann. Wenn das Stromversorgungsgerät auch eine sekundäre Spannungsquelle ist, so bildet es doch sichtbar auf dem Experimentiertisch mit den anderen Schaltelementen bei jedem Versuch einen geschlossenen Stromkreis.

Schulen, die nicht im Besitz eines Stromversorgungsgerätes sind, können sich ohne Schwierigkeiten für eine große Anzahl von Versuchen einen Klingeltransformator, gegebenenfalls zusammen mit einem Trockengleichrichter, als Spannungsquelle beschaffen. Allerdings liegt die Höchstbelastung dieser Zusammenstellung bei 0,5 bis 1,0 A.

Zu erwähnen ist, daß alle Geräte, die den Gleichstrom mit Hilfe eines Gleichrichters gewinnen, nur pulsierenden Gleichstrom liefern. Er genügt für die meisten Versuche. In den Fällen, wo es auf einen absolut glatten Gleichstrom ankommt, sind Akkumulatoren nicht zu entbehren.

6. Schalttafeln. Viele Schulen sind mit fest eingebauten *Schalttafeln* ausgerüstet. Bei diesen ist im allgemeinen eine stufenlose Regelung von Wechsel- und Gleichspannungen möglich. So groß der praktische Wert solcher Schalttafeln auch ist, so zweifelhaft ist ihr methodischer Wert; denn einmal ist die Übersicht über den geschlossenen Stromkreis der Versuchsanordnung beeinträchtigt, und zum anderen wird die Aufmerksamkeit der Schüler durch die Schalttafel von der Versuchsanordnung abgelenkt. Man neigt daher heute im allgemeinen immer mehr dazu, die Verwendung von Schalttafeln auf einige ganz besonders gelagerte Versuche zu beschränken, im übrigen aber Akkumulatoren oder Stromversorgungsgeräte als Spannungsquelle auf dem Experimentiertisch zu verwenden.

Unberührt von diesen Erwägungen bleibt natürlich die Notwendigkeit zur Beschaffung einer Schalttafel dort, wo man Schülerübungen durchführen will. Eine *Verteilerschalttafel*, die es ermöglicht, sämtliche Übungsplätze mit der zum Durchführen von Schülerversuchen erforderlichen Kleinspannung zu versehen, ist dann unerlässlich. Es sei denn, daß man sich entschließt, jeden Übungsplatz mit einem Netzanschluß auszustatten und für jede Übungsgruppe ein Stromversorgungsgerät zu beschaffen.

Den erwähnten Nachteilen kann man bis zu einem gewissen Grade begegnen. Es ist dazu nur notwendig, daß man an Stelle der Spannungsquelle zwei Holtzsche Fußklemmen auf den Tisch stellt, die an die Schalttafel angeschlossen werden. Außerdem werden zur Kennzeichnung der Stromart und der Polverteilung zweckmäßigerweise die in Abb. 30/1 wiedergegebenen Pappschildchen zwischen bzw. neben die Fußklemmen gestellt. Es ist selbstverständlich, daß man die Meßgeräte der Schalttafel nicht zu Messungen innerhalb des Versuches verwenden kann. Diesem Zweck dienen allein *Demonstrationsmeßgeräte*, die zur Versuchsanordnung gehören und auf dem Tisch stehen. Die Schalttafelmeßgeräte ermöglichen lediglich dem Lehrer eine Orientierung über die vorhandenen Spannungen und Stromstärken.

7. Spannungsteiler. In Schalttafeln sind oft zum Zwecke des Einstellens einer gewünschten Spannung, die niedriger ist als die vorhandene Ausgangsspannung, mit einem *Span-*

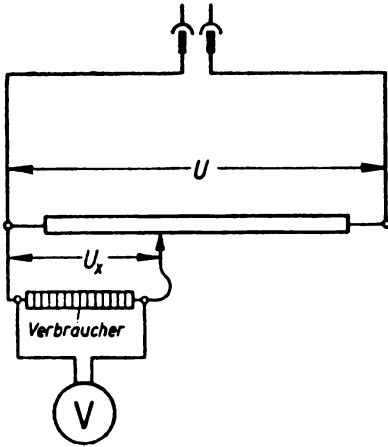


Abb. 9/1. Spannungsregelung durch einen einfachen Spannungsteiler

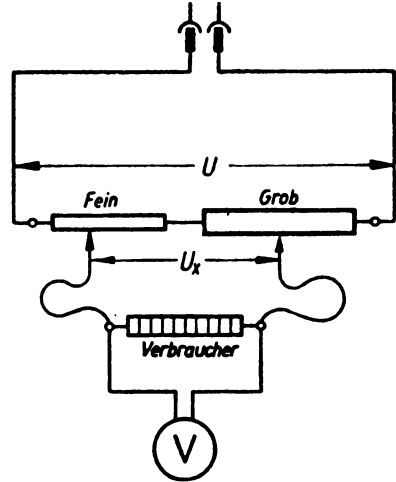


Abb. 9/2. Spannungsteilerschaltung mit Möglichkeit zum Grob- und Feinregeln

nungsteiler ausgestattet. Dieser besteht in der Regel aus einem Kurbel- oder einem Schiebewiderstand, von dem die in Frage kommende Spannung abgegriffen wird. Aber auch unabhängig von der Schalttafel läßt sich der Spannungsteiler mit Erfolg zum Entnehmen einer bestimmten Teilspannung aus einer vorhandenen Spannungsquelle verwenden. Da die Spannungsteilerschaltung gleichzeitig ein wichtiger Unterrichtsgegenstand ist, wird sie in V 71 noch ausführlich behandelt. Hier können sich die Ausführungen auf die Wiedergabe dreier Schaltzeichnungen beschränken, aus denen man alles Erforderliche entnehmen kann. Vergleiche dazu die Abb. 9/1, 9/2 und 9/3.

8. Transformatoren. Beim Arbeiten mit Wechselspannungen kann man mit *Transformatoren* niedrigere oder höhere Spannungen erzeugen. Am günstigsten erweist sich für diesen Zweck ein Stufentransformator, der es ermöglicht, Spannungen bis zu 20 V in Stufen von je 2 V zu entnehmen. Für Schülerübungen kann man *Klingeltransformatoren* auf ein Grundbrett montieren und mit einem festen Anschlußkabel und einem Netzstecker versehen. Die Sekundärausgänge werden mit Steckbuchsen verbunden.

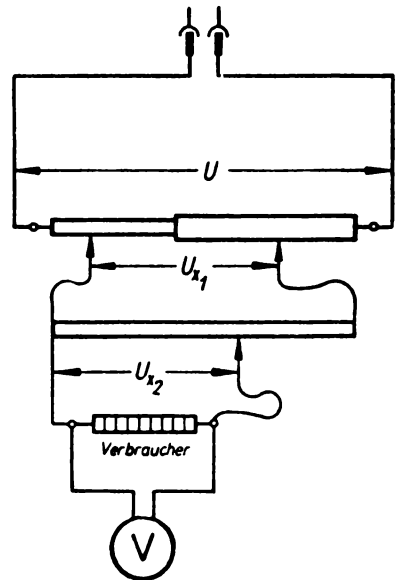


Abb. 9/3. Doppelte Spannungsteilerschaltung zum Abgreifen sehr geringer Spannungen

In ähnlicher Weise können *Netztransformatoren für Rundfunkgeräte* montiert werden. Auf diese Weise schafft man sich Wechselspannungsquellen für Schülerversuche und für den Werkunterricht. Diese Transformatoren liefern eine Spannung von 4 V, 6 V, 10 V. Sie können leicht durch *Trockengleichrichter* zu Gleichspannungsquellen ergänzt werden.

In vielen Fällen kann im Unterricht auch ein *Demonstrationstransformator* verwendet werden, der aus Teilen eines Aufbaugerätesatzes zusammengesetzt wird. Als Primärspule können Spulen mit 750, 1500 und 15000 Windungen ohne Überlastung an die Netzspannung von 220 V angeschlossen werden. (Vorsicht beim Arbeiten!)

§ 3. SCHALTELEMENTE, ZUSAMMENSCHALTEN EINES STROMKREISES

1. Verbindungen. Bei Versuchen mit elektrischen Geräten sind *Verbindungen* erforderlich, die keine veränderlichen Übergangswiderstände besitzen. Zu diesem Zweck sind *Klemmschrauben* sehr geeignet, bei denen die Drähte fest eingeklemmt werden. Eine noch bessere Kontaktfläche erhält man durch Anlöten von *Kabelschuhen* an die Drahtenden. Für leicht lösbare Verbindungen benutzt man die bekannten *Bananenstecker*. Als sehr gut in der Kontaktgebung haben sich hierbei sogenannte *Messerstecker* erwiesen (Abb. 10/1).

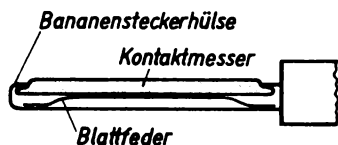


Abb. 10/1. Längsschnitt durch einen Messerstecker (schematisch)

Außerdem empfiehlt es sich, *Krokodilklemmen* bereitzuhalten, die man auf die Bananenstecker steckt. Man kann damit schnell lösbare und verschiebbare Verbindungen herstellen, was häufig das Anschließen an blanke Leiterteile sehr erleichtert.

Befinden sich im Stromkreis hochempfindliche Meßgeräte, so ist darauf zu achten, daß nicht Drähte verschiedenen Materials miteinander verbunden werden, die zu Thermoströmen Veranlassung geben.

Bei *Stöpselverbindungen*, wie sie bei Rheostaten benutzt werden, sorgt man durch leichtes Eindrehen für guten Kontakt. Günstig ist es, die Stöpsel zuweilen mit einem Lappen abzureiben, der mit einer Spur feinsten Öles getränkt ist.

Als sehr vielseitig verwendbar haben sich die mit einem schweren, stabilen Fuß und einem isolierenden Zwischenstück versehenen Klemmen erwiesen, die unter dem Namen *Holtzsche Klemmen* oder *Fußklemmen* bekannt sind. Insbesondere zum Herstellen von Stromverzweigungen sind sie sehr nützlich. Will man sie für die Aufnahme von Bananensteckern verwenden, ohne diese durch das Einklemmen zu beschädigen, so kann man die Fußklemmen durch eine Metalleiste ergänzen, die man mit geringer Mühe leicht selbst herrichten kann. Man versieht eine etwa 15 mm breite, 80 mm lange und 5 mm dicke Leiste aus Leichtmetall in der Mitte mit einem seitlichen Schlitz, der zum Festklemmen an der Fußklemme dient. Die Leiste ist rechts und links davon mit je zwei Bohrungen zur Aufnahme von Bananensteckerbuchsen zu versehen (Abb. 11/1).

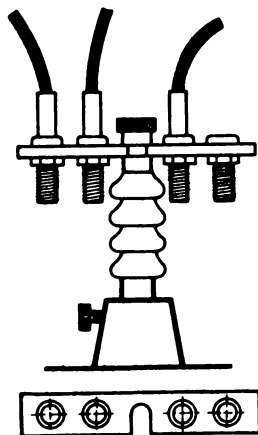


Abb. 11/1. Fußklemme mit Leiste zur Aufnahme von Bananensteckern.
Darunter ein Blick auf die Leiste von oben

2. Schalter. In jede Versuchsanordnung ist grundsätzlich ein *Schalter* zu legen, damit der Stromkreis unter Umständen sofort unterbrochen werden kann. Beim Verwenden von Netzspannung ist möglichst ein *doppelpoliger Schalter* zu benutzen, durch den der spannungführende Leiterteil unbedingt abgeschaltet wird. Zum vorübergehenden Einschalten einer Kleinspannung eignen sich *Hebelschalter*, *Klingelschalter* und *Morsetasten*. Die Selbstanfertigung einfacher Schalter kann in der Weise erfolgen, daß ein federnder Metallstreifen auf eine Isolierplatte geschraubt wird. Als Kontakt dient ein Nagel oder eine Schraube mit flachem, breitem Kopf (Abb. 11/2).

Zum Umkehren der Stromrichtung verwendet man einen *Hebelumschalter* (Abb. 11/3). Er besteht aus zwei einfachen Hebelschaltern, die durch ein Mittelstück aus Isoliermaterial verbunden sind, so daß sie zwangsweise gleichzeitig verstellbar sind. Einzelheiten der Schaltung sind aus Abb. 11/3 ersichtlich. Daneben ist der Walzenschalter zu erwähnen. Bei ihm wird die Stromumkehr durch Umlegen einer Walze bewirkt.



Abb. 11/2. Schalter aus einem federnden Metallstreifen

3. Kabelmaterial. Für Schulversuche werden an Stelle von Kupfer- oder Aluminiumdrähten sehr vorteilhaft leicht biegsame *Kupferlitzen* (\varnothing 2 bis 2,5 mm) mit Gummiisolierung oder farbiger Umspinnung verwendet. Sie sind als *Verbindungskabel* allgemein eingeführt und werden in Längen von 10 cm, 20 cm, 50 cm, 100 cm und 200 cm angefertigt; an den Enden werden sie zweckmäßig mit gut federnden Bananensteckern versehen. Dadurch, daß man diese Verbindungskabel in verschiedenen Farben, in Weiß, Rot, Blau, Gelb, bereithält, kann man die einzelnen Stromkreise sehr anschaulich unterscheiden.

4. Herstellen einer Schaltung. Vor dem Aufbau einer Versuchsanordnung ist, insbesondere bei komplizierter Stromführung, stets ein *Schaltbild* anzufertigen. Hierbei

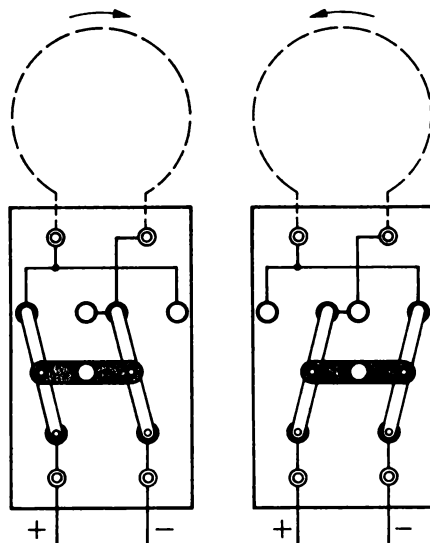


Abb. 11/3. Hebelumschalter

sind die *genormten Schaltzeichen* zu verwenden (siehe § 9). Man überprüft zunächst das Schaltbild auf Fehlerfreiheit. Danach wird die Schaltung von nur *einer Person* vorgenommen. Man geht von dem einen Pol der Spannungsquelle aus, schließt an diesen einen geöffneten Schalter und daran den Hauptstromkreis an. Zum Schluß führt man die Leitung zum anderen Pol der Spannungsquelle zurück. Sodann stellt man die vorgesehenen Verzweigungen her. Ist der Aufbau fertig, so wird er noch einmal an Hand der Zeichnung überprüft. Besonders ist auf den richtigen Anschluß der Meßgeräte zu achten. Bei Gleichstrom sind die mit + bezeichneten Klemmen stets mit dem Pluspol der Spannungsquelle zu verbinden.

Erst jetzt wird der Stromkreis durch den Schalter geschlossen. Man achtet beim Einschalten besonders darauf, daß die Meßgeräte richtig ausschlagen. Treten Stromschwankungen auf, so überprüft man die Anlage auf Wackelkontakte.

§ 4. REGEL- UND MESSWIDERSTÄNDE

1. Widerstandsmaterialien. Die wichtigsten Widerstandsmaterialien sind *Manganin*, *Konstantan* und *Chromnickel*. Der Vorzug von Manganinwiderständen gegenüber den Konstantanwiderständen besteht in der sehr geringen Thermokraft, wodurch bei den Messungen sehr geringer Spannungen und schwacher Ströme Fehler vermieden werden. Chromnickelwiderstände eignen sich wegen ihrer hohen Verschleißfestigkeit gut für Schiebewiderstände und finden außerdem als Heizwiderstände weitgehend Verwendung.

Hohe Widerstände erhält man durch einen *Graphitstrich auf einem Isolator*, oder man benutzt *Silitwiderstände*, deren fallende Charakteristik zu beachten ist. Als *Hochohmwiderstände* haben sich *Widerstände aus Porzellan mit Kohlenstoffüberzug* bewährt, die unter dem Namen *Kohle-Schichtwiderstände* bekannt sind und in Werten bis zu 10^5 M Ω hergestellt werden.

2. Technische Widerstände. Die bekannten, durch Gleit- oder Kurbelkontakte verstellbaren Widerstände sind meist mit drei Anschlüssen versehen (Abb. 12/1). Der Widerstand wirkt beim Anschluß an die Klemmen 1 und 2 als *fester Widerstand*, beim Anschluß an die Klemmen 1 und 3 bzw. 2 und 3 als *veränderlicher Widerstand*. Führt man bei 1 und 2 den Strom zu und nimmt ihn bei 1 und 3 ab, so liegt eine *Spannungsteilerschaltung* vor. Es ist darauf zu achten, daß beim Gebrauch der außerhalb der Verzweigung liegende Teil des Widerstandes nicht überlastet wird.

Die zum Einstellen verschiedener Meßbereiche an Meßgeräten bestimmten *Vorschalt- oder Nebenschlußwiderstände* dürfen *nicht* als *Belastungswiderstände* benutzt werden. Schon eine geringfügige Überbelastung kann diese Widerstände für das Meßgerät unbrauchbar machen.

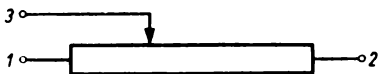


Abb. 12/1. Schiebewiderstand, verwendbar als Festwiderstand, Regelwiderstand und Spannungsteiler

3. Meßwiderstände. *Meßwiderstände* werden als Einzelwiderstände oder als Widerstandssätze, Rheostaten, geliefert. Diese Widerstände dürfen höchstens mit 0,5 W dauernd belastet werden. Bei Widerstandssätzen sind die Widerstände meist in Reihe hintereinandergeschaltet und durch Stöpsel miteinander verbunden. Die einzelnen Widerstände werden durch Ziehen der Stöpsel eingeschaltet. Bei *Dekadenwiderständen* werden mittels einer Kurbel zehn Widerstände in Reihe geschaltet (Abb. 13/1). Für gute Kontaktgabe ist zu sorgen (s. § 3,1). Als sehr zweckmäßig haben sich wegen ihrer Übersichtlichkeit für die Schule Dekadenwiderstände erwiesen, bei denen die einzelnen Widerstandsspulen vertikal übereinander auf einem senkrechtstehenden Brett angeordnet sind. Sie enden in elf übereinanderliegenden Kontaktknöpfen. Durch einen Gleiter, der an einer ebenfalls vertikalen Gleitschiene verschiebbar befestigt ist, können sie der Reihe nach eingeschaltet werden (Abb. 13/2). Selbstverständlich können auch mehrere Dekaden verschiedener Größenordnung nebeneinander auf demselben Brett angebracht werden. Bei Dekadenwiderständen sind folgende Belastungsgrenzen zu beachten:

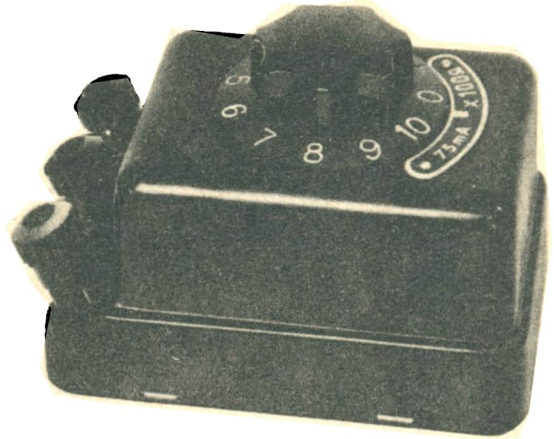


Abb. 13/1. Dekadenwiderstand

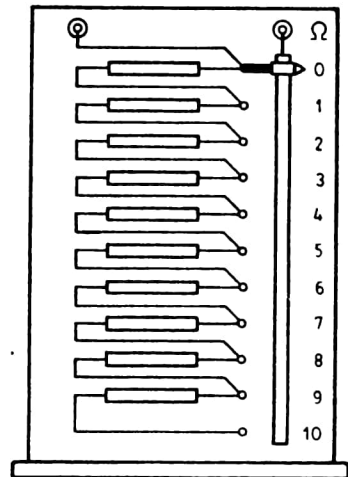


Abb. 13/2.

Dekadenwiderstand in vertikaler Anordnung mit Gleitkontakt (schematisch)

Dekadenwiderstand (Ω) . . .	$10 \cdot 0,1$	$10 \cdot 1$	$10 \cdot 10$	$10 \cdot 100$	$10 \cdot 1000$	$10 \cdot 10000$
Dauerbelastung (mA)	2000	750	250	75	25	7,5

§ 5. MESSGERÄTE FÜR STROMSTÄRKE UND SPANNUNG

1. Arten und Eigenschaften stromführender Meßgeräte. Bei den stromführenden Meßgeräten sind *Drehspul-, Dreheisen- und Hitzdrahtgeräte* zu unterscheiden.

Drehspulgeräte sind ausschließlich für Gleichstromkreise verwendbar. In Verbindung mit einem Thermogleichrichter können sie jedoch auch in Wechselstromkreisen benutzt werden. Infolge der hohen magnetischen Feldstärke sind Störungen durch äußere magnetische Felder im allgemeinen bedeutungslos.

Dreheisengeräte sind für Gleich- und Wechselstrommessungen verwendbar. Die Frequenz hat bis etwa 100 Hz keinen nennenswerten Einfluß auf die Anzeige. Magnetische Fremdfelder können störend wirken, namentlich bei Geräten in Preßstoffgehäusen. Eisengehäuse schirmen gegen diese Störungen ab.

Hitzdrahtgeräte sind von der Frequenz unabhängig und für beide Stromarten verwendbar. Sie werden aber für technische Zwecke kaum noch hergestellt, da sie für Überlastungen außerordentlich empfindlich sind. An ihre Stelle treten in zunehmendem Maße Drehspulgeräte mit eingebautem Thermogleichrichter.

Bezüglich der *Meßgenauigkeit* teilt man die Meßgeräte in fünf Klassen ein, die man durch die Zahlen 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 kennzeichnet. Diese Zahlen geben den für die betreffende Klasse zulässigen Anzeigefehler in Prozenten des Skalenhöchstwertes an. Feinmeßgeräte gehören der Klasse 0,2 oder 0,5 an, während Schalttafelgeräte in die Klasse 1,5 oder 2,5 einzugliedern sind. Vielseitig verwendbar sind die *Vielfachmeßgeräte*, die durch einfaches Umschalten den Übergang auf verschiedene Meßbereiche zulassen. Meist sind sie für Strom- und Spannungsmessungen und auch für den Gebrauch in Gleich- und Wechselstromkreisen eingerichtet. Sie kommen in erster Linie für Kontrollmessungen durch den Lehrer und für Schülerübungen in Frage. Für den Klassenunterricht sind sie weniger geeignet.

Als *Demonstrationsmeßgeräte* sind die Meßgeräte in Kastenform empfehlenswert. Infolge ihrer hohen Empfindlichkeit sind sie auch als *Galvanometer* brauchbar. Bevorzugt werden Meßgeräte mit Zeigernullstellung in der Mittellage bzw. die neuerdings erhältlichen Meßgeräte, bei denen der Zeiger nach Wahl seitlich oder in der Mitte eingestellt werden kann.

Die *Änderung der Meßbereiche* erfolgt durch *Vorschalt-* bzw. *Nebenschlußwiderstände*, von denen die zuletzt genannten als *Shunt* bekannt sind. Sie werden zu den Geräten passend abgeglichen geliefert.

2. Spiegelgalvanometer. *Spiegelgalvanometer* sind hochempfindliche Drehspulgeräte, bei denen die Drehspule an einem dünnen Metallband zwischen den Magnetpolen drehbar aufgehängt ist. Als Zeiger dient ein Lichtbündel, das von einem mit der Drehspule fest verbundenen Spiegel reflektiert wird. Ein beleuchteter Spalt oder der Glühfaden einer Einfadenlampe wird mittels einer Linse auf einer Skale abgebildet, so daß die Ausschläge von allen Schülern gleichzeitig beobachtet werden können.

Für den Gebrauch eines Spiegelgalvanometers sind maßgebend die *Einstellzeit* des schwingenden Spiegels, die *Konstanz der Einstellung* und die *Empfindlichkeit*. Die Einstellzeit soll möglichst 7 s nicht überschreiten. Für eine hohe Stromempfindlichkeit darf

der innere Widerstand nicht zu klein sein. Die meisten Galvanometer haben einen Innenwiderstand von 50Ω . Die Einstelldauer hängt von dem äußeren Widerstand ab. Ist dieser zu groß, so schwingt das Galvanometer lange Zeit wenig gedämpft. Umgekehrt kriecht bei zu kleinem Außenwiderstand die Lichtmarke auf den Endwert zu. Die besten Bedingungen sind aperiodische Einstellung und annähernde Übereinstimmung des inneren und äußeren Widerstands. Gegebenenfalls wird bei zu hohem Außenwiderstand ein Shunt parallel an die Galvanometerklemmen gelegt.

Unter der *Stromempfindlichkeit* versteht man die Stromstärke, die bei einem Skalenabstand von 1 m einen Ausschlag von 1 mm hervorruft. Entsprechendes gilt für die *Spannungsempfindlichkeit*. Berechnet man die Spannungsempfindlichkeit aus der Stromempfindlichkeit, so ist als Widerstand nicht der Innenwiderstand, sondern der Gesamtwiderstand des Galvanometerkreises bei aperiodischer Einstellung einzusetzen.

Besonders sei auf die *ballistischen Galvanometer* hingewiesen. Es sind dies Galvanometer mit einer sehr großen Schwingungsdauer, die in der Regel 25 s bis 30 s beträgt. Mit ihnen mißt man Strom- und Spannungsstöße. Der Ausschlag ist proportional der durch die Drehspule fließenden Elektrizitätsmenge. Im Schulunterricht dienen ballistische Galvanometer insbesondere zum Messen der Ladungsmenge, die beim Entladen eines Kondensators zum Ausgleich kommt. Da sich der Vorgang der Entladung außerordentlich schnell abspielt, kann man für Entladungsversuche praktisch jedes hinreichend empfindliche Galvanometer als ballistisches Galvanometer verwenden. Die Skale eines ballistischen Galvanometers wird in *Amperesekunden* bzw. in *Voltsekunden* geteilt.

3. Sachgemäße Behandlung der Meßgeräte. Zur Vermeidung von Beschädigungen der Achsenenden und Lager dürfen Meßgeräte keinen Stoß- und Schlageinwirkungen ausgesetzt werden. Beim Gebrauch ist auf die richtige Lage zu achten. Sie ist auf der Typenplatte angegeben. Daraus ist zu entnehmen, ob das Gerät in senkrechter, waagerechter oder schräger Lage zu benutzen ist. Damit gegenseitige Beeinflussungen vermieden werden, soll der Abstand zweier Meßgeräte voneinander mindestens 10 cm betragen.

Ist ein Gerät mit mehreren Meßbereichen ausgestattet, so ist im Zweifelsfalle zunächst stets der höchste Bereich einzuschalten. Auch ist darauf zu achten, daß bei Vielfachmeßgeräten, die für den wahlweisen Gebrauch von Gleich- oder Wechselstrom eingerichtet sind, der Umschalter auf die richtige Stromart eingestellt ist. Beim Zuschalten von Vor- oder Nebenwiderständen ist für gute Verbindungen zu sorgen. Sind dem Meßgerät bestimmte Verbindungskabel beigegeben, so sind diese zu benutzen, da sie auf das Gerät abgestimmt sind.

Die *Nulleinstellung des Zeigers* ist bei Drehspulgalvanometern vor Beginn einer Messung stets zu kontrollieren und gegebenenfalls durch vorsichtiges Drehen des Torsionskopfes, an dem das Tragband der Spule hängt, zu berichtigen. Zum Erleichtern der Nulleinstellung ist es zweckmäßig, die Skale verschiebbar einzurichten.

Hochempfindliche Instrumente werden am besten fest und erschütterungsfrei aufgestellt. Dabei ist bei einem Drehspulgalvanometer darauf zu achten, daß die an ihm angebrachte Libelle richtig einspielt und daß die Spule nach dem Spannen des Bronzefadens, an dem sie hängt, frei zwischen den Polschuhen schwebt. Die Zuleitungsdrähte des Galvanometers dürfen nicht lose herunterhängen, sondern müssen fest verlegt sein

Abb. 16/1. Braunschies
Elektrometer

und zu einer Steckdose am Experimentiertisch führen, die mit einer spannungführenden Steckdose nicht verwechselt werden kann.

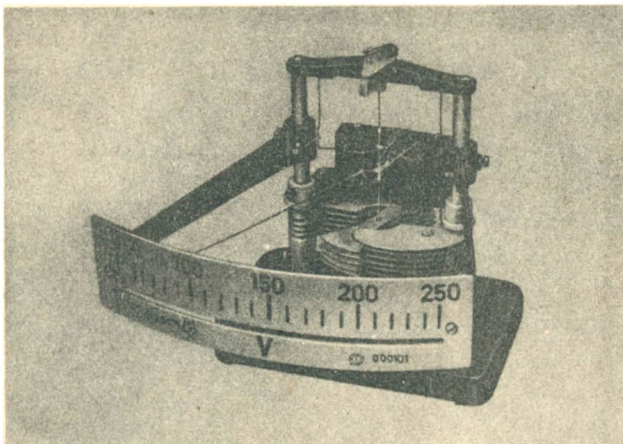
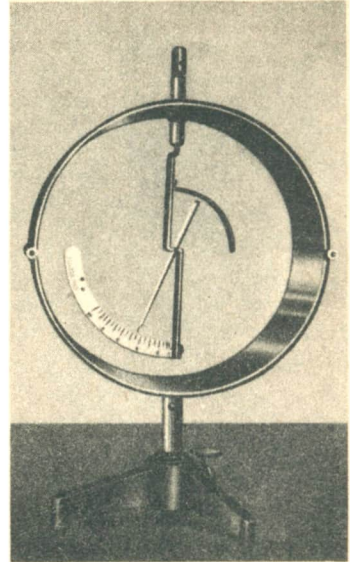
Beim Transport sind Galvanometer stets zu arretieren und durch einen zwischen die Klemmen gelegten Draht kurzzuschließen. Beim Gebrauch eines Galvanometers ist es angebracht, einen genügend hohen, regelbaren Sicherheitswiderstand vorzuschalten.

Die Empfindlichkeit mancher Instrumente kann durch einen magnetischen Nebenschluß geändert werden.

4. Elektrostatische Spannungsmesser. *Elektrostatische Spannungsmesser* sind Geräte, bei denen die zwischen elektrisch geladenen Körpern verschiedenen Potentials wirksame Kraft den Ausschlag des Zeigers bewirkt.

Die *Blättchen-Elektroskope* sind genügend bekannt, so daß sich eine Beschreibung erübrigt. Werden die Elektroskope mit einer Skale versehen, so heißen sie *Elektrometer*. Die Skale kann in Volt geteilt sein. Das bekannteste elektrostatische Voltmeter ist das *Braunsche Elektrometer* (Abb. 16/1). Ein elektrisch abgestoßener leichter Metallzeiger, der meist aus Aluminium besteht, schwingt vor einer Skale. Der Meßbereich erstreckt sich von etwa 0,1 bis 10 kV.

Ein modernes *elektrostatisches Voltmeter* zeigt die Abb. 16/2. Die Ablesevorrichtung ist mit dem Gerät fest verbunden. Das Gerät ist für Transport eingerichtet und kann überall aufgestellt werden.



Mit diesem Gerät ist es möglich, die meisten elektrostatischen Versuche mit Spannungen bis 220 V auszuführen. Es treten dann nicht die Isolationschwierigkeiten wie bei den hohen Spannungen der Influenzmaschine auf.

Abb. 16/2. Statisches Voltmeter
Meßbereich 0 bis 250 V.
Das gläserne Schutzgehäuse
ist fortgelassen

§ 6. ELEKTROMOTOREN ALS ANTRIEBSMITTEL

1. Experimentiermotor mit Vorgelege. Für den Physikunterricht werden *Experimentiermotoren* geliefert. Eine der möglichen Ausführungen ist in Abb. 17/1 dargestellt.

Dieser Motor ist so konstruiert, daß er an einem Stativ befestigt werden kann, wobei die Drehachse in jede beliebige Richtung einstellbar ist. Der Motor ist hochtourig; ein Heraufsetzen der Drehzahl ist nicht erforderlich. Er ist bei einer Betriebsspannung von 220 V mit Gleichstrom und mit Wechselstrom zu betreiben.

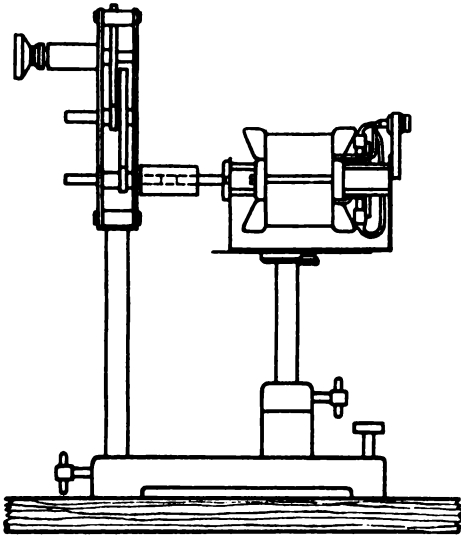


Abb. 17/1. Experimentiermotor mit Vorgelege

Mit Hilfe eines zugehörigen *Zahnradvorgeleges* kann man drei verschiedene Drehzahlstufen einstellen. Die Drehzahl läßt sich stufenlos regeln, indem man den Motor über einen als Spannungsteiler geschalteten Schiebewiderstand von 500 Ω bis 1000 Ω an das Netz anschließt (Abb. 17/2). Die Drehrichtung ist durch ein einfaches Umschalten der Anschlüsse am Klemmenbrett zu ändern, wie in Abb. 17/3 angegeben wird.

2. Technische Motoren. In vielen Fällen befinden sich in den Schulen *technische Elektromotoren*, die ebenfalls als Antriebsmittel bei physikalischen Versuchen verwendet werden können. Im allgemeinen können diese Motoren sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom betrieben werden. Wäh-

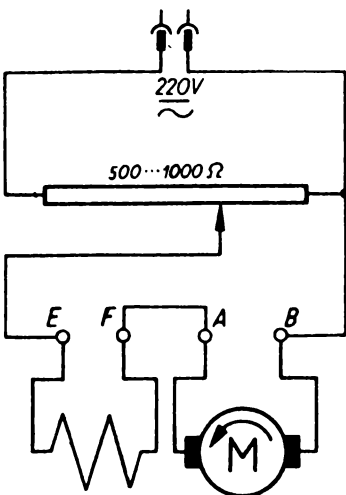


Abb. 17/2. Anschluß des Experimentiermotors an einen Spannungsteiler

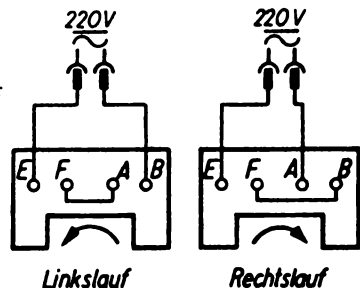


Abb. 17/3. Anschluß an das Klemmenbrett des Experimentiermotors

rend kleine Motoren in der Regel nur zwei Anschlußklemmen aufweisen, über die sie an die vorgeschriebene Betriebsspannung angeschlossen werden können, befindet sich an größeren Motoren ein Klemmbrett, auf dem an den einzelnen Klemmen die Enden der Wicklungen des Motors liegen. Diese Klemmen sind entsprechend der Standardisierung mit großen lateinischen Buchstaben bezeichnet. Die beigefügte Tabelle gibt eine Übersicht über die für den Schulgebrauch wichtigsten Anschlußklemmen.

Bezeichnung der Klemmen an Gleichstrommotoren

Stromführender Teil	Klemmenbezeichnung	
Anker	A - B	
Nebenschlußwicklung	C - D	
Reihenschlußwicklung	E - F	
Wendepole	G - H	
Feldwicklung	I - K	
Anlasser {	Netz	L
	Anker	R
	Nebenschlußwicklung	M
Positiver Leiter	P	
Negativer Leiter	N	

Vorsicht ist beim Betrieb von größeren *Hauptschlußmotoren* geboten. Läßt man einen Hauptschlußmotor ohne mechanische Belastung laufen, so kann seine Drehzahl in kurzer Zeit so stark anwachsen, daß der Motor beschädigt oder sogar gänzlich zerstört wird. Als Antriebsmittel für Versuche sind am zweckmäßigsten Motoren zu verwenden, die als *Verbund-* oder als *Nebenschlußmotoren* geschaltet sind, da diese bei einer Veränderung der mechanischen Belastung in weiten Grenzen eine nahezu konstante Drehzahl behalten.

Auch das *Motormodell*, das aus Aufbauteilen zusammengesetzt werden kann, läßt sich als Antriebsmotor verwenden. Man schaltet diesen Motor am besten als Nebenschlußmotor, indem man zwei Spulen mit 750 Windungen bzw. 1500 Windungen als Feldwicklungen hintereinanderlegt und den Trommelanker einsetzt (Abb. 18/1). Das Modell wird mit einer Gleich- oder Wechselspannung von 20 V betrieben. Näheres darüber siehe MB. S. 114/115, V 126 und V 127.

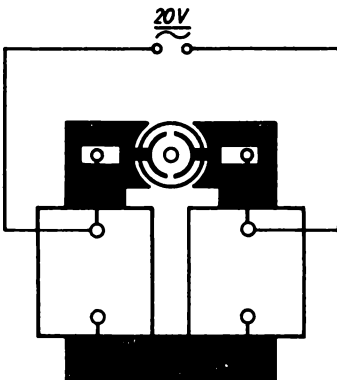


Abb. 18/1. Betriebsfähiges Motormodell.
Aus Aufbautellen als Nebenschlußmotor
zusammengesetzt

§ 7. WICHTIGE VORSCHRIFTEN FÜR DAS ARBEITEN MIT ELEKTRISCHEN GERÄTEN - UNFALLVERHÜTUNG

1. Auszug aus den gesetzlichen Bestimmungen. Das Berühren spannungsführender Teile ist bei Spannungen über 42 V stets mit Gefahren für den Menschen verbunden. Aus diesem Grund sind im *Vorschriftenwerk Deutscher Elektrotechniker (VDE)* Bestimmungen erlassen worden, deren Beachtung die elektrische Unfallgefahr auf ein Mindestmaß beschränkt.

Das Experimentieren mit Hilfe des elektrischen Stromes läßt das Einhalten dieser allgemeinen Bestimmungen nicht immer zu. Der Demonstrationsversuch zwingt oft dazu, aus Gründen der Erkenntnisbildung diese Bestimmungen zu überschreiten. Das Experiment nimmt deshalb im *Vorschriftenwerk Deutscher Elektrotechniker* eine besondere Stellung ein. Es heißt dort in den Bestimmungen über Prüffelder, Justierräume und Laboratorien u. a.:

Die für Betriebsversuche erforderlichen Einrichtungen brauchen den allgemeinen Bestimmungen nicht zu entsprechen, wenn die Versuche unter sachkundiger Aufsicht stehen.

Wenn in ständigen Prüffeldern, Justierräumen und Laboratorien an den behelfsmäßigen Leitungen, an den Apparaten usw. der Schutz gegen das zufällige Berühren spannungsführender Teile nicht angewendet wird, sollen die Gänge hinreichend breit und der Bedienungsraum genügend groß sein.

Diese Bestimmung erlaubt es auch, beim Durchführen von Versuchen an den Schulen von den allgemeinen Bestimmungen abzuweichen. Sie weist aber indirekt auf die Verantwortlichkeit des Aufsichtsführenden hin. Insbesondere ist zu beachten, daß im Experimentalunterricht bei Versuchen, die vom Schüler durchgeführt werden, der Versuch stets unter der Aufsicht des Lehrers erfolgen muß. Ganz besonders trifft dies bei den Schülerübungen zu.

2. Vorsichtsmaßnahmen beim Durchführen elektrischer Versuche. Die Auswirkungen von *Unfällen durch den elektrischen Strom* können verschiedener Art sein. Sie führen von einem leichten Muskelkrampf über Lähmungserscheinungen unter besonders ungünstigen Umständen bis zum Tod des Menschen. Die tödliche Wirkung des elektrischen Stromes ist in erster Linie vom *elektrischen Körperwiderstand* abhängig. Für die Größe des Widerstandes ist der *Übergangswiderstand* zwischen dem spannungsführenden Gegenstand und der menschlichen Haut maßgebend. Werden Teile des Körpers in gut leitende Verbindung mit einer Spannungsquelle gebracht, so können schon bei verhältnismäßig niedrigen Spannungen Lähmungserscheinungen auftreten. Von entscheidender Bedeutung dabei ist der Weg, den der Strom durch den menschlichen Körper nimmt. Besonders groß ist die Unfallgefahr, wenn durch den Körper ein Erdschluß hervorgerufen wird.

Aus betriebstechnischen Gründen ist *jeder Nulleiter eines Wechselstromnetzes geerdet*, während jeder Phasenleiter Spannung gegenüber der Erde besitzt. Das gleichzeitige Berühren eines Phasenleiters und der Erde löst die gleiche Wirkung aus, wie das Be-

rühren eines Phasenleiters und des Nulleiters. Da der Nulleiter geerdet ist, besteht zwischen ihm und Erde keine Spannung. Ein Berühren des Nulleiters allein ist demzufolge gefahrlos.

Besondere Aufmerksamkeit ist den *Phasenleitern* zu schenken. Da wir durch unseren Körper jederzeit Verbindung mit der Erde haben, ist beim Berühren eines Phasenleiters stets die Gefahr eines elektrischen Schlages gegeben. Es ist deshalb zweckmäßig, die Phasenleiter an sämtlichen Steckdosen der Physikräume zu markieren und die Phasenleiter überall an derselben Seite der Steckdosen anzuschließen. Auch das Verbindungskabel, das von dort ausgeht, ist stets in einer bestimmten Farbe, am besten in Rot, zu halten. Den Phasenleiter kann man leicht mit Hilfe einer Glimmlampe oder eines Phasenprüfers feststellen. Beim Berühren des Phasenleiters leuchtet die Glimmlampe auf.

Für das Experimentieren mit einer 42 V übersteigenden Spannung seien einige *Hinweise* gegeben, deren Beachtung eine Unfallgefahr weitgehend ausschließt.

1. Man nehme nie das Zusammenschalten einer Versuchsanordnung unter Spannung vor. Man lege die Spannung erst dann an, wenn die Versuchsanordnung überprüft wurde.
2. In jede Versuchsanordnung muß ein Schalter eingebaut sein. Das Unterbrechen des Stromkreises durch Herausziehen eines Steckers ist unbedingt zu vermeiden.
3. Die Stecker an den Verbindungskabeln dürfen keine seitlichen Befestigungsschrauben haben, sondern müssen vollständig von den Isolierhülsen umgeben sein.
4. Veränderungen des Versuchsaufbaues dürfen nie unter Spannung durchgeführt werden.
5. Spannungführende Teile dürfen sich nicht in Reichweite von Wasserleitungen, Gasleitungen, Dampfheizungen und Wasserausgüssen befinden, da hier bei unbedachtem Hantieren die Gefahr eines Erdschlusses über den menschlichen Körper besonders groß ist.
6. Spannungführende Teile sollen nicht am Rande des Experimentiertisches aufgebaut werden, da bei unachtsamem Vorübergehen ein Berühren dieser Teile erfolgen kann. Aus diesem Grunde soll auch zwischen dem Experimentiertisch und der vordersten Bankreihe ein Abstand von etwa 1,2 m bestehen.
7. Der Erdschluß kann vermieden werden, wenn zwischen dem Wechselstromnetz und dem Versuchsaufbau ein Transformator mit einem Übersetzungsverhältnis von 1 : 1 geschaltet wird. Dadurch erfolgt eine galvanische Trennung zwischen dem Netzstromkreis und dem Stromkreis der Versuchsanordnung. Hierzu läßt sich sehr gut ein aus einem Aufbaugerätesatz zusammengestellter Transformator verwenden.
8. Es ist angebracht, bei Versuchen mit Hochspannung eine aus Karton geschnittene Warntafel mit einem Blitz-Zeichen aufzustellen.
9. Versuche mit Spannungen über 42 V sind ausnahmslos vom Lehrer durchzuführen.
10. Von allen Versuchen, bei denen die Netzspannung an nichtisolierten Geräteteilen liegt, sind die Schüler fernzuhalten, solange die Versuchsanordnung unter Spannung steht.

3. Erste Hilfe bei elektrischen Unfällen. Trotz Beachtens der angeführten Vorsichtsmaßnahmen beim Durchführen elektrischer Versuche ist es möglich, daß durch unglückliche Umstände ein Unfall durch den elektrischen Strom entsteht. Hierbei ist vor

allein an solche Unfälle gedacht, die sich auf die Herzmuskulatur auswirken. Hierzu sagt das Merkblatt für die Erste Hilfe bei Unfällen durch elektrischen Strom aus:

Auch der infolge Unfalles durch elektrischen Strom *anscheinend Leblose* bedarf *schneller Hilfe*; grundsätzlich darf nie sein Tod angenommen werden. Die Hilfeleistung muß überlegt erfolgen, weil Selbstgefährdung durch den Strom besteht.

Die Erste Hilfe bei Unfällen durch elektrischen Strom soll möglichst nicht von einem Helfer allein, sondern zu zweit oder von mehreren Personen geleistet werden.

Wenn möglich, ist auch ein Elektriker hinzuzuziehen.

Die *sofortige* Benachrichtigung von

- a) DRK-Gesundheits Helfer, b) Arzt, c) Rettungsmannschaft mit Pulmotor (Feuerwehr, DRK, Grubenwehr) und d) Krankentransport mit geräumigem Wagen, der Wiederbelebungsmaßnahmen während des Transportes zuläßt,

ist zu veranlassen; die unverzügliche Versorgung des Verunglückten darf jedoch nicht aufgeschoben oder unterbrochen werden.

§ 8. HINWEISE FÜR DIE AUFBEWAHRUNG UND DIE PFLEGE ELEKTRISCHER GERÄTE HANDWERKLICHE HINWEISE

1. Aufbewahren von Kabeln, Drähten und Folien. Kabel und Drähte werden im Unterricht der Elektrizitätslehre sehr häufig und in großer Zahl gebraucht. Einige einfache Einrichtungen erleichtern die Aufbewahrung und halten die Vorräte für die Benutzung im Unterricht griffbereit.

a) **Verbindungskabel.** Zum Aufbewahren von *Verbindungskabeln* wird an der Wand in der Nähe des Experimentiertisches eine Konsole befestigt, die aus einem 50 cm langen, 10 cm breiten und 2 cm dicken Brett und zwei dreieckigen Brettchen als Stützen hergestellt wird. Die Konsole wird mit sechs etwa 6 cm tiefen Einschnitten versehen, in welchen die Kabel, nach der Länge geordnet, hängend aufbewahrt werden (Abb. 21/1). Zum Aufbewahren sehr *langer* *Anschlußkabel* befestigt man auf einem Brett oder an der Innenseite einer Schranktür ein nach beiden Seiten abgerundetes Klötzchen mit überstehendem Deckbrettchen (Abb. 22/1). Über dieses Klötzchen werden die aufzubewahrenden Kabel gehängt.

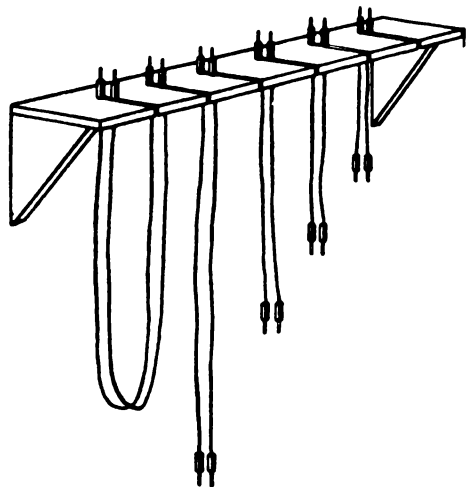


Abb. 21/1. Konsole zur Aufbewahrung von Verbindungskabeln

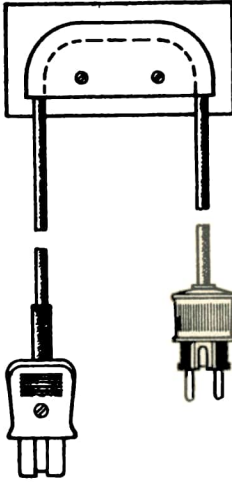


Abb. 22/1. Vorrichtung zum Aufbewahren von Anschlusskabeln

b) **Draht.** *Drahtvorräte* werden auf Holzspulen gewickelt. Für sehr dünnen Draht eignen sich Zwirrspulen. Für dicken Draht werden größere Spulenkörper verwendet, die mit einer Bohrung versehen sind, so daß sie zum Abspulen auf einen Dorn als Achse gesteckt werden können. An der Außenseite des Spulenkörpers wird zum Befestigen des freien Drahtendes eine Schraube eingeschraubt, deren Kopf einige Millimeter übersteht (Abb. 22/2).

c) **Folien.** *Dünne Folien*, wie Stanniol, Blattgold, Aluminiumfolie, werden zwischen Seidenpapier in einer Mappe aus starker Pappe aufbewahrt. Blattgold darf nicht mit den Fingern berührt werden, weil es an der Haut haften bleibt und zerknüllt. Man entnimmt es der Mappe mit den beiden Seidenpapierblättern, zwischen denen es aufbewahrt wird. Will man eine Folie in schmale Streifen zerschneiden, so legt man sie zweckmäßig ebenfalls zwischen zwei Seidenpapierblätter.

2. **Aufbewahren von Magneten.** Magnete behalten nur dann längere Zeit hindurch ihren Magnetismus, wenn sie sachgemäß aufbewahrt werden.

a) **Hufeisenmagnete.** Die beiden Pole eines *Hufeisenmagneten* müssen für die Aufbewahrung durch einen Anker aus Weicheisen überbrückt werden. Dabei ist darauf zu achten, daß der Anker mindestens den gleichen Querschnitt hat wie der Stahlkörper des Magneten. Ein Blechstreifen genügt nicht als Anker.

b) **Stabmagnete.** *Stabmagnete* werden möglichst paarweise aufbewahrt. Man legt sie parallel nebeneinander so in ein dafür vorgesehenes Kästchen, daß sich ungleichnamige Pole gegenüberliegen, und überbrückt die beiden Polpaare durch je einen kleinen Anker (Abb. 22/3). Einzelne Stabmagnete werden in Nord-Süd-Richtung aufbewahrt, so daß der Nordpol nach Norden und der Südpol nach Süden zeigt. Sind mehrere verschieden lange einzelne Stabmagnete vorhanden, so dürfen sie nicht dicht nebeneinander aufbewahrt werden, damit nicht gleichnamige Pole nebeneinanderzuliegen kommen.

c) **Magnetnadeln.** *Magnetnadeln* werden frei drehbar auf ihren Füßen aufbewahrt.

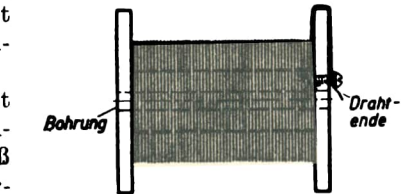


Abb. 22/2. Holzspule zum Aufbewahren von Drahtvorräten

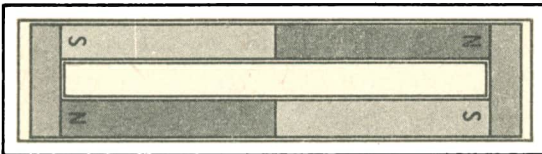


Abb. 22/3. Aufbewahrung von Magnetstäben. Ungleichnamige Pole müssen nebeneinanderliegen. Die beiden Polpaare werden mit je einem Anker überbrückt

d) **Neumagnetisieren eines Magneten.** Durch Ausglühen werden Stahlmagnete für immer unbrauchbar. Heftige Erschütterungen der Magnete, hervorgerufen durch Hämmern, durch Fallenlassen, durch Stoßen usw., schwächen ihren Magnetismus. Hufeisenmagnete, Stabmagnete und Magnetnadeln, deren Magnetismus durch

unsachgemäße Behandlung schwächer geworden ist, können im Magnetfeld einer von Gleichstrom durchflossenen langen Spule wieder neu magnetisiert werden. Zu diesem Zwecke schließt man hintereinandergeschaltete Spulen des Aufbausatzes an eine Gleichstromquelle an und belastet sie mit der höchstzulässigen Stromstärke. Durch Annähern einer Magnetnadel stellt man die Richtung des Magnetfeldes fest. Der Einstellung der Magnetnadel entsprechend wird der Magnet in die Spule gesteckt, mehrmals hin und her bewegt und wieder aus der Spule entfernt. Leichtes Klopfen gegen den Magneten während des Magnetisierens erhöht die Wirkung. Der Stromkreis darf erst dann unterbrochen werden, wenn der Magnet entfernt ist, weil infolge der Selbstinduktion beim Ausschalten ein entgegengesetzt gerichtetes Magnetfeld entsteht.

3. Aufbewahren von Geräten mit Hartgummitellen. Hartgummi überzieht sich bei längerer Bestrahlung durch Sonnenlicht mit einer gelblichen Schicht, die elektrisch leitend ist. Influenzmaschinen, Hartgummistäbe und andere Geräte mit Hartgummitellen müssen daher beim Aufbewahren vor direktem Sonnenlicht geschützt werden. Sie werden in einen lichtdichten Schrank gestellt oder mit einer Wachstuchhaube bedeckt.

Hat sich doch einmal ein dünner Überzug an Hartgummitellen gebildet, so kann er durch Abwaschen mit Alkohol, am einfachsten mit Brennspiritus, mitunter wieder beseitigt werden. Hat dies keinen Erfolg, so führt sicher ein Abreiben mit Wiener Kalk, der in Alkohol verrieben wurde, zum Ziel.

Bringt man Geräte mit Hartgummitellen aus einem kühlen Raum in einen wärmeren, dann bildet sich besonders bei großer Luftfeuchtigkeit an ihren Oberflächen ein leitender Überzug von Kondenswasser. Solche Geräte bringt man deshalb möglichst schon längere Zeit vor ihrer Benutzung in den Unterrichtsraum, damit sie sich der dort herrschenden Temperatur anpassen. Influenzmaschinen, Hartgummiisolatoren usw. sind auch in feuchter Luft wirksam, wenn man sie vor Gebrauch in die Nähe des Ofens stellt oder mit einer Heizsonne vorsichtig anwärmt. Doch muß vor zu starker Erwärmung gewarnt werden, weil sie, insbesondere bei Influenzmaschinen, zu einer bleibenden Deformation der Hartgummischeiben und damit schließlich zur Zerstörung führt.

4. Abisolieren von Drähten. Beim Abisolieren darf man keinesfalls die Isolierung an der gewünschten Stelle rings um den Draht einschneiden, weil dadurch fast immer der Draht verletzt wird, so daß er leicht bricht. Am vorteilhaftesten bedient man sich zum Abisolieren einer Spezialzange. Sie wird auf die Drahtstärke eingestellt. Nach dem Durchschneiden der Isolierung kann man diese mit Hilfe der Zange leicht abziehen. Eine Isolierung aus Kunststoff kann man dadurch entfernen, daß man die in Frage kommende Stelle mit der Schneide eines mäßig warmen Lötkolbens wie mit einem Messer umfährt. Die Isolierung läßt sich dann, zumal wenn sie vorher über einer Flamme erwärmt wurde, leicht abziehen. Gummiisolierung schneidet man an der Trennstelle vorsichtig ein, etwa so, wie man einen Bleistift ansplitzt, und zieht den Gummi in Streifen nach dem Drahtende zu ab. Die einzelnen Drähte einer Litze verdrillt man nach dem Abisolieren wieder und verlötet sie.

5. Lötarbeiten an Kupferdrähten. Man benutzt am besten einen elektrischen Lötkolben von 75 bis 100 W. Als Flußmittel verwendet man nur ein säurefreies Löt fett

oder noch besser in Spiritus aufgelöstes Kolophonium. Dieses bewahrt man in einer kleinen weithalsigen Flasche auf. Ab und zu muß man die sich bildenden Verbrennungsrückstände vom Kolben abwischen und die Spitze an festem Kolophonium reiben.

Eine dauerhafte Lötstelle erreicht man nur dann, wenn man die zu lötenden Teile zuvor metallisch blank schabt. Grundsätzlich sind beide zu verbindenden Teile getrennt zu verzinnen. Man taucht sie zu diesem Zweck in das aufgelöste Kolophonium oder in das Lötfett und trägt dann mit dem Kolben das Lötzinn auf. Die zu verbindenden Drahtenden verdrillt man, setzt wieder Flußmittel hinzu und lötet die Enden mit Hilfe des Kolbens zusammen. Soll ein Draht an Blech angelötet werden, so bereitet man ihn wie oben vor. Der Draht wird mit einer Federklammer an das Blech geklemmt und dann erst angelötet. Bei größeren Blechen verwendet man zum Vermeiden der Wärmeableitung Holz als Unterlage. Hat man mit Lötfett gearbeitet, so wischt man die Lötstelle zuletzt wieder sauber ab. Bei Kolophonium ist das nicht nötig.

Will man Kabelenden verzinnen, so drillt man diese auf, breitet die einzelnen Drähtchen fächerförmig auf einem Hartholzbrettchen aus und reibt sie mit feinstem Schmirgelleinen blank. Nach dem Zusammendrehen der Kabelenden trägt man Kolophonium auf und verzinnt. Hat man viele Kabelenden zu verzinnen, so geht dies schnell, wenn man die zusammengedrehten Enden zuerst in Lötfett und dann in geschmolzenes Lötzinn taucht.

6. Verarbeiten isolierender Plaste. Es gibt eine Vielzahl isolierender Plaste. Je nach der Herstellung ist das Material homogen, wie *PVC*¹, *Piacryl*, *Polystyrol*, *Zelluloid* u. a., oder geschichtet, wie die aus imprägniertem Papier hergestellten Schichtpreßstoffe (Plastacart, Sprelacart).

Alle Plaste lassen sich mit der Reißnadel anreißen. Schichtpreßstoffe kann man mit der Eisensäge sägen. Man muß dabei genau arbeiten, weil eine nachträgliche Bearbeitung selbst mit einer groben Feile schwer ist. Für das Glätten der Kanten kann man grobes Sandpapier verwenden.

Löcher werden nach dem Ankörnen mit dem Spiralbohrer gebohrt. Nur ein ganz scharfer Bohrer gibt saubere Löcher. Man muß dabei das Werkstück ganz fest auf eine Holzunterlage spannen, weil sich sonst die Lochränder auf der Rückseite stark aufwerfen, was mitunter sehr störend wirkt. Außerdem muß man bei starkem Material den Bohrer öfter aus dem Bohrloch nehmen, sonst läuft er sich heiß. Einen unter Umständen entstehenden Grat am Bohrloch kann man durch einen größeren Bohrer beseitigen.

Größere Löcher werden mit der Laubsäge ausgeschnitten. Man muß langsam sägen, sonst erhitzt sich das Blatt infolge mangelnder Wärmeabführung zu sehr und klemmt dann. Am Schluß reibt man die Oberfläche mit Maschinenöl ein. Leichte Schrammen werden so unsichtbar.

Die meisten Plaste lassen sich in dieser Weise bearbeiten. Zum Zusammenkleben einzelner Teile verwendet man Alleskleber. Die miteinander zu verbindenden Teile sind vorher an den Verbindungsstellen aufzurauen.

7. Reinigen von Kontakten. Es gibt zwei Möglichkeiten des Reinigens, die chemische und die mechanische. Verschmutzte Kontakte werden durch Abreiben mit Tetrachlorkohlenstoff oder Benzin gereinigt. Oxydierte Kontakte darf man nicht mit einer Feile









¹ Abkürzung für Polyvinylchlorid.

bearbeiten, weil diese zuviel Material wegnimmt. Man verwendet *allerfeinstes* Schmirgellein oder eine Kontaktfeile. Diese besteht aus einem Stück Uhrfederstahl, das man mit einer Feile kreuzweise aufgeraut hat. Dieser feine Hieb genügt zur Bearbeitung der Kontakte.

§ 9. DIE WICHTIGSTEN SCHALTZEICHEN

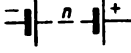













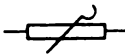





Die im folgenden gegebene Übersicht über die wichtigsten genormten Schaltzeichen ist nach den TGL-Blättern 16005 bis 16032, Schaltzeichen für Starkstrom- und Fernmeldetechnik, zusammengestellt.

Elektrische Schaltzeichen









—	Gleichstrom		Holtzsche Fußklemme *)
~	Wechselstrom		Schalter
+	Kreuzung ohne Verbindung		Stromversorgungsgerät, Gleichstromentnahme *)
+	Kreuzung mit Verbindung, Lötstelle		Stromversorgungsgerät, Wechselstromentnahme *)
	Abzweigung, Lötstelle		Steckdose
	Abzweigung, Klemmschraube		Galvanisches Element, Akkumulatorzelle

*) Diese Schaltzeichen werden im Buch außerhalb der Normung verwendet.

Elektrische Schaltzeichen (Fortsetzung)

	Batterie mit n Zellen		Galvanometer
	Glühlampe		Amperemeter
	Schmelzsicherung		Voltmeter
	Verbraucher, Elektrowärmegerät		Elektrostatishes Voltmeter
	Glimmlampe		Spule allgemein Wahlweise auch für Selbstinduktions- und Drosselspulen
	Widerstand, allgemein		Spule mit Kern
	Widerstand, stetig regelbar		Transformator ohne Eisenkern
	Widerstand, in Stufen verstellbar		Transformator mit Eisenkern
	Widerstand mit 3 Anzapfungen		Wecker für Gleichstrom
	Widerstand, Spannungsteiler		Wecker für Wechselstrom

Elektrische Schaltzeichen (Fortsetzung)

	Mikrophon		Gleichstrommotor
	Fernhörer		Wechselstrommotor
	Lautsprecher		Kondensator
	Anker eines Gleichstrommotors		Kondensator, stetig verstellbar

ZWEITES KAPITEL

Grundbegriffe und Grunderscheinungen der strömenden Elektrizität

§ 10. METHODISCHE BEMERKUNGEN

1. Schon in der Einleitung wurde darauf hingewiesen, daß sich das Buch bewußt dem Pohlischen Verfahren anschließt und bei der Einführung der Elektrizitätslehre vom elektrischen Strom ausgeht. Es beginnt dementsprechend mit Versuchsbeschreibungen, die die *Grundbegriffe* und die *Grunderscheinungen der strömenden Elektrizität* zum Gegenstand haben. Zunächst soll in den Schülern durch Versuche das Verständnis für die Grundbegriffe der *elektrischen Spannung* und des *elektrischen Stromes* geweckt werden. Sie werden als zwei fundamentale Größen unabhängig voneinander behandelt. Der Begriff des *Widerstands* wird hierbei noch nicht berührt. Er setzt schon ein gewisses Maß an Abstraktion voraus, mit der die Einführungsstunden nicht belastet werden dürfen. Es versteht sich von selbst, daß *die einführende Behandlung nur rein qualitativ* erfolgen kann.

Ob der unterrichtende Lehrer den Spannungsbegriff als den primären voranstellt oder mit der Einführung des Stromes beginnt, muß ihm überlassen bleiben. Es sind beide Wege gangbar. Zweckmäßig erscheint es jedoch, die Einführung des elektrischen Stromes vorwegzunehmen, schon weil das Wort Strom den Schülern nicht fremd ist und ihrem Vorstellungsvermögen nahekommt.

2. Zu Beginn der *Einführung in die Elektrizitätslehre* empfiehlt es sich, einen Versuch durchzuführen, der so einfach ist, daß er kaum als Versuch bezeichnet werden kann. Es handelt sich um das Aufleuchten einer elektrischen Glühlampe, etwa einer Tischlampe, wenn man den Stecker ihres Anschlußkabels in eine Steckdose des Netzes einführt (V 1). Mag dieser Versuch auch fast trivial erscheinen, so ist er doch unmittelbar dem Erfahrungsbereich der Schüler entnommen und läßt Bekanntes in ihnen anklingen. Denn welcher Schüler hätte nicht schon beobachtet, wie eine Glühlampe leuchtet, eine elektrische Kochplatte oder ein elektrisches Bügeleisen warm wird, wenn man diese Geräte an das Netz anschließt. Später werden die Schüler ihre Erfahrungen noch durch Beobachten elektrochemischer und elektromagnetischer Erscheinungen erweitern. Man wird sich im Anfangsunterricht darauf beschränken, einen elektrischen Vorgang, der sich in den Leitungsdrähten abspielt, als elektrischen Strom zu definieren, der die Ursache der oben genannten Wirkung ist. Diese Feststellung soll kein Vorgriff auf eine wissenschaftliche Erkenntnis sein. Sie will vielmehr nur ein einfacher Erklärungsversuch sein, gegen den keine Bedenken bestehen. Man darf selbstverständlich die Schüler nicht im unklaren darüber lassen, daß diese Erklärung später noch einer gründlichen

Vertiefung bedarf. Zunächst aber wird dadurch eine Plattform geschaffen, von der aus man weiterarbeiten kann.

Wenn man den Schülern das Eindringen in das neue Wissensgebiet nicht unnötigerweise erschweren will, wird man gut daran tun, den Spannungsbegriff noch ein wenig zurückzustellen. Man wird, ohne damit einen Fehler zu begehen, vorläufig ganz schlicht von *einer Stromentnahme aus der Steckdose* sprechen. Damit drängt sich ganz von selbst die Frage auf, ob auch noch andere Einrichtungen bestehen, aus denen man einen Strom entnehmen kann. Es liegt nahe, die Taschenlampenbatterie und die Akkumulatorenbatterie als solche Einrichtungen einzuführen und damit eine kleine Glühlampe zu speisen (V 2), an deren Stelle man auch einen akustischen Signalgeber, etwa eine elektrische Klingel, treten lassen kann. So lernen die Schüler ganz zwanglos die Begriffe der *Stromquelle* und des *Verbrauchers* kennen. Man faßt unter dem Namen Verbraucher alle Geräte zusammen, durch die der Strom fließt. Es muß den Schülern nur gesagt werden, daß dabei kein Strom verbraucht wird, sondern daß sich der Name auf den Verbrauch elektrischer Energie bezieht.

Aus der Tatsache, daß die Eingangs- und die Endklemme des Verbrauchers durch je eine Leitung mit den beiden Polen der Stromquelle verbunden sein müssen, erwächst den Schülern die Erkenntnis, daß *der Stromkreis geschlossen sein muß*. Es wäre daher methodisch falsch, für diesen Versuch als Stromquelle ein Stromversorgungsgerät zu verwenden. So brauchbar dieses Gerät sonst für den Unterricht ist, so verliert der Versuch doch durch die Verbindung des Gerätes mit dem Netz seine Überzeugungskraft. Das Bereitstellen eines Akkumulators oder eines anderen elektrischen Elementes ist für V 2 unerlässlich.

An V 2 schließt sich ganz zwanglos V 3 an, der in einfacher Weise den *Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern* veranschaulicht. Zum Durchführen von Schülerversuchen bietet er eine sehr günstige Gelegenheit.

3. Nach den erwähnten Vorbereitungen kann man nun an die *Einführung des Spannungsbegriffes* denken. Für eine experimentelle Behandlung bieten V 4 und V 5 eine geeignete Möglichkeit. Man wird ihnen die einleitende Frage vorausschicken, ob der besondere Zustand, in dem sich eine an das Netz angeschlossene Steckdose befindet, an irgendwelchen Eigenschaften bzw. Vorgängen erkennbar ist. Die genannten Versuche geben darauf Antwort. Ihre Ergebnisse führen zur *Definition der elektrischen Spannung* als eines zwischen zwei Leitern bestehenden Zustandes, der sich

- a) in einer zwischen den Leitern bestehenden anziehenden Kraft äußert und der
- b) zwischen den Leitern beim Herstellen einer leitenden Verbindung einen elektrischen Strom auslöst.

4. Die *Einheiten der Spannung und der Stromstärke* werden den Schülern zunächst nur mitgeteilt, ohne daß man auf die Begründung eingehen kann; ebenso lernen die Schüler im Anfang des Unterrichtes die Meßgeräte für Spannung und Stromstärke ohne die Begründung ihrer Wirkungsweise kennen. Dieser ist für den Gebrauch der Meßgeräte auch nicht erforderlich, ebenso wie die wenigsten Menschen über die Funktion einer Taschenuhr Bescheid wissen, die sie doch täglich zum Zeitmessen gebrauchen. Wohl aber ist es erforderlich, die Schüler schon frühzeitig mit der Schaltung der Meßgeräte in einem Stromkreis vertraut zu machen. Diesem Zwecke dient V 5. Er soll den Schülern gleichzeitig eine Übersicht über den *Aufbau eines Stromkreises* verschaffen

und sie an das *Entwerfen eines Schaltbildes* gewöhnen, wobei selbstverständlich die genormten Schaltzeichen zu verwenden sind (vgl. § 9). Es ist daher zu empfehlen, die Einzelteile bei diesem Versuch und auch schon bei V 4, der eine ähnliche Aufgabe hat, in einer vertikalen Ebene anzuordnen. Man kann dazu mit Erfolg Unterlegklötze, Unterstellkästen und auch einzelne Stative verwenden. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß die Einzelteile des Stromkreises sich nicht gegenseitig in der Sichtbarkeit behindern und daß der Stromkreis vor den Schülern klar ausgebreitet erscheint. Das Entwerfen des Schaltbildes, das unter Verwendung der genormten Schaltzeichen an der Tafel entsteht, bereitet den Schülern dann keine Schwierigkeiten.

Es sei noch ein Wort über den Wert von *Modellversuchen* beim Einführen der Elektrizitätslehre eingeflochten. Sie können zum Veranschaulichen der Zusammenhänge sehr nützlich sein. Aus diesem Grunde ist V 6 in diese Sammlung mit aufgenommen. Dringend aber ist vor einer Überbewertung der Modellversuche zu warnen. Auf keinen Fall darf ein Modellversuch an den Anfang der Unterweisung gestellt werden. Denn es wäre falsch, zu glauben, daß auf Grund eines Modellversuches den Schülern echte Einsichten in ein ihnen unbekanntes Gebiet der Physik vermittelt werden könnten. Ein solcher Versuch kann nur dazu dienen, gewonnene Erkenntnisse zu veranschaulichen, und dafür kann er sogar von größtem Nutzen sein. Dies trifft auch für V 6 zu; denn der elektrische Strom hat seine Eigengesetzlichkeit und kann durch ein mechanisches Modell nicht erklärt, sondern nur veranschaulicht werden.

Im übrigen ist ein Gasstrom, wie er in V 6 verwendet wird, besser zur modellartigen Wiedergabe des elektrischen Stromes geeignet als strömendes Wasser, da dieses stärker als ein Gasstrom zur direkten Strömungsvorstellung der Elektrizität verleitet.

5. Für den physikalischen Unterricht vor etwa 50 Jahren war es kennzeichnend, daß man sich bei der Behandlung der Elektrizitätslehre, zum mindesten aber bei ihrer Einführung, ganz auf den Gleichstrom beschränkte. Man vermied es geradezu ängstlich, im Unterricht auf den Wechselstrom einzugehen, und kam erst allenfalls bei der Induktion darauf zu sprechen. Diese Einstellung hat sich von Grund auf geändert; man wird im Gegenteil den Wechselstrom möglichst zeitig neben den Gleichstrom stellen. Wie man diese beiden Stromarten rein experimentell unterscheiden kann, darüber berichten V 8, V 9 und V 10. In vielen Fällen ist es sehr zweckmäßig, die Pole und die Stromart



Abb. 30/1. Pappschildchen zur Bezeichnung der Stromart, der Spannung und der Pole

durch kleine etwa 50 mm × 50 mm große quadratische Pappschildchen zu kennzeichnen, die man an einem Holzklötzchen befestigt (Abb. 30/1).

6. Sehr gern werden im Unterricht Versuche durchgeführt, die die *Wärmewirkung eines elektrischen Stromes* zum Gegenstand haben. § 12 macht dazu viele geeignete Vorschläge, unter denen sich sicher für jede Schule etwas findet, was sich mit den vorhandenen Mitteln durchführen läßt. Besonders beachtenswert ist V 21, der die *Wirkungs-*

weise einer einfachen Schmelzsicherung veranschaulicht. Er läßt deutlich die Gefahr erkennen, die aus dem „Flicker“ einer durchgebrannten Sicherung erwächst. Jeder Lehrer sollte es sich daher angelegen sein lassen, diesen Versuch den Schülern vorzuführen.

Zu verschiedenen Versuchen des § 12 werden Stücke von Widerstandsdrähten benötigt. Wo diese nicht zu beschaffen sind, kann man mit Erfolg Stücke von Heizwendeln benutzen.

Wird zu einem Versuch ein gestreckter Widerstandsdraht gebraucht, so spannt man das eine Ende der Wendel in einen Schraubstock. Man steckt in die Wendel einen Metallstift, über den sie sich noch gerade streifen läßt, und steckt sie, indem man sie über den Metallstift abrollt. Die letzten Wellungen des Drahtes kann man durch kräftiges Hin- und Herfahren an dem Draht mit einem Stück Rundholz beseitigen. Müssen Widerstandsdrähte mit Kupfer- oder mit Leichtmetalldrähten verbunden werden, so verwendet man dazu zweckmäßig die Metalleinsätze von Lüsterklemmen, mit deren Hilfe sich die Drähte durch Einschrauben ihrer Enden sicher verbinden lassen.

Für viele Versuche werden Glühlampen mit Sockeln verschiedener Größe und den dazu gehörigen Fassungen gebraucht. Die beigefügte Tabelle gibt eine Übersicht über die dafür üblichen Bezeichnungen.

Sockelbezeichnung von Glühlampen

Type	Bezeichnung	Verwendungszweck
E 10	Zwerg	Taschenlampen
E 14	Mignon	Illuminationslampen
E 27	Normaledison	Allgebrauchslampen
E 40	Goliath	Lampen über 300 Watt
E bedeutet Edisonsockel. Die darauffolgende Zahl gibt den Durchmesser des Sockels in mm an.		

7. Die *chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes* nehmen innerhalb der Elektrizitätslehre nur einen verhältnismäßig schmalen Raum ein. Dementsprechend sind sie in diesem Buche nur mit den Versuchen V 23 bis 28 vertreten. Unter ihnen sei insbesondere auf V 24 und V 25 hingewiesen, durch die die Behandlung der *Ionenleitfähigkeit* vorbereitet wird. Auch V 26 über die *Wirkungsweise eines Bleiakкумуляtors* sei erwähnt; er ist sehr instruktiv und führt in das Verständnis für den technisch so bedeutungsvollen Sammler ein.

§ 11. DIE GRUNDBEGRIFFE DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE

1. Vorversuch zum elektrischen Stromkreis – Verwendung einer Steckdose als Spannungsquelle

Steckdose, Tischlampe, Anschlußkabel mit Netzstecker; Kochplatte, Kabel mit Netzstecker und Gerätesteckdose; Glühlampe (220 V) in Fassung (E 27) auf Brett, zwei lange Verbindungskabel, ein kurzes Verbindungskabel, Schalter auf Brett.

Versuch 1:

Der Versuch dient zur Einführung des Begriffes elektrischer Stromkreis. Eine Tischlampe wird vermittels ihres Anschlußkabels an eine Steckdose angeschlossen. Sie leuchtet im gleichen Augenblick auf, in dem beide Steckstifte in die Pole eingeführt werden, wenn man den Schalter der Lampe vorher schließt. Das Leuchten wird unterbrochen, wenn man den Stecker aus der Steckdose herauszieht.

Man kann statt der Tischlampe auch ein anderes elektrisches Gerät, zum Beispiel eine elektrische Kochplatte, an die Steckdose anschließen, wozu man ein mit einer Gerätesteckdose versehenes Kabel verwenden muß. Wie bei der Tischlampe kann man beobachten, daß die Heizwendel beim Einführen der Steckstifte in die Buchsen der Steckdose zu glühen anfängt und beim Herausziehen erkalteht.

Versuch 2:

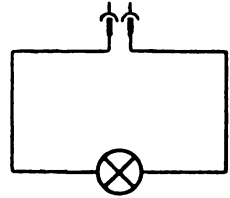
In Abänderung des Versuches 1 kann man eine auf einem Brett befestigte Lampenfassung benutzen, die mit zwei Anschlußklemmen in Verbindung steht. Den Anschluß an die Steckdose stellt man mit Hilfe zweier langer Verbindungskabel her, wobei man zuerst die Stecker in die Anschlußbuchsen des Lampenbrettes einführt. Dann erst schließt man die Verbindungskabel mit ihrem anderen Ende an die Steckdose an. Wieder zeigt es sich, daß die Lampe erst dann leuchtet, wenn beide Verbindungskabel mit dem Netz verbunden sind.

Der Versuch läßt sich noch weiter ausgestalten, indem man das eine Verbindungskabel von der Steckdose und der Anschlußbuchse trennt und das Lampenbrett durch ein kurzes Verbindungskabel mit einem auf ein Brett geschraubten Schalter verbindet. Man wählt dazu am besten einen technisch gebräuchlichen Dreh- oder Kippschalter, den man auf einem Grundbrett befestigt und mit zwei Steckbuchsen versieht. Der Anschluß des Schalters an die Steckdose erfolgt dann wieder wie vorher durch ein langes Verbindungskabel. Durch den Einbau des Schalters kann der Stromkreis geöffnet und geschlossen werden, ohne daß die Verbindung zur Steckdose getrennt wird.

Bemerkungen:

1. Die Versuche dienen dazu, die Schüler propädeutisch auf den Begriff des Stromkreises hinzu- führen. Insbesondere der Versuch 2 erweist sich dazu als geeignet, da die beiden Leitungen zur Steckdose getrennt erscheinen. Man kann sie in einfacher Weise zu einem Kreise oder noch besser zu einem Rechteck anordnen, so daß damit die Form des Schaltbildes vorbereitet wird (Abb. 38/1). Das Leuchten der Lampe wird dabei als Kennzeichen für das Vorhandensein eines Stromes angesehen. (Vgl. MB S. 28 bis 30.)

Abb. 33/1. Schaltbild zum Vorversuch über den elektrischen Stromkreis



2. Zu beachten ist, daß beim Benutzen von Verbindungskabeln die Bananenstecker zuerst in die Gerätebuchsen einzuführen sind und zuletzt erst die Verbindung mit der Steckdose hergestellt wird. Dabei schließt man zuerst das eine Verbindungskabel an die mit dem Nulleiter verbundene Buchse der Steckdose und dann erst das andere Kabel an die mit dem Phasenleiter verbundene Buchse an. Beim Lösen der Verbindungen hat man die umgekehrte Reihenfolge einzuhalten.
3. Die Hinweise des § 7, 2, insbesondere 9 und 10, sind zu beachten.

2. Grundversuch zum elektrischen Stromkreis – Verwendung einer Kleinspannungsquelle [Ü]

Akkumulatorenbatterie, Taschenlampenbatterie, Kleinspannungsglühlampe (2 V bzw. 3,5 V oder 4 V) in Fassung (E 10) auf Brett, elektrische Klingel oder Summer, Hebelschalter, Verbindungskabel.

Der Versuch ist eine folgerichtige Fortsetzung des V 1. Man stellt einen Stromkreis in einfacher Form her, indem man eine kleine Glühlampe durch zwei Verbindungskabel unmittelbar an eine Zelle einer Akkumulatorenbatterie oder an eine Taschenlampenbatterie anschließt. Wieder kann man beobachten, daß die Lampe erst leuchtet, wenn die Verbindung zu beiden Polen der Spannungsquelle hergestellt ist. Es empfiehlt sich, statt der Glühlampe auch ein anderes Gerät als Verbraucher zu verwenden, am besten eine elektrische Klingel. Sie zeigt das Fließen eines Stromes durch ein akustisches Signal an. Durch das Zwischenlegen eines einfachen Hebelschalters wird schließlich der Stromkreis vervollständigt. Abb. 33/2 zeigt das zum Versuch gehörige Schaltbild.

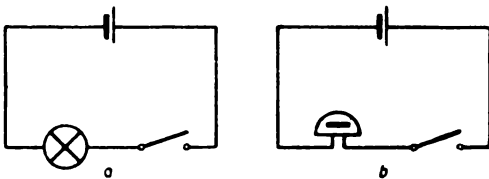


Abb. 33/2. Schaltbild eines einfachen Stromkreises, bestehend aus einer Kleinspannungsquelle, einer Kleinspannungsglühlampe (a) oder einer Klingel (b) und einem einfachen Hebelschalter

Bemerkung: Es empfiehlt sich, den Versuch damit abzuschließen, daß beide Verbraucher, die Glühlampe und die Klingel, hintereinander in den Stromkreis gelegt werden. Man muß dabei gleichzeitig für eine Erhöhung der Spannung durch Hinzuschalten einer weiteren Akkumulatorenzelle sorgen. Die Schüler werden dadurch auf zwanglose Art erstmalig mit der Reihenschaltung von Verbrauchern und Spannungsquellen bekannt gemacht. In einer Weiterentwicklung des Schaltbildes findet dies seinen Ausdruck (Abb. 33/3).

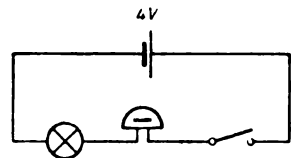


Abb. 33/3. Schaltbild eines Stromkreises mit mehreren in Reihe geschalteten Verbrauchern und Elementen

3. Die Unterscheidung von Leitern und Nichtleitern [Ü]

Akkumulatorenbatterie, Taschenlampenbatterie, 2 Fußklemmen, 2 Federklammern mit Anschlußklemmen, Kleinspannungsglühlampe (4 V) in Fassung (E 10) auf Brett, Hebelschalter, Verbindungskabel.

Als Versuchsstoffe Drähte aus Kupfer, Eisen, Aluminium, Blei, Streifen bzw. Stäbe aus Glas, Hartgummi, Porzellan, Marmor, Holz, Kohle, Papier, PVC oder anderen Plasten, Fäden aus Wolle, Baumwolle, Seide, Bindfäden.

Soweit die zu untersuchenden Stoffe die Form von Drähten oder Fäden haben, schließt man ihre Enden an zwei Fußklemmen an (Abb. 34/1). An dickere Stoffe, die in Form von Stäben, Streifen oder unregelmäßigen Stücken vorliegen, klemmt man in die Nähe ihrer Enden zwei Federklammern, die mit je einer Anschlußklemme versehen sind (Abb. 34/2). Die Versuchsanordnung wird in einfachster Weise unter Hinzunahme einer Kleinspannungsglühlampe, eines Schalters und einer Kleinspannungsquelle (4 V) zu einem Stromkreis vervollständigt.

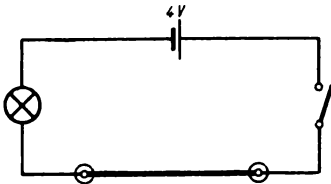


Abb. 34/1. Versuchsanordnung zur Unterscheidung von Leitern und Nichtleitern

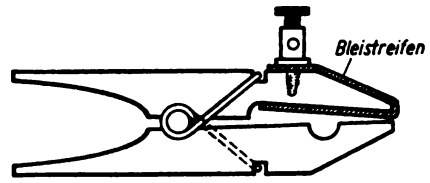


Abb. 34/2. Federklammer mit Anschlußklemme

Ob ein eingeschalteter Versuchskörper ein Leiter oder ein Nichtleiter ist, erkennt man daran, daß die Lampe beim Schließen des Schalters leuchtet oder dunkel bleibt.

Bemerkung: Der Versuch ist lediglich ein Einführungsversuch und dient der rein qualitativen Unterscheidung der einzelnen Stoffe in Leiter und Nichtleiter. Er läßt keinen Schluß auf die Größe der Leitfähigkeit bei Leitern und auf die Größe des Widerstandes bei Nichtleitern zu; er soll lediglich die Begriffsbildung Leiter – Nichtleiter erleichtern. Für Schülerübungen ist der Versuch ausgezeichnet geeignet.

4. Nachweis der Spannung

Empfindliches Kastenelektroskop oder behelfsmäßiges Elektroskop, 2 Glühlampen (220 V) in Fassungen (E 27) auf Brettern, Schalter, Verbindungskabel, Tischsteckdose auf Grundbrett mit Anschlußkabel, 2 Krokodilklemmen, Unterstellkasten.

Eine auf dem Experimentiertisch liegende Tischsteckdose, die mittels eines mit ihr fest verbundenen Kabels an eine Netzsteckdose angeschlossen wird, bildet die Spannungsquelle. An diese wird über einen Schalter ein hochempfindliches Kastenelektroskop gelegt, indem man den Metallstift und das daranhängende Metallblättchen mit dem einen Pol, das Gehäuse des Elektroskops mit dem anderen Pol verbindet. Zu beiden Seiten des Elektroskops wird ihm je eine Glühlampe vorgeschaltet. Es empfiehlt sich, die Steckdose erhöht auf einem Unterstellkasten anzuordnen, damit der Aufbau

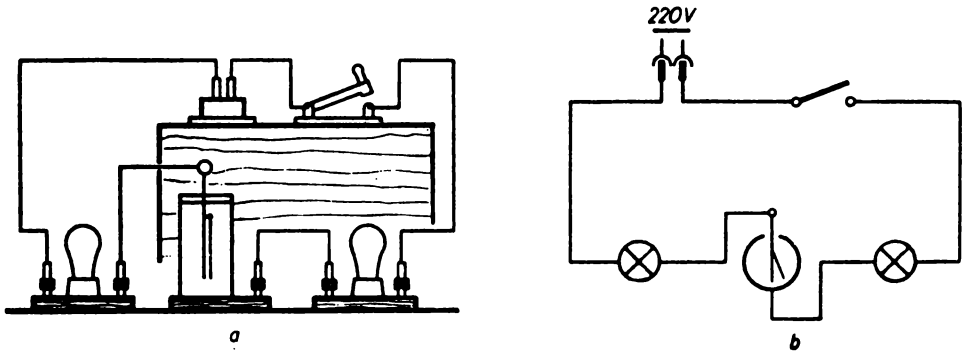


Abb. 35/1. Versuchsanordnung zum Nachweis der Spannung a) Anordnung der Geräte b) Schaltbild

recht übersichtlich wird (Abb. 35/1a). Ihm entspricht dann in der Anordnung genau das an die Tafel gezeichnete Schaltbild (Abb. 35/1b).

Schließt man den Schalter, so kann man am Elektroskop einen Ausschlag beobachten. Das Metallblättchen wird von der gegenüberliegenden Wand des Gehäuses angezogen. Trotzdem bleiben die Lampen dunkel. Es fließt demnach in der Leitung kein Strom. Der Ausschlag des Blättchens ist eine Auswirkung der Spannung, die zwischen den beiden Buchsen der Steckdose und folglich auch zwischen den beiden Klemmen des Elektroskops vorhanden ist. Daß trotzdem kein Strom fließt, ist der Unterbrechungsstelle zuzuschreiben, die sich im Elektroskop zwischen dem Metallblättchen und der Gehäusewand befindet. Überbrückt man das Elektroskop durch einen Draht, so leuchten im gleichen Augenblick die Lampen auf; es fließt ein elektrischer Strom. Der Ausschlag des Elektroskops geht dabei auf Null zurück.

Bemerkungen:

1. Der Zweck des Versuches ist, bei den Schülern das Verständnis für den Spannungsbegriff wachzurufen. Er zeigt ihnen, daß die Spannung das Primäre, der Strom das Sekundäre ist.
2. Man kann mit gutem Erfolg statt des Kastenelektroskops auch ein behelfsmäßiges Elektroskop verwenden, das man nach Abb. 35/2 in einfacher Form aus einem Tablettenröhrchen, einem Gummistopfen, einem Metallstift und einem Streifen aus dünner Aluminiumfolie anfertigt. Besondere Sorgfalt ist dabei auf eine möglichst leicht bewegliche Aufhängung des Metallblättchens zu verwenden. Man streift über einen am Metallstift befestigten waagerechten dünnen Drahtbügel eine kleine Öse, die man aus ganz dünnem Seidenpapier anfertigt. An diese klebt man das Metallblättchen. Als sehr zweckmäßig erweist sich hierfür auch aluminisiertes Papier, das leichter zu verarbeiten ist als Aluminiumfolie. Das Elektroskop schließt man mittels zweier Krokodilklemmen an die Verbindungskabel an.
3. Beachte Hinweis 9 und 10 des § 7, 2.

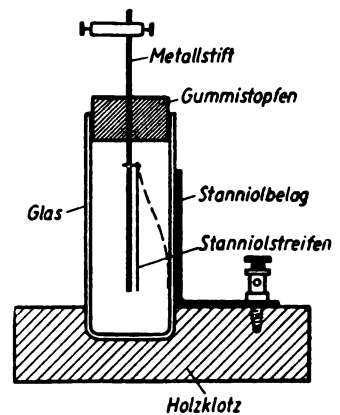


Abb. 35/2. Behelfsmäßiges Elektroskop

5. Der Aufbau eines Stromkreises – Die Schaltung der Meßgeräte

Die gleichen Geräte wie bei V 4. Dazu 1 Voltmeter, 1 Amperemeter, 2 Fußklemmen, 1 Stativ mit Muffe und Klemme.

Der Versuch knüpft an den Aufbau von V 4 an. Die an das Netz angeschlossene Tischsteckdose wird an ein Stativ geklemmt, und zwar so hoch, daß sie über dem Unterstellkasten liegt. Auf diesen stellt man zwei Fußklemmen, die man an die Buchsen der Steckdose anschließt. Zwischen die Fußklemmen schaltet man das Kastenelektroskop. Nach unten vervollständigt man die Versuchsanordnung, indem man eine auf dem Tisch stehende Glühlampe über einen Schalter mit den Fußklemmen verbindet. Abb. 36/1 a stellt die Versuchsanordnung, Abb. 36/1 b das Schaltbild an der Tafel dar.

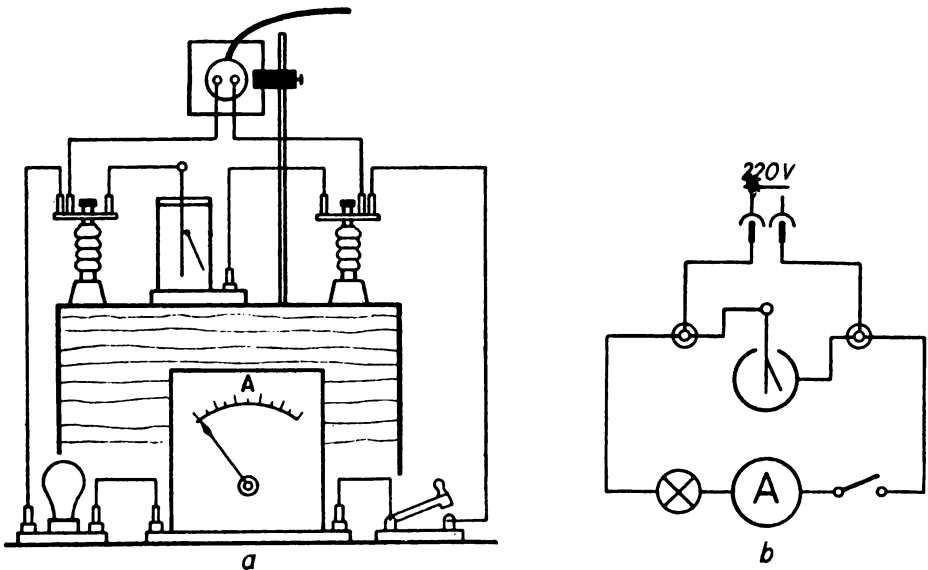


Abb. 36/1. Der Aufbau eines Stromkreises a) Versuchsanordnung b) Schaltbild

Das Elektroskop zeigt durch einen Ausschlag wie bei V 4 die Spannung an. Die Lampe ist zunächst noch dunkel. Sie leuchtet erst, wenn man den Schalter niederdrückt. Eine Änderung des Ausschlages am Elektroskop ist dabei nicht zu beobachten. Das Leuchten der Lampe ist ein Zeichen dafür, daß in der Lampe ein Strom von einer Fußklemme zur anderen fließt.

Der Versuch schließt damit ab, daß man zum Nachweis des Stromes und zum Messen der Stromstärke ein Amperemeter in den Lampenkreis legt. Dabei zeigt sich, daß die Anzeige davon unabhängig ist, an welcher Stelle des Kreises das Amperemeter liegt. Man erkennt, daß das Amperemeter stets mit dem Verbraucher in Reihe geschaltet sein muß. Das Elektroskop dagegen mißt elektrostatisch die Spannung; es liegt parallel zur Spannungsquelle. Man kann es auch durch ein Voltmeter ersetzen (Abb. 37/1).

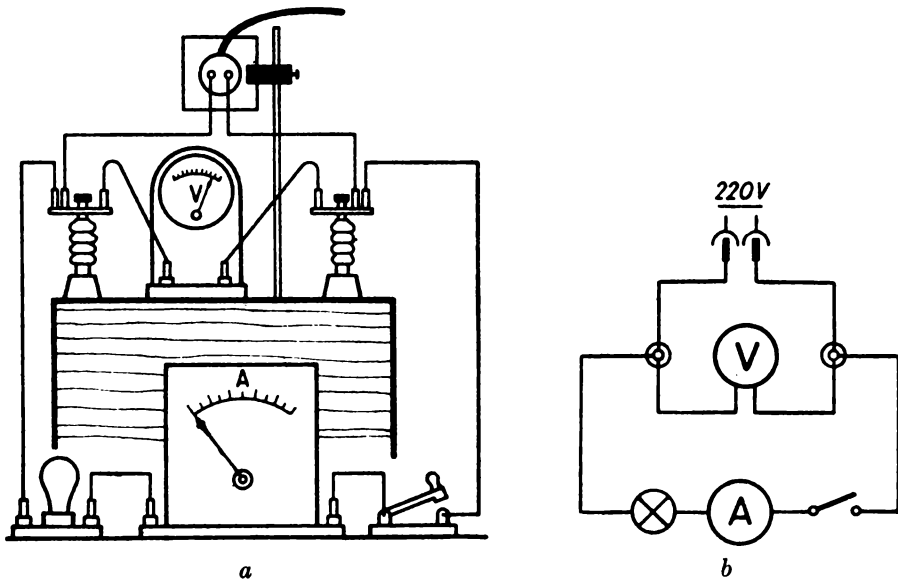


Abb. 37/1. Die Schaltung von Meßgeräten a) Versuchsanordnung, b) Schaltbild

Bemerkungen:

1. Der Versuch ist dazu geeignet, die Schüler mit der Unterscheidung der Spannung und der Stromstärke sowie mit der Schaltung der Meßgeräte vertraut zu machen. Die Reihenfolge ihrer Einführung läßt sich in mannigfacher Weise variieren. Die Anordnung der Einzelteile in einer vertikalen Ebene ist deswegen zu bevorzugen, weil sie den Übergang von der Versuchsanordnung zum Schaltbild vermittelt.
2. § 7,2 Hinweis 9 und 10 sind zu beachten.

6. Modellversuch zum elektrischen Stromkreis

Flasche (2 l) oder Kippscher Apparat, kugliger Scheidetrichter mit langem Rohr und Hahn, Gaswaschflasche, Modell eines Windrädchens in geschlossenem Gehäuse mit Glaszuführungsröhren, 2 Korken, 2 gewinkelte Glasrohre, langer Gummischlauch, 2 Schlauchverbindungsstücke, Stativ mit Muffe und Klemme.

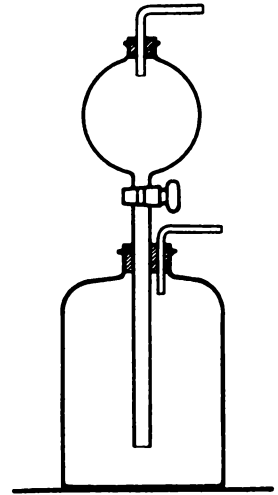
Werkstoffe zur Herstellung des Windrädchens und des Gehäuses: Brett (120 mm × 120 mm × 15 mm) mit kreisrundem Ausschnitt in der Mitte (Ø 100 mm) und zwei gegenüberliegenden seitlichen Bohrungen (Ø 6 mm), 2 etwa 100 mm lange Glasröhren (äußerer Durchmesser 6 mm), starkes, kreisrundes Kartonstück (Ø 90 mm), dünnes Brett oder Sperrholzplatte (120 mm × 120 mm), starker Nagel mit zylindrischem, auf 15 mm gekürztem Schaft, Korken, kurzes, auf den Nagel passendes Glasrohr, Glas-scheibe (120 mm × 120 mm), Alleskleber.

Herstellen der Versuchsanordnung:

Aus einer Flasche mit einem Rauminhalt von 2 l, einem kugligen Scheidetrichter mit langem Rohr und Hahn, zwei Korken und zwei gewinkelten Rohren stellt man nach

Abb. 38/1.
Einfacher Druckbehälter

Abb. 38/1 einen Druckbehälter zusammen. Man kann statt dessen auch einen Kippschen Apparat verwenden. Nachdem man bei geschlossenem Hahn das Trichtergefäß mit Wasser gefüllt hat, schließt man an das Gasabzugsrohr des Druckbehälters mittels eines Schlauches das lange Rohr einer Gaswaschflasche an. Man gießt in diese zuvor so viel Wasser, daß der Wasserspiegel etwa 1 cm über der unteren Öffnung des Rohres steht. Das kurze Rohr der Gaswaschflasche verbindet man durch einen Schlauch mit der durch einen Korken und ein Winkelrohr verschlossenen oberen Öffnung des Kugeltichters.



Versuch:

Hat man die Versuchsanordnung nach Abb. 38/2 zusammengestellt, so öffnet man den Hahn des Druckbehälters, so daß das Wasser in die Flasche dringen kann. Es verdrängt dabei die in der Flasche befindliche Luft, so daß eine Luftströmung entsteht, die durch die Schlauchleitung nach Passieren der Gaswaschflasche zum Luftraum in der

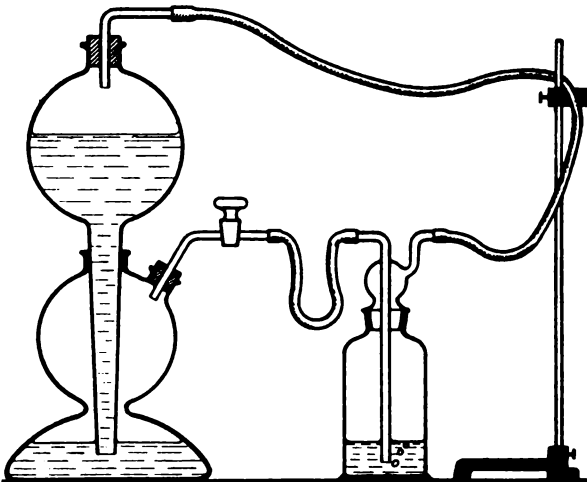


Abb. 38/2. Versuchsanordnung des Modellversuches zur Veranschaulichung eines elektrischen Stromkreises. In der Abbildung ist ein Kippscher Apparat verwendet

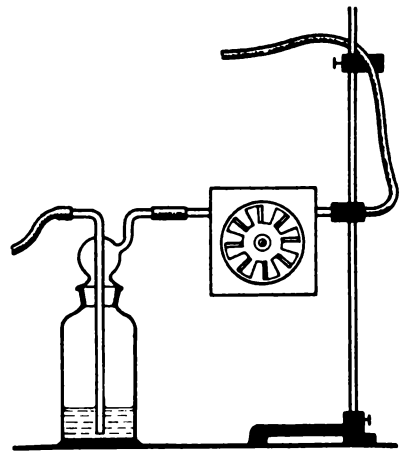


Abb. 38/3. Einfügen eines Windrädchens in den Modellversuch zur Veranschaulichung eines Stromkreises

Trichtererkugel hinführt. Den Luftstrom, den man an sich nicht wahrnehmen kann, beobachtet man an den in der Gaswaschflasche aufsteigenden Luftblasen.

Einen besonderen Reiz gewinnt der Versuch dadurch, daß man in die Schlauchleitung ein Windrädchen einfügt, das sich in einem geschlossenen Gehäuse befindet (Abb. 38/3). Zwei durch seitliche Bohrungen eingeführte Glasröhren übernehmen die Zu- und die Ableitung der Luft. Sie sind so angeordnet, daß das Windrädchen vom Luftstrom getroffen wird.

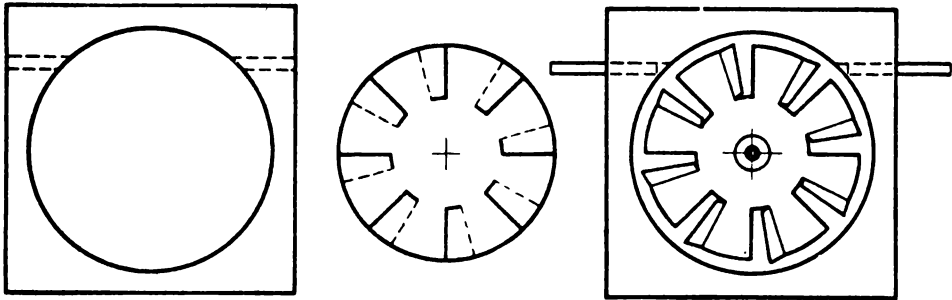


Abb. 39/1. Bau eines Windrades mit Gehäuse

a) Grundbrett, Grundform des Gehäuses

b) Kartonscheibe, Grundform des Flügelrades

c) fertiges Modell

Anleitung zum Herstellen des Windrädchens

Ein etwa 15 mm dickes quadratisches Brett mit den Abmessungen 120 mm \times 120 mm dient als Grundlage des Gehäuses. Man sägt aus seiner Mitte einen kreisrunden Ausschnitt heraus, dessen Durchmesser 100 mm beträgt. Danach versieht man das Brett parallel zu einer Seitenkante mit zwei 6 mm starken Bohrungen, die von einer Quadratecke 24 mm entfernt sind (Abb. 39/1 a). In diese Bohrungen führt man mit festem Sitz zwei Glasrohre ein und klebt sie mit Alleskleber fest.

Aus leichtem Karton schneidet man eine kreisrunde Scheibe mit einem Durchmesser von 90 mm aus und versieht sie vom Rande her mit acht zentral-symmetrisch angeordneten Einschnitten, so daß man nach Umkniffen gleichsinnig gelegener Sektorenränder die Scheibe zu einem Flügelrad formen kann (Abb. 39/1 b). Auf die Scheibe klebt man zentrisch einen kurzen Korken, durch den man axial eine kurze, beiderseitig abgestumpfte Glasröhre geführt hat.

Auf die eine Seite des Grundbrettes leimt und nagelt man als Rückwand ein dünnes quadratisches Brett mit einer Kantenlänge von 120 mm und treibt in der Mitte einen starken Nagel hindurch. Man glättet vorher den Schaft durch Abfeilen und kürzt ihn so, daß er nicht länger als höchstens 13 mm aus der Wand herausragt.

Auf den als Achse dienenden Nagel schiebt man das Flügelrad mit seinem Glasrohr und klebt auf die Vorderseite des Grundbrettes eine Glasscheibe (Abb. 39/1 c). Zuvor überzeugt man sich, daß das Flügelrad bei seiner Umdrehung in keiner Weise durch Reibung gehindert wird.

Bemerkungen:

1. Der Versuch eignet sich vorzüglich zur modellartigen Veranschaulichung eines elektrischen Stromkreises. Der Strom wird durch die im Schlauch fließende Luft wiedergegeben. Näheres über die Bedeutung solcher Modellversuche lese man unter MB, S. 30, nach.

2. Man kann die Versuchsanordnung auch dahin abändern, daß man den statisch wirkenden Druckbehälter durch eine Pumpvorrichtung ersetzt. Als solche eignet sich gut ein Gummidruckball, wie er bei Parfümzerstäubern verwendet wird. Die beiden Schlauchstutzen müssen mit einem Druck- bzw. einem Saugventil ausgestattet sein. An das Druckventil wird die Gaswaschflasche, an das Saugventil der Rückführungsschlauch angeschlossen. Drückt man den Gummiball mit der Hand rhythmisch zusammen, so wird die im System befindliche Luft in Bewegung gesetzt. Sie durchfließt die Schlauchleitungen immer im gleichen Sinne. Durch diesen Versuch wird die Wirkung einer Dynamomaschine sehr sinnfällig veranschaulicht. Die Bedeutung des vielfach gebrauchten Ausdrucks „Elektronenpumpe“ gewinnt dadurch Leben.

7. Nachweis einer Stromrichtung bei Gleichstrom [Ü]

Akkumulatorenbatterie, Kleinspannungsglühlampe (4 V) in Fassung (E 10) auf Sockel, Drehspulamperemeter mit Zeigernullstellung in der Mittellage, Hebelschalter, Hebelschalter, Verbindungskabel.

Aus einer Kleinspannungsquelle, einer Kleinspannungsglühlampe, einem Amperemeter, dessen Nullpunkt in der Skalenmitte liegt, und einem Schalter wird ein Stromkreis zusammengestellt (Abb. 40/1). Sobald man den Schalter schließt, leuchtet die Lampe; das Amperemeter zeigt einen Ausschlag. Man öffnet danach den Schalter und wechselt die Anschlußstelle an der Spannungsquelle um. Schließt man den Schalter wieder, so leuchtet die Lampe in gleicher Weise; das Amperemeter zeigt einen Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite wie vorher. Man sieht, daß ein Umwechseln der Spannungsanschlüsse eine Änderung der Stromrichtung bewirkt.

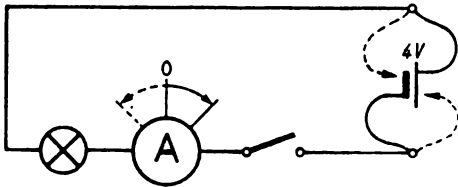


Abb. 40/1. Umkehr der Stromrichtung beim Vertauschen der Anschlußstellen an die Spannungsquelle

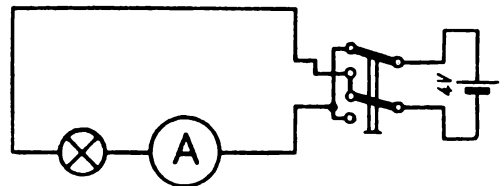


Abb. 40/2. Umkehr der Stromrichtung durch einen Hebelschalter (Schaltbild)

Man kann die Versuchsanordnung dahin abändern, daß man die Anschlüsse an der Spannungsquelle nicht auswechselt und statt dessen den einfachen Schalter durch einen Hebelschalter ersetzt (Abb. 40/2). Der Stromrichtungswechsel wird dann durch ein einfaches Umlegen des Hebels am Umschalter bewirkt.

Bemerkung: Der Versuch berechtigt noch nicht zu dem Schluß auf eine bestimmte Stromrichtung. Diesen kann man nur ziehen, wenn die Polverteilung der Spannungsquelle bekannt ist. Man wird dabei zwischen der technischen Stromrichtung und der Richtung des Elektronenstroms unterscheiden. Man kann der auf diese Weise ermittelten Stromrichtung die ihr entsprechende Ausschlagsrichtung zuordnen und diese dann als Kriterium der Stromrichtung verwenden.

8. Untersuchung der Polarität einer Spannungsquelle

Polreagenzpapier, Glasscheibe, 2 Glühlampen (220 V) in Fassungen (E 27) auf Sockel, Verbindungskabel; Glimmlampe in Fassung auf Sockel, Polsucher, Gleichstromnetzanschluß.

Der Versuch dient zur Untersuchung der Verteilung der Pole an einer Gleichspannungsquelle und damit zur Entscheidung über die Stromrichtung.

Versuch 1:

Man schließt an eine Gleichspannungssteckdose zwei Verbindungskabel an und schaltet in jede Leitung zur Vermeidung eines Kurzschlusses eine Glühlampe ein. Dann legt man auf eine auf dem Tisch liegende Glasscheibe ein Stück Polreagenzpapier von der Größe einer halben Postkarte und feuchtet es an. Berührt man das Papier gleichzeitig mit den freien Steckern der Verbindungskabel, so färbt sich das Polreagenzpapier an dem mit dem negativen Pol verbundenen Stecker rot (Abb. 41/1). Da die technische Stromrichtung definitionsgemäß vom positiven zum negativen Pol hinführt, ist mit der Unterscheidung der Pole gleichzeitig auch die Richtung des Stromes festgelegt. Dieses Verfahren ist auch auf Kleinspannungen anwendbar. Siehe auch V 28.

Versuch 2:

Verbindet man die Anschlußklemmen einer auf einem Sockel stehenden Glimmlampe mit den Polen einer Gleichspannungssteckdose, wobei wieder zur Sicherung gegen Kurzschluß zwei Glühlampen vorgelegt werden, so überzieht sich die mit dem negativen Pol in Verbindung stehende Elektrode mit einer Glimmhaut. Die andere Elektrode bleibt dunkel (Abb. 41/2). Die Glühlampen leuchten nicht; sie zeigen keinen Strom an. Ist die Leitungsführung in der Glimmlampe und am Sockel eindeutig zu erkennen, so kann man auf diese Weise die Polarität der Steckdose bestimmen.

Weit bequemer ist ein Polsucher zu handhaben. Er enthält ein Glimmröhrchen, das mit zwei stabförmigen Elektroden ausgestattet ist.

Bemerkungen:

1. Beim Verwenden einer Glimmlampe ist folgendes zu beachten: Es fließt selbstverständlich auch durch die Glimmlampe ein Strom. Seine Stärke ist aber außerordentlich gering; sie beträgt nur wenige Milliampere. Ein so schwacher Strom bringt aber die mit der Glimmlampe in Reihe geschalteten Glühlampen nicht zum Leuchten. Man begeht somit keinen wesentlichen Fehler, wenn man hier das Nichtaufleuchten der Glühlampe als ein Kennzeichen für die Stromlosigkeit der Leitung ansieht.
2. Beachte Hinweis 9 und 10 des § 7, 2.

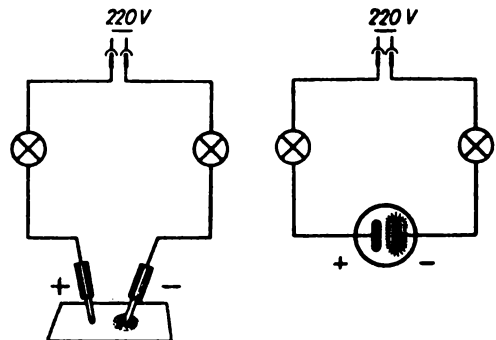


Abb. 41/1. Verwendung von Polreagenzpapier zum Ermitteln der Polarität einer Steckdose

Abb. 41/2. Ermittlung der Polverteilung an einer Steckdose mit Hilfe einer Glimmlampe

9. Vorversuch zur Einführung des Wechselstrombegriffes [Ü]

Die gleichen Geräte wie bei V 7. Dazu ein Dreheisenamperemeter.

Man stellt die gleiche Versuchsanordnung her wie in V 7 und fügt einen Umschalter nach Abb. 40/2 ein. Bewegt man den Griff des Umschalters hin und her, so ändert sich im gleichen Takt die Richtung des Amperemeterausschlages. Der Zeiger schwingt ebenfalls hin und her. Nimmt die Wechselgeschwindigkeit des Umschalters allmählich zu, so folgen auch die Zeigerschwingungen schneller aufeinander. Bewegt man den Schaltergriff sehr schnell hin und her, so vermag der Zeiger dem nicht mehr zu folgen. Er vollführt nur noch eine Zitterbewegung um die Nullage.

Die Schüler lernen so, daß ein Wechselstrom ein elektrischer Strom ist, der in rascher Folge periodisch seine Richtung ändert. Gleichzeitig erkennen sie, daß Drehspulgeräte in Wechselstromkreisen nicht verwendbar sind.

Ersetzt man das Drehspulamperemeter durch ein Dreheisenamperemeter, so zeigt das Gerät einen Ausschlag, der um einen mittleren Wert schwankt, und zwar um so weniger, je schneller der Stromwechsel erfolgt.

10. Unterscheidung von Gleich- und Wechselstrom [Ü]

Blanker Metallstab, Messer oder andere längliche, stark reflektierende Gegenstände, z. B. eine Stricknadel. Dazu die gleichen Geräte wie bei V 8. Außerdem Drehspiegel, Vorlängerkabel, Stativ mit Muffe und Klemme. Wechselstromnetzanschluß.

Versuch 1:

Der Versuch ermöglicht es, in einfacher Weise die Frage zu entscheiden, ob das Zimmer, in dem man sich befindet, an ein Wechselstromnetz oder an ein Gleichstromnetz angeschlossen ist. Er erfordert keine speziellen Hilfsmittel und ist als Freihandversuch anzusprechen. Man hält einen blanken Metallstab, einen Messerrücken, einen Löffelstiel oder einen Bleistift vor einen dunklen, nicht reflektierenden Hintergrund. Als solcher eignet sich am besten die geöffnete Tür zu einem benachbarten verdunkelten Raum. Der Gegenstand wird durch eine mit Wechselstrom gespeiste, hinter dem Beobachter befindliche Glühlampe beleuchtet und schnell auf und nieder bzw. hin und her bewegt (Abb. 42/1). Dabei wird der Lichtreflex am Gegenstand zu einer breiten Fläche auseinandergezogen. Diese wird von einer Anzahl fächerförmig angeordneter dunkler Streifen durchsetzt, die um so weiter auseinanderliegen, je schneller der Metallstab bewegt wird (Abb. 43/1 a). Jeder dunkle Streifen entspricht dem Augenblick eines Stromwechsels. Führt man den gleichen Versuch bei Gleichstrombeleuchtung aus, so treten die Dunkelstreifen nicht auf (Abb. 43/1 b).

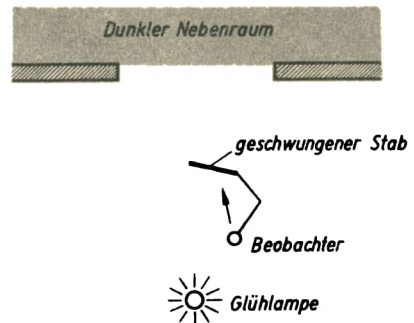


Abb. 42/1. Anordnung der Einzelteile beim Nachweis des Stromwechsels mit Hilfe eines geschwungenen Stabes

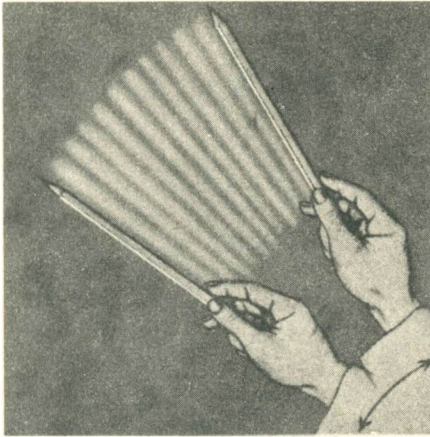
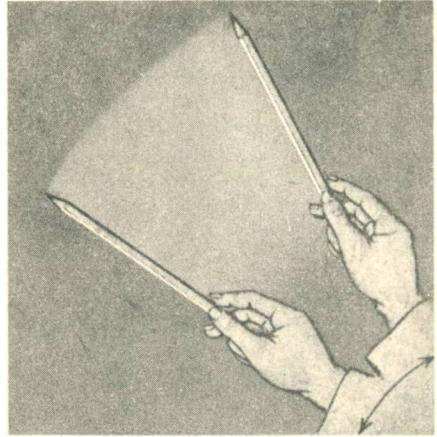


Abb. 43/1. Geschwungener Bleistift
a) bei Wechselstrombeleuchtung



b) bei Gleichstrombeleuchtung

Versuch 2:

Ein Polsucher wird mit seinen Steckern an die Buchsen eines Verlängerungskabels angeschlossen und von einem Stativ in vertikaler Lage gehalten. Schließt man das Verlängerungskabel an eine Steckdose des Wechselstromnetzes an, so überziehen sich beide Elektroden des Polsuchers mit einer Glimmlichthaut. Betrachtet man das Glimmröhrchen in einem Drehspiegel, so sieht man ein abwechselnd nach beiden Seiten gezacktes Lichtband (Abb. 43/2).

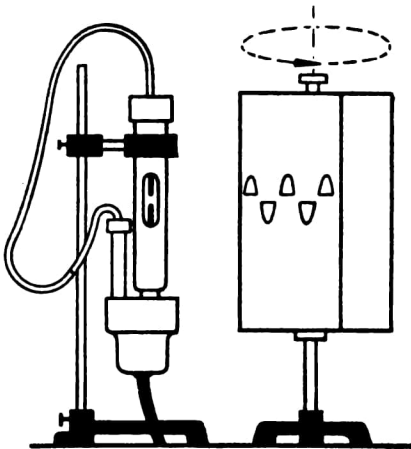


Abb. 43/2. Betrachten eines unter Wechselspannung stehenden Polsuchers in einem Drehspiegel

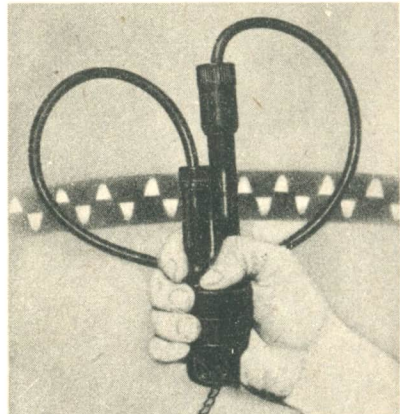


Abb. 43/3. Polsucher als Wechselstromanzeiger. Das Lichtband, das beim Hinundherbewegen eines an ein Wechselstromnetz angeschlossenen Polsuchers erscheint, ist nachträglich eingezeichnet

Dieselbe Erscheinung kann man ohne Drehspiegel beobachten, wenn man die Anschlußhülse des Verlängerungskabels und den darin steckenden Polsucher mit der Faust umschließt und ihn mit ausgestrecktem Arm schnell hin und her bewegt.

Man erkennt deutlich eine leuchtende Zickzackspur, die das Glimmlicht der Elektroden als Nachwirkung im Auge hervorrufft (Abb. 43/3).

Versuch 3:

Über die Verwendung von Polreagenzpapier zum Unterscheiden von Gleich- und von Wechselstrom siehe V 28.

§ 12. WÄRMEWIRKUNGEN
DES ELEKTRISCHEN STROMES

11. Erwärmung eines Drahtes bei Stromdurchgang [Ü]

- a) Weithalsiger Erlenmeyerkolben (100 ml), einfach durchbohrter Gummistopfen, Stricknadel, Heizwendelstück (Drahtdurchmesser 0,6 mm, Länge 25 mm), 2 Lüsterklemmeneinsätze, 2 Krokodilklemmen, Stabthermometer (250 °C).
- b) Geräte wie bei a), statt des Thermometers 1 doppelt U-förmig gebogenes Glasrohr (Länge 500 mm), Farbflüssigkeit, weiße Kartonscheibe.
- c) 2 Tischklemmen, 2 Klemmenstangen, Widerstandsdraht (Ø 0,5 mm, Länge 750 mm, hergestellt aus einer Heizwendel), Hakengewichtsstück (20 p), 1 Leiste (300 mm × 50 mm × 5 mm), 1 Brettchen (100 mm × 75 mm × 20 mm).
Zu a), b), c) Stromversorgungsgerät, Verbindungskabel, Hebelschalter.

Versuch a: Nachweis der Erwärmung mit Hilfe eines Thermometers

Man bohrt durch einen auf einen Erlenmeyerkolben passenden Gummistopfen im gegenseitigen Abstände von 25 mm zwei halbe Stricknadeln und klemmt zwischen ihre beiden Enden mittels zweier Lüsterklemmeneinsätze ein etwa 25 mm langes Heizwendelstück. Durch die Bohrung des Stopfens führt man ein Stabthermometer so ein, daß sein Ende etwa 2 cm

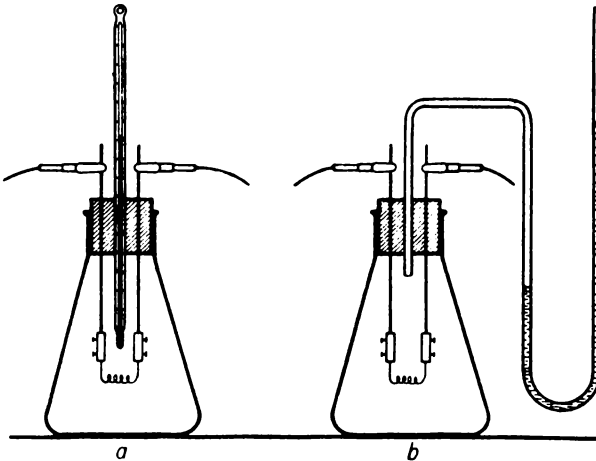


Abb. 44/1. Nachweis der Erwärmung eines stromdurchflossenen Drahtes mit Hilfe

- a) eines Thermometers
- b) eines Manometers

über der Wendel steht. Sodann verschließt man den Kolben durch den so vorbereiteten Stopfen (Abb. 44/1 a). Man schließt die aus dem Stopfen herausragenden Enden der Stricknadeln mit Hilfe von Krokodilklemmen und Verbindungskabeln über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät an ($2\text{--}6\text{ V}\approx$). Beim Schließen des Stromkreises kann man, je nach der Höhe der gewählten Spannung, ein mehr oder minder schnelles Ansteigen der Temperatur beobachten.

Versuch b: Nachweis der Erwärmung mit Hilfe eines Manometers

Man ersetzt bei der Versuchsanordnung *a* das Thermometer durch ein doppelt U-förmig gebogenes Glasrohr als Manometer und gießt etwas Farbfüssigkeit hinein (Abb. 44/1 b). Die Stricknadeln werden, wie beim Versuch *a*, mit dem Stromversorgungsgerät verbunden ($2\text{--}6\text{ V}\approx$). Schließt man den Stromkreis, so dehnt sich die Luft infolge der Erwärmung der Wendel aus. Man kann dies an dem Steigen der Manometerflüssigkeit deutlich beobachten. Es empfiehlt sich, zur Erhöhung der Sichtbarkeit eine weiße Kartonscheibe hinter die Versuchsanordnung zu stellen.

Versuch c: Nachweis der Erwärmung durch Ausdehnung

Ein 750 mm langer, etwa 0,5 mm dicker Widerstandsdraht wird zwischen zwei Klemmenstangen, die man mittels zweier Tischklemmen an der Tischkante befestigt hat, straff gespannt. Man verbindet den Draht über einen Schalter mit dem Stromversorgungsgerät ($16\text{ V}\approx$). In der Mitte hängt man an den Draht ein Hakengewichtsstück und stellt zum Erleichtern der Beobachtung hinter den Draht eine Leiste, an die man ein Brettchen als Fuß geleimt und genagelt hat (Abb. 45/1).

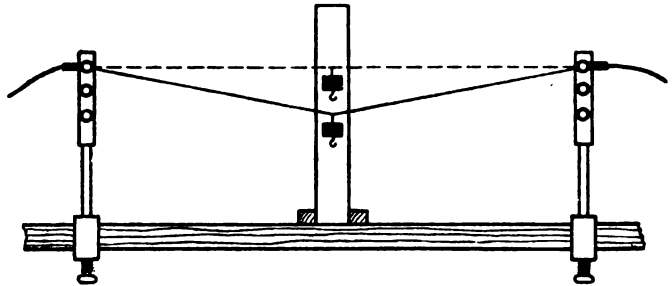


Abb. 45/1. Erwärmung eines Drahtes durch den elektrischen Strom

Nach dem Einschalten des Stromes senkt sich das Hakengewichtsstück infolge der Verlängerung des Drahtes durch die Erwärmung um mehrere Zentimeter, ohne daß der Draht glüht. Beim Ausschalten des Stromes geht die Senkung nahezu wieder auf den Ausgangsstand zurück.

Bemerkungen:

1. Während der Versuch *a* nur eine Einzelbeobachtung zuläßt, sind die Versuche *b* und *c* weithin sichtbar. Sie sind daher für den Klassenunterricht gut geeignet.
2. Man wird es vermeiden, die Stromstärke bei den Versuchen so zu steigern, daß der Draht zu glühen beginnt. Die Versuche sollen die Schüler vielmehr erkennen lassen, daß jeder noch so schwache Strom eine Erwärmung des von ihm durchflossenen Drahtes herbeiführt.
3. Die Verwendbarkeit einer Gleich- oder einer Wechselfspannung für die Durchführung der angegebenen Versuche beweist, daß sowohl ein Gleichstrom wie ein Wechselstrom von einer Wärmewirkung begleitet ist.

12. Glühen eines Drahtes bei Stromdurchgang [Ü]

2 dicke Leichtmetalldrähte (\varnothing 2 mm, Länge 150 mm) oder 2 Fahrradspeichen, 2 Lüsterklemmeneinsätze, Stück aus einer Heizwendel (5 Windungen, Drahtdurchmesser 0,5 mm), 2 Fußklemmen, Becherglas, Verbindungskabel, Schalter, Stromversorgungsgerät.

Zwei Leichtmetalldrähte werden rechtwinklig gebogen, so daß der eine Schenkel 90 mm und der andere 60 mm lang ist. An den kurzen Schenkeln werden zwei Lüsterklemmeneinsätze festgeschraubt. Zwischen die Lüsterklemmeneinsätze schraubt man ein kurzes Heizwendelstück. Die langen Schenkel der gewinkelten Drähte klemmt man an zwei Fußklemmen fest, die man an eine Spannungsquelle für 6 V anschließt (Abb.46/1). Schaltet man den Strom ein, so glüht die Wendel hell auf (vgl. Anwdg. 1). Bläst man gegen die Wendel, so läßt das Glühen im Luftstrom erheblich nach. Dieser kühlt nämlich die Wendel ab und wird dadurch selbst erhitzt (vgl. Anwdg. 2). Taucht man die Wendel in ein Glas mit Wasser, so hört sie beim Eintauchen ins Wasser sofort auf zu glühen. Das Wasser erwärmt sich (vgl. Anwdg. 3).

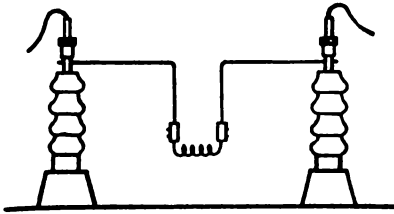


Abb. 46/1. Befestigung einer Heizwendel zwischen zwei Fußklemmen

Man kann nun ohne weiteres die Spannung bis auf 12 V erhöhen. Auch dann glüht die Wendel nicht im Wasser, aber dieses erwärmt sich schneller. Nimmt man bei dieser Spannung die Wendel aus dem Wasser, so erhitzt sie sich sofort zur Weißglut und brennt durch.

Dieser Versuch soll zeigen, daß ein Tauchsieder nur dann unter Spannung stehen darf, wenn er von einer Flüssigkeit umgeben ist; andernfalls brennt er infolge mangelnder Abkühlung durch.

Anwendungen:

1. Heizsonne, Heizöfen, Kochplatte, Lötkolben, Glühlampe.
2. Haartrockner, Handtrockner, Heizsonne mit Ventilator, Fön.
3. Elektrischer Kochtopf mit eingebauter Heizwendel, Tauchsieder, Durchlauferhitzer.

13. Einleitung von Zündvorgängen durch den elektrischen Strom

Magnesiumband (Länge 100 mm), Beutelchen mit Blitzlichtpulver (Größe 0), 2 Leichtmetalldrähte, 5 Windungen einer Heizwendel (Drahtdurchmesser 0,3 mm), 2 Lüsterklemmeneinsätze, 2 Fußklemmen, Ziegelstein, Verbindungskabel, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, dunkel gefärbte Glasscheibe.

Versuch 1: Zündung eines Magnesiumbandes

Ein 100 mm langes Magnesiumband wird in der Mitte auf eine Länge von etwa 5 mm schmaler geschnitten und zwischen zwei Fußklemmen ausgespannt. Diese verbindet man über einen Schalter mit einem Stromversorgungsgerät oder einer Akkumulatorenbatterie (4 ... 6 V \approx).

Beim Einschalten des Stromes erhitzt sich das Magnesiumband an der engen Stelle stark und entzündet sich. Es brennt dann nach beiden Seiten zu ab. Der Strom wird dabei unterbrochen.

Versuch 2: Zündung von Blitzlichtpulver

Zwei Leichtmetalldrähte werden wie im V 12 gebogen und zwischen zwei Fußklemmen festgeklemmt. Ein kurzes Stück einer Heizwendel spannt man zwischen den nach unten gerichteten Schenkeln der Drähte mit Hilfe zweier Lüsterklemmeneinsätze aus. Auf einen Ziegelstein legt man ein Beutelchen mit Blitzlichtpulver und öffnet es. Man stellt die Fußklemmen so auf, daß die Wendel in das Pulver taucht und schließt ein Stromversorgungsgerät oder eine Akkumulatorenbatterie daran ($10 \cdots 12 \text{ V} \approx$).

Nach dem Einschalten des Stromes flammt das Pulver sofort auf. Damit die Schüler nicht geblendet werden, stellt man eine dunkelfarbige Glasscheibe als Schutz davor.

Hat man eine lange Doppelleitung zur Verfügung, so kann das Zünden zur Veranschaulichung einer elektrischen Fernzündung vom Nachbarzimmer aus erfolgen.

14. Erwärmen einer Kochsalzlösung bei Stromdurchgang

2 Fußklemmen, 2 Haltestangen, 2 Kohleplatten oder Bleiplatten, großes Becherglas, Kochsalz, Verbindungskabel, Wechselstromanschluß.

Die Kohleplatten werden mit Hilfe zweier Haltestangen an zwei Fußklemmen befestigt. Man taucht die Kohleplatten unter einem gegenseitigen Abstand von etwa 50 mm in ein Becherglas und gießt eine verdünnte Salzlösung in das Glas. Diese soll nur einige Gramm Kochsalz auf einen Liter Wasser enthalten. Die Fußklemmen werden an das Wechselstromnetz angeschlossen. Bei 220 V siedet das Wasser bereits nach zwei Minuten.

Bemerkung: Die Schüler sind vom Versuch fernzuhalten, da unmittelbar mit Netzspannung gearbeitet wird.

15. Vergleich der Leuchtwirkung eines gestreckten und eines gewendelten Glühdrahtes

Stativstab (500 mm), Stativfuß, 2 Kreuzmuffen, 2 Klemmenstangen, 2 je 80 mm lange Kupferdrähte ($\varnothing 1,5 \text{ mm}$), 2 Lüsterklemmeneinsätze, ein 20 mm langes Stück einer Heizwendel (Drahtdurchmesser 0,5 mm), Verbindungskabel, Stromversorgungsgerät.

Ein 20 mm langes Heizwendelstück wird vor den Augen der Schüler halbiert. Die eine Hälfte wird zu einem gestreckten Draht ausgezogen, die andere Hälfte bleibt unverändert und wird zwischen zwei Lüsterklemmen eingeklemmt. An diese werden zwei etwa 80 mm lange Kupferdrähte angeschlossen. Den gestreckten Draht

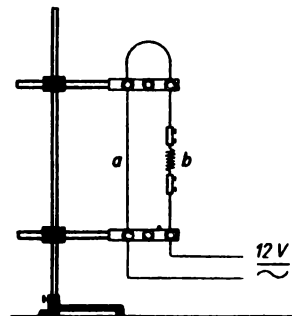


Abb. 47/1. Vergleich der Leuchtwirkung eines gestreckten (a) und eines gewendelten (b) Glühdrahtes

und die zwischen den Kupferdrähten befindliche Wendel spannt man an einem Stativ zwischen zwei Klemmenstangen aus (Abb. 47/1). Die Klemmen der oberen Klemmenstange werden durch ein Verbindungskabel miteinander verbunden. An die Klemmen der unteren Klemmenstange wird über einen Schalter ein Stromversorgungsgerät angeschlossen (12 V \approx).

Beim Einschalten des Stromes kann man beobachten, daß von dem gewendelten Draht eine größere Lechtwirkung ausgeht als von dem gestreckten, obwohl Material, Länge und Durchmesser der Drahtstücke die gleichen sind und der gleiche Strom durch sie hindurchfließt. Diese Erscheinung ist bei Gleich- wie bei Wechselstrom zu beobachten. Sie ist dadurch zu erklären, daß sich die Windungen der Heizwendel gegenseitig aufheizen.

16. Herstellen von Glühlampenschaltungsmodellen [Ü]

Zum Herstellen der Modelle:

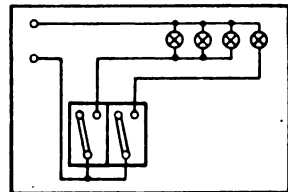
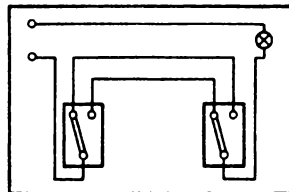
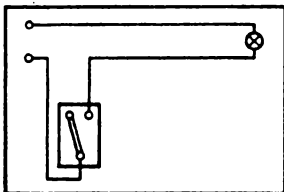
3 Bretter (300 mm × 200 mm × 10 mm) oder Papptafeln von gleicher Größe, sechs Lampenfassungen (E 10), 6 Kleinspannungslampen (4 V), 5 Klingelausschalter, etwa 5 m Leitungsdraht, Holzschrauben, 6 Bananensteckerbuchsen mit Muttern, kleine Nägel.

Zum Vorführen der Modelle:

Stativfuß, Stativstab (500 mm) und Schnellklemme; Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Schalter.

Herstellung der Modelle:

Man ordnet die Einzelteile auf drei Brettern im Querformat an (Abb. 48/1). Dadurch erreicht man, daß die Anordnung der Wirklichkeit entspricht. Die an der Decke befindlichen Schaltteile werden längs der Oberkante der Bretter angebracht, während die Schalter nach unten verlegt werden. In der linken oberen Ecke der Bretter, die man auch durch starke Papptafeln ersetzen kann, bringt man zwei Bohrungen an, in die man zwei Bananensteckerbuchsen zur Verbindung mit der Spannungsquelle einschraubt. An den für die Modelle benötigten Klingelausschaltern beseitigt man die Blechstreifen, die die Schalterachse mit der einen Klemmenschraube verbinden. Die Schalter und die Glühlampenfassungen befestigt man mit kleinen Holzschrauben bzw. bei der Wahl von Pappe als Grundlage in kleinen Löchern mit Bindendraht. Zur Verdrahtung der Modelle benutzt man Leitungsdraht, der sich durch die Farbe seiner Umspinnung gut von den Grundbrettern abhebt. Man verlegt ihn auf der Vorderseite der Bretter und



a) Ein-Aus-Schaltung

b) Wechselschaltung

c) Serienschaltung

Abb. 48/1. Glühlampenschaltungsmodelle

befestigt ihn mit krampfenartig gebogenen Nägeln. Die Einzelheiten der Leitungsführung sind aus der Abb. 48/1 zu entnehmen.

Vorführung der Modelle:

Zum Vorführen der Modelle im Unterricht klemmt man sie in vertikaler Stellung am Stativ mit Hilfe einer Schnellklemme fest. Auch eine einfache, an ein Stativ geklemmte Parallelmuffe kann dazu verwendet werden. Man legt an die Bananensteckerbuchsen eine Spannung von $4\text{ V} \approx$.

Bemerkungen:

1. Das Herstellen von Glühlampenschaltungen stößt bei den Schülern erfahrungsgemäß auf großes Interesse. Wenn diesen Modellen auch nicht ein polytechnischer Bildungswert abzusprechen ist, so sind sie doch für den Klassenunterricht wenig geeignet. Wohl aber ist ihre Anfertigung für Schülerarbeitsgemeinschaften und für den Werkunterricht in der Elektrotechnik zu empfehlen. Auch sind die Schüler meist gern bereit, solche Modelle in häuslicher Arbeit herzustellen.
2. Die zu den Modellen verwendeten Klingelausschalter haben zwar mit den üblichen Starkstromschaltern nichts gemeinsam, kommen aber im Prinzip den Kippschaltern sehr nahe und ermöglichen eine einfache, einprägsame und für Schulzwecke sehr geeignete Leitungsführung.

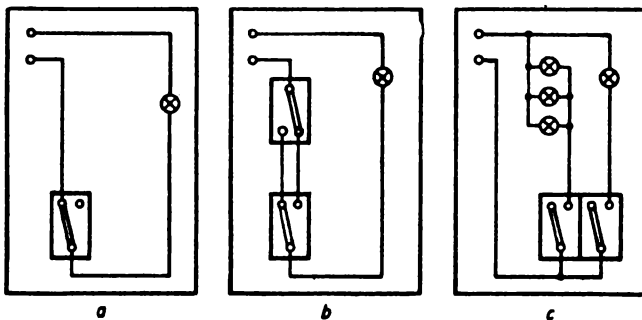
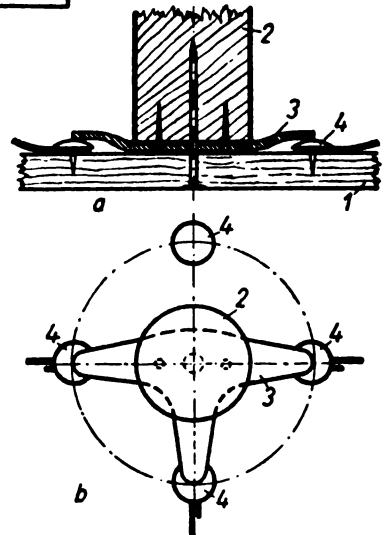


Abb 49/1. Anordnung der Glühlampenschaltmodelle auf der Schmalseite als Grundkante
 a) Ein-Aus-Schaltung
 b) Wechselschaltung
 c) Serienschaltung

Abb. 49/2. Behelfsmäßig hergestelltes Drehschaltermodell (Serienschalter)

- a) Aufriß b) Grundriß
 1 Grundbrett, 2 Rundholz,
 3 T-förmiges Blechstück,
 4 Reißnägeln



3. Bei der Serienschaltung entspricht die Anordnung der Schalter im Modell dem Gebrauch von Serienkipp- bzw. Seriendruckschaltern. Diese Schalter vereinigen jeweils zwei Ausschalter in einem Gehäuse. Sie haben gegenüber den Drehschaltern den Vorteil, daß bei ihnen nicht alle Lampengruppen durchgeschaltet zu werden brauchen, sondern einzeln bedient werden können.
4. Kommt es bei den Modellen nur auf das Grundsätzliche der Schaltung an, so kann man mit Vorteil die Schmalseite der Bretter nach unten kehren und die Leitungsführung nach Art von Abb. 49/1 gestalten.
5. Man rate Schülern, die sich zur Selbstanfertigung der Schaltmodelle entschließen, den Bau der Modelle dadurch zu verbilligen, daß sie sich die Schalter als Drehschalter behelfsmäßig selbst herstellen.

Dies kann man aus einigen Reißnägeln, einem Blechstück, einem Stück Rundholz, einigen kleinen Holzschrauben und einem Nagel bei einiger Geschicklichkeit nach Abb. 49/2 verhältnismäßig leicht durchführen.

17. Vorversuch zur Bogenlampe [Ü]

2 Fußklemmen, 2 Bleistiftminen, Verbindungskabel, Stromversorgungsgerät, dunkel gefärbte oder berußte Glasscheibe, Schalter.

Man klemmt zwei Bleistiftminen in waagerechter Lage unter die Rändelschrauben zweier Fußklemmen fest und stellt diese so auf, daß sich die Bleistiftminen mit einem ganz kurzen Abstand gegenüberstehen. Die Fußklemmen schließt man über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät an (20 V—). Nachdem man den Stromkreis geschlossen hat, verschiebt man die eine Fußklemme vorsichtig so weit, bis sich die Enden der Bleistiftminen berühren. Darauf trennt man diese sofort wieder um höchstens 1 mm. Es entsteht zwischen den Bleistiftminen ein Lichtbogen.

Man kann deutlich am Ende der mit dem positiven Pol der Spannungsquelle verbundenen Bleistiftmine die Bildung eines Kraters beobachten.

Bemerkung: Es ist unbedingt darauf zu achten, daß die Schüler nicht unmittelbar in den Lichtbogen schauen. Die Beobachtung darf nur durch eine vor den Lichtbogen gehaltene dunkel-farbige oder berußte Glasscheibe erfolgen.

18. Modell einer einfachen Bogenlampe

2 Klemmenstangen, Blattfeder mit Schaft und Steckbuchse, Stecker mit Schreibspitze, Kontaktschraubenträger mit Kontaktschraube. Ferner 2 Kohlestäbe aus einer Taschenlampenbatterie, Kupferdraht (\varnothing 0,8 mm), Stativfuß, Stativstab (250 mm), 3 Kreuzmuffen, Stromversorgungsgerät, Schalter, dunkel gefärbte oder berußte Glasscheibe, Verbindungskabel. Zusätzlich Schiebewiderstand (rd. 3 Ω), Bikonvexlinse ($f = 40$ cm), Grundbrett mit Spannvorrichtung, Spule (750/1500 Wdg.), Spule (125/250 Wdg.).

Versuchsanordnung:

Man entnimmt einer Taschenlampenbatterie zwei Kohlestäbe, glüht sie über einer Bunsenflamme aus und spitzt sie an einem Ende zu.

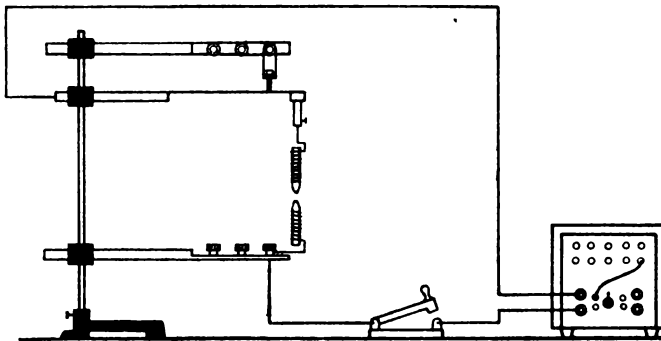


Abb. 50/1. Teilschaltbild des Modells einer Bogenlampe

Aus Kupferdraht (\varnothing 0,8 mm) stellt man zwei Wendeln zu je 4 Windungen her und steckt die Kohlestäbe mit ihren stumpfen Enden hinein. Damit die Kohlestäbe recht fest sitzen, muß man den inneren Durchmesser der Wendeln etwas kleiner machen als den Durchmesser der Stäbe. Bei schlechtem Kontakt bildet sich sonst ein Lichtbogen zwischen der Kohle und dem Haltedraht, so daß dieser durchschmelzen kann. Der eine Kohlestab wird mit dem Halter in eine Klemmenstange geklemmt. Bei dem anderen Kohlestab wird das Drahtende des Halters in die Bohrung der Schreibspitze gesteckt. Diese wird in die Buchse der Blattfeder geschoben (Abb. 50/1).

Damit keine zu starke Erwärmung der Klemmleiste sowie der Blattfeder entsteht, bemißt man den Abstand dieser Teile von den Kohlestäben auf mindestens 3 cm.

Wie die Abbildung zeigt, kann man die Entfernung der Kohlestäbe durch die Kontaktschraube eines Kontaktschraubenträgers ändern, der oberhalb der Blattfeder an einer Klemmenstange befestigt ist.

Versuch:

Man schließt das Modell an ein Stromversorgungsgerät (20 V –) an und stellt die Entfernung der Kohlestäbe auf 1 bis 2 mm ein. Dann drückt man mit dem Finger auf die Blattfeder. Die Kohlestäbe berühren sich und erhitzen sich an der Berührungsstelle. Läßt man die Blattfeder los, so schnell sie auf die eingestellte Entfernung zurück und zieht den Lichtbogen auseinander.

Man kann beobachten, daß beim Verwenden von Gleichstrom die positive Kohlespitze hell, die negative nur ganz schwach glüht. Der Lichtbogen selbst ist nur in geringem Maße an der Lichtwirkung beteiligt.

Bemerkungen:

1. Die in der Bemerkung zu V 17 gegebene Anweisung ist unbedingt zu beachten.
2. Der Versuch läßt sich auch in einfacher Weise durchführen. Man klemmt die Kohlestifte mit ihrem stumpfen Ende waagrecht in je eine Fußklemme, die man mit der Spannungsquelle verbindet. Dann nähert man die Fußklemmen vorsichtig mit der Hand einander, bis sich die Spitzen der Kohlestifte berühren, und trennt sie sogleich wieder. Es entsteht ein Lichtbogen.
3. Will man das Bogenlampenmodell als behelfsmäßige Lichtquelle für Schattenprojektion verwenden, so empfiehlt es sich, mit einer höheren Spannung zu arbeiten. Legt man die Bogenlampe in Reihe mit einem Widerstand von etwa 35Ω an die Netzspannung von 220 V, so entsteht bei einer Stromstärke von 5 A durch den Widerstand ein Spannungsabfall von 175 V. An der Bogenlampe liegt somit eine Spannung von 45 V. Wegen der Netzspannung ist beim Arbeiten mit der Bogenlampe Vorsicht geboten. Die Schüler sind von der Versuchsanordnung fernzuhalten.
4. Sehr instruktiv ist es für die Schüler, wenn man den Lichtbogen auf eine etwa 2,5 m von ihm entfernt stehende Projektionswand projiziert. Man verwendet dazu eine Bikonvexlinse mit einer Brennweite von $f = 40$ cm, die man an einem Stativ befestigt, das man, etwa 50 cm vom Lichtbogen entfernt, zwischen diesen und die Projektionswand stellt.
5. Man kann das Bogenlampenmodell kurzzeitig auch mit einem aus dem Aufbaugerätesatz zusammengestellten Transformator betreiben. Als Primärspule verwendet man eine Spule mit 750 Windungen, als Sekundärspule eine solche mit 250 Windungen. Damit erhält man bei einer Netzspannung von 220 V eine Betriebsspannung von etwa 30 bis 35 V, die für das Zünden und Aufrechterhalten eines Lichtbogens ausreicht.

19. Modell einer Jablotschkow-Kerze

Gebblätterter U-Kern, geblätterter I-Kern, Spule (750 Wdg.), Spule (250 Wdg.). Grundbrett mit Spannvorrichtung, Stativfuß, Stativstab (250 mm), Kreuzmuffe, Stabmuffe, Verbindungskabel, 2 Krokodilklemmen, 3 lange Stäbe aus Dochkohle (Ø 6 mm), Gummischlauch (Ø 6 mm, Wandstärke 1,5 mm), Gummischlauch (Ø 9 mm, Wandstärke 2 mm), Konservenbüchsenblech (10 mm×100 mm), 2 Schrauben mit Muttern (Ø 3 mm).

Herstellung des Modells:

Man stellt zunächst aus Konservenbüchsenblech oder aus dünnem Messingblech zwei Laschen zum Einklemmen der Kohlestäbe her. Zu diesem Zweck schneidet man zwei 50 mm lange Streifen aus dem Blech und biegt sie in der Mitte über einem Rund-eisen mit einem Durchmesser von 6 mm. Sehr gut eignet sich dafür der Schaft eines 6-mm-Spiralbohrers. Man preßt die beiden Streifenenden dicht am Rund-eisen in einen Schraubstock zusammen und erhält so eine Lasche. In die flachen Teile der Laschen bohrt man nahe der Rundung je ein 3 mm weites Loch und setzt je eine kurze Mutter-schraube ein. Dann schneidet man von einem 6 mm weiten Gummischlauch ein 20 mm langes und zwei 5 mm lange Stücke und von einem 9 mm weiten Gummischlauch zwei 8 mm lange Stücke ab. Die Laschen und die Schlauchstücke schiebt man, wie es Abb. 52/1 zeigt, auf die Kohlestifte. Diese werden vorher an einem Ende unter einem Winkel von 45° schräg gefeilt. Das fertige Modell wird mit Hilfe einer Stabmuffe an einem Stativ befestigt.

Versuch:

Man stellt aus Aufbauteilen eines Aufbaugerätesatzes einen Transformator zu-sammen. Als Primärspule verwendet man eine solche mit 750 Windungen, als Sekun-därspule eine solche mit 250 Windungen. Die von der Sekundär-klemme herkommenden Verbindungskabel klemmt man durch zwei Krokodilklemmen an die Laschen der Kohlestifte. Man schaltet den Primärstrom ein und bringt die Kerze zum Zünden, indem man mit einer dritten Kohle zwischen den Kohlen der Kerze eine leitende Verbindung herstellt. Flammt der Bogen auf, so nimmt man die Hilfskohle weg.

Bemerkungen:

1. Verwendet man statt der Dochkohlen Homogenkohlen, so streicht man den Raum zwischen den parallelen Kohlen mit Gips aus, damit der Lichtbogen nicht zwischen den Kohlen nach unten auswandern kann.
2. Die Hinweise 9 und 10 des § 7,2 sind zu beachten.

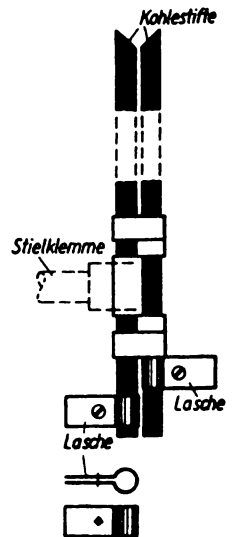


Abb. 52/1. Aufbau des Modells einer Jablotschkow-Kerze. Im Nebenbild das Muster einer Lasche

20. Schweißen mit Hilfe eines Lichtbogens

Geblätterter U-Kern, geblätterter I-Kern, Spule (750 Wdg.), Spule (250 Wdg.), Grundbrett mit Spannvorrichtung, 2 Fußklemmen, 2 Kohlestäbe (\varnothing 6 mm), Rasierklingen, Blechstreifen aus Konservenbüchsenblech, Feilkloben, Flachzange.

Die Versuchsanordnung wird so durchgeführt, wie es im V 18, Bem. 2, angegeben ist. Darauf legt man 4 bis 5 Rasierklingen aufeinander, preßt sie mit Hilfe eines Feilklobens oder notfalls mit Hilfe einer Flachzange zusammen und führt den Rand der Rasierklingen langsam am Lichtbogen entlang. Die Rasierklingen werden zusammenschweißt. Ebenso lassen sich Streifen von dünnem Konservenbüchsenblech an den Rändern zusammenschweißen.

Bemerkung: Die Bleche bzw. die Rasierklingen dürfen nicht zu weit in den Bogen gebracht werden, weil sonst der Bogen abreißt. Bei der direkten Lichtbogenschweißung ist das Werkstück der eine Pol und eine Metallelektrode der andere. Zwischen beiden wird der Lichtbogen gezogen. Dazu sind sehr hohe Stromstärken erforderlich, die in der Schule nicht zur Verfügung stehen.

21. Modellversuch zur Erklärung der Wirkungsweise einer Schmelzsicherung [Ü]

2 Fußklemmen, 2 Klemmenstangen, Glühlampe (18 V) in Fassung (E 14) auf Brett, dünner Widerstandsdraht zur Darstellung der Sicherung (\varnothing 0,1 mm, Länge 50 mm), 2 Widerstandsdrähte (\varnothing 0,40 mm, Länge 400 mm), Hebelschalter, Verbindungskabel, Stromversorgungsgerät, 2 Stativfüße, 2 Wollfäden, 2 Streifen Seidenpapier, 2 Drahthäkchen.

Versuchsanordnung:

Man stellt die Versuchsanordnung nach Abb. 53/1 zusammen. Als Sicherung verwendet man ein etwa 50 mm langes Stück eines sehr dünnen Widerstandsdrahtes, das man mittels zweier Drahthäkchen zwischen zwei Fußklemmen ausspannt. Der Stromkreis besteht außerdem aus zwei stärkeren, je 400 mm langen Widerstandsdrähten, die zur Verkörperung einer langen Leitungsstrecke dienen, einer Kleinspannungsglühlampe für 18 V, einem Schalter und einem Stromversorgungsgerät. Die beiden starken Widerstandsdrähte werden zwischen zwei vertikal aufgestellten Klemmenstangen ausgespannt und mit Wollfäden umwickelt, über die man zwei gefaltete Seidenpapierstreifen legt.

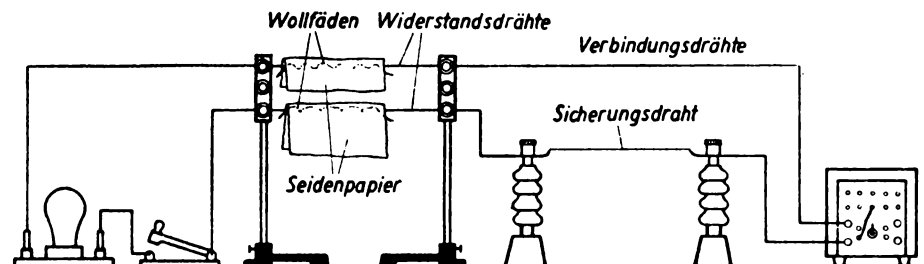


Abb. 53/1. Versuchsanordnung mit eingebautem Modell einer Schmelzsicherung

Versuch:

Schließt man den Stromkreis, so leuchtet die Lampe auf. Wird die Lampe durch ein Verbindungskabel kurzgeschlossen, so beginnt der Sicherungsdraht zu glühen und brennt nach kurzer Zeit durch. Man öffnet den Schalter, beseitigt den Kurzschluß an der Lampe und „flickt“ die Sicherung, indem man den dünnen Sicherungsdraht durch einen Leitungsdraht ersetzt.

Schließt man darauf den Schalter von neuem, so leuchtet die Lampe wieder auf. Ein erneutes Kurzschließen der Lampe bringt die Widerstandsdrähte zum Glühen. Dabei geraten zunächst die Wollfäden und dann das Seidenpapier in Brand.

Es empfiehlt sich, mit einer Wechselspannung von 18 V zu arbeiten, damit man den Gleichrichter des Stromversorgungsgerätes nicht überlastet.

Bemerkungen:

1. Der Versuch veranschaulicht gut die Wirkungsweise einer Schmelzsicherung. Er läßt sehr deutlich die Gefahr erkennen, die durch das Flickern einer Sicherung herbeigeführt wird.
2. Der Sicherungsdraht muß so dimensioniert sein, daß er beim Herstellen des Kurzschlusses an der Glühlampe schlagartig durchbrennt. Man kann statt des dünnen Widerstandsdrahtes mit Erfolg auch einen sehr dünnen etwa 100 mm langen Kupferdraht verwenden, den man aus einer abisolierten Kupferlitze entnimmt.
3. Nachdem der Sicherungsdraht durchgebrannt und durch einen starken Draht ersetzt ist, muß beim Herbeiführen eines Kurzschlusses der als Leitungsmodell dienende Widerstandsdraht gerade zu glühen anfangen, wenn die Wirklichkeit möglichst getreu wiedergegeben werden soll.

22. Modellversuch zum Sicherungsautomaten

Geblätterter U-Kern, Spule mit 10 Windungen, Klemmenstange, Kontaktschraubenträger mit Kontaktschraube, Blattfeder mit Schaft und Steckbuchse. Glühlampe (6 V, 5 A) in Fassung (E 14) auf Brett, ferner ein 120 mm langes Stück Uhrfeder (Breite 7 mm), Brettchen (80 mm × 50 mm × 7 mm), Rundholz (Ø 12 mm, Länge 60 mm), 2 Bananensteckerbuchsen (4 mm), Bimetallstreifen aus einer Heizkissenthermosicherung, Blechstück (20 mm × 25 mm), Widerstandsdraht (Ø 0,5 mm, Länge 150 mm), ein kleiner Holzklötz, 4 Holzschrauben, ein Stück Kupfer- oder Messingdraht (Ø 1,5 mm), Strohhalme, Verbindungskabel, Stromversorgungsgerät, 2 Krokodilklemmen, 2 Stativfüße oder Zylinderfüße, Stativstab (250 mm), 3 Kreuzmuffen.

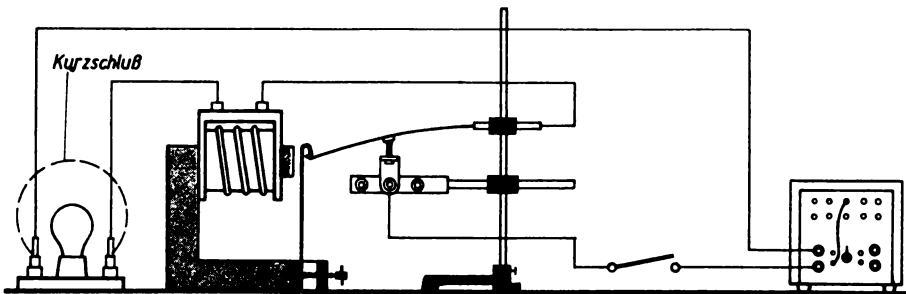


Abb. 54/1. Modellversuch zum Sicherungsautomaten mit magnetischer Auslösung

Es bestehen zur Konstruktion eines Sicherungsautomaten zwei Möglichkeiten, von denen die eine die magnetische Wirkung des Stromes, die andere seine thermische Wirkung in einem Bimetallstreifen ausnutzt. Wenn diese konstruktiven Möglichkeiten in den Sicherungsautomaten auch gemeinsam verwendet werden, so sollen ihre Wirkungsweisen aus methodischen Gründen doch der Gegenstand zweier getrennter Versuche sein.

Versuch a: Die magnetische Auslösung eines Sicherungsautomaten

Der Aufbau der Versuchsanordnung erfolgt nach Abb. 54/1. Eine gestreckte Uhrfeder wird an dem einen Ende ausgeglüht und zweimal umgebogen, so daß eine abgerundete etwa 5 mm breite Nase entsteht. Das andere Ende spannt man in eine Kreuzmuffe und rückt diese ganz dicht an einen auf dem einen Schenkel ruhenden geblättern U-Kern heran. Auf dessen oberem Schenkel steckt eine Spule mit 10 Windungen. Eine Blattfeder und eine Klemmenstange, an der man einen Kontaktschraubenträger befestigt hat, klemmt man so an ein Stativ, daß die Blattfeder die Kontaktschraube berührt, wenn sie an der Uhrfeder einrastet. Nicht eingerastet muß sich die Kontaktscheibe der Feder etwa 2 mm über der Kontaktschraube befinden.

Man vervollständigt die Anordnung nach Abb. 54/1 durch ein Stromversorgungsgerät (6 V \approx), eine Glühlampe und einen Schalter zu einem Stromkreis. Beim Einschalten des Stromes leuchtet die Lampe hell. Die Uhrfeder bleibt in Ruhe. Überbrückt man die Glühlampe durch ein Verbindungskabel, so wird die Uhrfeder schlagartig angezogen. Die Kontaktfeder rastet aus; der Stromkreis wird an der Kontaktschraube unterbrochen. Durch einen leichten Druck gegen die Blattfeder bringt man diese wieder an der Uhrfeder zum Einrasten. Dies entspricht dem Drücken auf den großen Knopf des Sicherungsautomaten. Solange allerdings der Kurzschluß in der Leitung besteht, gelingt das Wiedereinschalten des Stromes nicht.

Versuch b: Die thermische Auslösung des Sicherungsautomaten

Ein Bimetallstreifen aus der Thermosicherung eines unbrauchbar gewordenen Heizkissens wird an einem Ende rechtwinklig abgebogen, und zwar nach der Seite zu, auf der sich das Metall mit dem kleineren Ausdehnungskoeffizienten befindet. Der kurze Schenkel wird mittels zweier Schrauben an einem kleinen Holzklötzchen befestigt. Das obere Ende des Bimetallstreifens biegt man nach der anderen Seite zu einer kleinen Nase um und lötet daran ein kurzes Stück Kupferdraht, das zum Halten eines Strohhalmes als Zeiger dient. Ein Widerstandsdraht wird über einer Glasröhre mit einem Durchmesser von 7 mm oder über den Schaft eines Spiralbohrers zu einer Wendel gewickelt. Seine Enden werden zu zwei Ösen zurechtgebogen.

Diese werden unter zwei Bananensteckerbuchsen geklemmt, die man in zwei Bohrungen eines zur Aufnahme der Anordnung dienenden Grundbrettes festschraubt. Von

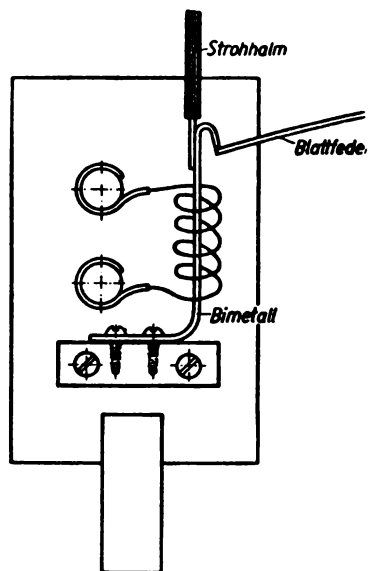
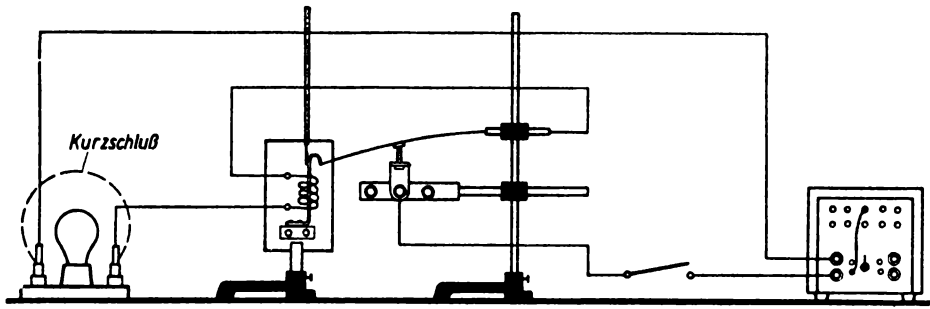


Abb. 55/1. Thermische Auslösungsvorrichtung eines Sicherungsautomaten

unten her führt man den Bimetallstreifen in die Wendel ein und schraubt den Holzklötz ebenfalls am Grundbrett fest (Abb. 55/1). Auf keinen Fall darf der Bimetallstreifen die Heizwendel berühren, auch wenn er sich beim Stromdurchgang biegt.

Damit man das Grundbrett aufrecht in einen Stativfuß stecken kann, leimt man es in den Schlitz eines Rundholzes. Man stellt nun die Versuchsanordnung nach Abb. 56/1 zusammen und schließt sie an das Stromversorgungsgerät (6 V \approx) an. Man läßt die Blattfeder an der Nase der Thermosicherung einrasten. Die Nase darf dabei nur die vorderste Kante der Kontaktfeder erfassen. Nach dem Einschalten leuchtet die Glühlampe auf. Die Heizwendel erwärmt sich allmählich. Sie soll keinesfalls glühen. Der Bimetallstreifen biegt sich durch und gibt schließlich die Kontaktfeder frei. Der Stromkreis wird unterbrochen.



Ab b. 56/1. Modellversuch zum Sicherungsautomaten mit thermischer Auslösung

Bemerkung: Die beiden Versuche geben ein anschauliches Bild von der Wirkungsweise der magnetischen und der thermischen Auslösung eines Sicherungsautomaten. Sie lassen erkennen, daß die magnetische Auslösung beim Überschreiten einer bestimmten Stromstärke den Stromkreis schlagartig unterbricht. Die thermische Auslösung dagegen schaltet den Strom ab, wenn infolge einer Dauerbelastung die Gefahr einer übermäßigen Erhitzung der Leitung oder eines Teiles davon besteht.

§ 13. CHEMISCHE WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

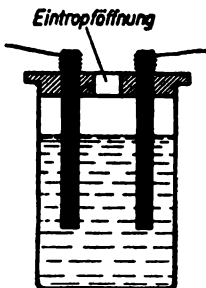
23. Die elektrische Leitfähigkeit von wäßrigen Flüssigkeiten

Benzol, Chloroform, destilliertes Wasser, Leitungswasser, verdünnte Schwefelsäure, verdünnte Natronlauge, Kochsalzlösung, Amperemeter mit verschiedenen Meßbereichen, Becherglas, rundes auf die Bechergläser passendes Brettchen mit Randfräsung, 2 ausgeglühte Kohlestifte aus einer Taschenlampenbatterie, Schalter, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Verbindungskabel.

Vorarbeiten:

Zwei Elektroden aus Kohlestiften werden an einem Ende mit einem dünnen Kupferdraht fest umwickelt (vgl. dazu V 18). Der freie Teil des Drahtes dient zur Strom-

Abb. 57/1. Halterung von Kohlestiften in einem durchbohrten Brettchen



zuführung. Die beiden Elektroden werden in einem durchbohrten Brettchen befestigt, so daß ihr Abstand unverändert bleibt (Abb. 57/1).

Statt der Kohlestifte sind auch zwei Kohleplatten sehr geeignet, die man mittels zweier Haltestangen zwischen zwei Fußklemmen befestigt und immer im gleichen Abstand aufstellt (Abb. 57/2).

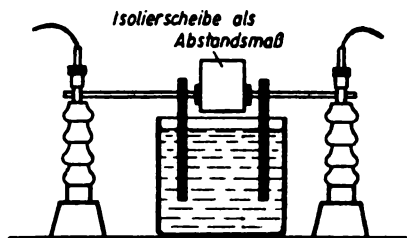


Abb. 57/2. Befestigung von Kohleplatten zwischen zwei Fußklemmen

Versuchsdurchführung:

Sieben gleich große Bechergläser werden nebeneinander aufgestellt und mit Benzol, Chloroform, destilliertem Wasser, Leitungswasser, verdünnter Schwefelsäure, verdünnter Natronlauge und Kochsalzlösung gefüllt. Die Elektroden werden über einen Schalter und ein Amperemeter an eine Spannungsquelle (2 bis 4 V –) angeschlossen. Man taucht sodann die Elektroden in der angegebenen Reihenfolge in die Flüssigkeiten, wobei man sie jedesmal gut abspülen muß. Das Galvanometer zeigt bei den ersten drei Gläsern keinen Ausschlag, bei Leitungswasser einen geringen Ausschlag. Bei den drei letzten Gläsern ist Vorsicht erforderlich, da der Ausschlag sehr groß werden kann. Zweckmäßig ändert man zuvor den Meßbereich des Amperemeters.

Bemerkungen:

1. An Stelle der Kohlelektroden kann man auch Platinbleche oder Molybdänbleche aus alten Radoröhren verwenden.
2. Die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Konzentration der Lösung kann man zeigen, indem man dem destillierten Wasser tropfenweise Schwefelsäure zusetzt. Der Ausschlag am Amperemeter nimmt zu. Ersetzt man das Amperemeter durch eine Glühlampe, so läßt sich die Zunahme der Leitfähigkeit durch Zugabe von Schwefelsäure an der zunehmenden Helligkeit der Glühlampe nachweisen.

24. Elektrolyse des angesäuerten Wassers („Wasserzersetzung“) [Ü]

Glasrohr (\varnothing 80 mm, Länge 200 mm), ein in das Glasrohr passender doppelt durchbohrter Stopfen, 2 Reagenzgläser, Schwefelsäure, Schalter, Akkumulator (2 bis 4 V) oder Stromversorgungsgerät, Hofmannscher Zersetzungsapparat, 2 Platin- oder 2 Kohlelektroden, Stativ, Röhrenklemme, Kreuzmuffe, Verbindungskabel.

Vorarbeiten:

Zwei Kohlestifte, die man aus einer Taschenlampenbatterie entnommen hat, werden in einen durchbohrten Stopfen wasserdicht eingepaßt. Die äußeren Enden werden zum Ermöglichen der Stromzuführung mit Metallschellen versehen oder mit dünnem Kupferdraht umwickelt. Auch zwei Krokodilklemmen, die man an die äußeren Enden der Kohlestifte klemmt, erfüllen denselben Zweck.

Versuchsdurchführung:

Das Glasrohr wird auf den Stopfen aufgesetzt und mit Hilfe einer Rohrklemme an einem Stativ befestigt. An die äußeren Elektroden wird über einen Schalter ein Akkumulator von 2 bis 4 V angeschlossen. Das Rohr wird etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt, dem ein wenig Schwefelsäure zugesetzt wurde. Über die Elektroden werden 2 mit dem gleichen Wasser voll angefüllte Reagenzgläser gestülpt (Abb. 58/1). In ihnen werden die Zersetzungsprodukte, an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff, aufgefangen. Sie werden in der üblichen Weise nachgewiesen.

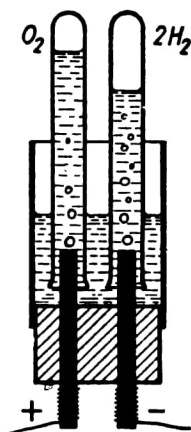


Abb. 58/1. Behelfsmäßige Vorrichtung für die Elektrolyse angesäuerten Wassers

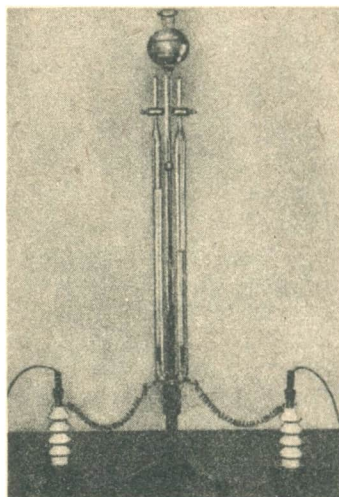


Abb. 58/2. Hofmannscher Apparat

An Stelle der behelfsmäßigen Einrichtung kann man auch einen Hofmannschen Zersetzungsapparat benutzen (Abb. 58/2).

Bemerkungen:

1. Verwendet man bei Demonstrationsversuchen an Stelle eines Akkumulators das Gleichspannungsnetz als Stromquelle, so ist als Sicherheitswiderstand eine 100-W-Lampe vorzuschalten. Auf die Hinweise 9 und 10 des § 7,2 ist zu achten.
2. Beim Verwenden von Kohlelektroden können durch chemische Umsetzungen an der Anode Störungen bei der Gasabscheidung eintreten. Es ist zweckmäßig, sich vor Beginn des Versuches davon zu überzeugen, daß er störungsfrei verläuft. Andernfalls müssen die Elektroden ausgewechselt werden. Im übrigen sind bei behelfsmäßigen Elektroden quantitative zutreffende Ergebnisse nicht zu erwarten. Der Versuch hat in diesem Falle nur informatorischen Charakter. An Stelle von Platinelektroden kann man auch solche aus Molybdänblech verwenden, das man aus alten Verstärkerröhren ausbaut. Auch V2A-Stahl hat sich bewährt.
3. Der Nachweis des Wasserstoffes bzw. des Sauerstoffes erfolgt unter Beachtung der üblichen Vorsichtsmaßregeln durch Entzünden des Gases bzw. durch Entflammen eines glimmenden Spanes beim Einführen in das den Sauerstoff enthaltende Rohr.
4. Bei einem mit graduierten Schenkeln ausgestatteten Gerät, das wie der Hofmannsche Zersetzungsapparat nicht mit Kohlelektroden versehen ist, kann leicht nachgewiesen werden, daß zwei Volumina Wasserstoff und ein Volumen Sauerstoff entstehen.
5. Will man verhüten, daß die Hähne des Hofmannschen Apparates beim Nichtgebrauch festtrocknen, so zieht man sie nach dem Gebrauch heraus und hängt sie am Apparat auf. Vor erneutem Gebrauch fettet man sie leicht ein.

25. Nachbildung der Oberfläche einer Münze oder einer Plakette – Galvanoplastik

Plakette oder Münze, Kartonpapier, Gips, Öl oder Fett, Graphitpulver, Pinsel, Aufhängedraht, Kupferblech, Glaswanne, Kupfersulfat, Amperemeter, Schiebewiderstand, Verbindungskabel, Akkumulatorenbatterie oder Stromversorgungsgerät, Stativ mit Muffe und Klemme.

Vorarbeiten:

Die Münze wird mit einem dünnflüssigen Öl leicht eingefettet und anschließend mit einem Streifen dünnen Kartonpapiers umwickelt, so daß ein Hohlzylinder entsteht. Der Zylinder wird über der Münze 1...2 cm hoch mit dünnem Gipsbrei angefüllt. Nach dem Erstarren des Gipses wird das Kartonpapier wieder abgewickelt und die Münze von dem Gipszylinder abgehoben. Damit der Abdruck elektrisch leitend wird, bepinselt man die Gipsform auf der Vorderseite und am Rande gut mit Graphit. Die Matrize wird mit einem dünnen blanken Kupferdraht umwickelt und der Draht nochmals mit Graphit bestrichen.

Versuch:

Eine Glaswanne wird mit gesättigter Kupfersulfatlösung angefüllt. Auf dem Boden des Glases sollen immer einige ungelöste Kristalle liegen. Als Anode taucht ein Kupferblech in die Lösung. Die Kathode besteht aus der Matrize, die man an einen Kupferdraht hängt. Die Bildseite der Matrize befindet sich einige Zentimeter vom Anodenblech entfernt. Die Stromstärke wird mittels eines Schiebewiderstandes so geregelt, daß die Stromdichte, bezogen auf die Kathodenfläche, 0,01 bis 0,02 A/cm² beträgt. Die Abscheidung des Kupfers dauert je nach der gewünschten Dicke bis zu mehreren Tagen. Ist der Kupferbelag dick genug, so wird er von der Matrize abgehoben.

Bemerkung: Will man einen fehlerfreien Kupferniederschlag erhalten, so muß man für die Stromdichte die angegebenen Werte wählen.

Man kann mittels der angegebenen Anordnung auch gepreßte Blumen und Blätter, die man mit Graphit überzogen hat, verkufern.

26. Die Wirkungsweise des Bleiakкумуляtors [Ü]

2 Bleistreifen oder -platten, Becherglas, Stromversorgungsgerät, Kleinspannungsglühlampe (2 V) in Fassung (E 10) auf Brett, Amperemeter mit Nullpunktsmittellage, Verbindungskabel, zwei Krokodilklemmen, Schalter, verdünnte Schwefelsäure.

Der Versuch zeigt modellartig die Erscheinungen beim Laden und beim Entladen eines Akkumulators und ist sehr geeignet, das Verständnis für die sich dabei abspielenden Vorgänge zu erwecken.

Man gießt in ein Becherglas verdünnte Schwefelsäure und stellt zwei Bleiplatten hinein, die man über einen Schalter mit einem Amperemeter verbindet. Schließt man den Schalter, so ist keinerlei Ausschlag zu beobachten.

Nunmehr schließt man den Leiterkreis über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (12 V –) an. Beim Einschalten des Stromes tritt an den Bleiplatten eine Gasentwicklung von Wasserstoff und Sauerstoff ein. Gleichzeitig überzieht sich die mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbundene Bleiplatte mit einer Schicht von braunem Bleidioxid. Das Amperemeter zeigt einen Ausschlag nach der einen Seite (Abb. 60/1).

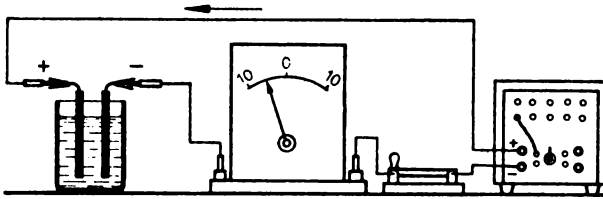


Abb. 60/1.
Laden eines Akkumulators

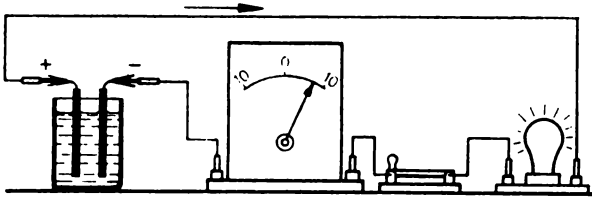


Abb. 60/2.
Entladen eines Akkumulators

Trennt man die Spannungsquelle vom Stromkreis und legt statt dessen eine Kleinspannungsglühlampe in die Leitung, so leuchtet die Lampe kurze Zeit hell auf; das Amperemeter zeigt einen Ausschlag nach der anderen Seite (Abb. 60/2). Es fließt demnach jetzt ein Strom in entgegengesetzter Richtung.

27. Unterscheidung der Pole einer Gleichspannungsquelle durch verschiedene Färbung einer Natriumsulfatlösung [Ü]

U-Rohr, Natriumsulfatlösung, Rotkohlabkochung, Glastrichter, Filter, Becherglas, Bunsenbrenner, Dreifuß, Asbestnetz, Platin- oder Molybdänblechelektroden, Stromversorgungsgerät oder Akkumulator, Verbindungskabel, Schalter, Stativfuß, Stativstab, Kreuzmuffe, Bunsenklemme.

Zur Vorbereitung des Versuches werden einige Rotkohlblätter mit Wasser abgekocht. Die rotviolette Lösung wird filtriert.

Darauf wird ein U-Rohr an einem Stativ befestigt und mit einer wäßrigen Natriumsulfatlösung angefüllt, die durch Zusatz der Rotkohlabkochung violett gefärbt ist. In die beiden Rohrenden werden zwei Elektroden eingetaucht. Verbindet man sie über einen Schalter mit den Polen einer Gleichspannungsquelle, so färbt sich die Flüssigkeit an der Anode rot und an der Kathode grün.

Bemerkung: Als Elektroden können notfalls Kohlestifte verwendet werden.

28. Nachweis des negativen Pols einer Spannungsquelle mit Hilfe von Polreagenzpapier

Phenolphthalein, Alkohol (Spiritus), Wasser, Kochsalz, Filtrierpapier, Stromversorgungsgerät, Verbindungskabel, Glühlampe (220 V) in Fassung (E 27) auf Brett.

Von etwa 0,5 g Phenolphthalein stellt man eine gesättigte Lösung in Alkohol her und verdünnt sie mit der 5fachen Menge Wasser, dem man etwa 4 g Kochsalz je Liter zugesetzt hat. Mit dieser Lösung tränkt man mehrere Streifen Filtrierpapier.

Dann legt man das feuchte Filtrierpapier auf eine Blechunterlage. Das Blech verbindet man mit dem positiven Pol eines Stromversorgungsgerätes (14 V—). Das mit dem negativen Pol verbundene Verbindungskabel endet frei in einem Bananenstecker. Führt man den Stecker über das Papier, so erhält man einen roten Strich. Benutzt man als Unterlage eine Glasplatte und verbindet die beiden Pole mit zwei Bananensteckern, die man dicht nebeneinander hält und gemeinsam über das Papier führt, so erzeugt der negative Pol auf dem Papier einen roten Strich (Abb. 61/1 a).

Sodann führt man den Versuch mit Wechselstrom durch, indem man die Verbindungskabel unmittelbar an eine Netzsteckdose anschließt und zur Sicherung in die Leitung eine 220-V-Glühlampe legt. Man bindet die freien Bananenstecker der Verbindungskabel dicht nebeneinander an einer Leiste fest. Diese führt man über das nach den oben genannten Angaben vorbereitete Papier hinweg, so daß die Bananenstecker das Papier gleichmäßig berühren. Es entstehen auf dem Papier zwei Reihen roter Punkte. Die Punkte beider Reihen sind gegeneinander so verschoben, daß jeweils ein Punkt der einen Reihe neben einer Lücke zwischen zwei Punkten der anderen Reihe liegt (Abb. 61/1 b).

Noch überzeugender wirkt der Versuch, wenn man die Bananensteckerenden fest mit zwei kurzen Stücken blanken Kupferdrahtes umwickelt, deren freie Enden man auf eine Länge von etwa 2 cm begrenzt. Man biegt die Enden der Drähte so, daß sie in einer Entfernung von etwa 5 mm parallel laufen. Beim Bestreichen des angefeuchteten Papiers erscheinen die Punkte schärfer begrenzt und sind deutlicher zu erkennen.

Bemerkungen:

1. Filtrierpapierstreifen, die auf die oben angegebene Weise vorbereitet sind, tragen den Namen *Polreagenzpapier*. Sie sind ein brauchbares Mittel, die Polarität der unter Spannung stehenden Teile festzustellen und daraus die Stromrichtung zu folgern.
2. Bei Benutzung einer Netzsteckdose sind die Hinweise 9 und 10 des § 7,2 zu berücksichtigen.

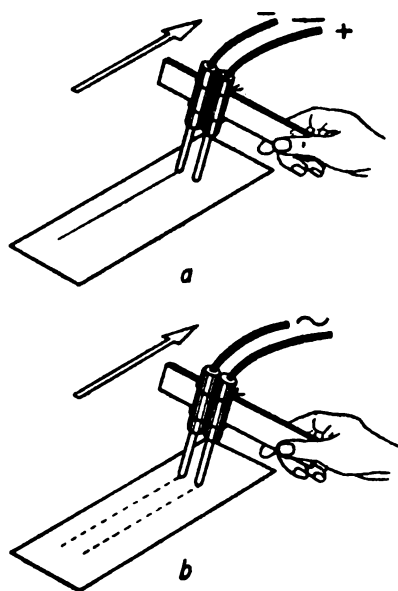


Abb. 61/1. Aufzeichnen einer Strichspur auf Polreagenzpapier durch zwei Bananenstecker
a) bei Gleichspannung
b) bei Wechselspannung

DRITTES KAPITEL

Die Grundgesetze des elektrischen Stromkreises

§ 14. METHODISCHE BEMERKUNGEN

1. Innerhalb des Wissensstoffes aus der Elektrizitätslehre, den die Schule den Schülern zu vermitteln hat, haben die *Grundgesetze des elektrischen Stromkreises* eine zentrale Bedeutung. Sie umfassen das *Ohmsche Gesetz*, den *Zusammenhang zwischen Stromleistung und -arbeit* und die *Kirchhoffschen Gesetze*. Man kann geradezu behaupten, daß das Ohmsche Gesetz und die Kirchhoffschen Gesetze die Schlüssel zum Verständnis der gesamten Lehre vom elektrischen Strom sind. Um so wichtiger ist es, die Schwierigkeiten, die sich bei der unterrichtlichen Behandlung dieses Lehrstoffes ergeben, genau zu analysieren, damit man sie möglichst vermeiden oder wenigstens auf ein Mindestmaß herabsetzen kann.

Der *Widerstandsbegriff* wurde im Jahre 1826 von *Georg Simon Ohm* eingeführt und auf Grund einer mathematischen Definition gewonnen. *Ohm* hatte erkannt, daß zwischen der Spannung und der Stromstärke eine Abhängigkeit besteht, die er durch die Gleichung $U = b \cdot I$ ausdrückte. Den Proportionalitätsfaktor b , mit anderen Worten den Quotienten $b = \frac{U}{I}$ aus Spannung und Stromstärke, der jetzt allgemein durch das Formelzeichen R wiedergegeben wird, bezeichnete er als den Widerstand. So führte eine abstrakte Definition zum Widerstandsbegriff, der sich für die gesamte Elektrizitätslehre und die Elektrotechnik als außerordentlich wichtig erwiesen hat.

Im Anfangsunterricht erwachsen bei dieser Ableitung des Widerstandsbegriffes Schwierigkeiten. Sie ergeben sich aus der Tatsache, daß der Widerstand eine aus zwei elektrischen Grundgrößen, der Spannung und der Stromstärke, abgeleitete Größe ist. Das ist besonders deutlich an der Definition der Einheit des Widerstandes, dem *Ohm* (Ω), zu erkennen. Die Schüler haben aber auf dieser Stufe für abstrakte, mathematische Definitionen im allgemeinen noch kein Verständnis. Sie verlangen nach einer handgreiflichen Vorstellung und wollen an neue Begriffe anschaulich herangeführt werden. Dem muß man auch hier Rechnung tragen. Man darf sich daher nicht davor scheuen, den Schülern den Widerstandsbegriff abweichend von seiner historischen Entwicklung, d. h. unabhängig von seiner Beziehung zur Spannung und zur Stromstärke, als elektrische Grundgröße darzubieten. V 29 weist auf eine Möglichkeit dazu hin. Man führt den Widerstand als die Eigenschaft der Stoffe ein, einen hindurchfließenden Strom zu hemmen, ihn in seiner Stärke zu schwächen. Wenn man diesen Weg zum Widerstand einschlägt, befindet man sich keineswegs im Widerspruch zum Prinzip der Wissenschaftlichkeit; denn die so gewonnene Vorstellung vom Widerstand wird auch im Ohmschen Widerstandsbegriff mit eingeschlossen. Die exakte Einführung des Widerstandes

nach G. S. Ohm wird dann auf der Oberstufe nachgeholt, wo die Schüler an abstrakte mathematische Definitionen schon gewöhnt sind.

Dieses Verfahren, den Widerstand rein anschaulich als selbständige physikalische Größe einzuführen, ruft sogleich neue Schwierigkeiten hervor, wenn es gilt, den Widerstandswert eines Leiters anzugeben, mit anderen Worten, einen Widerstand zu messen. Denn die Widerstandseinheit, das Ohm, ist noch nicht definiert, weil dies in strenger Weise nur in Anlehnung an das Ohmsche Gesetz möglich ist. Doch kann man diese Schwierigkeit umgehen, indem man das Ohm zunächst als eine aus der Erfahrung gewonnene Widerstandseinheit einführt, deren Bedeutung später erkannt werden wird. Es empfiehlt sich, den Schülern im Zusammenhang damit zur Anschauung einen auf 1Ω abgeglichenen Meßwiderstand vorzuzeigen und sie im Anschluß mit einem in Stufen gegliederten Stöpsel- oder mit einem Kurbelrheostaten bekannt zu machen. Man kann dann sogar ohne Schwierigkeit mit den Schülern den Widerstand eines Leiters nach dem Substitutionsverfahren in Ohm bestimmen, wozu V 44 eine Möglichkeit aufweist. Denn daß zwei Widerstände als gleich groß anzusehen sind, wenn durch sie bei gleicher Spannung Ströme von gleicher Stärke fließen, sehen die Schüler ohne weiteres ein. Man ist auf diese Weise in die Lage versetzt, die Widerstände, an denen nachher das Ohmsche Gesetz abgeleitet wird, unmittelbar in Ohm anzugeben, was die Verständigung sehr erleichtert. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Widerstandsdrähte auf einem Widerstandsbrett eines Aufbaugerätesatzes für die Mittelstufe.

Außer dem beschriebenen Verfahren bietet sich aber, wenn man Bedenken hat, die Widerstandseinheit Ohm ohne Bezugnahme auf das Ohmsche Gesetz einzuführen, noch ein zweiter Weg an, der jede Vorwegnahme dieses Gesetzes vermeidet. Man braucht zur Verwendung beim Ableiten des Ohmschen Gesetzes nur eine *behelfsmäßige Widerstandseinheit* (abgekürzt bWE) einzuführen, wie es in V 30 geschieht. Als sehr geeignet hierfür erweist sich ein Widerstandsdraht des soeben erwähnten Widerstandsbrettes, auf dem drei 400 mm lange und 0,3 mm dicke Konstantandrähte ausgespannt sind. Dieser Weg mag auf den ersten Blick etwas eigenartig erscheinen und könnte als ein Umweg angesehen werden. Er erweist sich aber für die Schüler unter der Anleitung des Lehrers ohne sonderliche Mühe als durchaus gangbar. Rein wissenschaftlich hat er den Vorzug, daß er der Herleitung der Widerstandseinheit aus dem Ohmschen Gesetz nicht vorgreift. In methodischer Hinsicht ist dieses Verfahren deswegen beachtlich, weil es den Schülern den Weg zu einer durchaus brauchbaren Widerstandseinheit weist, die dann zu gegebener Zeit ohne jeden Zwang durch die physikalisch definierte Widerstandseinheit Ohm ersetzt wird. Es ist jedem Lehrer zu empfehlen, es einmal so zu erproben, um sich auf diese Weise ein eigenes Urteil über die Gangbarkeit dieses Weges zu verschaffen.

2. Beachtet man die vorangegangenen Überlegungen, so bereitet die *Ableitung des Ohmschen Gesetzes* keine großen Schwierigkeiten. In V 31 bis V 33 sind verschiedene Möglichkeiten dazu angegeben. Am einfachsten ist es, wenn man sich dazu des vorhin erwähnten Widerstandsbrettes bedient (vgl. V 31). Man wird zweckmäßigerweise die Aufdeckung des Zusammenhangs zwischen der Spannung, dem Widerstand und der Stromstärke in zwei Versuchsreihen aufgliedern und die Meßergebnisse in zwei Tabellen festhalten. Von beiden Versuchsreihen führt die erste zu der Feststellung, daß die Stromstärke in demselben Verhältnis anwächst wie die Spannung (kurz ausgedrückt durch $I \sim U$). Die zweite zeigt, daß sich die Stromstärke umgekehrt wie der Wider-

stand ändert (kurz ausgedrückt durch $I \sim \frac{1}{R}$). Man gelangt zu diesen Erkenntnissen, indem man bei der 1. Versuchsreihe für jedes Wertepaar den Quotienten $\frac{I}{U}$ und bei der zweiten Versuchsreihe das Produkt $I \cdot R$ bildet. Man wird zweckmäßigerweise im Anfangsunterricht den Quotienten $\frac{I}{U}$ und nicht $\frac{U}{I}$ bilden, weil I die abhängig veränderliche Größe ist und als solche besser im Zähler des Bruches steht. In den oberen Klassen geht man im Gegensatz dazu nach *G. S. Ohm* vom Quotienten $\frac{U}{I}$ aus.

Aus der angenäherten Konstanz des Quotienten $\frac{I}{U}$ kann die Klasse dann auf die verhältnismäßige Änderung von Stromstärke und Spannung und aus der angenäherten Konstanz des Produktes $I \cdot R$ auf die zueinander gegenläufige Änderung von Stromstärke und Widerstand schließen. In der Zusammenfassung dieser beiden Teilergebnisse findet danach die Herleitung des Ohmschen Gesetzes ihren Abschluß.

Sollte aber eine Klasse dieser etwas abstrakten Behandlungsweise noch ungewohnt gegenüberstehen, so tut man gut daran, die Einheiten der in Frage kommenden Größen in die Spalten der Tabelle mit aufzunehmen. Man wird dann die Ausgangswerte der Meßreihen jedesmal aus den einzelnen Meßwerten absondern, wie es in den in V 31, Bem. 2, angegebenen Tabellen angedeutet ist.

Den Schülern fällt dann im allgemeinen die Schlußfolgerung nicht sehr schwer; sie können in der Regel von allein die in der nächsten Zeile der Tabelle folgenden Zahlenwerte angeben. Ist die Klasse bis zu dieser Erkenntnis geführt worden, so wird nachträglich die behelfsmäßige Widerstandseinheit durch die physikalische Einheit Ohm ersetzt, indem man das Ohm in der bekannten Weise unter Bezugnahme auf das Volt und das Ampere definiert. Damit ist dann das Ohmsche Gesetz in die Form der mathematischen Gleichung $\frac{U}{I} = R$ übergeführt. Schulen, die über das genannte Widerstandsbrett nicht verfügen, können nach V 34 verfahren und sich als Ersatz für das Widerstandsbrett behelfsmäßiger Mittel bedienen.

Mag das soeben dargelegte Verfahren zur Ableitung des Ohmschen Gesetzes für den Anfangsunterricht auch methodisch begründet sein, so darf man doch den Schülern der oberen Klassen auf keinen Fall die Einsicht in den historischen und *wissenschaftlichen Weg zum Widerstandsbegriff* vorenthalten. Eine dazu geeignete Möglichkeit ist aus V 34 zu entnehmen. Das dort geschilderte Verfahren lehnt sich eng an das von *G. S. Ohm* durchgeführte Verfahren an. Es untersucht den Zusammenhang zwischen der Spannung und der Stromstärke in einem Leiter von konstanter Länge und konstantem Querschnitt. Der Versuch führt zu der Erkenntnis, daß der Quotient aus Spannung und Stromstärke annähernd, aber doch nicht ganz konstant ist. Dadurch, daß man den Quotienten $\frac{U}{I}$ gleich R setzt und ihn in Anlehnung an Ohm als den Widerstand definiert, ist aber noch keineswegs die Proportionalität zwischen der Spannung und der Stromstärke erwiesen und noch nicht das Ohmsche Gesetz abgeleitet. Denn R ist während des Versuches nicht absolut konstant, sondern wächst wegen der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes zwar nur wenig, aber doch wahrnehmbar an. Soll die Gleichung $\frac{U}{I} = R$ nicht nur eine Definitionsgleichung für den Widerstand sein, sondern

zugleich das Ohmsche Gesetz wiedergeben, so muß man die Konstanz von R voraussetzen und nach *Ohm* dem Ohmschen Gesetz die Form geben:

Bei konstantem Widerstand sind die Spannung und die Stromstärke einander proportional.

Gerade in dieser Erkenntnis liegt der hohe Bildungswert des Ohmschen Gesetzes, der häufig verkannt wird.

V 35 und V 36 handeln vom Ohmschen Gesetz für einen Leiterteil und von der Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für Flüssigkeiten.

3. In § 16 schließen sich Versuche zum *Widerstandsgesetz* an. V 37 und V 38 untersuchen getrennt die Abhängigkeit des Widerstandes von der Drahtlänge und vom Drahtquerschnitt mit einfachsten Mitteln. Die Ermittlung des Widerstandes erfolgt nach dem Ohmschen Gesetz. Die Versuche bieten keine Schwierigkeiten und sind für Schülerübungen geeignet. Daran schließt sich V 39 an, durch den die Abhängigkeit vom Material gefunden wird. Der Widerstand wird wieder nach dem Ohmschen Gesetz ermittelt; danach wird der spezifische Widerstand aus der Widerstandsgleichung $R = \rho \cdot \frac{l}{F}$ berechnet. Man läßt diese Untersuchungen zweckmäßig in Schülerübungen von verschiedenen Übungsgruppen an Drähten verschiedenen Materials durchführen, damit die Abhängigkeit vom Material deutlich hervortritt.

Etwas höhere Anforderungen an das Abstraktionsvermögen der Schüler stellt V 40. Der Versuch unterscheidet sich von den vorangehenden Versuchen dadurch, daß das Widerstandsgesetz in einer *einzig*en Meßreihe gefunden wird. Er fußt auf der Festsetzung, daß Widerstände als gleich groß anzusehen sind, wenn sie bei gleicher Spannung von Strömen gleicher Stärke durchflossen werden. Läßt man den Versuch in einer Schülerübung in einzelnen Gruppen an verschiedenen Drahtsorten durchführen, so tritt das Widerstandsgesetz als Resultat einer Gemeinschaftsarbeit der Klasse bei Vergleich der Einzelergebnisse zutage. Gerade hierin liegt der hohe erzieherische Wert des Versuches, da den Schülern durch diesen sehr deutlich ihre Verantwortlichkeit für das Gelingen der Arbeit zum Bewußtsein gebracht wird.

Es schließen sich einige Versuche zur *Temperaturabhängigkeit des Widerstandes* an, nämlich V 41 bis V 43. Sie sind reine Demonstrationsversuche.

4. Die *Widerstandsmessung* ist in erster Linie den Schülerübungen zuzuweisen. Von den in § 17 angegebenen Versuchen setzt das in V 44 ausgeführte Substitutionsverfahren weder das Ohmsche Gesetz noch die Stromverzweigungsgesetze voraus. Es ist daher besonders zur Widerstandsbestimmung im Anfangsunterricht geeignet. Da es bei diesem Versuch allein auf das Konstanthalten der Spannung und der Stromstärke ankommt, ist er ein echter Widerstandsvergleich. Für eine höhere Entwicklungsstufe kommt V 45 in Frage, der die Bestimmung des Widerstandes eines Verbrauchers nach dem Ohmschen Gesetz zum Gegenstand hat. Er ist gewissermaßen ein Standardbeispiel dafür, wie eine Widerstandsmessung durchgeführt wird, und ist für viele Versuche als Hilfsversuch zur Ermittlung eines Widerstandes erforderlich.

Den Abschluß der Entwicklung in der Widerstandsmessung bildet das Meßverfahren mit Hilfe der Wheatstoneschen Meßbrücke nach V 47, wofür sich V 46 als Vorversuch anbietet. Es verdient zweifellos unter allen Verfahren zur Widerstandsmessung den

Vorrang. Das Verfahren der Wheatstoneschen Brücke ist nämlich unter allen Meßverfahren als einziges eine echte Widerstandsmessung, bei der ein unbekannter Widerstand durch einen bekannten Widerstand ausgedrückt wird.

5. Was die unterrichtliche Behandlung der *Stromleistung* und *Stromarbeit* anbetrifft, so wird man den Leistungsbegriff voranstellen, da seine Herleitung die Berücksichtigung der Zeit nicht erfordert. Es genügt vollständig, sich auf eine anschauliche qualitative Behandlung der in Frage kommenden Abhängigkeiten zu beschränken. V 49 erfüllt diese Forderung vollauf, da er einfach das helle Aufleuchten einer Glühlampe als Kennzeichen der vollen Leistung nimmt und die Zunahme der Stromleistung an der Zahl der helleuchtenden Glühlampen mißt. Die Höhe der Spannung wird aus der Zahl der eingeschalteten Akkumulatorzellen entnommen. Als einzige Messung wird die der Stromstärke durchgeführt. Auf die in V 49 beschriebene sehr anschauliche Weise wird eine klare Einsicht in die Beziehungen zwischen der Stromleistung, der Spannung und der Stromstärke gewonnen. Man findet auf diese Weise die Gleichung für die Stromleistung, deren Weiterentwicklung zur Berechnung der Stromarbeit in Analogie zur Mechanik dann keine Schwierigkeiten mehr bereitet.

Die Versuche 50 und 51 sind lediglich als Bestätigungsversuche für die Berechnung der Stromleistung bzw. Stromarbeit anzusehen. Die Ableitung des *Jouleschen Gesetzes* in seiner strengen Form muß den oberen Klassen vorbehalten bleiben.

6. Die beiden letzten Paragraphen des dritten Kapitels handeln vom *unverzweigten* und vom *verzweigten Stromkreis*. Von den Versuchen des § 19 können V 52, der die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis behandelt, und V 53 zur Spannung in Reihe geschalteter Spannungsquellen unbedenklich schon frühzeitig gebracht werden. Insbesondere vermittelt V 52 die Einsicht in die Notwendigkeit der Reihenschaltung eines Amperemeters. V 53 veranschaulicht das Steigen der Spannung beim Hintereinanderschalten von Spannungsquellen. Die übrigen Versuche, von denen V 54 den Spannungsabfall längs eines homogenen Leiters, V 55 die Spannungsverteilung beim Hintereinanderschalten von Verbrauchern, V 56 die Spannungsverteilung beim Hintereinanderschalten zweier Glühlampen zum Gegenstand haben, gehören in eine höhere Klasse.

Von den Versuchen des § 20 vermitteln V 57 und V 58 einen Einblick in das Kirchhoffsche Stromverteilungsgesetz. Methodisch bieten diese Versuche keine Schwierigkeiten. Sehr eindrucksvoll und von polytechnischem Bildungswert ist die Vorführung eines Modells des Stromkreises einer Wohnung. V 59 gibt dazu eine einfache Herstellungsanweisung. Es ist Wert darauf zu legen, daß man als Schaltelemente dieselben Teile verwendet, wie sie auch in der Technik üblich sind. Die Auswahl und die Anzahl der Anschlußstellen bleibt weitgehend der persönlichen Entscheidung überlassen. Das Modell ist für den Anfangsunterricht in Elektrizitätslehre geeignet und eignet sich sehr für Arbeiten im Werkunterricht. V 61 behandelt an einem einfachen Beispiel die Erweiterung des Meßbereiches eines Amperemeters und bildet damit das Gegenstück zu V 62. Als besonders bedeutungsvoll sind V 63 und V 64 anzusehen. Sie behandeln den Einfluß des inneren Widerstandes eines Amperemeters bzw. eines Voltmeters auf das Meßergebnis. Die Schüler erkennen deutlich, daß durch das Messen der Spannung und der Stromstärke diese Größen eine Änderung ihres Wertes erfahren. Dies gilt allerdings nur für Messungen auf elektrodynamischem Wege, dagegen nicht für elektrostatisch durchgeführte, demnach auch nicht für elektrostatische Spannungsmessungen.

V 65 veranschaulicht in überzeugender Weise den Spannungsabfall einer Spannungsquelle bei Strombelastung. Da diese Tatsache in der Elektrotechnik eine große Rolle spielt, ist dieser Versuch von polytechnischem Bildungswert. Dasselbe gilt von V 66, der den Spannungsteiler zum Gegenstande hat. Er macht die Schüler an einem Widerstandsbrett des Aufbaugerätesatzes mit dem Spannungsteilerprinzip bekannt und kann als Modellversuch zu einem technischen Spannungsteiler angesehen werden. Da der Spannungsteiler, den man auch als Potentiometer bezeichnet, ein vielfach verwendeter, wichtiger Bestandteil vieler elektrotechnischer Geräte ist, ist dieser Versuch dringend zu empfehlen.

§ 15. DAS OHMSCHE GESETZ

29. Vorversuch zur Einführung des Widerstandes – Glühlampen als Stromanzeiger [Ü]

3 Kleinspannungsglühlampen (3,5 V) in Fassungen (E 10) auf 3 Lampenbrettern, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenatterie, Verbindungskabel, Schalter.

Der Versuch dient dazu, den Widerstand anschaulich einzuführen. Man verzichtet dabei auf jede Messung und wertet den Versuch nur qualitativ aus. Er will zu der Erkenntnis hinführen, daß der Widerstand des Stromkreises auf den im Leiter fließenden Strom einen Einfluß hat. Der Stromkreis enthält als Spannungsquelle eine Akkumulatorenbatterie (4 V). Man legt in den Stromkreis einen einfachen Hebelschalter und in Reihe nacheinander eine, dann zwei, schließlich drei kleine Glühlampen, ohne dabei die Spannung zu ändern (Abb. 67/1). Man sieht, daß die Helligkeit der Lampen jedesmal beim Hinzuschalten einer neuen Lampe erheblich abnimmt. Sie ist bei drei in Reihe geschalteten Lampen schon so gering, daß man die Lampen kaum noch leuchten sieht. Daraus kann man schließen, daß die Lampen einen elektrischen Widerstand besitzen, durch den sie den Strom immer mehr schwächen.

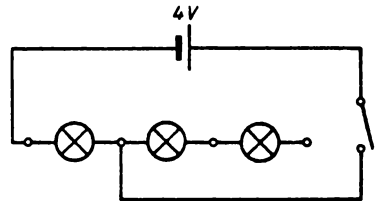


Abb. 67/1. Hintereinanderschalten dreier Kleinspannungsglühlampen in einem Stromkreis zur Einführung des Widerstandsbegriffes

30. Festlegung behelfsmäßiger Widerstandseinheiten

3 Widerstandsdrähte aus Konstantan (\varnothing 0,3 mm, Drahtlänge 400 mm), Brett, auf dem die drei Widerstandsdrähte zwischen je zwei Klemmschrauben parallel zueinander ausgespannt sind (kurz Widerstandsbrett genannt), Amperemeter (Meßbereich 1 A), Akkumulatorzelle oder Stromversorgungsgerät, Schalter, Verbindungskabel.

Durch den Versuch werden behelfsmäßige Widerstandseinheiten festgelegt, die man in V 31 zur Ableitung des Ohmschen Gesetzes benutzt, bevor die Widerstandseinheit Ohm eingeführt wird. Man legt einen der auf dem Brett befindlichen Widerstandsdrähte in Reihe mit einem Amperemeter und einem Schalter an eine Akkumulatorzelle

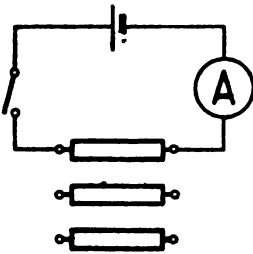


Abb. 68/1. Festlegung behelfsmäßiger Widerstandseinheiten durch einen Widerstandsdraht

und liest nach dem Einschalten des Stromes die Stromstärke ab (Abb. 68/1). Dann führt man die Messung an dem zweiten Draht und schließlich an dem dritten Draht durch. Da die Drähte sämtlich aus dem gleichen Material hergestellt sind sowie gleiche Länge und gleichen Querschnitt haben, kann man ihre Widerstände als gleich groß ansehen. Das Amperemeter zeigt bei gleicher Spannung immer wieder dieselbe Stromstärke an. Auf Grund dieser Tatsache wird der Widerstand eines dieser Drähte zur behelfsmäßigen Widerstandseinheit (abgekürzt bWE) erklärt.

Bemerkung: Man kann statt der Widerstandsdrähte auch Kohlefadenlampen für 220 V benutzen. Metallfadenlampen für 220 V eignen sich dazu weniger, da ihr Widerstand stark temperaturabhängig ist.

31. Ableitung des Ohmschen Gesetzes an einem Widerstandsbrett

Widerstandsbrett wie bei V 30, 3 Akkumulatorzellen oder Stromversorgungsgerät, Amperemeter (Meßbereich 1 A), Voltmeter (Meßbereich 10 V), Schiebewiderstand oder Drehwiderstand als Potentiometer, Hebelschalter, Verbindungskabel.

Versuchsreihe 1: Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei konstantem Widerstand

In den Stromkreis legt man in Reihe zu einem Amperemeter drei hintereinandergeschaltete Drähte des Widerstandsbrettes, die als behelfsmäßige Widerstandseinheiten (bWE) angesehen werden. Beim Verwenden nur eines Drahtes wäre der Widerstand zu klein; es würde im Laufe des Versuches eine zu große Stromstärke auftreten. Als Stromquelle verwendet man am besten eine aus drei Zellen bestehende Akkumulatornbatterie. Erst in zweiter Linie kommt ein Stromversorgungsgerät in Frage. Damit man die Spannung in genau abgeglichenen Stufen ändern kann, schließt man den Stromkreis nicht unmittelbar an das Stromversorgungsgerät an, sondern entnimmt die Spannung einem zum Stromversorgungsgerät parallel geschalteten Potentiometer. Zur Spannungskontrolle wird ein Voltmeter an die beiden Endklemmen der hintereinandergeschalteten Widerstandsdrähte gelegt (Abb. 68/2). Man ändert die Spannung von 2 V zu 2 V und liest die dazugehörigen Stromstärken ab. Die Meßwerte werden in eine Tabelle eingetragen und in einem Diagramm graphisch dargestellt (Abb. 69/1).

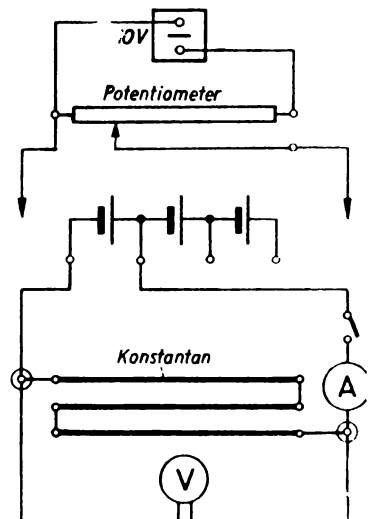


Abb. 68/2. Schaltbild zur Ableitung des Ohmschen Gesetzes an einem Widerstandsbrett

Man ersieht aus der Tabelle und dem Diagramm mit hinreichender Deutlichkeit, daß die Stromstärke in demselben Maße wie die Spannung wächst.

Einfluß der Spannung auf die Stromstärke bei konstantem Widerstand

Spannung (U)	Stromstärke (I)	$\frac{I}{U}$
V	A	A/V
2	0,24	0,120
4	0,48	0,120
6	0,71	0,118

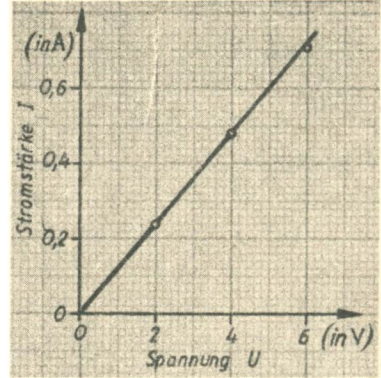


Abb. 69/1. Stromstärke-Spannungs-Diagramm bei konstantem Widerstand

Versuchsreihe 2: Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand bei konstanter Spannung

Der Widerstand im Stromkreis wird dadurch geändert, daß man nacheinander einen Widerstandsdraht, zwei Widerstandsdrähte, drei Widerstandsdrähte in Reihe in den Stromkreis schaltet. Die Spannung muß dabei während des ganzen Versuches konstant auf 2 V gehalten werden. Verwendet man als Spannungsquelle ein Stromversorgungsgerät, zu dem ein Potentiometer parallel geschaltet ist, so muß die Spannung bei jeder neuen Einstellung am Potentiometer nachgeregelt werden.

Die abgelesenen Werte der Stromstärke werden wieder in einer Tabelle festgehalten und als Diagramm dargestellt (Abb. 69/2). Die nebenstehende Tabelle läßt mit genügender Deutlichkeit erkennen, daß sich die Stromstärke umgekehrt wie der Widerstand ändert.

Einfluß des Widerstandes auf die Stromstärke bei konstanter Spannung (2 V)

Widerstand (R) bWE	Stromstärke (I) A	$I \cdot R$ A · bWE
1	0,71	0,71
2	0,36	0,72
3	0,24	0,72

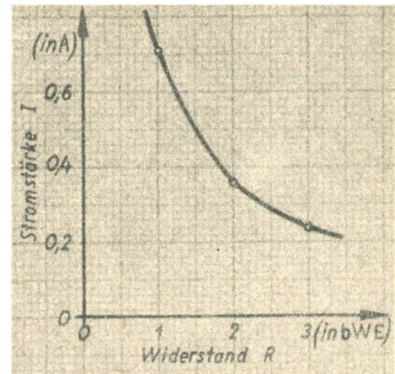


Abb. 69/2. Stromstärke-Widerstand-Diagramm bei konstanter Spannung

Faßt man beide Ergebnisse zu einer Aussage zusammen, so erhält man:

Die Stromstärke ändert sich in derselben Weise wie die Spannung, aber umgekehrt wie der Widerstand.

Durch nachträgliche Festlegung der physikalischen Widerstandseinheit Ohm wird dieses Gesetz in die Form des Ohmschen Gesetzes übergeführt:

Die Stromstärke ist gleich dem Quotienten aus der Spannung und dem Widerstand:

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

Bemerkungen:

- Die Ableitung des Ohmschen Gesetzes erfolgte im Vorangegangenen unter Verwendung behelfsmäßiger Widerstandseinheiten (bWE). Kann man sich dazu nicht entschließen, so bestehen, wie schon in MB, S. 63, ausgeführt wurde, keine Bedenken dagegen, sich von vornherein der Einheit Ohm (Ω) zu bedienen. Man hat dann den Schülern mitzuteilen, daß der Widerstand in einer Einheit gemessen wird, die man Ohm (Ω) nennt, und deren Bedeutung sie später erfahren werden. Ebenso teilt man ihnen mit, daß der Widerstand eines Drahtes auf dem Widerstandsbrett $2,83 \Omega \approx 2,80 \Omega$ groß ist. In der Durchführung der Versuchsreihe I ändert sich dabei nichts. In der Versuchsreihe 2 ist die oben angegebene Tabelle durch die folgende zu ersetzen.

Einfluß des Widerstandes auf die Stromstärke bei konstanter Spannung (2 V)

Widerstand (R) Ω	Stromstärke (I) A	$I \cdot R$ A \cdot Ω
2,8	0,71	1,99
5,6	0,36	2,02
8,4	0,24	2,02

- Bei der Herleitung der Zusammenhänge aus den Tabellen wurde es vermieden, von der Proportionalität der Stromstärke zur Spannung bzw. der umgekehrten Proportionalität zum Widerstand zu sprechen, da den Schülern der Begriff der Proportionalität noch Schwierigkeiten macht. Aus dem gleichen Grunde wurden die Abkürzungen $I \sim U$ und $I \sim \frac{1}{R}$ nicht verwendet. Mit Absicht wurde aber die Schlußfolgerung über den Quotienten $\frac{I}{U}$ bzw. das Produkt $I \cdot R$ gewählt; denn das Bestehen der Konstanz des Quotienten bzw. des Produktes zweier veränderlicher Größen ist ein sicheres Kennzeichen dafür, daß sich die eine Größe in derselben Weise bzw. umgekehrt ändert wie die andere. Sollten aber gegen die Anwendung dieses Verfahrens Bedenken bestehen, so kann man statt dessen eine aufgelockerte Form verwenden, bei der die Proportionalität der veränderlichen Größen in den Spalten der Tabelle selbst erscheint. Dabei wird man zweckmäßigerweise die Einheiten nicht, wie sonst üblich, in den Tabellenkopf setzen, sondern sie in jede Zeile der Tabelle aufnehmen. Die Meßwerte werden durch Abändern der Ausgangswerte in ihrer Form so geändert, daß ihre Änderung gegenüber den Ausgangswerten klar hervortritt. Zur Veranschaulichung werden die Tabellen noch einmal in der elementaren Form wiedergegeben.

Auf diese Weise erkennen die Schüler unmittelbar, daß sich die Stromstärke im gleichen Verhältnis wie die Spannung und umgekehrt wie der Widerstand ändert.

1. Tabelle zur Versuchsreihe 1

Spannung (U)	Stromstärke (I)
$2\text{ V} = 1 \cdot 2\text{ V}$	$0,24\text{ A} = 1 \cdot 0,24\text{ A}$
$4\text{ V} = 2 \cdot 2\text{ V}$	$0,48\text{ A} = 2 \cdot 0,24\text{ A}$
$6\text{ V} = 3 \cdot 2\text{ V}$	$0,71\text{ A} \approx 3 \cdot 0,24\text{ A}$

2. Tabelle zur Versuchsreihe 2 (Variante 1)

Widerstand (R)	Stromstärke (I)
$1\text{ bWE} = 1 \cdot 1\text{ bWE}$	$0,71\text{ A} = 1 \cdot 0,71\text{ A}$
$2\text{ bWE} = 2 \cdot 1\text{ bWE}$	$0,36\text{ A} \approx \frac{1}{2} \cdot 0,71\text{ A}$
$3\text{ bWE} = 3 \cdot 1\text{ bWE}$	$0,24\text{ A} \approx \frac{1}{3} \cdot 0,71\text{ A}$

3. Tabelle zur Versuchsreihe 2 (Variante 2)

Widerstand (R)	Stromstärke (I)
$2,8\ \Omega = 1 \cdot 2,8\ \Omega$	$0,71\text{ A} = 1 \cdot 0,71\text{ A}$
$5,6\ \Omega = 2 \cdot 2,8\ \Omega$	$0,36\text{ A} \approx \frac{1}{2} \cdot 0,71\text{ A}$
$8,4\ \Omega = 3 \cdot 2,8\ \Omega$	$0,24\text{ A} \approx \frac{1}{3} \cdot 0,71\text{ A}$

32. Ableitung des Ohmschen Gesetzes mit Hilfe von Glühlampen

3 Kohlefadenlampen (220 V) von gleicher Beschaffenheit in Fassungen (E 27) auf 3 Lampenbrettern, Milliampereometer (Meßbereich 5 mA), 3 Akkumulatorzellen oder Stromversorgungsgerät, Verbindungskabel, Schalter.

Die Durchführung des Versuches erfolgt wie bei V 31. An Stelle der auf dem Widerstandsbrett befestigten Widerstandsdrähte werden Kohlefadenlampen als behelfsmäßige Widerstandseinheiten benutzt (vgl. V 30).

Die Versuchsreihe 1 führt man mit einer Lampe durch und verwendet der Reihe nach Spannungen von 2 V, 4 V, 6 V (Abb. 71/1). Es ergeben sich Stromstärken in der Größenordnung von etwa 1,5 mA, 3,0 mA, 4,5 mA.

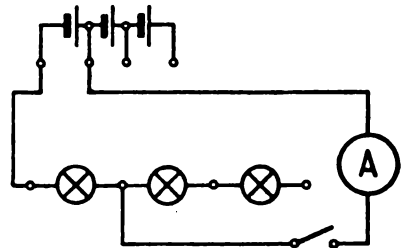


Abb. 71/1. Verwendung von Glühlampen zur Ableitung des Ohmschen Gesetzes

Bei der Versuchsreihe 2 wählt man als konstante Spannung 6 V und schaltet nacheinander eine Lampe, zwei Lampen, drei Lampen in Reihe in den Stromkreis. Die Stromstärke sinkt dabei vom vollen Betrage auf die Hälfte bzw. auf ein Drittel ab. Aus beiden Versuchsreihen ergibt sich wie bei V 31 das Ohmsche Gesetz.

Bemerkungen:

1. Der Versuch ist deswegen methodisch sehr vorteilhaft, weil er an eine den Schülern bekannte Widerstandsform, die Glühlampe, anknüpft. Da die Widerstände der Kohlefadenlampen bei den schwachen Strömen, die beim Versuch auftreten, nahezu temperaturunabhängig sind, führt der Versuch zu hinreichend genauen quantitativen Ergebnissen. Ungünstiger sind Metallfadenlampen, da sie schon bei schwachen Strömen eine merkliche Temperaturabhängigkeit zeigen. Ist man auf Metallfadenlampen angewiesen, so müssen die einzelnen Messungen sehr schnell erfolgen, wobei die Lampen nur sehr kurzzeitig und in größeren Zeitabständen eingeschaltet werden, damit die Drahtwendeln sich immer wieder abkühlen. Die Ergebnisse sind nicht so ganz befriedigend wie bei der Verwendung von Kohlefadenlampen.
2. Als Spannungsquelle verwendet man am besten wieder eine Akkumulatorenbatterie. Benutzt man ein Stromversorgungsgerät, so muß man wieder die Spannung durch ein zu ihm parallel geschaltetes Potentiometer genau auf der vorgeschriebenen Höhe halten und durch ein Voltmeter kontrollieren.

33. Ableitung des Ohmschen Gesetzes mit Hilfe einer Heizwendel

Drahtwendel einer elektrischen Kochplatte, Voltmeter (Meßbereich 25 V), Amperemeter (Meßbereich 1 A), 2 Stativfüße, 2 Klemmenstangen, Krokodilklemme, 2 Holz-sche Fußklemmen, Akkumulatorenbatterie (Spannung 12 V) oder Stromversorgungs-gerät, Schiebewiderstand (110 Ω) als Potentiometer, isolierter Draht oder Holzstab (\varnothing 2 mm, Länge 600 mm), Verbindungskabel, Schalter.

Versuchs-anordnung:

Man kann sich aus einer Heizwendel sehr leicht einen zur Einführung des Ohmschen Gesetzes verwendbaren behelfsmäßigen Widerstand herstellen. Die Drahtwendel wird

Abb. 72/1. Versuchsanordnung zur Ableitung des Ohmschen Gesetzes mit Hilfe einer Heizwendel

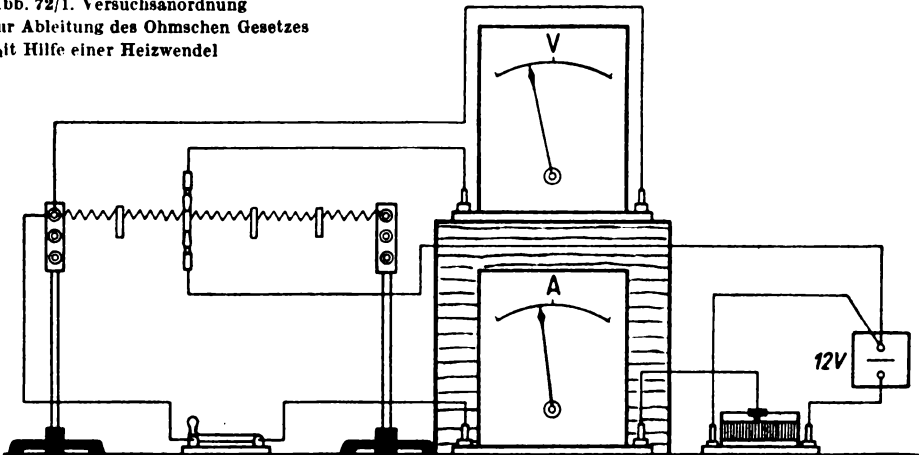
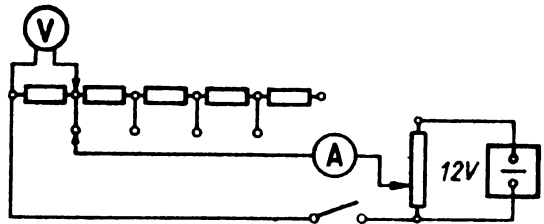


Abb. 73/1. Schaltbild zur Ableitung des Ohmschen Gesetzes an einer Heizwendel durch Messen der Spannung und der Stromstärke



auf einen Holzstab oder einen isolierten Draht geschoben und so weit auseinandergezogen, daß sich die einzelnen Windungen nicht berühren. Man zählt die Windungen der Wendel und unterteilt diese in fünf gleiche Abschnitte, deren Enden durch einen besonders weiten Windungsabstand kenntlich gemacht werden. An die einzelnen Abschnittsenden lötet man schmale Blechstreifen, an die man Verbindungskabel mit Hilfe von Krokodilklemmen anschließen kann. Die Drahtwendel stellt somit einen stufenweise veränderlichen Widerstand dar. Die Enden der Wendel werden an zwei Klemmenstangen geklemmt, die senkrecht in zwei Stativfüßen befestigt sind (Abb. 72/1).

Die Drahtwendel wird mit einem Amperemeter und mit einem Schalter in Reihe an eine Akkumulatorenbatterie (12 V) angeschlossen. Verwendet man statt dessen ein Stromversorgungsgerät, so muß man die Spannung über einen Spannungsteiler abnehmen. Dadurch ist es möglich, beim Hinzuschalten der einzelnen Widerstandsstufen die Spannung konstant zu halten (Abb. 73/1). Die Spannung wird durch ein parallel zur Drahtwendel gelegtes Voltmeter gemessen.

Versuchsreihe 1: Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei gleichbleibendem Widerstand

Man schaltet den ersten Widerstandsabschnitt der Drahtwendel in den Stromkreis und regelt die Spannung am Spannungsteiler so, daß sie in gleichen Stufen ansteigt. Man liest jedesmal am Amperemeter die Stärke des Stromes ab. Die gemessenen Spannungen und Stromstärken werden in einer Tabelle zusammengestellt.

Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung

Spannung (U)	Stromstärke (I)	$\frac{I}{U}$
V	A	A/V
4	0,28	0,070
6	0,41	0,068
8	0,56	0,070
12	0,83	0,069

Man erkennt an dem annähernd konstanten Quotienten aus Stromstärke und Spannung, daß die Stromstärke I der Spannung U proportional ist:

$$I \sim U$$

Versuchsreihe 2: Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand bei gleichbleibender Spannung

Der Versuch wird bei einer konstanten Spannung von 12 V durchgeführt. Man schaltet die Widerstandsstufen der Drahtwendel nacheinander in Reihe in den Stromkreis. Dadurch sinkt die Stromstärke. Der innere Spannungsabfall der Stromquelle wird kleiner und infolgedessen die Klemmenspannung größer. Mit Hilfe des Spannungsteilers wird die Spannung wieder auf 12 V eingestellt. Die einzelnen Widerstandsabschnitte der Drahtwendel werden als behelfsmäßige Widerstandseinheiten (bWE) bezeichnet und mit der jeweils gemessenen Stromstärke in eine Tabelle eingetragen.

Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand

Anzahl der Teilstücke	Widerstand (R) bWE	Stromstärke (I) A	$I \cdot R$ A · bWE
1	1	0,88	0,88
2	2	0,43	0,86
3	3	0,29	0,87
4	4	0,22	0,88
5	5	0,18	0,90

Das annähernd konstante Produkt aus dem in behelfsmäßigen Widerstandseinheiten angegebenen Widerstand und der Stromstärke zeigt, daß die Stromstärke I dem Widerstand R umgekehrt proportional ist:

$$I \sim \frac{1}{R}.$$

Aus den Ergebnissen der Versuchsreihen 1 und 2 ergibt sich die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung und vom Widerstand:

$$I \sim \frac{U}{R}.$$

Durch die nachträgliche Festlegung der physikalischen Widerstandseinheit Ohm erhält man, wie in V 31 dargelegt, das Ohmsche Gesetz:

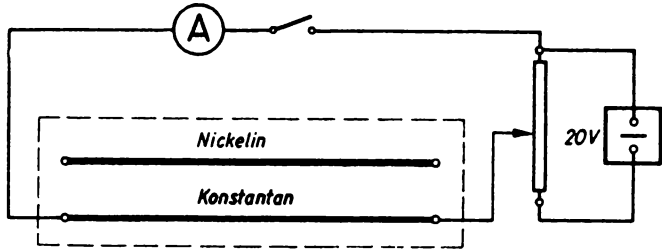
$$I = \frac{U}{R}.$$

Bemerkung: Es wurde hier als Beispiel bei der Herleitung der Ergebnisse die Ausdrucksweise der Proportionalität und das Kurzzeichen \sim gewählt. Es bleibt dem Lehrer überlassen, ob er dieser Darstellung folgen oder die elementare Form wie in V 31 wählen will.

34. Die Definition des Widerstandes als Quotient von Spannung und Stromstärke

Brett mit 2 Drähten aus Konstantan und Nickel (Ø 0,4 mm, Länge 1200 mm) zwischen je 2 Klemmschrauben, Amperemeter (2,5 A), Voltmeter (10 V), Akkumulatorenbatterie (6 V) oder Stromversorgungsgerät, Schiebewiderstand (110 Ω), Hebelschalter, Verbindungskabel.

Abb.75/1.
Schaltbild zur Untersuchung
des Zusammenhangs zwischen
Spannung und Stromstärke
bei konstantem Widerstand.
Das Voltmeter ist in der
Abbildung fortgelassen



Durch diesen Versuch soll den Schülern gezeigt werden, daß die Definition des Widerstandes durch *G. S. Ohm* noch nicht das Ohmsche Gesetz mit einschließt, daß sie vielmehr noch einer Ergänzung bedarf, damit sie dieses Gesetz wiedergibt. Zunächst wird ein Konstantendraht, der auf dem Brett ausgespannt ist, in Reihe mit einem Amperemeter und einem Schalter an eine Spannungsquelle gelegt. Als solche dient am besten eine Akkumulatorenbatterie. Ein Stromversorgungsgerät als Spannungsquelle erfordert ein dazu parallel geschaltetes Potentiometer. Die Spannung wird durch ein parallel zum Widerstandsdraht gelegtes Voltmeter gemessen und so geregelt, daß sie mit 2 V beginnt und dann in Stufen von 2 V steigt (Abb. 75/1). Beim Verwenden eines Stromversorgungsgerätes als Spannungsquelle kann man die Spannung bis 10 V steigern.

Der Schalter wird kurzzeitig geschlossen und die sich bei einer Spannung von 2 V ergebende Stromstärke abgelesen. Danach wird die gleiche Messung für eine Spannung von 4 V und von 6 V, unter Umständen auch noch für eine Spannung von 8 V und 10 V, durchgeführt. Schließlich wird die Meßreihe an einem Nickelindraht, der neben dem Konstantendraht auf dem Brett befestigt wurde, wiederholt. Man findet die in den Tabellen wiedergegebenen Ergebnisse:

Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke

Widerstandsdraht $l = 1200 \text{ mm}$, $\varnothing 0,4 \text{ mm}$

Konstantendraht			Nickelindraht		
Spannung (U)	Stromstärke (I)	$\frac{U}{I}$	Spannung (U)	Stromstärke (I)	$\frac{U}{I}$
V	A	V/A	V	A	V/A
2	0,42	4,76	2	0,52	3,85
4	0,84	4,76	4	1,04	3,85
6	1,26	4,76	6	1,55	3,87
8	1,67	4,79	8	2,06	3,88
10	2,08	4,80	10	2,56	3,90

Man bildet für jede Meßreihe den Quotienten aus Spannung und Stromstärke und findet, daß die Werte der Quotienten einer Meßreihe annähernd konstant sind, wenn sie auch für die beiden untersuchten Drähte verschiedene Werte haben. Diesen Quotienten aus Spannung und Stromstärke definiert man nach *Ohm* als den Widerstand des Stromleiters (R) und gewinnt damit gleichzeitig die Widerstandseinheit Ohm (Ω). Das

bei diesem Versuch beobachtete allmähliche Anwachsen des Quotienten der Widerstandswerte ist durch die durch den Stromfluß erzeugte Wärme bedingt. Der Wert nimmt bei den benutzten Stoffen mit wachsender Temperatur zu.

Will man zum Ohmschen Gesetz gelangen, so muß man voraussetzen, daß $\frac{U}{I}$ konstant ist. (Vgl. dazu auch MB, S. 64/65.)

35. Nachweis des Ohmschen Gesetzes für einen Leiterteil

3 bekannte Widerstände (20 Ω , 50 Ω , 80 Ω), Amperemeter (1 A), Voltmeter (20 V), Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, Verbindungskabel, 4 Holtzsche Fußklemmen.

Drei bekannte Widerstände von beispielsweise 20 Ω , 50 Ω und 80 Ω schaltet man gemeinsam mit einem Amperemeter und einem Hebelschalter in Reihe und legt sie an eine Gleichspannungsquelle von 20 V. Dabei ordnet man zu beiden Seiten jedes Widerstandes zweckmäßig je eine Fußklemme an. Man erreicht dadurch, daß man ohne das lästige Ändern der Verbindungen parallel zu jedem Widerstand ein Voltmeter legen kann (Abb. 76/1).

Man mißt zunächst den gesamten Spannungsabfall längs der in Reihe geschalteten Widerstände und außerdem die Stromstärke. Das Voltmeter zeigt unter den angegebenen Bedingungen 19,5 V, das Amperemeter 0,13 A an. Dann mißt man die Spannung der Reihe nach getrennt an den drei Widerständen und findet beispielsweise

an dem Widerstand von 20 Ω die Spannung 2,6 V,
 an dem Widerstand von 50 Ω die Spannung 6,5 V,
 an dem Widerstand von 80 Ω die Spannung 10,4 V.

Der Quotient aus der Spannung und dem Widerstand erweist sich in allen drei Fällen als gleich und ist gleich dem Quotienten aus der Gesamtspannung und dem Gesamtwiderstand. Er hat denselben Wert wie die abgelesene Stromstärke.

$$\frac{2,6}{20} \text{ V}/\Omega = \frac{6,5}{50} \text{ V}/\Omega = \frac{10,4}{80} \text{ V}/\Omega \approx \frac{19,4}{150} \text{ V}/\Omega \approx 0,13 \text{ A}.$$

Aus diesen Feststellungen folgt die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für jeden Leiterteil.

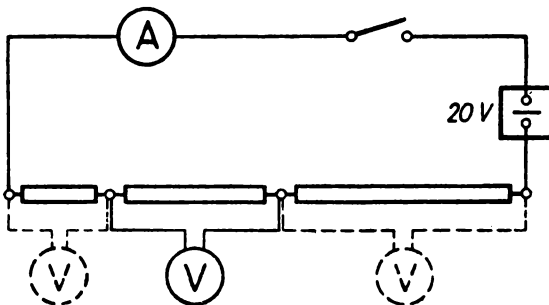


Abb. 76/1. Schaltbild zum Nachweis des Ohmschen Gesetzes für einen Leiterteil

36. Ableitung des Ohmschen Gesetzes bei Verwendung von Flüssigkeiten als Widerstandsmaterial

Stromversorgungsgerät, Voltmeter, Amperemeter, Schiebewiderstand (300 Ω) als Potentiometer, 1 Glasröhre (\varnothing 10 mm, Länge etwa 400 mm), 40 ml Äthylalkohol, Schalter, Stativ mit Muffe und Klemme, Verbindungskabel, Krokodilklemmen.

Eine 30...40 cm lange Glasröhre mit einem Durchmesser von etwa 10 mm biegt man mit Hilfe einer Bunsenflamme zu einer U-Röhre mit zwei kurzen Schenkeln. Man spannt die Röhre in ein Stativ ein, füllt sie bis zur halben Schenkelhöhe mit Alkohol und taucht an beiden Enden der Röhre je einen Eisennagel als Elektrode in die Flüssigkeit. Damit die Nägel zur Befestigung der Anschlußleitungen durch Krokodilklemmen aus den Schenkeln genügend weit herausragen, steckt man die Nägel etwa bis zur Hälfte durch je ein Stück festen Kartons. Die Kartonscheiben legt man so auf die Schenkel der Glasröhre, daß die Nagelspitzen in die Flüssigkeit eintauchen.

Den so geschaffenen Flüssigkeitswiderstand schaltet man mit einem Amperemeter in Reihe und legt ihn an eine Spannungsquelle; außerdem schaltet man zum Widerstand ein Voltmeter parallel (Abb. 77/1). Damit man die Spannung stufenlos und stetig regeln kann, greift man die Spannung an einem Potentiometer ab. Nach dem Einstellen des Potentiometers auf die gewünschte Spannung werden die Ausschläge am Voltmeter und Amperemeter abgelesen. In der beigefügten Tabelle sind die einander entsprechenden Meßwerte zusammengestellt worden. $I \uparrow$ bedeutet dabei, daß beim Aufnehmen der Meßreihe von kleinen Spannungen bzw. Stromstärken zu großen Spannungen bzw. Stromstärken übergegangen wurde, während für $I \downarrow$ die Aufnahme der Meßreihe umgekehrt mit großen Spannungen bzw. Stromstärken begonnen und mit kleinen Werten beendet wurde.

Aus den Meßwerten wird der Widerstand R als der Quotient aus der Spannung U und der Stromstärke I bestimmt. Hierbei zeigt es sich, daß die errechneten Werte nahezu konstant sind. Die stetige geringfügige Abnahme des Widerstandes ist durch die schwache Erwärmung der Flüssigkeit infolge des Stromflusses bedingt.

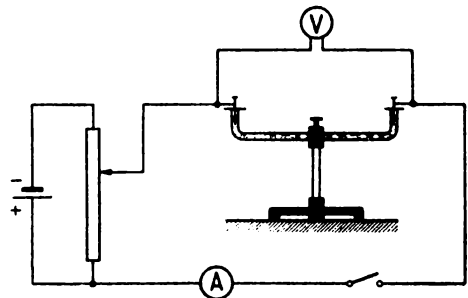


Abb. 77/1. Teilschaltbild zur Ableitung des Ohmschen Gesetzes an Flüssigkeiten

Nachweis des Ohmschen Gesetzes für Flüssigkeiten

Spannung (U)	Stromstärke (I)		Mittelwert der Stromstärke $I = \frac{I \uparrow + I \downarrow}{2}$	Widerstand (R) $R = \frac{U}{I}$
	$I \uparrow$	$I \downarrow$		
V	mA	mA	mA	Ω
2	0,17	0,19	0,18	11,11
4	0,37	0,40	0,39	10,26
6	0,58	0,59	0,59	10,17
8	0,78	0,80	0,79	10,13
10	0,99	0,99	0,99	10,10

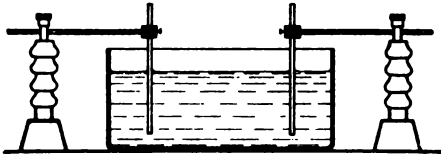


Abb. 78/1. Kleiner Glasrog für Widerstandsuntersuchungen

Bemerkung: Die Glasröhre kann auch durch einen kleinen Glasrog ersetzt werden, der mit wäßriger Kupfersulfatlösung gefüllt ist, wobei zwei plattenförmige Kupferelektroden in die Flüssigkeit tauchen (Abb. 78/1). Der Widerstand eines solchen Elektrolyten wird bei geeigneter Konzentration wesentlich kleiner als beim Verwenden von Alkohol. Das elektrische Leitvermögen ist bei einer Lösung von 15% am größten.

§ 16. DAS WIDERSTANDSGESETZ – DIE ABHÄNGIGKEIT DES WIDERSTANDES VON DER TEMPERATUR

37. Abhängigkeit des Widerstandes eines Drahtes von der Länge bei konstantem Querschnitt [Ü]

3 Holzsche Fußklemmen, Voltmeter (10 V), Amperemeter (1 A), Drähte aus Eisen, Nickelin oder Konstantan (\varnothing 0,2 mm, Länge etwa 3 m), Akkumulatorenbatterie (8 V) oder Stromversorgungsgerät mit parallel geschaltetem Potentiometer, Verbindungskabel, Schalter, Meterstab.

Versuchsanordnung:

Der Aufbau der Versuchsanordnung nach Abb. 78/2 erfordert einen Tisch mit einer Länge von rund 3 m. Man stellt die beiden Fußklemmen K_1 und K_2 möglichst weit links auf, während zur Verschiebung der Klemme K_3 genügend Raum nach der rechten Seite hin vorhanden sein muß. Die Klemme K_1 und die Klemme K_3 werden an die Pole einer Gleichspannungsquelle angeschlossen. Da die Klemme K_3 während des Versuchs nach rechts verschoben wird, ist die Verbindung zwischen dem Voltmeter und der Klemme K_3 von vornherein genügend lang zu wählen. Zwischen die Klemmen K_1 und K_2 wird das Amperemeter geschaltet. Das Voltmeter liegt parallel zum Stromkreis zwischen den Klemmen K_2 und K_3 . Die Versuchsdrähte werden nacheinander zwischen den Klemmen K_2 und K_3 ausgespannt.

Versuch:

Man verwendet am besten einen Konstantandraht und begrenzt seine Länge zuerst auf 1 m, dann auf 1,5 m, auf 2 m und auf 2,5 m. Die Spannung wird konstant auf 8 V gehalten und der Widerstandswert aus der Spannung U und der abgelesenen Stromstärke I nach der Gleichung $R = \frac{U}{I}$ errechnet. Die gefundenen Werte werden in eine Tabelle eingetragen.

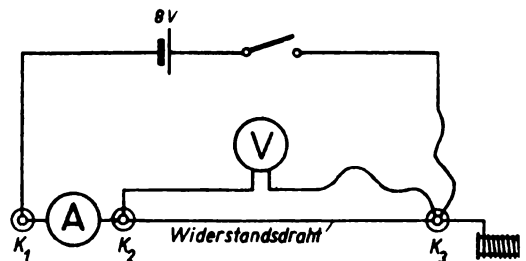


Abb. 78/2. Schaltbild zur Untersuchung der Abhängigkeit des Widerstandes von der Drahtlänge

*Abhängigkeit des Widerstandes eines Konstantendrahtes
von der Länge bei konstantem Querschnitt (\varnothing 0,2 mm, $F = 0,031$ mm²)
Spannung 8 V*

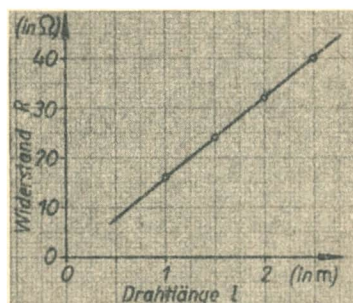
Länge (l)	Stromstärke (I)	Widerstand (R) errechnet	$\frac{R}{l}$
m	A	Ω	Ω/cm
1,00	0,50	16,0	16,0
1,50	0,34	23,5	15,7
2,00	0,26	30,8	15,4
2,50	0,20	40,0	16,0

Auf Grund der Meßergebnisse wird ein Widerstand-Länge-Diagramm entwickelt (Abb. 79/1). Das Diagramm läßt wie die Tabelle erkennen, daß sich die Länge des Drahtes und sein Widerstand im gleichen Verhältnis ändern. Es folgt daraus $R \sim l$.

Bemerkungen:

1. Der Versuch wird zweckmäßigerweise mit einer anderen Spannung wiederholt. Dies empfiehlt sich besonders für Schülerübungen. Dadurch wird die Abhängigkeit des Widerstandswertes von der Länge noch deutlicher.
2. Vgl. Bemerkungen zu V 38.

Abb. 79/1. Widerstand-Länge-Diagramm eines Konstantendrahtes bei konstantem Querschnitt ($F = 0,031$ mm²)



38. Abhängigkeit des Widerstandes eines Drahtes vom Querschnitt bei konstanter Länge [Ü]

Akkumulatorzelle (2 V) oder Stromversorgungsgerät mit parallel geschaltetem Potentiometer, Voltmeter (10 V), 3 Holtzsche Fußklemmen, Amperemeter (1 A), Konstantendrahte ($l = 1000$ mm) von verschiedenem Querschnitt, Mikrometerschraube, Meterstab.

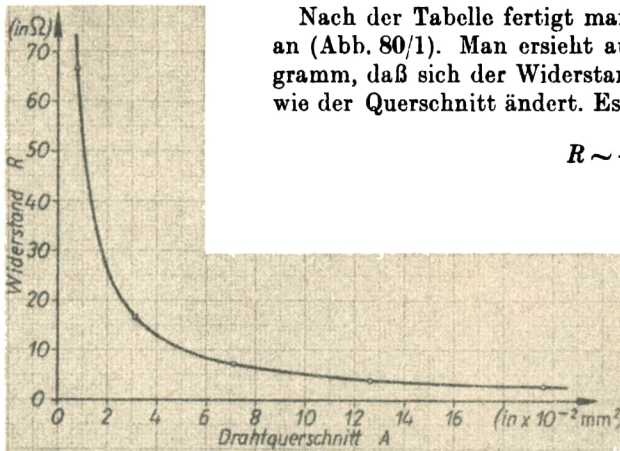
Der Versuchsaufbau erfolgt wie bei V 37, jedoch bleibt der Abstand der Klemmen K_2 und K_3 unverändert. Man bestimmt mit Hilfe einer Mikrometerschraube die Durchmesser der Drähte und errechnet ihre Querschnitte aus der Gleichung $F = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi$. Die Drähte werden nacheinander zwischen den Klemmen K_2 und K_3 in einer Länge von 1 m ausgespannt.

Man hält die Spannung konstant auf 2 V und liest nach dem Einschalten für jeden Draht die Stärke des hindurchfließenden Stromes ab. Wie bei V 37 findet man den Widerstandswert R wieder aus der Spannung U und der Stromstärke I mit Hilfe der Gleichung $R = \frac{U}{I}$.

Die abgelesenen und die daraus errechneten Werte trägt man in eine Tabelle ein und bildet das Produkt aus dem Querschnitt und dem Widerstand.

Abhängigkeit des Widerstandes eines Konstantendrahtes vom Querschnitt des Drahtes bei konstanter Länge ($l = 1 \text{ m}$)
Spannung 2 V

Durchmesser (d)	Querschnitt (F)	Stromstärke (I)	Widerstand (R) errechnet	$R \cdot F$
mm	mm ²	A	Ω	$\Omega \cdot \text{mm}^2$
0,1	0,008	0,03	66,7	0,53
0,2	0,031	0,12	16,7	0,52
0,3	0,071	0,28	7,1	0,50
0,4	0,126	0,50	4,0	0,50
0,5	0,196	0,77	2,6	0,51



Nach der Tabelle fertigt man eine graphische Darstellung an (Abb. 80/1). Man ersieht aus der Tabelle und dem Diagramm, daß sich der Widerstand im umgekehrten Verhältnis wie der Querschnitt ändert. Es folgt daraus

$$R \sim \frac{1}{F}$$

Abb. 80/1. Widerstand-Querschnitt-Diagramm eines Konstantendrahtes bei konstanter Länge ($l = 1 \text{ m}$)

Bemerkungen:

1. Hat man keinen Konstantendraht zur Hand, so kann man den Versuch auch mit dünnen Stahldrähten verschiedenen Durchmessers durchführen. Man verwendet dann zweckmäßigerweise ein Amperemeter mit einem Meßbereich von 10 A, da Stahl einen geringeren spezifischen Widerstand hat als Konstantan.
2. Statt Drähte verschiedenen Durchmessers zu verwenden, kann man den Querschnitt auch dadurch variieren, daß man einen Draht sehr geringen Durchmessers zwischen den beiden Fußklemmen erst einmal, dann zweimal, dreimal, viermal usf. parallel nebeneinander ausspannt.
3. Die Durchführung der Versuche V 37 und 38 als Schülerübungen kann man durch das Anfertigen von Schaltbrettern erleichtern. Man braucht dazu 10 bis 15 mm starke Bretter mit einer Länge von 1050 mm und einer Breite von 150 mm. Auf den Brettern bringt man in vorbereiteten Bohrlöchern im Abstand von 1000 mm voneinander drei Paar Steckbuchsen oder

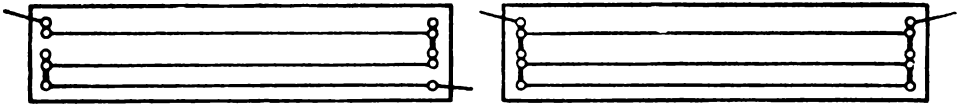


Abb. 81/1. Schaltbrett für Widerstandsversuche
a) Drähte hintereinander geschaltet

b) Drähte parallel geschaltet

Klemmschrauben an, zwischen denen man dünne Stahl- oder Konstantandrähte ausspannt. Man besetzt die Enden der ersten beiden Drähte mit je zwei Steckbuchsen oder Klemmschrauben, die man untereinander widerstandslos verbindet (siehe dazu Abb. 81/1). Man schafft auf diese Weise die Möglichkeit, bei V 37 die Drahtlänge durch Hintereinanderschalten der einzelnen Drähte und bei V 38 den Drahtquerschnitt durch Parallelschalten zu verändern. Man bedient sich dazu sogenannter Steckbrücken, die man aus 4 mm starken Drahtstiften selbst zurechtbiegen kann (Abb. 81/2). Man versieht die Bretter auf der Rückseite mit zwei Fußleisten, damit die Bretter durchdringen, nicht auf den Tisch stoßen. Will man die Bretter auch zu Demonstrationsversuchen verwenden, so klemmt man sie zweckmäßigerweise vertikal an einem Stativ fest.

4. Die beiden Teilergebnisse

$$R \sim l \text{ und } R \sim \frac{1}{F}$$

kann man zusammenfassen und erhält

$$R \sim \frac{l}{F}.$$

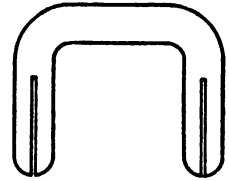


Abb. 81/2. Steckbrücke

39. Abhängigkeit des Widerstandes vom Material [Ü]

Akkumulatorenbatterie (4 V) oder Stromversorgungsgerät mit parallel geschaltetem Potentiometer, Voltmeter (10 V), Amperemeter (10 A), 3 Holztsche Fußklemmen, Drähte aus Kupfer, Eisen, Konstantan (\varnothing 0,1 mm und 0,2 mm, Länge 1000 mm), Verbindungskabel, Schalter.

Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie in V 37. Für jeden Draht berechnet man nach dem Ohmschen Gesetz den Widerstand. Er ist andererseits bei konstanter Länge und konstantem Querschnitt vom Material abhängig. Dem trägt die Gleichung

$$R = \rho \cdot \frac{l}{F}$$

Rechnung, in der der Faktor ρ , der spezifische Widerstand, allein vom Material abhängig ist. Es ergibt sich

$$\rho = R \cdot \frac{F}{l},$$

wobei die Leiterlänge in m, der Leiterquerschnitt in mm^2 einzusetzen sind.

Bemerkungen:

1. Man kann zu diesem Versuch auch das in V 38 beschriebene Schaltbrett verwenden, indem man auf diesem drei Drähte von gleicher Länge und gleichem Querschnitt, aber von verschiedenem Material einspannt.
2. Bei Schülerübungen empfiehlt es sich, gleichzeitig 2 Schülergruppen mit Drähten mit einem Durchmesser von 0,1 mm und 0,2 mm arbeiten zu lassen.

40. Ableitung des Widerstandsgesetzes an Drähten verschiedenen Querschnittes bei konstanter Stromstärke [Ü]

Akkumulatorzelle (2 V) oder Stromversorgungsgerät, Schiebewiderstand (110 Ω) als Potentiometer, Voltmeter (2 V) oder Vielfachmeßgerät, Amperemeter (1 A), 4 Holtzsche Fußklemmen, 3 Stahldrähte (\varnothing 0,45 mm, 0,35 mm, 0,25 mm), 3 Konstantandrähte (\varnothing 0,4 mm, 0,3 mm, 0,2 mm), Gliedermaßstab, Verbindungskabel, Schalter.

Durch diesen Versuch wird das Widerstandsgesetz in einem einzigen Arbeitsgang abgeleitet. Man beginnt die Meßreihe an dem Stahldraht mit dem größten Querschnitt und klemmt ihn zwischen zwei Fußklemmen. Die eine Klemmstelle (K_1) bleibt fest, während man die andere (K_2) zum Verändern der Drahtlänge verstellbar macht. An den Draht legt man über ein Amperemeter und einen Schalter eine sehr niedrige Spannung von nur einem Bruchteil eines Volt. Man entnimmt diese Spannung einer Kleinspannungsquelle für 2 V, zu der man einen Schiebewiderstand als Potentiometer parallel schaltet (Abb. 82/1). Die Spannung wird durch ein Voltmeter kontrolliert. Die Drahtlänge regelt man so, daß sich die Stromstärke auf etwa 0,1 A einstellt. Die Drahtlänge zwischen den beiden Klemmschrauben wird gemessen.

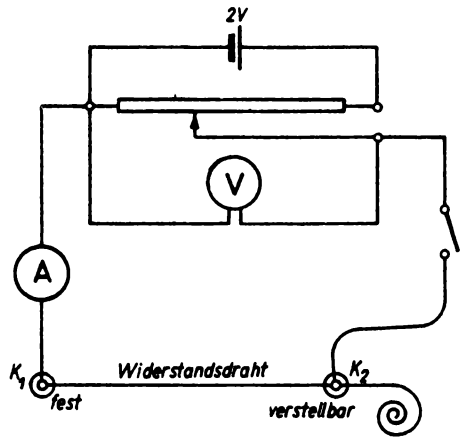


Abb. 82/1. Schaltbild zur Ableitung des Widerstandsgesetzes

Versuch:

Als Beispiel werden eine Spannung von 0,25 V und ein 0,45 mm dicker Stahldraht gewählt. Bei einer Länge von 2,340 m fließt durch ihn ein Strom von 0,13 A. Danach nimmt man dieselbe Messung an einem 0,35 mm und schließlich an einem 0,25 mm dicken Stahldraht vor. Bei konstanter Spannung verändert man die Drahtlänge so lange, bis das Amperemeter wieder 0,13 A anzeigt. Die Drahtlänge wird jedesmal genau gemessen. Dieselben Messungen führt man darauf der Reihe nach an 0,4 mm, 0,3 mm und 0,2 mm dicken Konstantandrähten durch, wobei immer wieder darauf zu achten ist, daß die Spannung und die Stromstärke unverändert bleiben. Man faßt sämtliche Meßwerte in einer Tabelle zusammen und bildet für jeden einzelnen Draht den Quotienten aus der Drahtlänge und dem Querschnitt. Es ergibt sich für die Drähte des gleichen Materials immer wieder annähernd derselbe Wert.

Nach dem Ohmschen Gesetz bleibt bei konstanter Spannung und konstanter Stromstärke auch der Widerstand unverändert. Da dies auch für den Quotienten $\frac{l}{F}$ zutrifft, kann man diesen dem Widerstand zuordnen und kann $R \sim \frac{l}{F}$ setzen. Die Tatsache, daß der Quotient $\frac{l}{F}$ für die einzelnen Stoffe verschiedene Werte hat, berücksichtigt man dadurch, daß man einen vom Stoff abhängigen Faktor ρ einführt, den man als den spezifischen Widerstand bezeichnet. Es ist dann

$$R = \rho \cdot \frac{l}{F}$$

Drähte gleichen Widerstandes
Spannung 0,25 V, Stromstärke 0,13 A

Material	Durchmesser (d) mm	Querschnitt (F) mm ²	Länge (l) m	$\frac{\text{Drahtlänge}}{\text{Drahtquerschnitt}} \left(\frac{l}{F} \right)$ m/mm ²
Stahl	0,45	0,159	2,340	14,72
	0,35	0,096	1,412	14,71
	0,25	0,049	0,072	14,69
				14,71
Konstantan	0,4	0,126	0,482	3,83
	0,3	0,071	0,277	3,90
	0,2	0,031	0,118	3,81
				3,85

Berechnet man R nach dem Ohmschen Gesetz aus $R = \frac{U}{I}$, so ist für das hier wieder-gegebene Beispiel

$$R = \frac{0,25}{0,13} \text{ V/A} \approx 1,92 \Omega.$$

Aus der Tabelle ergibt sich demnach

für Stahl
$$\varrho = R \cdot \frac{F}{l} = \frac{1,92}{14,71} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \approx 0,13 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m},$$

für Konstantan
$$\varrho = R \cdot \frac{F}{l} = \frac{1,92}{3,85} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \approx 0,50 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}.$$

Bemerkungen:

1. Es empfiehlt sich, die Durchmesser der Drähte der verschiedenen Stoffe verschieden groß zu wählen, damit die Unveränderlichkeit von $\frac{l}{F}$ möglichst deutlich in Erscheinung tritt.
2. Damit das Amperemeter nicht durch Überstrom gefährdet wird, ist es ratsam, die Meßreihe mit dem Draht zu beginnen, der den größten Durchmesser und den kleinsten spezifischen Widerstand hat. Außerdem empfiehlt es sich, die erforderliche Drahtlänge überschlagsmäßig zu berechnen und sie zu Beginn des Versuches reichlich zu bemessen. Man wird überdies mit dem größten Meßbereich des Amperemeters beginnen und diesen schrittweise unter Beachtung der erforderlichen Vorsichtsmaßregeln auf den für den Versuch passenden Bereich einschränken.

41. Nachweis der Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur

Akkumulatorzelle (2 V) oder Stromversorgungsgerät, 2 Holtzsche Fußklemmen, Eisendraht (\varnothing 0,2 mm, Länge 400 mm), Amperemeter (5 A), Schalter, Verbindungskabel, Stativ, Bunsenbrenner oder Spiritusbrenner.

Man wickelt einen dünnen Eisendraht um ein Glasrohr mit einem Durchmesser von 5 mm zu einer kurzen Wendel, wobei darauf zu achten ist, daß sich die einzelnen Windungen nicht berühren.

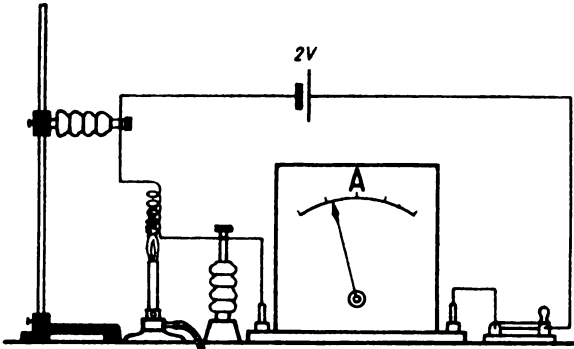


Abb. 84/1. Temperaturabhängigkeit des Widerstandes einer Drahtwendel

Der Aufbau des Versuches erfolgt nach Abb. 84/1. Die Wendel wird zwischen einer auf dem Tisch stehenden Fußklemme und dem an einem Stativ befestigten Isolierstück einer Fußklemme in vertikaler Lage so hoch ausgespannt, daß die heiße Flammenspitze eines Bunsenbrenners den unteren Teil der Wendel gerade berühren kann. Man bildet aus der Wendel, einem Amperemeter, einem Schalter und einer Spannungsquelle ($2\text{ V} \approx$) einen Stromkreis. Noch ehe das Gas entzündet wird, schaltet man

den Strom ein und stellt die Stromstärke fest. Dann stellt man die Gas- oder Spiritusflamme unter die Wendel. Die Stromstärke nimmt sichtlich ab, weil der Widerstand der Eisendrahtwendel durch das Erhitzen anwächst.

Verwendet man statt der Eisendrahtwendel eine Wendel aus Nickel- oder Konstantandraht, so bleibt die Stromstärke beim Erwärmen fast unverändert.

Bemerkungen:

1. Wenn auch dieser Versuch nur als einleitender Schauversuch anzusehen ist, so empfiehlt sich doch, ihn für Drähte aus verschiedenen Metallen durchzuführen, da die vorbereiteten Wendeln schnell ausgewechselt werden können.
2. Statt des Amperemeters kann auch eine Glühlampe als Stromanzeiger benutzt werden. Dies empfiehlt sich besonders dann, wenn nur die Netzspannung zur Verfügung steht. Beim Erhitzen der Eisendrahtwendel läßt die Lichtstärke der Lampe auffallend nach.

42. Temperaturabhängigkeit des Widerstandes einer Bleistiftmine

Akkumulatorenbatterie oder Stromversorgungsgerät, Kleinspannungsglühlampe (6 V , 5 A) in Fassung (E 14) auf Brett, 2 Holztsche Fußklemmen, lange Bleistiftmine, Krokodilklemme, Schalter, Verbindungskabel, Bunsenbrenner.

Eine Akkulatorenbatterie oder ein Stromversorgungsgerät (6 V —), ein Schalter, eine Kleinspannungsglühlampe und eine Bleistiftmine werden in Reihe geschaltet. Die Bleistiftmine wird zwischen zwei Fußklemmen eingespannt und ihre Länge mit einer Krokodilklemme so abgegriffen, daß die Glühlampe gerade schwach zu leuchten beginnt (Abb. 84/2). Wird jetzt die Bleistiftmine durch einen oder mehrere Bunsenbrenner auf helle Rotglut erhitzt, so leuchtet die Glühlampe stark auf. Der Widerstand einer Bleistiftmine wird durch Erhitzen herabgesetzt.

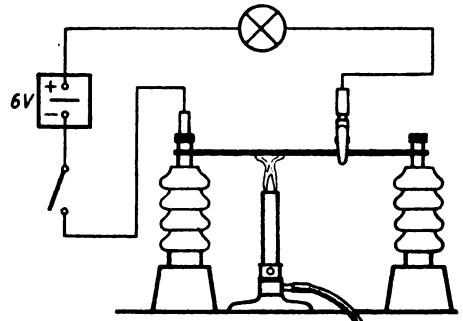


Abb. 84/2. Teilschaltbild zum Nachweis der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes an einer Bleistiftmine

Bemerkungen:

1. Bleistiftminen sind leicht im Handel erhältlich. Will man eine Bleistiftmine aus einem Bleistift herauslösen, so ergreift man das eine Ende des Bleistiftes mit einer Zange und hält den Bleistift in die Flamme eines Bunsenbrenners. Dabei verbrennt das Holz oder verschwelt zu Holzkohle, so daß die Mine aus der Asche leicht herausgelöst werden kann.
2. Die Glühlampe kann auch durch ein Amperemeter ersetzt werden.

43. Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Glas

100-W-Glühlampe in Fassung (E 27) auf Brett, 2 Holtzsche Fußklemmen, Schiebewiderstand (30 Ω), Amperemeter (5 A), 2 längere Nägel, Glasröhrchen, Bunsenbrenner mit Schlauch; ein Stück Asbestpappe (etwa 100 mm \times 200 mm) oder eine Schale mit Sand, Schalter, Verbindungskabel, Netzanschluß.

In zwei Fußklemmen spannt man je einen längeren Nagel fest ein und schiebt über die beiden Nägel ein kurzes, etwa 6...7 cm langes Glasröhrchen. Dann nähert man die beiden Fußklemmen einander so weit, daß die Spitzen der beiden Nägel knapp 1 cm voneinander entfernt sind. Die beiden Fußklemmen und eine 100-W-Glühlampe werden dann zusammen mit einem Schalter in Reihe an das 220-V-Netz angeschlossen. Da die beiden Nagelspitzen nur durch die isolierende Glasröhre überbrückt werden, fließt trotz der angelegten Netzspannung kein Strom; die Glühlampe bleibt dunkel. Wird aber die Glasröhre durch einen Bunsenbrenner erhitzt, so sinkt der Widerstand der Glasröhre infolge der Temperaturerhöhung ganz erheblich (Abb. 85/1). Es fließt ein recht beachtlicher Strom durch die Glasröhre; die Glühlampe beginnt zu leuchten.

Bemerkungen:

1. Noch eindrucksvoller wird der Versuch, wenn man die Glühlampe durch einen Schiebewiderstand als Vorschaltwiderstand ersetzt und ein Amperemeter als Stromanzeiger in den Stromkreis legt. Hierbei ist unbedingt auf die Belastbarkeit des Widerstandes und auf den Meßbereich des Amperemeters zu achten. Widerstände von 30 Ω mit einer Belastbarkeit bis 5 A sind für den Versuch gut geeignet.
2. Man muß daran denken, daß das Glasröhrchen bei großen Stromstärken unter heftigen Sprühen durchschmilzt. Man legt deshalb unter die Glasröhre ein Stück Asbestpappe oder stellt ein Gefäß mit Sand darunter, damit das flüssige, herabtropfende Glas aufgefangen und eine Beschädigung der Tischplatte verhindert wird.
3. Das Glasröhrchen braucht nur so lange mit dem Bunsenbrenner erhitzt zu werden, bis an den Nagelspitzen grell leuchtende Punkte sichtbar werden. Infolge des großen Stromflusses und der dadurch erzeugten Wärme wird dann die äußere Wärmezufuhr überflüssig; es bildet sich zwischen den Nagelspitzen ein Lichtbogen aus, der zur Unterbrechung des Stromflusses auseinandergezogen oder ausgepustet werden kann.
4. Die Hinweise 9 und 10 des § 7,2 sind zu beachten.

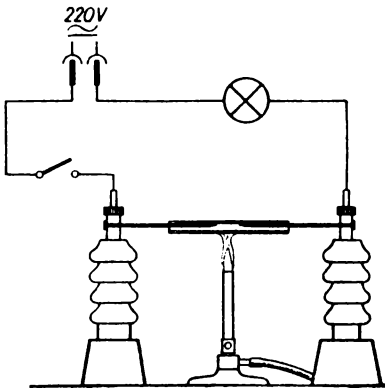


Abb. 85/1. Versuchsanordnung zum Nachweis der Leitfähigkeit des Glases bei hoher Temperatur (Teilschaltbild)

§ 17. WIDERSTANDSMESSUNG

44. Bestimmung des Widerstandes von Konstantan-, Manganin-, Eisen- und Kupferdrähten durch Substitution [Ü]

2 Dekadenwiderstände ($10 \times 0,1 \Omega$; $10 \times 1 \Omega$), Amperemeter (1 A), Schiebewiderstand (18Ω), zwei einzelne Akkumulatorenzellen, 2 Holzschache Fußklemmen, 3 Sorten von aufgespulten Widerstandsdrähten ($\varnothing 0,25 \text{ mm}$) aus Konstantan, Manganin und Eisen, Hebelschalter, Verbindungskabel, Federklammer, Meterstab.

Versuchsordnung:

Entsprechend dem Schaltbild der Abb. 86/1 werden ein Hebelschalter, ein Schiebewiderstand (18Ω), ein Amperemeter und zwei Dekadenwiderstände für $10 \times 0,1 \Omega$ und für $10 \times 1 \Omega$ in Reihe geschaltet und an eine Akkumulatorenzelle angeschlossen.

Der Schiebewiderstand wird als Vorwiderstand zunächst voll eingeschaltet, die Kurbeln der Dekadenwiderstände werden auf Null gestellt. Darauf wird der Stromkreis geschlossen; die Stromstärke wird mittels des Schiebewiderstandes so geregelt, daß ein Strom von höchstens $0,2 \text{ A}$ durch die Leitung fließt. Die bei dieser Stromstärke vorhandene Stellung des Schiebers wird durch eine Federklammer an der Gleitschiene so festgelegt, daß diese Schieberstellung nicht mehr unterschritten werden kann und somit eine Gefährdung des Amperemeters und der Dekadenwiderstände ausgeschlossen ist. Nach dem Unterbrechen des Stromkreises wird der Schiebewiderstand wieder auf den vollen Widerstandswert eingestellt.

Versuch:

Die Verbindungskabel werden von den Dekadenwiderständen gelöst und die freigebliebenen Enden an zwei Fußklemmen angeschlossen. Zwischen diese klemmt man nacheinander die zu vermessenden Widerstandsdrähte. Man wählt dabei das zwischen den Fußklemmen liegende Stück genau 1 m lang. Darauf wird der Strom eingeschaltet und die Stromstärke mittels des Schiebewiderstandes so geregelt, daß sie $0,1 \text{ A}$ beträgt. Nach dem Abschalten des Stromes werden die Kabelverbindungen vom Widerstandsdraht gelöst und wieder an die Dekadenwiderstände gelegt. Der Stromkreis wird erneut geschlossen. Während man das Amperemeter fortgesetzt beobachtet, ändert man durch Drehen der Kurbeln an den Dekadenwiderständen den Widerstand des Leiterkreises so lange, bis das Amperemeter wieder $0,1 \text{ A}$ anzeigt. Der eingeschaltete Teil der Dekadenwiderstände ist dann gleich dem Widerstand des zu untersuchenden Leiters.

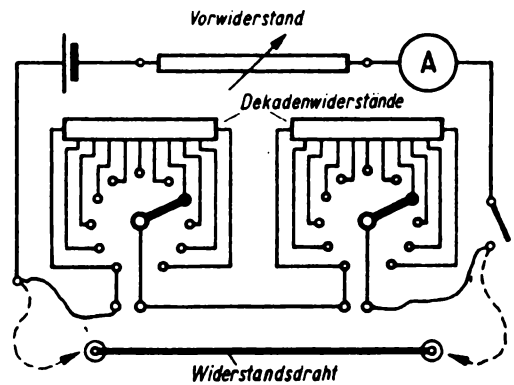


Abb. 86/1. Schaltbild zur Widerstandsbestimmung durch Substitution

In gleicher Weise verfährt man mit den beiden anderen Drähten, die ebenfalls zwischen die Fußklemmen eingeklemmt werden. Die Ergebnisse werden in eine Tabelle eingetragen.

Widerstandswerte verschiedener Drähte

Material	Länge (l) m	Durchmesser (d) mm	Widerstand (R) Ω
Konstantandraht	1	0,25	10,2
Manganindraht	1	0,25	8,4
Eisendraht	1	0,25	2,2

Bemerkungen:

1. Die Voraussetzung für ein befriedigendes Meßergebnis ist eine exakte Spannungskonstanz während der Dauer der gesamten Versuchsreihe. Durch Parallelschalten zweier Akkumulatorenzellen genügt man dieser Forderung am besten.
2. Man wird die Stromstärke möglichst klein wählen, damit die Dekadenwiderstände nicht gefährdet werden. Siehe dazu § 4, 3.
3. Sehr vorteilhaft ist es, für diesen Versuch Dekadenwiderstände zu verwenden, bei denen die einzelnen Dekaden in Kolonnen übereinander auf einem vertikalen Brett angeordnet sind (vgl. § 4, 3, Abb. 15/2).

45. Bestimmung des Ohmschen Widerstandes einer elektrischen Kochplatte und einer Glühlampe mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes [Ü]

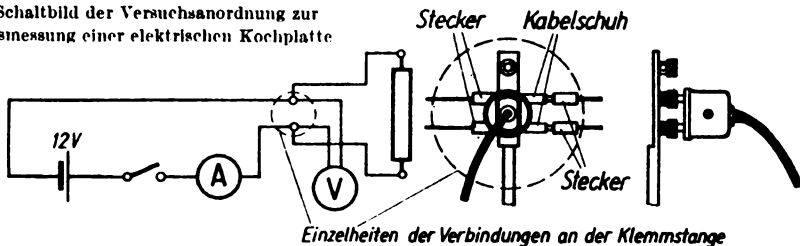
Elektrische Kochplatte (220 V), Glühlampe (220 V, 25 W) in Fassung (E 27) auf Brett, Voltmeter (Meßbereich 20 V), Amperemeter (Meßbereich 1 A und 10 mA), Gerätesteckdose mit Kabel, Akkumulatorenbatterie (12 V) oder Stromversorgungsgerät, Klemmenstange, 2 Kabelschuhe, Hebelschalter, Stativfuß, Verbindungskabel, Konstantandraht, 2 Holzzsche Fußklemmen.

Versuch 1:

Eine elektrische Kochplatte wird durch ein Kabel, das in einer Gerätesteckdose endet, mit einer Klemmenstange verbunden, die senkrecht in einem Stativfuß befestigt ist (Abb. 87/1).

An die gleichen Klemmschrauben der Klemmenstange wird mit Hilfe von Verbindungskabeln und zweier unter die Klemmschrauben geklemmter Kabelschuhe ein Volt-

Abb. 87/1. Schaltbild der Versuchsanordnung zur Widerstandsmessung einer elektrischen Kochplatte



meter gelegt. Unter Zwischenschalten eines Amperemeters und eines Hebelschalters werden die Buchsen derselben Klemmschrauben an eine Akkumulatorenbatterie (12 V) oder an ein Stromversorgungsgerät angeschlossen. Das Amperemeter zeigt nach Einschalten des Stromes eine Stromstärke von 0,53 A an. Das Voltmeter mißt eine Spannung von 12 V.

Berechnung des Widerstandes:

Der Widerstand R der Kochplatte ist nach dem Ohmschen Gesetz gleich dem Quotienten aus der Spannung U und der Stärke des durch die Kochplatte fließenden Stromes I

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

Setzt man die gemessenen Werte in die Gleichung ein, so ergibt sich ein Widerstand von

$$R = \frac{12 \text{ V}}{0,53 \text{ A}} \approx 22,6 \Omega.$$

Versuch 2:

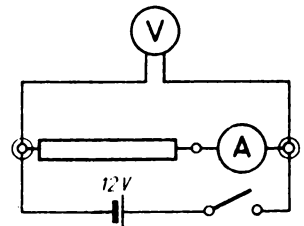
Statt der Kochplatte wird eine 25-W-Glühlampe an die Klemmenstange angeschlossen. Außerdem wird eine Änderung der Schaltung insofern vorgenommen, als das Voltmeter parallel zur Glühlampe und zum Amperemeter gelegt wird. Die Gründe dafür sind in Bemerkungen unter 3 angegeben. Die gemessenen Strom- und Spannungswerte betragen 0,06 A und 12 V. Es ergibt sich somit ein Widerstand von

$$R = \frac{12 \text{ V}}{0,006 \text{ A}} = 2000 \Omega.$$

Bemerkungen:

1. Der Eignung des Versuches für Schülerübungen entsprechend ist in der Versuchsbeschreibung eine Kleinspannung von 12 V vorgesehen. Es ist jedoch zu empfehlen, daß der Lehrer zusätzlich den Versuch mit der Betriebsspannung der Kochplatte und der Glühlampe durchführt. Der Schüler lernt daraus, daß der Betriebswiderstand einer heißen Kochplatte größer ist als der einer kalten.
2. Der Strom, der durch die Kochplatte bzw. durch die Glühlampe fließt, ist der Differenz zwischen dem vom Amperemeter gemessenen und dem durch das Voltmeter fließenden Strom gleich. Dieser ist im Verhältnis zu den gemessenen Strömen sehr gering, seine Stärke beträgt bei einem inneren Widerstand des Voltmeters von 10000 Ω nur 1 mA. Der Meßfehler liegt innerhalb der zulässigen Fehlergrenze.
3. Zum Messen hochohmiger Widerstände eignet sich die in Abb. 87/1 wiedergegebene Schaltung nicht. Beträgt der zu messende Widerstand beispielsweise 10000 Ω , so würde im Voltmeter sowie im Widerstand ein Strom gleicher Stärke fließen. Der vom Amperemeter angezeigte Strom würde somit einen Fehler von 50 Prozent aufweisen. Bei hochohmigen Widerständen ändert man deshalb die Schaltung und mißt den gemeinsamen Spannungsabfall längs des Widerstandes und des Amperemeters (Abb. 88/1). Das Amperemeter zeigt bei dieser Schaltung nur den Strom an, der durch den zu berechnenden Widerstand fließt. Das Voltmeter hingegen mißt jetzt den Spannungsabfall längs des Widerstandes und des Amperemeters.

Abb. 88/1. Schaltbild zur Widerstandsmessung hochohmiger Widerstände



Da bei hochohmigen Widerständen nur geringe Ströme fließen und der Widerstand eines Amperemeters sehr gering ist, liegt der Meßfehler des Spannungsmessers innerhalb der zulässigen Fehlergrenze.

4. In der in Versuch 1 angegebenen Weise verfährt man, wenn man den Widerstand einzelner Widerstandsdrähte nach dem Ohmschen Gesetz bestimmen will. Man klemmt sie zwischen zwei Fußklemmen ein und mißt wieder die Spannung und die Stromstärke durch ein Voltmeter und ein Amperemeter. Damit man die Messung bei verschiedenen Spannungen durchführen kann, legt man in den Stromkreis zweckmäßigerweise einen Schiebewiderstand als Vorschaltwiderstand, dessen Widerstandswert man mehrmals hintereinander verringert. Die abgelesenen Spannungs- und Stromstärkenwerte werden ebenso wie die daraus errechneten Widerstandswerte in eine Tabelle eingetragen.

Beispiel für die Bestimmung des Widerstandes eines Konstantendrahtes

Ø 0,45 mm, Länge 2,8 m

Spannung (U) gemessen V	Stromstärke (I) gemessen A	Widerstand (R) errechnet Ω
1,40	0,16	8,75
2,20	0,25	8,80
3,00	0,34	8,82
	Mittelwert	8,79

46. Vorversuch zur Wheatstoneschen Brücke

2 Schiebewiderstände (110 Ω und 300 Ω), 2 Holtzsche Fußklemmen, Voltmeter mit Nullpunktmittellage (20 V), Stromversorgungsgerät, Verbindungskabel, 2 Schalter.

Man schließt zwei verschiedene Schiebewiderstände mit ihren Endklemmen an zwei Fußklemmen an und verbindet diese über einen Schalter mit einem Stromversorgungsgerät (20 V—). Die beiden Gleitkontakte der Schiebewiderstände werden über ein Voltmeter und einen Schalter miteinander verbunden (Abb. 89/1). Als Voltmeter wählt man am besten ein Gerät mit Nullpunktmittellage, damit man die im Laufe des Versuches eintretende Umkehrung der Stromrichtung gut erkennen kann.

Man geht zu Beginn des Versuches zweckmäßigerweise von der Mittelstellung des einen Gleitschiebers aus und schiebt den anderen auf Endstellung. Man schaltet darauf den Strom in der Hauptleitung ein. Schließt man auch den Schalter in der Voltmeterleitung, so zeigt das Voltmeter eine Spannung von etwa 10 V an. Beläßt man den in Mittelstellung

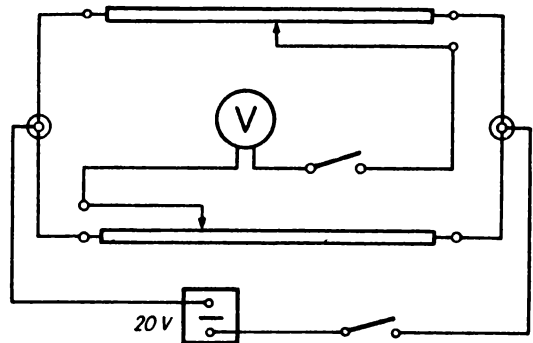


Abb. 89/1. Ein Voltmeter in Brückenschaltung

stehenden Gleitschieber unverändert, während man den anderen auf das andere Ende des Widerstandes zuschiebt, so sinkt die Spannung allmählich ab. Sie erreicht den Wert Null, wenn der Schieber ebenfalls in der Mittelstellung steht. Schiebt man ihn darüber hinaus auf das andere Ende des Widerstandes zu, so tritt eine Umkehr der Stromrichtung in der Voltmeterleitung ein. Die Spannung steigt wieder.

Verschiebt man den Gleitschieber des ersten Widerstandes etwas aus der Mittelstellung, so muß man auch den Schieber des anderen Widerstandes entsprechend verstellen, wenn die Voltmeterleitung stromlos sein soll.

Bemerkungen:

1. Die Verbindung zwischen den beiden Gleitschiebern ist gewissermaßen eine Brücke zwischen den beiden Stromzweigen. Die ganze Schaltung trägt danach die Bezeichnung Brückenschaltung.
2. Man bezeichnet den elektrischen Zustand, bei dem die Brücke stromlos ist, als das Brückengleichgewicht. Soll dieser Zustand eintreten, so müssen die Teilspannungen U_1 und U_2 bzw. U_3 und U_4 längs der beiden Widerstände die Bedingung

$$U_1 : U_2 = U_3 : U_4$$

erfüllen.

3. Man überzeugt sich von der Stromlosigkeit der Brücke am besten dadurch, daß man in der Brückenleitung nur ganz kurze Stromimpulse gibt und dabei beobachtet, ob das Voltmeter ausschlägt. Kommt es nur auf diese Feststellung an, so ersetzt man das Voltmeter zweckmäßigerweise durch ein Galvanometer.

47. Widerstandsmessung mit Hilfe der Wheatstoneschen Brücke [Ü]

Wheatstonescher Brückendraht (Länge 1000 mm) mit Gleitkontakt auf Grundbrett, Kochplatte (500 W) oder Metallfadenlampe (60 W oder 40 W) in Fassung (E 27) auf Brett als Versuchswiderstände, Meßwiderstände (100 Ω und 1000 Ω) oder Dekadenwiderstand (10 \times 100 Ω), Galvanometer, Holtzsche Fußklemme, 2 Hebelschalter, Schiebewiderstand (110 Ω), Akkumulatorzelle, Verbindungskabel, Gerätesteckdose mit kurzen Kabeln und 2 Steckbuchsen oder Klemmschrauben auf Brett.

Versuchsanordnung:

Nach Abb. 90/1 verbindet man einen Wheatstoneschen Brückendraht, den zu bestimmenden Widerstand und einen Meßwiderstand unter Zwischenschalten einer Fußklemme hintereinander zu einem geschlossenen Stromkreis. Zwischen die Fußklemme und den Gleitkontakt der Meßbrücke legt man ein Galvanometer sowie einen Hebelschalter und stellt den Gleitkontakt ungefähr auf die Mitte des Meßdrahtes ein. An den Brückendraht legt man die Spannung einer Akkumulatorzelle unter Zwischenschalten eines Hebelschalters und eines Vorschaltwiderstandes von etwa 110 Ω . Durch diesen sollen das Galvanometer, die Meßwiderstände

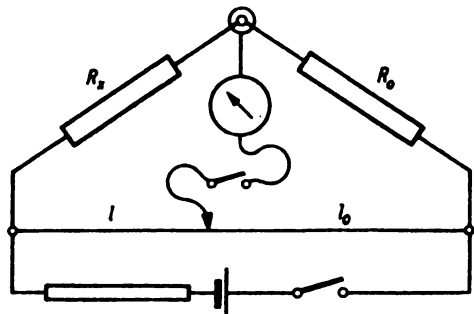


Abb. 90/1. Schaltbild einer Wheatstoneschen Brückenschaltung

und der Brückendraht vor zu starken Strömen geschützt werden.

Wird der Versuch als Schauversuch durchgeführt, so wird am zweckmäßigsten der Widerstand einer Glühlampe oder einer elektrischen Kochplatte gemessen. Nimmt man die zuletzt genannte, so bereitet man dazu eine Gerätesteckdose so vor, daß man damit unmittelbar die Verbindung zu den anderen Teilen des Stromkreises herstellen kann. Man schließt an die Gerätesteckdose zwei kurze Kabelstücke an, die man in zwei Steckbuchsen oder in zwei Klemmschrauben endigen läßt. Diese versenkt man in zwei Bohrungen eines kleinen rechteckigen Brettchens, das man mit Draht an der Gerätesteckdose befestigt (Abb. 91/1).

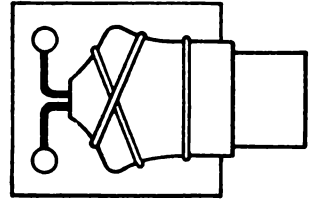


Abb. 91/1. Gerätesteckdose zum Anschluß einer Kochplatte an die Wheatstonesche Brücke

Als Vergleichswiderstand verwendet man zum Messen des Widerstandes einer Glühlampe am besten einen Meßwiderstand von $1000\ \Omega$, für eine Kochplatte einen solchen von $100\ \Omega$. Steht ein Dekadenwiderstand zur Verfügung, so kann man mühelos von dem einen zum anderen Widerstandswert übergehen.

Versuch:

Man schließt zunächst den im ungeteilten Stromkreis liegenden Schalter und prüft durch kurzzeitiges Schließen des im Galvanometerzweig liegenden Schalters, nach welcher Seite das Galvanometer ausschlägt. Dann stellt man fest, nach welcher Seite hin man den Gleitkontakt bewegen muß, damit der Galvanometerausschlag geringer wird. Danach verschiebt man den Gleitkontakt so lange, bis das Galvanometer beim Einschalten in der Nullstellung verbleibt, die Verbindung zwischen den beiden Stromzweigen mithin stromlos ist. Man liest die Stellung des Gleitkontaktes an der Meßskale des 100 cm langen Brückendrahtes ab. Zur Feineinstellung überbrückt man den Vorschaltwiderstand mit Hilfe eines Drahtes, korrigiert, wenn erforderlich, die Einstellung des Gleitkontaktes und liest erneut ab. Ist die Drahtlänge auf der Seite des unbekannten Widerstandes R_x gleich l , auf der Seite des Vergleichswiderstandes R_0 gleich $l_0 = 100 - l$, so gilt

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{l}{l_0} = \frac{l}{100 - l}$$

und folglich

$$R_x = \frac{l}{100 - l} \cdot R_0.$$

Beispiele für durchgeführte Messungen:

Glühlampe (60 W) : $l = 44,8\text{ cm}$, $l_0 = 55,2\text{ cm}$, $R_0 = 1000\ \Omega$

$$R_x = \frac{44,8}{55,2} \cdot 1000\ \Omega \approx 812\ \Omega.$$

Elektr. Kochplatte (500 W) : $l = 49,2\text{ cm}$, $l_0 = 50,8\text{ cm}$, $R_0 = 100\ \Omega$

$$R_x = \frac{49,2}{50,8} \cdot 100\ \Omega \approx 97\ \Omega.$$

Bemerkungen:

1. Die Meßgenauigkeit ist in der Mitte des Meßdrahtes am größten. Man wählt aus diesem Grunde den Vergleichswiderstand stets so, daß er dem vermutlichen Wert des unbekannten Widerstandes möglichst nahe kommt.

2. Die Meßgenauigkeit kann gesteigert werden, wenn man die Widerstände R_x und R_0 in der Schaltung vertauscht, die Messung wiederholt und aus beiden Meßergebnissen das Mittel nimmt. Auf diese Weise schaltet man vorhandene Ungleichheiten des Meßdrahtquerschnittes aus.
3. Für die schnelle Bestimmung eines Widerstands im Unterricht oder in den Schülerübungen ist die Verwendung einer technischen Meßbrücke sehr zu empfehlen (vgl. V 48).

48. Widerstandsbestimmung mit Hilfe eines Ohmmeters und einer technischen Meßbrücke [Ü]

Ohmmeter mit eingebauter 4,5-V-Trockenbatterie, verschiedene elektrische Geräte mit unbekanntem Widerstand, 2 Verbindungskabel mit Kabelschuhen und Prüfspitzen. – Technische Meßbrücke, 2 Verbindungskabel.

Zur schnellen Ermittlung eines Widerstandes im Unterricht sind zwei in der Technik viel verwendete Geräte sehr geeignet: das *Ohmmeter* und die *Technische Meßbrücke*. Das Ohmmeter ist im Grunde ein in Ohm geteiltes Strommeßgerät und beruht auf der Anwendung des Ohmschen Gesetzes zur Berechnung des Widerstandes bei konstanter Spannung. Die Technische Meßbrücke ist nichts anderes als eine zweckmäßig vereinfachte und in einem Kasten untergebrachte Wheatstonesche Brückenschaltung.

1. Das Ohmmeter

An die am Ohmmeter befindlichen Klemmschrauben werden die beiden Verbindungskabel mittels der Kabelschuhe angeschlossen (Abb. 92/1). Ihre freien Prüfspitzen werden kurzzeitig miteinander zur Berührung gebracht. Stellt sich dabei der Zeiger des Ohmmeters nicht auf Null ein, so hat die Batteriespannung der Trockenbatterie nachgelassen. In diesem Falle dreht man an dem am Gehäuse befindlichen Schraubenkopf vorsichtig, bis sich der Zeiger auf Null eingestellt hat. Durch das Drehen wird die Einwirkung eines Magneten oder eines magnetischen Nebenschlusses auf das Meßwerk erhöht. Nunmehr berührt man mit den Prüfspitzen die Enden des zu messenden Widerstandes, liest am Ohmmeter die Widerstandszahl in Ohm ab.

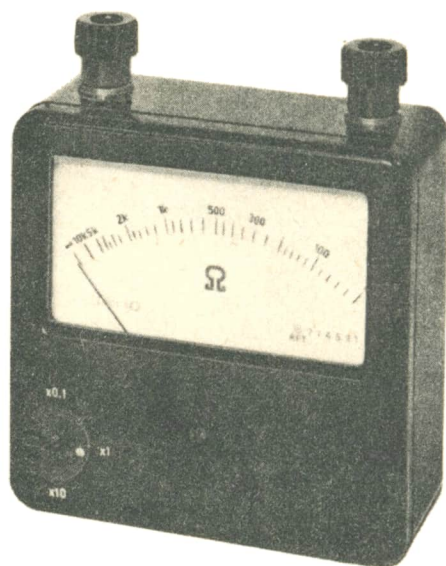


Abb. 92/1. Technisches Ohmmeter

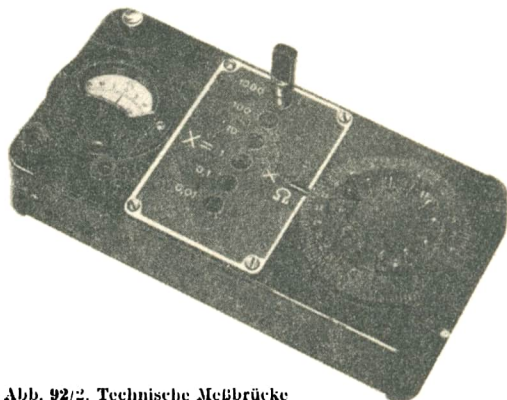


Abb. 92/2. Technische Meßbrücke

2. Die Technische Meßbrücke

Der zu messende Widerstand wird durch zwei Verbindungskabel an die dafür vorgesehenen Klemmschrauben angeschlossen (Abb. 92/2). Durch den beigegebenen Stöpsel wird von den 6 Vergleichswiderständen derjenige eingeschaltet, der dem zu messenden Widerstand schätzungsweise am nächsten kommt. Durch kurzzeitige Kontaktgabe mittels der Drucktaste und durch gleichzeitiges Verstellen des Drehwiderstandes wird festgestellt, ob der Eintritt der Stromlosigkeit der Brücke im Bereich des gestöpselten Widerstandes liegt. Ist dies der Fall, so wird durch behutsames Drehen des Widerstandsgriffes und durch wiederholtes Niederdrücken der Taste die Feineinstellung vorgenommen und der Widerstandswert abgelesen. Die Abb. 93/1 gibt eine stark vereinfachte Übersicht über die Schaltung des Gerätes wieder, die von der üblichen Brückenschaltung erheblich abweicht.

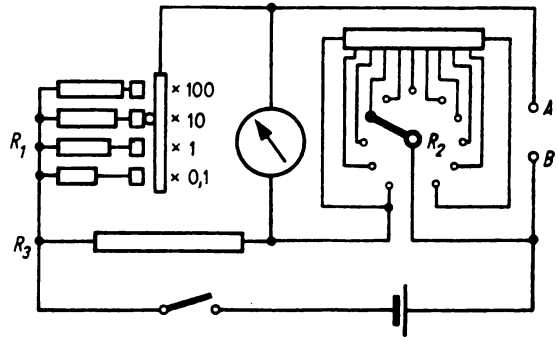


Abb. 93/1. Stark vereinfachter Schaltplan der technischen Meßbrücke A, B. Anschlußklemmen für den zu messenden Widerstand R_x . R_1 Stöpselrheostat als veränderlicher Vergleichswiderstand, R_2 Drehwiderstand, R_3 fester Vergleichswiderstand

§ 18. LEISTUNG UND ARBEIT EINES ELEKTRISCHEN STROMES

19. Abhängigkeit der Stromleistung von Spannung und Stromstärke

3 Glühlampen (2 V) in Fassungen (E 10) auf Sockeln, Akkumulatorenbatterie (6 V), Amperemeter (1 A), 2 Holtzsche Fußklemmen, Verbindungskabel, Hebelschalter.

Der Versuch läßt sich mit einfachsten Mitteln durchführen; er veranschaulicht mit voller Deutlichkeit den Zusammenhang zwischen der Stromleistung einerseits und der Spannung und der Stromstärke andererseits. Er besteht aus mehreren aufeinanderfolgenden Teilversuchen, die in zwei Gruppen zusammengefaßt werden.

Die Versuche beginnen damit, daß eine 2-V-Glühlampe durch Anschluß an eine Akkumulatorzelle zum Leuchten gebracht wird. Das helle Leuchten der Lampe wird als Kennzeichen für die volle Leistung des Stromes angesehen. Leuchten also im weiteren Verlauf des Versuches zwei und schließlich drei Lampen hell, so wird daraus auf eine Verdopplung bzw. Verdreifachung der Leistung geschlossen. Man verfährt dabei so, daß man die Lampen zunächst parallel und dann in Reihe in den Stromkreis legt. Beim Hintereinanderschalten der Lampen muß man entsprechend der Lampenzahl die Spannung heraufsetzen, wenn die Lampen hell brennen sollen. Die Stromstärke wird jedesmal an einem Amperemeter abgelesen; die Spannung wird einfach nach der Zahl der Akkumulatorzellen bemessen. Die Reihenfolge der einzelnen Versuche und ihre Schaltung ist aus der Tabelle auf S. 94 und den Schaltbildern Abb. 94/1 bis 3 und

95/1 bis 4 zu erkennen. Die letzten Spalten der Tabelle geben Hinweise für die Auswertung.

Die Tabelle bestätigt die Richtigkeit der Gleichung $P = U \cdot I$ für die Leistung eines elektrischen Stromes.

Übersicht über die Teilversuche zur Veranschaulichung der Stromleistung

Lampenzahl	Leuchtkraft	Schaltbilder	Spannung (U) V	Stromstärke (I) A	Leistung (U · I) VA
Drei Glühlampen in Parallelschaltung					
1	hell einf. Leistung	Abb. 94/1	2	$0,16 = 1 \cdot 0,16$	$0,32 = 1 \cdot 0,32$
2	hell zweif. Leistung	Abb. 94/2	2	$0,32 = 2 \cdot 0,16$	$0,64 = 2 \cdot 0,32$
3	hell dreif. Leistung	Abb. 94/3	2	$0,48 = 3 \cdot 0,16$	$0,96 = 3 \cdot 0,32$
Drei Glühlampen in Reihenschaltung					
1	hell einf. Leistung	Abb. 94/1	$2 = 1 \cdot 2$	0,16	$0,32 = 1 \cdot 0,32$
2	dunkel	Abb. 95/1	2 zu gering	$0,08 < 0,16$	0,16
2	hell zweif. Leistung	Abb. 95/2	$4 = 2 \cdot 2$	0,16	$0,64 = 2 \cdot 0,32$
3	dunkel	Abb. 95/3	4 zu gering	$0,13 < 0,16$	0,52
3	hell dreif. Leistung	Abb. 95/4	$6 = 3 \cdot 2$	0,16	$0,96 = 3 \cdot 0,32$

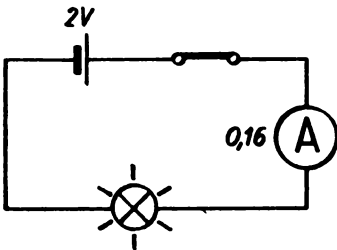


Abb. 94/1

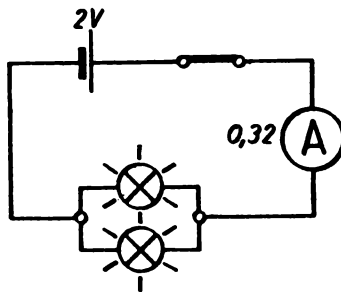


Abb. 94/2

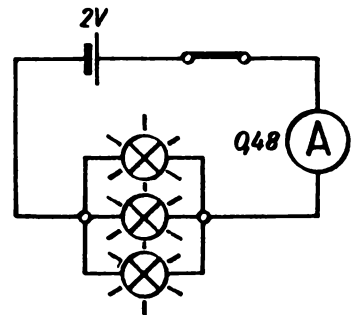


Abb. 94/3

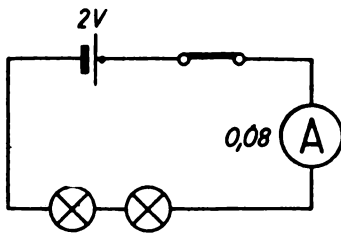


Abb. 95/1

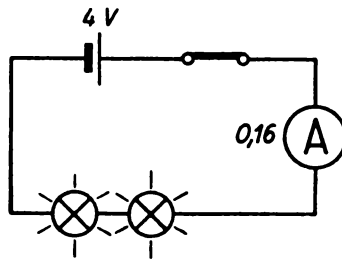


Abb. 95/2

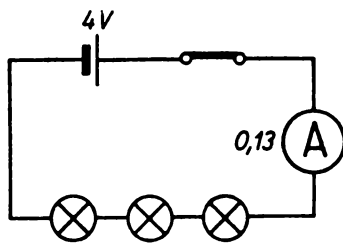


Abb. 95/3

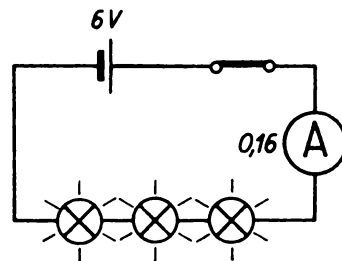


Abb. 95/4

50. Widerstand und Leistung eines Tauchsieders

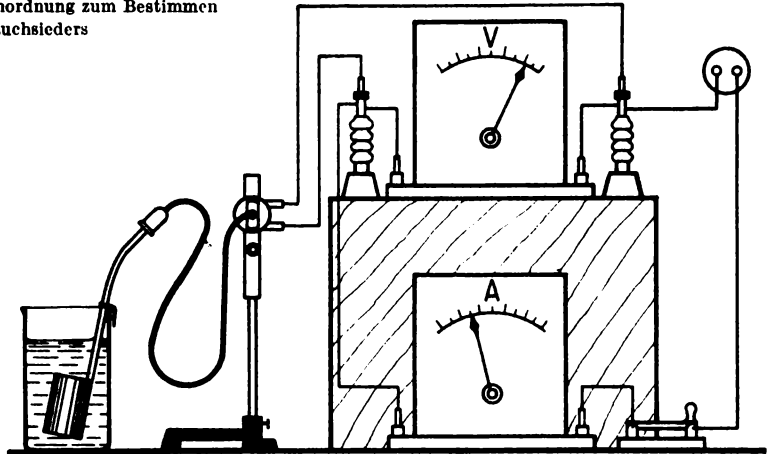
Tauchsieder (850 W), 2 Holtzsche Fußklemmen, Voltmeter (250 V), Amperemeter (10 A), Klemmenstange, Stativfuß, 2 Kabelschuhe, Verbindungskabel, Hebelschalter, Becherglas aus Jenaer Glas (hohe Form, 800 ml), 1 Thermometer, Stoppuhr, Meßglas, Netzanschluß.

Der Versuch dient dazu, die an jedem Tauchsieder vermerkte Leistungsaufnahme nachzuprüfen und festzustellen, welche Stromarbeit verrichtet wird, wenn eine bestimmte Wassermenge durch den Tauchsieder von 18°C bis zum Beginn des Siedens (100°C) erhitzt wird. Man kann an Hand dieses Versuches die in einer bestimmten Zeit erzeugte Wärmemenge ermitteln und den Wirkungsgrad des Tauchsieders daraus er rechnen.

Versuchsordnung:

Man befestigt eine Klemmenstange in vertikaler Stellung an einem Stativfuß und führt in die Steckbuchsen zweier benachbarter Klemmschrauben den Stecker des Tauchsieders ein. Die gleichen Klemmschrauben schließt man an zwei Fußklemmen an. Zwischen diese wird, wie in V 45,1, Abb. 87/1, parallel zum Tauchsieder ein Voltmeter gelegt. Von den Fußklemmen aus führen zwei Leitungen über ein in Reihe liegendes Amperemeter und einen Schalter zu den Steckbuchsen einer Netzsteckdose für $220\text{ V} \approx$ (Abb. 96/1). Es empfiehlt sich, das Voltmeter über dem Amperemeter erhöht auf einem Unterstellkasten anzuordnen, damit dadurch das gleichzeitige Beobachten beider Geräte erleichtert wird. Abb. 96/2 gibt das Schaltbild der Versuchsanordnung wieder.

Abb. 96/1. Versuchsanordnung zum Bestimmen der Leistung eines Tauchsieders



Ehe man den Stromkreis an die Steckdose anschließt, stellt man den Tauchsieder in ein mit 500 ml Wasser gefülltes Becherglas, damit der Tauchsieder nicht beim Einschalten des Stromes gefährdet ist.

Versuch:

Man mißt zunächst die Temperatur des Wassers. Dann schließt man den Stromkreis und liest die Spannung und die Stromstärke ab. Gleichzeitig mit dem Niederdrücken des Schalters setzt man eine Stoppuhr in Bewegung und stellt die Zeit fest, die bis zum Beginn des Siedens verfließt.

Es wurden bei einem Versuch folgende Werte gemessen, die als Beispiel angegeben werden:

Spannung	$U = 212 \text{ V}$
Stromstärke	$I = 3,8 \text{ A}$
Wassermasse	$m = 500 \text{ g}$
Anfangstemperatur	$\vartheta = 18 \text{ }^\circ\text{C}$
Zeitdauer bis zum Siedebeginn	$t = 227 \text{ s}$

Aus den gemessenen Werten wurden durch Rechnung gefunden:

der Widerstand	$R = \frac{U}{I} \approx 55,8 \text{ } \Omega$
die Stromleistung	$P = U \cdot I \approx 806 \text{ W}$

Die vom Tauchsieder aufgenommene Leistung blieb infolge der von 220 V auf 212 V verminderten Spannung um rund 45 W hinter der Nennleistung von 850 W zurück.

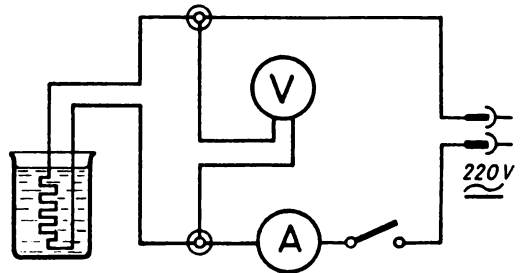


Abb. 96/2. Schaltbild zu Abb. 96/1

Die in 227 s verrichtete Stromarbeit beträgt: $W_i = U \cdot I \cdot t = 182962 \text{ Ws}$.

Bei der Durchführung des Versuches sind die Hinweise 9 und 10 des § 7,2 zu berücksichtigen.

Bemerkung: Der Versuch kann noch durch folgende Messungen und Berechnungen ergänzt werden:

Masse des Glasgefäßes	$m_1 = 181 \text{ g}$	
Wasserwert des Glasgefäßes	$w = 181 \text{ g} \cdot 0,186 \text{ cal/g} \cdot \text{grd} \approx 33,7 \text{ cal/grd}$	
Temperatur nach $t_1 = 120 \text{ s}$	$\theta_1 = 61,4^\circ \text{C}$	
Stromarbeit in 120 s	$W_i = U \cdot I \cdot t_1$	$\approx 96672 \text{ Ws}$
dabei frei gewordene Wärmemenge	$W_1 = 0,239 \cdot U \cdot I \cdot t_1$	$\approx 23105 \text{ cal}$
davon genutzte Wärmemenge	$W_2 = m \cdot c_w (\theta_1 - \theta)$	$\approx 21700 \text{ cal}$
Wirkungsgrad des Tauchsieders:	$\eta = \frac{21700}{96672}$	$\approx 0,94 \cong 94\%$

51. Die Stromleistung und -arbeit an einem Motormodell [Ü]

Grundbrett, Spannvorrichtungen, U-Kern, Polschuhpaar mit Lager, 2 Bürstenhalter, 2 Bürsten, Trommelanker mit Kollektor, 2 Spulen (125/250 Wdg.), 2 Holtzsche Fußklemmen, Amperemeter (1 A), Voltmeter (10 V), Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, Verbindungskabel, Stativ mit 750 mm langem Stab, kurzer Stativstab, Rolle mit Stiel, 2 Kreuzmuffen, Bindfaden, Federwaage (1 kp), Hakengewichtsstück (100 p), Sekundenuhr.

Man stellt wie in V 126 das Modell eines Hauptschlußmotors zusammen und schließt ihn zwischen zwei Fußklemmen in Reihe mit einem Amperemeter und einem Schalter an ein Stromversorgungsgerät (10 V—) an. An die Fußklemmen legt man parallel zum Motormodell ein Voltmeter. Den Motor versieht man mit einer Fadenbremse. Sie besteht aus einem an einem Stativ hängenden Faden, der von einer Federwaage ausgeht und in der Drehrichtung einmal um die Trieb-scheibe des Motors herumgeführt wird. Das freie Ende des Fadens wird über eine Rolle geführt und mit einem Hakengewichtsstück belastet (Abb. 97/1). Dreht sich der Motor, so wird er durch die zunehmende Spannung der Federwaage gebremst.

Schaltet man den Strom ein, so beginnt sich der Motor zu drehen. Infolge der angelegten Bremse stellt er sich rasch auf eine konstante Drehzahl ein. Man liest

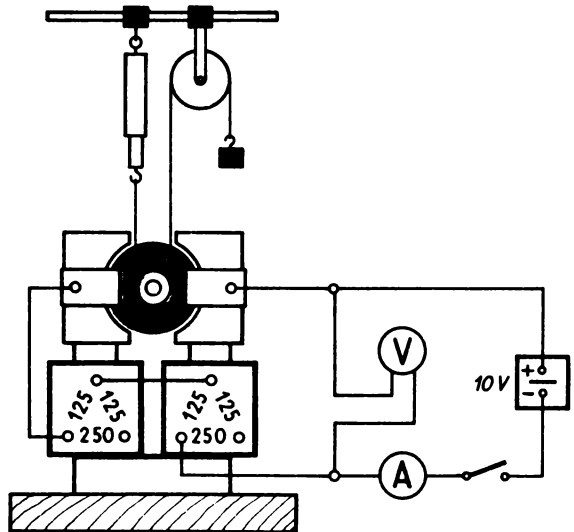


Abb. 97/1. Ermittlung der Leistungsaufnahme eines Motorenmodells (Teilschaltbild)

dann die Stromstärke I und die Spannung U ab und läßt den Motor eine bestimmte, an einer Sekundenuhr gemessene Zeit t laufen. Aus den Werten von I , U und t ergibt sich die vom Motor umgesetzte Stromarbeit als $W_i = U \cdot I \cdot t$ und die aufgenommene Leistung als $P = U \cdot I$.

§ 19. DER UNVERZWEIGTE STROMKREIS

52. Die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis [Ü]

Akkumulatorenbatterie (4 V) oder Stromversorgungsgerät, 2 Spulen (750 Wdg. und 500 Wdg.), 2 Glühlampen (220 V, 100 W), 3 Amperemeter (1 A), Schalter, Verbindungskabel.

Es wird ein unverzweigter Stromkreis zusammengeschaltet. In ihm liegen an einer Kleinspannungsquelle (4 V) in Reihe ein Schalter, 2 Spulen als Widerstände und 3 Amperemeter mit einem Meßbereich von 1 A (Abb. 98/1). Nach dem Einschalten des Stromes zeigen alle Amperemeter die gleiche Stromstärke von etwa 0,6 A an. Steht nur ein Amperemeter zur Verfügung, so kann man den Versuch in drei Teilversuche zerlegen. In jedem Teilversuch wird das Amperemeter an eine der im Schaltbild eingezeichneten Stellen des Stromkreises gelegt. Es zeigt immer wieder die gleiche Stromstärke an. An Stelle der Spulen können auch andere Widerstände verwendet werden. Es ist nur darauf zu achten, daß die Widerstände und die Betriebsspannung so aufeinander abgestimmt sind, daß man am Amperemeter in dem gewählten Meßbereich einen deutlich erkennbaren Zeigerausschlag bekommt.

Benutzt man statt der Spulen zwei 220-V-Glühlampen gleicher Leistung (100 W) als Widerstände und legt die Netzspannung an, so glühen beide Glühlampen mit stark verminderter Helligkeit, aber gleich hell; es fließt ein Strom von etwa 0,2 A. Würde man hier Glühlampen verschiedener Leistung einsetzen, so würde die Lampe mit der geringen Leistungsaufnahme heller leuchten als die andere. Die Erklärung hierfür bringt aber für die Schüler im Grundlehrgang zu große Schwierigkeiten. Deshalb sollte diese Abänderung des Versuches erst in höheren Klassen gezeigt werden. Vgl. dazu V 55.

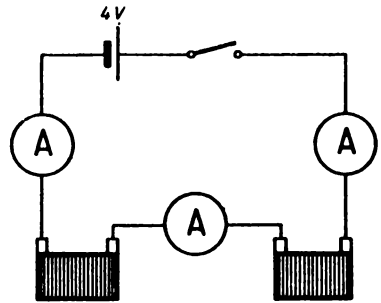


Abb. 98/1. Schaltbild zur Untersuchung der Stromstärke im unverzweigten Stromkreis

53. Die Spannung in Reihe geschalteter Spannungsquellen [Ü]

Akkumulatorenbatterie, Voltmeter (10 V), Verbindungskabel, 2 Kleinspannungsglühlampen (3,5 V oder 4 V) in Fassung (E 10) auf Brett, 2 Taschenlampenbatterien, 4 Krokodilklemmen, Verbindungskabel.

Versuch 1:

Mit Hilfe zweier Krokodilklemmen, die man auf die Stecker der Verbindungskabel steckt, schließt man eine Kleinspannungsglühlampe an eine Taschenlampenbatterie an

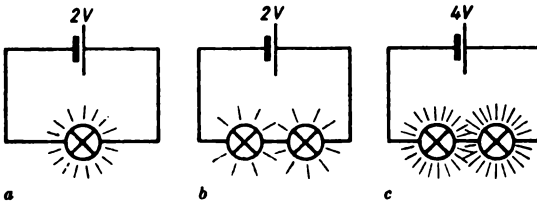


Abb. 99/1. Nachweis der Spannungserhöhung bei Reihenschaltung der Spannungsquellen durch Glühlampen

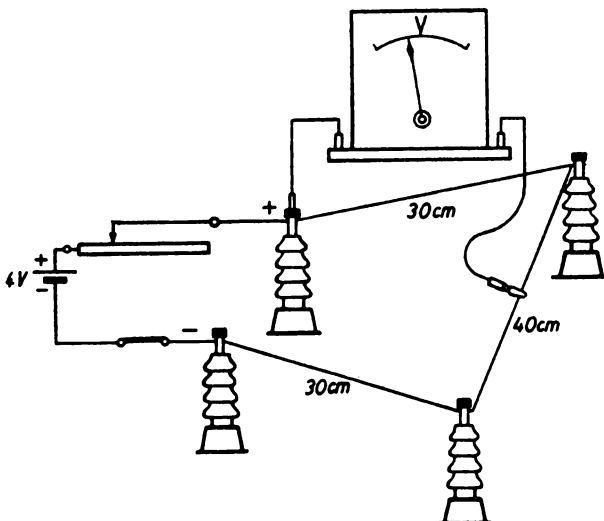
(Abb. 99/1 a); die Lampe leuchtet mit voller Leuchtkraft. Dann legt man eine zweite gleichartige Glühlampe in Reihe zu der ersten in den Stromkreis (Abb. 99/1 b). Beide Lampen zeigen jetzt eine verminderte Helligkeit. Legt man eine zweite Batterie in Reihe zur ersten in den Stromkreis (Abb. 99/1 c), wozu man sich ebenfalls zweier Krokodilklemmen bedient, so leuchten beide Lampen mit voller Helligkeit.

Versuch 2:

An einer Akkumulatorenbatterie mißt man mit einem Voltmeter zunächst die Spannungen der einzelnen Zellen und dann die Gesamtspannung der ganzen Batterie. Die Gesamtspannung ist um ein geringes niedriger als die Summe der Einzelspannungen. Diese Abweichung ist dadurch zu erklären, daß beim Messen der Gesamtspannung eine größere Stromstärke durch das Meßgerät fließt und dadurch ein größerer Spannungsabfall in der Batterie auftritt.

Bemerkung: Der erste Versuch dient nur als Behelfsversuch, wenn kein Voltmeter zur Verfügung steht. Jedoch dürfte er den Schülern verständlich machen, daß zwei hintereinander geschaltete Glühlampen schwächer leuchten als eine allein im Stromkreis liegende Lampe, weil sich die Spannung auf beide Lampen verteilt, und daß somit die doppelte Spannung vorhanden ist, wenn bei zwei Batterien in Reihenschaltung die beiden Lampen wieder die volle Helligkeit aufweisen.

54. Spannungsabfall längs eines homogenen Leiters [Ü]



Konstantan- oder Nickeldraht (\varnothing 0,3 mm, Länge etwa 1200 mm), 4 Holtzsche Fußklemmen, Voltmeter (5 V), Krokodilklemmen, Schiebewiderstand (30 Ω), Akkumulatorenbatterie oder Stromversorgungsgerät, Schalter, Verbindungskabel, Meterstab.

Zwischen vier Fußklemmen wird, wie aus Abb. 99/2 ersichtlich ist, ein Widerstandsdraht ausgespannt. An seine beiden Enden wird unter Vorschalten eines Schiebewider-

Abb. 99/2. Nachweis des Spannungsabfalls an einem homogenen Leiter

standes eine Gleichspannung von etwa 3 V gelegt. Die Plusklemme eines Voltmeters wird mit der Fußklemme verbunden, die an den Pluspol der Spannungsquelle angeschlossen ist. Die Minusklemme des Voltmeters wird mit einem Verbindungskabel versehen, auf dessen freies Ende eine Krokodilklemme gesteckt wird. Diese wird verschiebbar an den Widerstandsdraht geklemmt, und zwar so, daß der Spannungsabfall über einer Drahtlänge von 100 cm gemessen wird. Er wird durch Verstellen des Gleitwiderstandes auf 3 V eingeregelt. Durch Verschieben der Klemme um je 10 cm wird darauf der Spannungsabfall über 90, 80, 70 ... cm am Widerstandsdraht gemessen. Ein Beispiel einer solchen Meßreihe gibt die nebenstehende Tabelle wieder.

Spannungsabfall längs eines Widerstandsdrahtes

Länge des Widerstandsdrahtes (l) cm	Spannungsabfall (U) V	U/l V/cm
100	3,00	0,0300
90	2,70	0,0300
80	2,39	0,0299
70	2,12	0,0301
60	1,80	0,0300
50	1,51	0,0302
40	1,22	0,0305
30	0,95	0,0317
20	0,66	0,0330
10	0,37	0,0370

In Abb. 100/1 ist die Meßreihe grafisch dargestellt. Es zeigt sich eine nahezu lineare Abnahme der Spannung über dem homogenen Leiterstück. Die Abweichungen von der Geraden im unteren Teil

der Meßreihe sind im wesentlichen auf den Gerätestrom des Voltmeters zurückzuführen, der bei dem kleinen Meßbereich so groß wird, daß er die Meßergebnisse wesentlich beeinflusst.

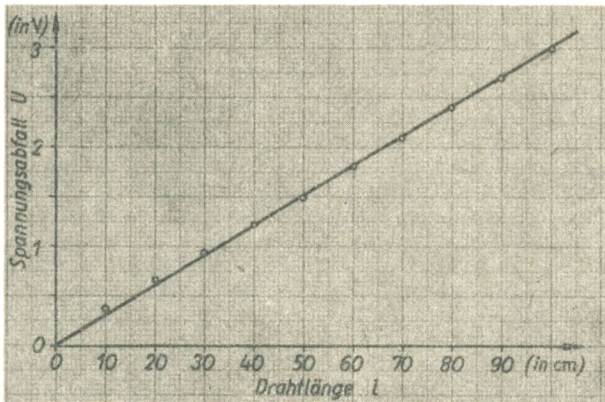


Abb. 100/1. Grafische Darstellung des Spannungsabfalles längs eines Widerstandsdrahtes

Der gleiche Versuch kann auch über einem geradlinig ausgespannten Widerstandsdraht, etwa einem Wheatstoneschen Brückendraht, ausgeführt werden. Jedoch ist vom methodischen Gesichtspunkt der oben beschriebene Versuchsaufbau zu bevorzugen, weil er übersichtlicher ist und bei ihm der Stromkreis anschaulich hervortritt.

55. Spannungsverteilung beim Hintereinanderschalten von Verbrauchern [Ü]

3 Spulen (500 Wdg., 750 Wdg., 1500 Wdg.) oder 3 Schiebewiderstände (30 Ω, 122 Ω, 328 Ω), Voltmeter, Amperemeter (1 A und 0,1 A), Stromversorgungsgerät, Schalter, Verbindungskabel, 4 Holtzsche Fußklemmen.

Versuch 1:

Man schaltet nach Abb. 101/1 zwischen 4 Fußklemmen 3 Spulen mit 500, 750 und 1500 Windungen als Widerstände und ein Amperemeter in Reihe und schließt über einen Schalter ein Stromversorgungsgerät (18 V-) an.

Mit diesem Voltmeter mißt man die Spannungen an den drei Widerständen, indem man das Voltmeter nacheinander zu den einzelnen Widerständen parallel legt. Außerdem mißt man in gleicher Weise den Gesamtspannungsabfall über allen drei Widerständen.

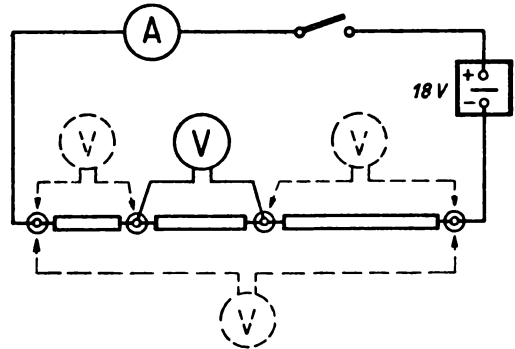


Abb. 101/1. Spannungsverteilung an hintereinandergeschalteten Verbrauchern (Schaltbild)

Als Beispiel seien folgende Meßwerte angegeben:

$$\begin{aligned} U_1 &= 3,0 \text{ V} \\ U_2 &= 4,4 \text{ V} \\ U_3 &= 8,9 \text{ V} \\ \Sigma U &= 16,3 \text{ V, Gesamtspannung } U_G = 16,5 \text{ V} \end{aligned}$$

Die Differenz aus dem Gesamtspannungsabfall und der Summe der Teilspannungen erklärt sich dadurch, daß die Gesamtstromstärke durch den Gerätetrom im Voltmeter während der Teilversuche etwas geändert wird. Dieser Fehler läßt sich vermeiden, wenn man 4 Voltmeter zur Verfügung hat, so daß man alle Messungen gleichzeitig durchführen kann.

Versuch 2:

Der Versuch kann quantitativ noch weiter ausgewertet werden, wenn man die Spulen durch bekannte Widerstände, etwa durch drei Gleitwiderstände $R_1 = 30 \Omega$, $R_2 = 122 \Omega$, $R_3 = 328 \Omega$ ersetzt. Dies führt dann zu folgenden Meßwerten, die in der beigelegten Tabelle wiedergegeben werden.

Der Versuch läßt deutlich erkennen, daß der Spannungsabfall längs eines Widerstandes dem Widerstand proportional ist:

$$U \sim R.$$

Spannungsverteilung längs dreier Widerstände

Widerstand (R)	Spannungsabfall (U)	$\frac{U}{R}$
Ω	V	V/ Ω
30	1,0	0,033
122	4,1	0,034
328	11,2	0,034

56. Spannungsverteilung beim Hintereinanderschalten zweier Glühlampen [Ü]

2 Glühlampen (220 V, 25 W) und 1 Glühlampe (220 V, 100 W) in Fassungen (E 27) auf Lampenbrettern, 3 Holtzsche Fußklemmen, Voltmeter, Verbindungskabel, Schalter, Netzanschluß.

Zwischen drei Fußklemmen schaltet man zwei 25-W-Lampen in Reihe und legt sie über einen Schalter an eine Netzsteckdose. Schließt man den Schalter, so leuchten die Lampen nur mit erheblich verminderter Lichtstärke. Prüft man die Spannung, so findet man, daß sie an jeder Lampe nur gleich der halben Netzspannung ist, woraus sich die starke Herabsetzung der Leuchtkraft erklärt.

Ersetzt man die eine 25-W-Lampe durch eine 100-W-Lampe, so leuchtet diese beim Einschalten des Stromes überhaupt nicht, während die mit ihr in Reihe liegende 25-W-Lampe fast ihre volle Leuchtkraft besitzt. Eine Überprüfung der Spannung ergibt, daß an der 100-W-Lampe nur eine Spannung von etwa 44 V, an der 25-W-Lampe dagegen eine Spannung von etwa 176 V vorhanden ist. Die Spannung ist somit an der 25-W-Lampe gegenüber der Netzspannung nur um 20%, an der 100-W-Lampe dagegen um 80% gesunken.

Bemerkungen:

1. Dieser Versuch zeigt besonders deutlich, daß sich bei einer Reihenschaltung von Verbrauchern die Spannungen wie die Widerstände verhalten, die bei der 25-W-Lampe etwa 1920Ω und bei der 100-W-Lampe etwa 480Ω betragen. Vgl. dazu V 54.
2. Es empfiehlt sich, darauf hinzuweisen, daß man beim Hintereinanderschalten zweier 110-V-Glühlampen in einem 220-V-Netz nur Lampen gleicher Leistungsaufnahme verwenden darf. Es besteht sonst die Gefahr, daß die Lampe mit der geringeren Leistungsaufnahme durchbrennt, da an ihr eine zu hohe Spannung liegt.
3. Beachte die Hinweise 9 und 10 des § 7, 2.

§ 20. DER VERZWEIGTE STROMKREIS

57. Stromverteilung in einem verzweigten Stromkreis – Verwendung von Widerstandsgeräten [Ü]

3 Spulen (500, 750 und 1500 Wdg.) oder 3 Schiebewiderstände (180, 120 und 12Ω), 2 Holtzsche Fußklemmen, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, 1 oder besser 4 Amperemeter (5 A), Voltmeter (20 V), Verbindungskabel, Schalter.

Nach dem in Abb. 102/1 wiedergegebenen Schaltbild werden zwischen zwei Fußklemmen drei Widerstände parallel geschaltet und an eine Spannungsquelle mit einer Gleichspannung von etwa 10 V angeschlossen. Ein Voltmeter zeigt, daß an allen Wider-

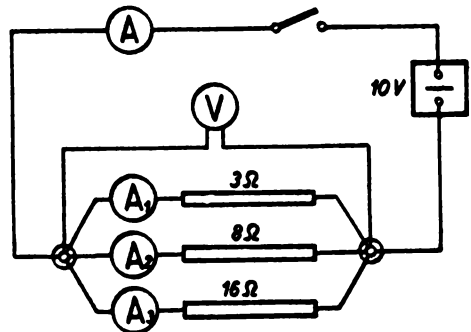


Abb. 102/1.
Schaltbild einer dreifachen Stromverzweigung

ständen die gleiche Spannung liegt. Ein Amperemeter mißt die Gesamtstromstärke I , drei weitere Amperemeter messen die Teilstromstärken I_1 , I_2 , I_3 in den einzelnen Stromzweigen.

Das Kirchhoffsche Stromverzweigungsgesetz ist klar zu erkennen.

Es ist

$$I = \sum I_n$$

für

$$n = 1, 2, 3.$$

Beispiele:

a) Verwendung von Spulen als Widerstände:

$$1. \quad 500 \text{ Wdg.}, R_1 \approx 3 \, \Omega, I_1 = 3,33 \text{ A}$$

$$2. \quad 750 \text{ Wdg.}, R_2 \approx 8 \, \Omega, I_2 = 1,25 \text{ A}$$

$$3. \quad 1500 \text{ Wdg.}, R_3 \approx 16 \, \Omega, I_3 = 0,62 \text{ A}$$

$$\text{Es ist } I = 5,20 \text{ A und } \sum I_n = 5,20 \text{ A}$$

b) Verwendung von Schiebewiderständen:

$$R_1 \approx 180 \, \Omega \qquad I_1 = 0,06 \text{ A}$$

$$R_2 \approx 120 \, \Omega \qquad I_2 = 0,08 \text{ A}$$

$$R_3 \approx 12 \, \Omega \qquad I_3 = 0,83 \text{ A}$$

$$\text{Es ist } I = 0,97 \text{ A} \qquad \text{und } \sum I_n = 0,97 \text{ A}$$

Bemerkung: Stehen für die Versuchsdurchführung nicht vier Amperemeter zur Verfügung, so kann man die Messungen auch mit einem Meßgerät nacheinander ausführen. Bei diesem Verfahren ergeben sich jedoch größere Abweichungen, da durch den Gerätewiderstand die Teilwiderstände während des Versuches geändert werden. Es ist darum zu empfehlen, in diesem Fall mit möglichst großen Teilwiderständen zu arbeiten.

58. Gruppenschaltung von Verbrauchern [Ü]

Stromversorgungsgerät, 6 Glühlampen (6 V, 1,8 W) in Fassungen (E 14) auf Brettern, Voltmeter, 3 Amperemeter, Verbindungskabel, Schalter, 2 Holtzsche Fußklemmen.

Es werden zwei Gruppen von je drei in Reihe geschalteten Glühlampen zwischen zwei Fußklemmen parallel geschaltet. Man schließt sie an ein Stromversorgungsgerät (18 V—) an (Abb. 103/1). Schaltet man den Strom ein, so leuchten alle Glühlampen gleich hell. Mit einem Voltmeter mißt man sowohl die Gesamtspannung wie die Spannungen an den einzelnen Glühlampen. Abgesehen von geringen Abweichungen, die infolge des Gerätestromes und infolge von Meßfehlern auftreten, ist klar zu erkennen, daß an jeder Glühlampe ein Drittel der Gesamtspannung abfällt.

Danach mißt man nacheinander mit drei Amperemetern die Stärken der beiden Zweigströme und des Gesamtstromes. Mit den entsprechenden Einschränkungen ist hier zu erkennen, daß die Summe der beiden Zweigstromstärken gleich der Gesamtstromstärke ist.

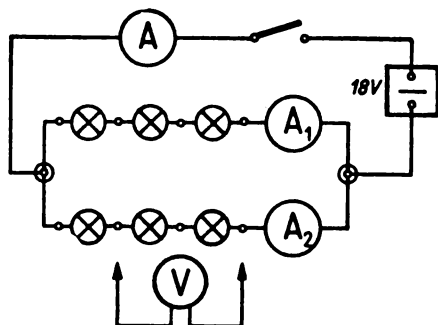


Abb. 103/1. Gruppenschaltung von sechs Kleinspannungsglühlampen

Fällt eine der Glühlampen durch Beschädigung aus, so wird ein ganzer Zweig der Gruppenschaltung stromlos, was man leicht demonstrieren kann, indem man eine Glühlampe losschraubt. Diese Tatsache gibt mitunter Anlaß zu Schwierigkeiten in der Praxis. Bei Illuminationsbeleuchtungen und ähnlich bei Weihnachtsbaumbeleuchtungen schaltet man 16 Glühlampen mit einer Anschlußspannung von 14 V in Reihe und legt mehrere solcher Reihen parallel an die Netzspannung von 220 V. Tritt hierbei der Ausfall einer Lampe auf, muß man diese unter 16 Lampen suchen.

Bemerkung: Der Versuch erscheint als Bestätigungsversuch auf der Oberstufe besonders beachtlich, weil er gleichzeitig das Spannungsverteilungsgesetz und das Stromverzweigungsgesetz veranschaulicht.

59. Modell des Stromkreises einer Wohnung

Grundbrett (etwa 1000 mm × 300 mm), Schmelzsicherung (6 A) in Fassung, 4 Abzweigdosen, 3 Steckdosen, einfacher Schalter, Serienschalter, 5 Lampenfassungen (E 27), 12 Steckbuchsen, 2 Geräteklappen, 6 Kurzschlußstecker, Kabel, Schellen, Nägel, Holzschrauben, Netzanschluß.

Verschiedene elektrische Haushaltgeräte, 5 Glühlampen für 220 V von verschiedener Leistungsaufnahme.

Das Modell soll dazu dienen, den Schülern zu zeigen, mit welcher Stromstärke die verschiedenen im Haushalt benutzten elektrischen Geräte das Netz belasten.

Herstellung des Modells:

Nach dem in Abb. 104/1 dargestellten Schaltbild wird auf einem Brett das Modell des Leitungsnetzes einer Wohnung installiert. In die Hauptleitung wird eine Sicherungsfassung mit einer 6-A-Sicherung gelegt. Von dort aus wird die Leitung über vier Abzweigdosen weitergeführt. Es ist zweckmäßig, drei Steckdosen anzuschließen, so daß man durch drei größere Verbraucher, etwa durch eine Kochplatte, ein Bügeleisen, einen Heizofen, eine Überbelastung und ein Durchschmelzen der Sicherung herbeiführen kann. Von der vierten Abzweigdose führt eine Leitung über einen einfachen Schalter zu einer Glühlampe. Die Hauptleitung läuft aus in eine Serienschaltung zweier Gruppen von je zwei parallel geschalteten Glühlampen. Die Hauptzuleitung und die Zuleitungen zu den einzelnen Verbrauchern werden unterbrochen und an den Unter-

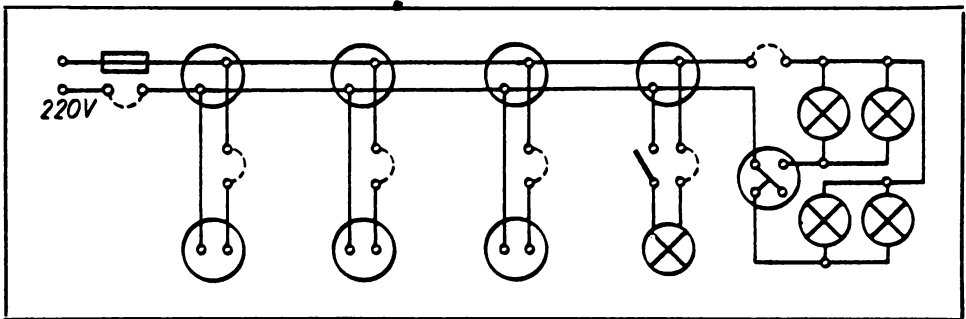


Abb. 104/1. Modell des Stromkreises einer Wohnung

brechungsstellen mit je zwei Steckbuchsen versehen, deren Längsachsen voneinander einen Abstand von je 19 mm haben. Die Steckbuchsen werden durch je einen Kurzschlußstecker miteinander verbunden. Sie ermöglichen aber auch andererseits den Anschluß eines Amperemeters zum Durchführen quantitativer Versuche.

Versuch:

Beim Durchführen des Versuches kann man Glühlampen verschiedener Leistungsaufnahme verwenden und eine Reihe von elektrischen Geräten anschließen, z. B. eine Tischlampe, ein Heizkissen, einen Tauchsieder, einen Fön, eine Kochplatte, ein Bügeln, eine Heizsonne u. a. m. Man kann den Versuch dadurch zu einem quantitativen Versuch ausgestalten, daß man die Stromstärke in jedem einzelnen Stromzweig und in den Hauptleitungen mißt. Sobald die Summe der Teilströme 6 A übersteigt, brennt die Sicherung durch. Zur Verbesserung der Sichtbarkeit klemmt man das Grundbrett zweckmäßigerweise zwischen zwei Stativen in vertikaler Stellung fest.

Bemerkung: Als Kurzschlußstecker müssen wegen der Netzspannung solche in isolierter Ausführung verwendet werden, die man aus Netzsteckern herstellen kann. Außerdem sind die Hinweise 9 und 10 des § 7, 2 zu beachten.

60. Stromverteilung in einem verzweigten Stromkreis – Verwendung von Glühlampen gleicher und verschiedener Leistungsaufnahme [Ü]

Stromversorgungsgerät, 2 Holtzsche Klemmen, 3 Glühlampen (4 V, 2,4 W) und eine Glühlampe (4 V, 0,4 W) in Fassungen (E 14) auf Lampenbrettern, 1 oder 4 Amperemeter (5 A), 1 Voltmeter, Verbindungskabel.

Die Versuchsanordnung ist die gleiche wie in V 57; an Stelle der Widerstände wird hier mit Glühlampen mit einer Anschlußspannung von 4 V gearbeitet. Man verwendet zunächst drei parallel geschaltete Glühlampen mit einer Leistungsaufnahme von 2,4 W; so erhält man drei gleiche Teilstromstärken von etwa 0,6 A. Durch das gleichmäßige Leuchten der drei Lampen ist das Versuchsergebnis für die Schüler besonders einprägsam.

Wechselt man eine der 2,4-W-Glühlampen gegen eine solche mit einer Leistungsaufnahme von 0,4 W aus, so erhält man eine Teilstromstärke von etwa 0,1 A. Die geringere Stromstärke ist deutlich an der geringeren Leuchtkraft der leistungsschwächeren Glühlampe zu erkennen.

Als Lehrerversuch kann man diesen Versuch auch an Glühlampen verschiedener Leistungsaufnahme mit der Anschlußspannung von 220 V durchführen. Man hat dann dabei die Hinweise 9 und 10 des § 7, 2 zu beachten. Der Versuch bestätigt erneut das Kirchhoffsche Stromverzweigungsgesetz

$$I = \sum I_n.$$

61. Demonstrationsversuch zur Erweiterung des Meßbereiches eines Amperemeters

Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenatterie (10 V), 2 Schiebewiderstände (12 Ω und 30 Ω), 2 Drehspulamperemeter (1 A), 2 Holtzsche Fußklemmen, Widerstandsdraht, Verbindungskabel.

Der Versuch dient nur dazu, das Grundsätzliche des Verfahrens zum Erweitern des Meßbereichs eines Amperemeters zu demonstrieren. Man beschränkt sich auf die Verdoppelung des Meßbereiches eines Amperemeters. Man schaltet zu diesem Zweck ein zwischen zwei Fußklemmen gelegtes Amperemeter mit einem Schiebewiderstand von $30\ \Omega$, einem Schalter und einer Spannungsquelle ($10\ \text{V}$ —) in Reihe zu einem Stromkreis zusammen. Dabei ist vor dem Schließen des Stromes der Widerstand auf seinen vollen Wert einzustellen, damit der Strom nicht zu stark wird. Danach wird der Strom eingeschaltet und seine Stärke so geregelt, daß sie $2\ \text{A}$ beträgt. Dann überbrückt man das Amperemeter zwischen den Fußklemmen durch eine Stück Widerstandsdraht. Man wählt seine Länge so, daß der Zeigerausschlag auf etwas mehr als die Hälfte, mithin auf etwas weniger als $1\ \text{A}$ absinkt (Abb. 106/1). Zur Feinregelung wird dann noch ein Schiebewiderstand von $12\ \Omega$ parallel zum Meßgerät gelegt, durch den man den Zeigerausschlag sehr genau auf die Hälfte regeln kann. Damit ist der Shunt für die Meßbereichsverdoppelung gefunden.

Bemerkungen:

1. Voraussetzung für das Gelingen des Versuches ist es, daß die Spannung konstant bleibt, was bei einem Akkumulator hinreichend gewährleistet ist.
2. Es ist günstig, wenn man ein zweites Amperemeter in den Stromkreis legt, damit man die Stromstärke überwachen kann. Die Änderung der Stromstärke durch Anfügen eines Shunts ist bei Drehspulamperemetern so geringfügig, daß sie am Meßgerät nicht feststellbar ist.
3. Eine Kontrolle der Stromstärke durch ein zweites Amperemeter ist auf jeden Fall bei einer Meßbereichserweiterung von Dreheisenmeßgeräten erforderlich. Diese haben im allgemeinen so hohe Gerätewiderstände, daß durch das Einsetzen eines Shunts meßbare Stromstärkenänderungen auftreten. Zur Grobabstimmung benutzt man bei diesen Geräten einen Schiebewiderstand von $12\ \Omega$ und zur Feinabstimmung einen größeren als Nebenwiderstand.

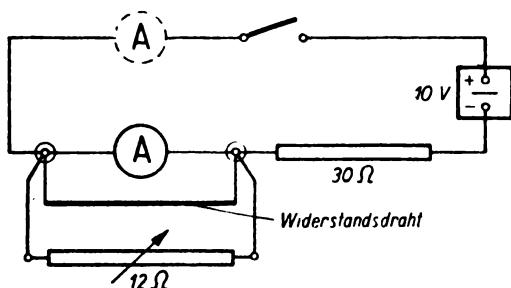


Abb. 106/1.
Erweiterung des Meßbereichs eines Amperemeters

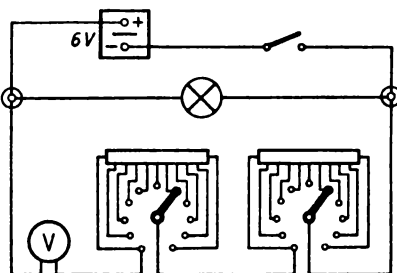


Abb. 106/2. Schaltbild zur Erweiterung des Meßbereichs eines Voltmeters. In der Abbildung sind nur zwei Dekadenwiderstände dargestellt

62. Demonstrationsversuch zur Erweiterung des Meßbereichs eines Voltmeters

Voltmeter ($25\ \text{V}$), Dekadenwiderstände ($10 \times 10\ \Omega$, $10 \times 100\ \Omega$, $10 \times 1000\ \Omega$, $10 \times 10000\ \Omega$), Kleinspannungsglühlampe ($6\ \text{V}$, $30\ \text{W}$) in Fassung (E 14) auf Brett, 2 Holtzsche Fußklemmen, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Verbindungskabel, Schalter.

Der Versuch soll lediglich das Prinzip der Erweiterung des Meßbereichs eines Voltmeters erläutern und beschränkt sich deshalb auf eine Verdoppelung des Meßbereichs. Man schließt eine zwischen zwei Fußklemmen gelegte Kleinspannungsglühlampe mit einer Leistungsaufnahme von 30 W über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (6 V—). Durch ein im Nebenschluß zur Lampe geschaltetes Voltmeter mißt man die an ihr liegende Spannung. Sie beträgt 6 V. Will man nun den Meßbereich des Voltmeters verdoppeln, so schaltet man, dem Schaltbild der Abb. 106/2 entsprechend, mit dem Voltmeter die Dekadenwiderstände in Reihe. Diese sind zunächst alle auf Null einzustellen. An diese Anordnung legt man wieder die Spannung des Stromversorgungsgerätes. Das Voltmeter zeigt unverändert 6 V an.

Danach schaltet man an den Dekadenwiderständen einen Widerstand von der Größe ein, daß der Zeigerausschlag des Voltmeters auf die Hälfte zurückgeht, mithin nur 3 V anzeigt. Dabei beginnt man mit dem Einschalten der Widerstände an der größten Dekade und schaltet bei den einzelnen Dekaden immer die Stufe ein, die am Voltmeter noch einen Ausschlag über 3 V ergibt. Mit der kleinsten Dekade kann man dann die Spannung mit hinreichender Genauigkeit auf 3 V einstellen.

Will man den Meßbereich verdreifachen oder vervierfachen, so muß man den Vorschaltwiderstand so bemessen, daß das Voltmeter nur noch ein Drittel oder ein Viertel des Ausgangswertes der Spannung anzeigt.

63. Einfluß des inneren Widerstandes eines Amperemeters auf das Meßergebnis

Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenatterie, Kleinspannungsglühlampe (4 V, 1,2 W) in Fassung (E 14) auf Brett, 2 Amperemeter (1 A), 2 Schalter, Verbindungskabel, 2 Holtzsche Fußklemmen.

An eine Spannungsquelle mit einer Spannung von 4 V — wird ein Stromkreis angeschlossen, in dem zwei Amperemeter und eine Kleinspannungsglühlampe (4 V; 1,5 W) in Reihe geschaltet sind. Parallel zu dem einen Amperemeter wird zwischen zwei Fußklemmen ein Schalter gelegt (Abb. 107/1). Dieser wird zunächst geschlossen, so daß dieses Amperemeter praktisch kurzgeschlossen und somit ausgeschaltet ist. Wird der Stromkreis geschlossen, so zeigt das andere Amperemeter eine Stromstärke von 0,30 A an. Wird nun der Schalter geöffnet und dadurch das zweite Amperemeter eingeschaltet, so sinkt die Stromstärke, die jetzt von beiden Amperemetern angezeigt wird, auf 0,26 A. An der Glühlampe ist eine Helligkeitsabnahme zu beobachten.

Bemerkung: Durch den inneren Widerstand des Amperemeters wird die zu messende Stromstärke immer herabgesetzt. Der Meßfehler ist besonders groß, wenn kleine Widerstände von Strömen geringer Stärke durchflossen werden, weil bei einem niederen Meßbereich der innere Widerstand des Amperemeters gegenüber dem Gesamtwiderstand des Stromkreises verhältnismäßig groß ist. Daher fällt der Meßfehler bei einem kleinen Gesamtwiderstand relativ groß aus.

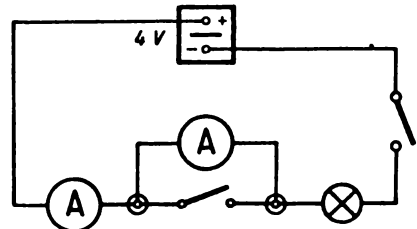


Abb. 107/1. Schaltbild zum Nachweis des Einflusses des Amperemeterwiderstandes auf das Meßergebnis

64. Einfluß des inneren Widerstandes eines Voltmeters auf das Meßergebnis

Kleinspannungsglühlampe (4 V, 1,2 W) in Fassung (E 10) auf Brett, Schiebewiderstand (30 Ω), 2 Voltmeter (5 V), Amperemeter (1 A), Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenatterie, Verbindungskabel, 2 Schalter, 2 Holtzsche Fußklemmen – wenn möglich elektrostatisches Voltmeter für Kleinspannungen.

An eine Gleichspannung von 12 V schließt man über einen voll eingeschalteten Schiebewiderstand, einen Schalter und ein Amperemeter eine zwischen zwei Fußklemmen liegende Glühlampe (4 V, 1,2 W) an. Man mißt mit einem Voltmeter, das zur Glühlampe parallel gelegt ist, die Spannung an dieser. Durch vorsichtiges Verkleinern des Schiebewiderstandes stellt man die Spannung auf die Betriebsspannung der Glühlampe von 4 V ein. Schaltet man nun parallel zum ersten Voltmeter ein zweites hinzu, wie es in der Abb. 108/1 dargestellt ist, so läßt die Leuchtkraft der Glühlampe deutlich nach; an den Voltmetern ist eine Abnahme der Spannung um etwa 0,5 V zu beobachten. Durch das Einschalten des zweiten Voltmeters wächst nämlich die Stromstärke im Stromkreis; damit nimmt der Spannungsabfall in der Spannungsquelle und über dem Zuleitungswiderstand zu, der in der Versuchsanordnung durch den vorgeschalteten Widerstand absichtlich vergrößert wurde.

Bemerkung: Es ist zu empfehlen, wenn irgend möglich, zum Vergleich auch ein elektrostatisches Gerät zu benutzen. Man kann dann mit der gleichen Versuchsanordnung zeigen, daß das elektrostatische Voltmeter das Meßergebnis nicht beeinflusst. Wenn man dieses ein- und ausschaltet, bleibt die Spannung an dem anderen Gerät unverändert.

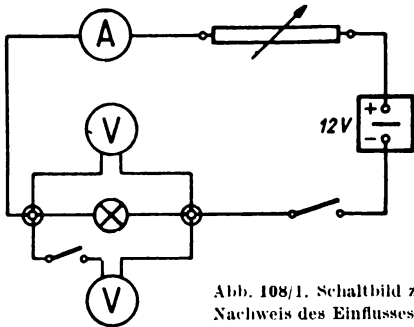


Abb. 108/1. Schaltbild zum Nachweis des Einflusses eines Voltmeters auf das Meßergebnis

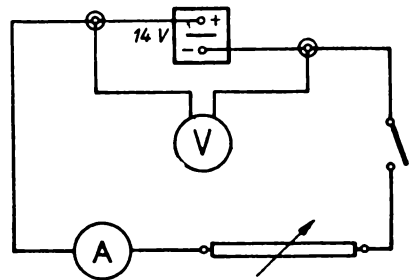


Abb. 108/2. Schaltbild zum Nachweis des Spannungsabfalls einer Spannungsquelle

65: Spannungsabfall einer Spannungsquelle bei Belastung

Stromversorgungsgerät oder Akkumulator, Schiebewiderstand (11,5 Ω), Amperemeter (5 A), Voltmeter (20 V), Schalter, 2 Holtzsche Fußklemmen, Verbindungskabel.

Mit einem Stromversorgungsgerät als Spannungsquelle wird aus einem Schiebewiderstand, einem Amperemeter und einem Schalter der in Abb. 108/2 wiedergegebene Stromkreis zusammengestellt. An die Klemmen des Stromversorgungsgerätes wird ein Voltmeter gelegt. Durch Verändern des Widerstandes wird die Stromstärke in Stufen von 0 bis 4 A geregelt und die zu jeder Stromstärke gehörende Klemmenspannung gemessen. Es ergibt sich bei einer Ausgangsspannung von 14 V folgende Meßreihe:

*Abhängigkeit der Klemmenspannung
von der Belastung*

Stromstärke (I) A	Klemmspannung (U) V
1	11,2
2	9,6
3	8,2
4	7,1

Der Spannungsabfall in der Spannungsquelle ist in der Tabelle und in dem Diagramm (Abb. 109/1) deutlich zu erkennen. Theoretisch müßte er sich in linearer Abhängigkeit von der Stromstärke ändern. Die Abweichungen davon ergeben sich durch den Gerätstrom des Voltmeters.

Bei diesem Versuch kann man als Spannungsquelle auch einen Akkumulator verwenden. Man kann dann die Stromstärke entsprechend der größeren Belastbarkeit des Akkumulators noch weiter vergrößern.

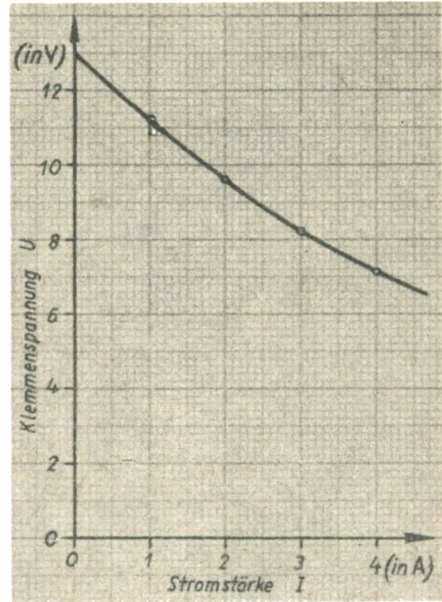


Abb. 109/1. V-A-Diagramm einer Spannungsquelle

66. Der Spannungsteiler

Widerstandsbrett wie bei V 30 mit 3 Konstantandrähten (\varnothing 0,3 mm, Länge 400 mm), Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorzelle, Voltmeter (5 V), Schalter, Verbindungskabel, 2 Krokodilklemmen, Gliedermaßstab, weißer Papierstreifen, Reißzwecken.

Der Versuch dient lediglich dazu, den Schülern das Prinzip des Spannungsteilers zu veranschaulichen; er ist als Modellversuch zu werten. Eine praktische Bedeutung als wirklicher Spannungsteiler kommt ihm nicht zu. Man benutzt dasselbe Widerstandsbrett wie in V 30. Zwischen die Klemmschrauben eines Drahtes auf dem Widerstandsbrett wird ein 2 cm breiter und 40 cm langer weißer Papierstreifen auf das Widerstandsbrett gespannt. Durch ein kurzes Verbindungskabel wird das linke Drahtende mit der einen Voltmeterbuchse verbunden. Die andere Buchse verbindet man durch ein längeres Kabel über eine aufgesteckte Krokodilklemme mit demselben Drahtende. Dann wird der Draht über einen Hebelschalter unter Verwendung von Verbindungskabeln mit möglichst geringem Widerstand an eine Gleichspannungsquelle für 2 V angeschlossen (Abb. 110/1a).

Schließt man den Schalter, so zeigt das Voltmeter keinen Ausschlag. Nunmehr verschiebt man die Krokodilklemme langsam mit dem Konstantendraht zum anderen Ende hin und beobachtet dabei das Voltmeter. Es zeigt einen immer mehr zunehmenden Ausschlag. Sobald dieser die Werte 0,2 V, 0,4 V usw. erreicht hat, markiert man mit dem Bleistift auf dem Papierstreifen unter dem Widerstandsdraht jeweils den Stand der Krokodilklemme (Abb. 110/1 b).

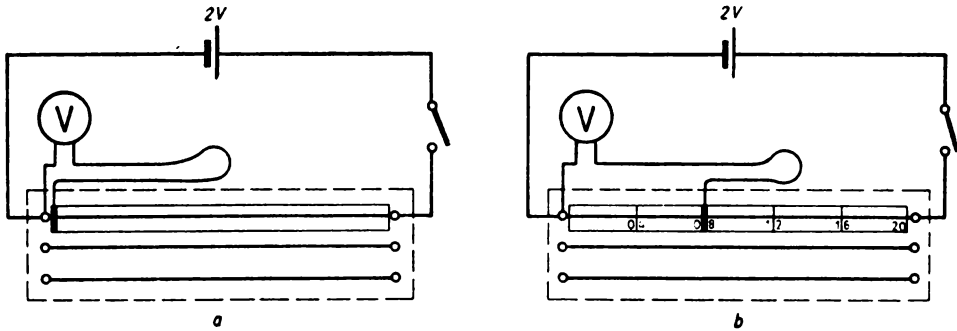


Abb. 110/1. Das Widerstandsbrett als Spannungsteiler (Schaltbild)

Das Voltmeter zeigt die volle Spannung von 2 V an, sobald die Krokodilklemme das äußerste Ende des Drahtes erreicht. Die Markierungsstriche werden mit den dazugehörigen Spannungswerten beschriftet.

Danach versieht man auch das Ende der anderen Voltmeterzuleitung mit einer Krokodilklemme und klemmt das Voltmeter mittels der beiden Krokodilklemmen bei zwei verschiedenen Markierungsstrichen an den Draht, z. B. bei den Strichen für 0,4 V und 1,2 V. Das Voltmeter zeigt eine Spannung von 0,8 V an. Sie ist also gleich der Differenz der Spannungen an den Markierungsstrichen.

Bemerkungen:

1. In der Praxis verwendet man als Spannungsteiler meist einen Schiebewiderstand (Abb. 110/2). Die Teilspannung wird zwischen seinem Anfang *A* und dem Gleiter *C* abgegriffen, während die Hauptspannung zwischen dem Anfang und dem Ende *B* der Widerstandsspule liegt.
2. Bei der Verwendung eines Spannungsteilers ist folgendes zu beachten:
 - a) Die Stromquelle ist nicht nur durch die Stromstärke in der abgezwigten Leitung, sondern auch durch den Querstrom belastet, der durch die überbrückte Widerstandsspule fließt.
 - b) Die Drahtstärke der Widerstandswicklung muß so gewählt werden, daß sie die Gesamtstärke ohne erhebliche Erwärmung aushält.
 - c) Der Widerstand der abgezwigten Leitung muß gegenüber dem des Schiebewiderstandes groß sein. Anderenfalls wird beim Annähern des Gleitschiebers an das Ende der Spulenwicklung für dieses restliche Widerstandsstück die zulässige Höchststromstärke überschritten, so daß es durchbrennt.

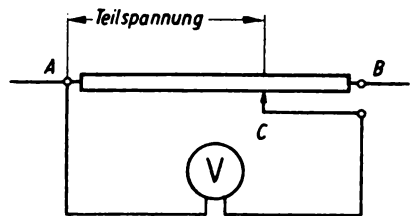


Abb. 110/2. Schiebewiderstand als Spannungsteiler (Schaltbild)

VIERTES KAPITEL

Der Elektromagnetismus

§ 21. METHODISCHE BEMERKUNGEN

1. Unter allen Wirkungen des elektrischen Stromes begegnen die *elektromagnetischen Erscheinungen* bei den Schülern stärkstem Interesse. Es ist dies dadurch zu erklären, daß die Schüler in der Elektrizitätslehre bisher nur Wärmewirkungen und chemische Wirkungen kennengelernt haben und im wesentlichen nur statische Eindrücke sammeln konnten. Jetzt aber kommt als belebendes Moment die Bewegung hinzu.

Wenn man die elektromagnetischen Erscheinungen im Unterricht mit Erfolg behandeln will, so müssen die Erscheinungen des *permanenten Magnetismus* schon bekannt sein. Aus diesem Grunde war es bisher üblich, daß dem Unterricht in der Elektrizitätslehre eine von ihr ganz abgeordnete Einführung in den Magnetismus voranging. Man glaubte, daß man die Elektrizitätslehre in sich geschlossen behandeln müsse und nicht durch einen, wenn auch kurzen Lehrgang des Magnetismus unterbrechen dürfe. Dementsprechend wurde auch in den Schullehrbüchern der Magnetismus in einem besonderen Kapitel der Elektrizitätslehre vorangestellt. Dabei spielten auch zweifellos historische Erwägungen eine wichtige Rolle, da der Permanentmagnetismus schon lange vor der Entdeckung des Zusammenhanges zwischen dem Magnetismus und dem elektrischen Strom erforscht worden war.

Demgegenüber setzt sich in neuerer Zeit die Ansicht durch, daß die *Lehre vom Magnetismus in die Elektrizitätslehre einzufügen* sei, daß sie organisch mit ihr aufs engste verknüpft ist. Diesem Gedanken der Verbindung des Magnetismus mit dem elektrischen Strom gibt *R. W. Pohl* in seinem Buche „Einführung in die Elektrizitätslehre“ in überzeugender Weise Ausdruck. Er weist darauf hin, daß von den drei Kennzeichen für einen elektrischen Strom, nämlich 1. der Erwärmung des Leiters, 2. den chemischen Veränderungen im Leiter, 3. der Ausbildung eines Magnetfeldes um den Leiter, die beiden ersten unter bestimmten Bedingungen ausbleiben können. Ein Magnetfeld tritt aber auf jeden Fall auf. *R. W. Pohl* sagt: Das Magnetfeld ist der unzertrennliche Begleiter des elektrischen Stromes. Diesen Gedanken sollte man auch im Unterricht stark betonen.

Das Herstellen einer engen Verbindung zwischen dem Magnetismus und der Elektrizitätslehre hat zur Folge, daß man den Fortgang des Unterrichts in der Elektrizitätslehre auf kurze Zeit unterbrechen muß, damit das Wichtigste über den Permanentmagnetismus erarbeitet werden kann. Das mag manchem Lehrer im Hinblick auf die Geschlossenheit der Elektrizitätslehre bedenklich erscheinen. Doch wird dieser vermeintliche Nachteil dadurch mehr als ausgeglichen, daß bei diesem Vorgehen die Auf-

spaltung in elektrische und magnetische Erscheinungen vermieden wird und beide auf eine gemeinsame Wurzel zurückgeführt werden.

Diesem Gedanken trägt das vorliegende Buch dadurch Rechnung, daß es die Versuche zum permanenten Magnetismus in das Kapitel über den Elektromagnetismus eingliedert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in diesem Buch freilich alle Versuche zum permanenten Magnetismus in den §§ 22 und 23 untergebracht, die den magnetischen Erscheinungen des elektrischen Stromes vorangehen. Dies will aber über die Einführung der Lehre vom Magnetismus nichts besagen. So ist es durchaus möglich, den Unterricht über den Magnetismus mit einigen einfachen Versuchen zum Elektromagnetismus zu beginnen. V 90 über die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom, und anschließend V 91 über das Magnetfeld eines stromdurchflossenen geradlinigen Leiters, und auch V 92 über die Richtung der Feldlinien im Magnetfeld eines geradlinigen Stromes sind durchaus dafür geeignet. Daran können sich dann noch V 108 oder einer der folgenden Versuche über den *Elektromagneten* anschließen. Jedenfalls ist es aus methodischen Gründen dringend zu empfehlen, es einmal auf diese Weise zu versuchen und erst danach einige Stunden über den Permanentmagnetismus einzuschalten. Die belanglose Vorwegnahme permanentmagnetischer Kenntnisse, die in der Verwendung der Magnetnadel liegt, ohne daß diese vorher besprochen worden ist, braucht dabei nicht zu stören. Denn welcher Schüler hat nicht schon vorher so weit Bekanntschaft mit der Magnetnadel gemacht, so daß er nichts mit ihr anzufangen wüßte. Jedenfalls kann zu einem solchen Einbau des Permanentmagnetismus in den Elektromagnetismus nur geraten werden, und es wäre zu begrüßen, wenn darüber auf Grund der gesammelten Erfahrungen ein Erfahrungsaustausch auf breiter Grundlage entstehen würde. Im übrigen sind die in § 22 und § 23 beschriebenen Versuche so einfach durchzuführen, daß es kaum besonderer methodischer Hinweise bedarf. Sehr viele dieser Versuche sind für *Schülerübungen* vorzüglich geeignet. Wie kaum in einem anderen Teilgebiet der Physik bietet sich dabei für die Schüler Gelegenheit, unter Anleitung des Lehrers wichtige Erkenntnisse selbst zu erarbeiten.

2. Mit § 24 wendet sich das Buch den Versuchen über die *magnetische Wirkung eines elektrischen Stromes* zu und bringt unter V 90 als ersten Versuch den bekannten Oerstedtschen Versuch über die *Ablenkung einer Magnetnadel durch den elektrischen Strom*. Bei dem großen Erkenntniswert, der diesem Versuch wegen der durch ihn hergestellten Verbindung zwischen dem elektrischen Strom und dem Magnetismus zukommt, wird man große Sorgfalt darauf verwenden, alle Einzelheiten schrittweise zu klären. Der Versuch führt zum Aufstellen einer Regel, die den Zusammenhang zwischen der Stromrichtung und der zu erwartenden Ablenkung der Magnetnadel eindeutig wiedergibt, der *Rechten-Hand-Regel*. Sie wird heute ganz allgemein an Stelle der schwer verständlichen *Ampèreschen Schwimmerregel* verwendet.

Eine folgerichtige Weiterentwicklung dieses Versuches ist V 95, der die *Ablenkung einer Magnetnadel durch eine Leiterschleife* behandelt. Vielfach wird für diesen Zweck eine aus einem Metallband fertig gebogene starre Leiterschleife verwendet, die eine auf einer Spitze ruhende Magnetnadel umschließt. Doch ist statt dessen ein einfaches Kabel oder ein starker Draht methodisch bei weitem vorzuziehen, da man mit diesen Mitteln ganz zwanglos von einem geradlinigen Leiter zu einer Leiterschleife übergehen kann. Man kann einen Draht vor den Augen der Schüler zurechtbiegen und sogar in mehrere Windungen legen.

Mit besonderem Nachdruck sei noch auf die Versuche V 91, V 98 und V 100 hingewiesen, die die Demonstration des *magnetischen Feldes eines stromdurchflossenen geradlinigen, eines kreisförmigen und eines spulenförmigen Leiters* zum Gegenstand haben. Durch sie wird das Verständnis für das Wesen der magnetischen Wirkung eines elektrischen Stromes ganz außerordentlich gefördert. Diese Versuche sind in ihrer Anordnung verhältnismäßig einfach und verwenden einen starken geradlinigen, kreisförmig gebogenen oder gewendelten Leitungsdraht, der durch vorgebohrte Löcher eines starken weißen Kartons geführt wird. Die Versuche erfordern aber zu ihrem Gelingen Ströme von beträchtlicher Stärke, deren Erzeugen in der Schule immerhin einige Schwierigkeiten bereitet. Man kann diese Schwierigkeiten vermeiden, indem man den in V 92, V 99 und V 101 gegebenen Anweisungen folgt und den einfachen Leiter durch ein ganzes Bündel hintereinanderliegender Leiter ersetzt. Man erzielt auf diese Weise dieselbe Wirkung mit Hilfe einer weit geringeren Stromstärke.

3. Ehe der Übergang zu den Versuchen über den Elektromagnetismus im engeren Sinne erfolgt, werden noch in dem kurzen § 25 einige Versuche über *Kraftwirkungen und magnetische Felder zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern* gebracht. Sie sind zur Abrundung des Wissensstoffes in das Buch aufgenommen worden. Experimentierfreudigen Lehrern soll dadurch zu ihrer eigenen Übung Gelegenheit zu einigen interessanten Versuchen geboten werden. V 104 und V 105 zeigen wieder, wie man das magnetische Feld zwischen zwei parallelen, stromdurchflossenen Leitern auch mit Strömen von mäßiger Stärke demonstrieren kann. V 106 gibt eine neuartige abgewandelte Form des Versuches mit der sogenannten *Rogueschen Spirale* wieder. Wenn auch eine selbsttätige Unterbrechung des Stromes durch die Drahtwendel nicht erfolgt, so ist die Verkürzung der Drahtwendel bei Stromschluß und ihre elastische Ausdehnung bei Stromöffnung deutlich zu erkennen. Eine besondere Note erhält der Versuch dadurch, daß man den Strom in den beiden Hälften der Drahtwendel einmal im gleichen Sinne, ein andermal ungleichsinnig herumfließen läßt. Im ersten Falle tritt eine Verkürzung der Wendel im ganzen ein, im zweiten Falle verkürzt sich jede Hälfte für sich, die beiden Hälften untereinander stoßen sich gegenseitig ab.

4. Mit den drei letzten Paragraphen wendet sich das Buch dem Kernstück des ganzen Kapitels zu, nämlich dem *Elektromagnetismus* im engeren Sinne. Der § 26 bringt Versuche zum *Elektromagneten* im allgemeinen, § 27 enthält Versuche zu den wichtigsten technischen Anwendungen, und § 28 schließlich zeigt, wie man den *Gleichstrommotor* als Anwendung des Elektromagneten behandeln kann. Für die Versuche dieser Paragraphen bewähren sich ausgezeichnet Sätze von Aufbaugeräten, wie sie von den verschiedenen Lehrmittelfirmen angeboten werden. Man kann mit ihnen mühelos die Versuchsanordnungen der in den Paragraphen angeführten Versuche zusammenstellen und die verschiedenartigsten Modelle technischer Geräte der Reihe nach daraus entwickeln. Dieser Entwicklungsgedanke muß auch im Unterricht stark hervortreten. So führen in § 26 drei Versuche, nämlich V 108, V 109 und V 110, die sich mit der magnetischen Wirkung einer eisenfreien Spule befassen und sich in ihren Erkenntniswerten steigern, hin zur eisengefüllten Spule, zum Elektromagneten, der in V 111 behandelt wird. Dieser entsteht vor den Augen der Schüler aus Aufbauteilen und läßt sie die in ihm erzeugten magnetischen Kräfte in wirksamer Weise erkennen. Der Versuch 112, der den Einfluß des Ankers auf die Form des Feldverlaufs nachweist, veranschaulicht den Schülern

die Bedeutung des geschlossenen Verlaufs der Feldlinien und führt gleichzeitig zum Verstehen der Wirkungsweise eines Topfmagneten hin.

§ 27 ist mit Versuchen zu *technischen Anwendungen* des Elektromagneten ausgefüllt. Die Anzahl der Beispiele, die mit Aufbaugerätesätzen ausführbar sind, übersteigt die im Buch angegebenen bei weitem. Es konnten nur die wichtigsten und bekanntesten Versuche zu diesem Thema berücksichtigt werden. Die meisten der beschriebenen Versuche sind für Schülerübungen ausgezeichnet geeignet. Der freien Erfindungsgabe der Schüler sollte dabei weiter Spielraum gelassen werden. Die angeführten Versuche sind so einfach und leicht verständlich, daß sich zusätzliche Bemerkungen zu ihnen erübrigen.

Ihren Abschluß finden die im Buche enthaltenen Versuchsbeschreibungen mit der experimentellen Behandlung des *Gleichstrommotors*. Diesem ist § 28 gewidmet. Will man den Elektromotor im Unterricht einführen, so bieten sich dazu zwei Möglichkeiten:

a) Man kann von dem Bewegungsantrieb eines stromdurchflossenen Leiters in einem magnetischen Feld ausgehen, wozu V 124 eine geeignete Handhabe bietet. Man entscheidet sich für eine der drei im V 124 angegebenen Varianten und gewinnt als Versuchsergebnis die bekannte UVW-Regel für Leiterbewegung als Drei-Finger-Regel der rechten Hand. Danach betrachtet man eine im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten drehbare rechteckige Leiterschleife, der man zunächst über zwei Schleifringe und dann über einen Kommutator einen elektrischen Strom zuführt. Man erklärt das Verhalten der Leiterschleife auf Grund der soeben abgeleiteten UVW-Regel und gelangt zu der Erkenntnis, daß die Leiterschleife beim Vorhandensein eines Kommutators eine dauernde Drehbewegung ausführt. Der Übergang zu einer drehbaren, zunächst noch eisenfreien Spule und schließlich zum Doppel-T-Anker erfolgt unter dem Gesichtspunkt einer Verstärkung der magnetischen Wirkung. Wenn dieser Weg auch wissenschaftlich unbedenklich ist, so ist doch nicht in Abrede zu stellen, daß er an das Fassungsvermögen der Schüler im Anfangsunterricht erhebliche Anforderungen stellt. Demgegenüber erscheint der zweite Weg als der anschaulichere.

b) Man stellt nach V 125 aus Teilen eines Aufbaugerätesatzes ein ganz einfaches Motormodell aus einem Permanentmagneten und einer drehbaren Spule zusammen, der man über zwei Schleifringe bzw. über einen Kommutator einen Strom zuleitet. Man stellt fest, daß die Spule sich dreht, und erklärt die Drehbewegung aus der anziehenden oder abstoßenden Kraftwirkung zwischen den Polen des Permanentmagneten und den Polen des Magnetfeldes, das in der Spule erzeugt wird. Erst nachdem diese Erkenntnis sicher verankert ist, wird man den Permanentmagneten durch einen Elektromagneten ersetzen. Es ist aber dringend zu empfehlen, für den Anker und für den Elektromagneten, den man auch als den Feldmagneten bezeichnet, zunächst zwei voneinander getrennte Stromquellen zu verwenden, damit die Wirkungsweise des Motors von vornherein nicht zu kompliziert erscheint. Erst nachdem so eine klare Vorstellung von der Wirkungsweise der Maschine gewonnen ist, wird man durch Hintereinander- bzw. Parallelschalten des Ankers und des Feldmagneten zur endgültigen Form des Motors gelangen (V 126). Man darf dabei nicht versäumen, gemeinsam mit den Schülern auf Grund der genormten Schaltzeichen die üblichen technischen Schaltbilder der Motortypen zu entwerfen und die Schüler an das Lesen dieser Schaltbilder zu gewöhnen.

V 127, der die Änderung der Drehrichtung eines Elektromotors behandelt, kann daher im Anfangsunterricht unbedenklich gebracht werden.

§ 22. DIE GRUNDERSCHEINUNGEN DES PERMANENTEN MAGNETISMUS

67. Kraftwirkung eines Magneten auf verschiedene Stoffe [Ü]

Magnet (Hufeisen- oder Stabform), kleine Körper aus Glas, Papier, Pappe, PVC, Holz, Leder, Kupfer, Messing, Blei, ein 10-Pf-Stück, ein 50-Pf-Stück, ein Aluminiumschlüssel, eiserne Nägel oder Schrauben, ein Stück Eisenblech, Eisendraht, eine Schreibfeder, eine Stahlkugel aus einem Kugellager, Nickel- und Kobaltstücke.

Kleine Körper aus verschiedenem Material werden einzeln einem Magneten genähert. Man stellt fest, daß nur Körper aus Eisen, Nickel und Kobalt angezogen werden.

68. Nachweis der magnetischen Wirkung von Magneteisenstein

Magneteisenstein, kleine Eisennägel.

Ein Stück Magneteisenstein wird mit kleinen Eisennägeln überschüttet und hochgehoben. Ein Teil der Nägel bleibt am Erzstück haften. Besonders groß ist die Anzahl der Nägel an zwei zueinander annähernd entgegengesetzt liegenden Stellen, den Polen des Magneteisensteins.

Bemerkung: Es empfiehlt sich nicht, statt der Nägel etwa Eisenfeilspäne zu verwenden, da man diese nachher schlecht von dem Erzstück entfernen kann.

69. Nachweis der Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Eisenstück [Ü]

Magnet (Hufeisen- oder Stabform), ein etwa gleich großes Eisenstück (z. B. ein eisernes Wägestück), Glas-trog oder Waschschüssel, Entwicklerschale oder eine andere flache Schale.

Ein Eisenstück wird in eine Schale gelegt, die in einem mit Wasser gefüllten Trog schwimmt. Dem Eisenstück wird ein Magnet von der Seite her genähert.

Es wird von dem Magneten angezogen und bewegt sich auf ihn zu. Nachdem die beiden Körper miteinander vertauscht worden sind, wird der Versuch wiederholt (Abb. 115/1). Dabei stellt man fest, daß auch der Magnet vom Eisenstück angezogen wird.

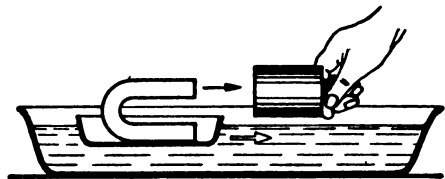


Abb. 115/1. Kraftwirkung zwischen einem Magneten und einem Eisenstück

70. Künstliches Magnetisieren [Ü]

Magnet (Hufeisen- oder Stabform), Stativstab (250 mm), Schraubenzieher, stählerne Stricknadel, Messer, Eisenschlüssel, Aluminiumschlüssel, Eisenfeilspäne.

Ein kurzer Stativstab, ein Schraubenzieher, eine stählerne Stricknadel, eine Messerklinge, ein Eisen- und ein Aluminiumschlüssel werden mehrmals in der derselben Rich-

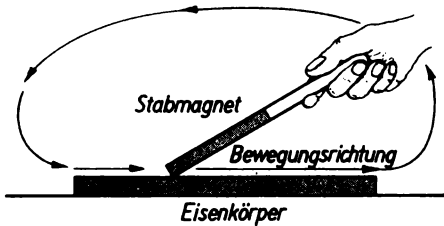


Abb. 116/1. Magnetisieren eines Eisenstabes

tung mit demselben Pol eines Magneten bestrichen (Abb. 116/1). Danach werden die Körper mit Hilfe von Eisenfeilspänen auf magnetische Eigenschaften untersucht. Nur die Körper, die aus Stahl bestehen, sind magnetisch geworden. Der Aluminiumschlüssel zeigt nicht den geringsten Magnetismus.

Bemerkung: Beim Magnetisieren eines Stabes kann man auch mit dem einen Magnetpol mehrmals von der Mitte des Stabes aus in der einen Richtung und danach mit dem anderen Pol in der anderen Richtung streichen. Beim Zurückführen muß der Magnet jedesmal abgehoben werden.

71. Untersuchen der Kraftverteilung an Magneten mit Hilfe von Eisenfeilspänen [Ü]

Hufeisenmagnet, Stabmagnet, Eisenfeilspäne.

Ein Stabmagnet und ein Hufeisenmagnet werden in Eisenfeilspäne getaucht und hochgehoben. An der Verteilung der Späne erkennt man deutlich die Lage der Pole und der indifferenten Zone.

Bemerkung: Anstatt der Eisenfeilspäne kann man auch kleine Eisennägel verwenden. Man kann sie besser vom Magneten abstreifen als Eisenfeilspäne. Das Abstreichen der Eisenfeilspäne erfolgt in der Art, daß man sie nach der indifferenten Zone hin schiebt und sie dann dort abschüttelt oder mit einem Pinsel abkehrt.

72. Untersuchen der Kraftverteilung an einem Stabmagneten mit Hilfe von Eisennägeln verschiedener Größe [Ü]

Stabmagnet, Eisennägel verschiedener Größe, Stativ mit Muffe und Klemme.

Ein Stabmagnet wird in horizontaler Lage an einem Stativ befestigt. Man nähert ihm von unten her große Nägel, so daß sie ihn mit den Spitzen berühren. Sie bleiben nur in der Nähe der Pole hängen. An den noch frei gebliebenen Stellen versucht man es mit kleineren Nägeln. Aus der Größe der hängenden Nägel kann man auf die Verteilung der magnetischen Kraft schließen (Abb. 117/1).

73. Bestimmen der Polarten eines Stabmagneten [Ü]

Stabmagnet, eisenfreies Stativ, Doppelhaken aus Draht, Zwirn.

An einem eisenfreien Stativ, an dessen Stelle notfalls ein hölzerner Kartenständer treten kann, wird ein Stabmagnet an einem dünnen Faden mittels eines Doppelhakens aus Draht aufgehängt (Abb. 117/2). Hierbei ist zu beachten, daß sich in der näheren Umgebung keine Magnete oder Eisenteile befinden dürfen. Nach einigen Schwingungen kommt der Magnet in der Nord-Süd-Richtung zur Ruhe. Der nach Norden weisende Pol wird als Nordpol bezeichnet, der gegenüberliegende heißt Südpol.

Bemerkungen:

1. Zum Aufhängen des Magneten kann man statt des Doppelhakens auch ein Papierblatt benutzen, das man zu diesem Zwecke um den Magnetstab legt (Abb. 117/3).
2. Für Unterrichtszwecke werden die Magnetpole in der Regel durch verschiedenfarbigen Anstrich gekennzeichnet, und zwar wegen des Gleichklanges der Vokale der Nordpol rot und der Südpol grün. Daneben finden sich in den Lehrmittelsammlungen gewöhnlich noch Magnete mit anderen Farbgebungen. Auf alle Fälle ist es ratsam, die Polarität vor der Benutzung festzustellen.

Abb. 117/1.

An einem Stabmagnet hängende Nägel.
Zur Vereinfachung sind die Nägel nicht gespreizt gezeichnet

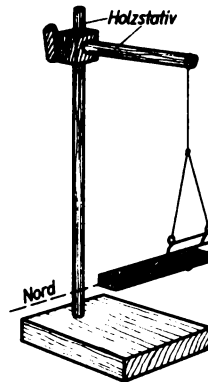
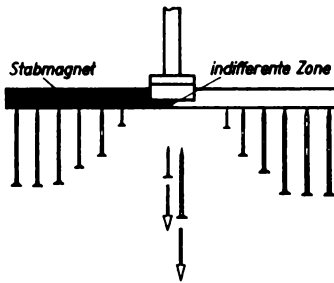


Abb. 117/3.

Behelfsmäßige Aufhängung eines
Magnetstabes

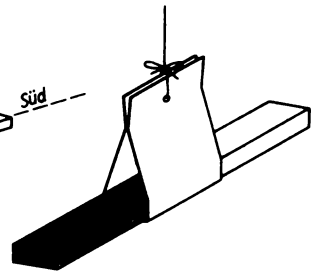


Abb. 117/2. Stabmagnet, an einem Stativ hängend

74. Vergleich der Pole eines Magneten [Ü]

Magnetisiertes Stahlband (etwa 300 mm langes Stück einer Uhrfeder oder Meßband aus Stahl), Eisennägel, Stativ, Kreuzmuffe, 2 gleichartige und gleich starke Stabmagnete, Unterlegklotz.

Versuch 1:

Ein etwa 30 cm langes magnetisches Stahlband wird etwas außerhalb seiner Mitte horizontal an ein Stativ geklemmt und an einem Pol mit einem Nagel belastet. Danach wird es gebogen, bis sich beide Pole berühren (Abb. 117/4). Der Nagel fällt ab. Die Magnetpole heben sich demnach in ihrer äußeren Wirkung gegenseitig auf.

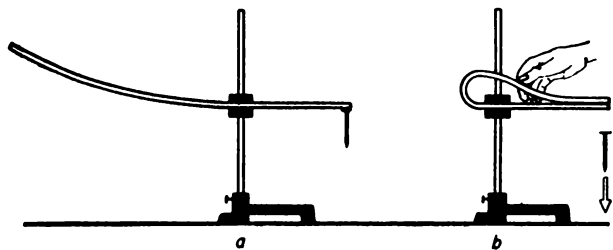


Abb. 117/4.

Nagel an einem Stahlband. Der Nagel
fällt ab, wenn sich beide Pole berühren

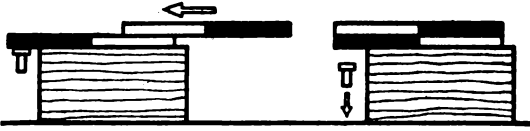


Abb. 118/1.
Überdecken eines Magnetpols durch den ungleichnamigen Pol eines anderen Magneten

man den zweiten Magneten der Länge nach behutsam über den ersten, so fällt der Nagel ab, sobald sich ungleichnamige Pole decken (Abb. 118/1).

Dasselbe erreicht man, wenn man den zweiten Magneten mit gleichnamigen Polen auf den ersten legt und ihn dann um eine durch seine Mitte gehende vertikale Achse um 180° dreht, bis ungleichnamige Pole übereinanderliegen. Der Nagel fällt wieder ab.

Versuch 2:

Man kann den Vergleich auch durchführen, indem man zwei gleichartige und gleich starke Stabmagnete benutzt. Man legt den einen Magneten auf einen hohen Unterlegklotz, so daß der eine Pol übersteht, an den ein großer Nagel gehängt wird. Schiebt

75. Bestimmen der Nord-Süd-Richtung mit Hilfe einer schwimmenden Rasierklinge [Ü]

Magnetisierte Rasierklinge, Becherglas.

Eine magnetisierte Rasierklinge wird vorsichtig auf die Wasseroberfläche eines mit Wasser gefüllten Becherglases gelegt. Infolge der Oberflächenspannung des Wassers bleibt sie dort liegen und dreht sich in die Nord-Süd-Richtung.

Bemerkung: Diese Versuchsanordnung gleicht im Prinzip einer der ältesten Formen des Kompasses, wie sie bereits im Altertum bei chinesischen Seefahrern im Gebrauch war. Sie benutzten eine magnetisierte Nadel, die sie durch einen Schilfhalm schwimmfähig gemacht hatten. Es empfiehlt sich, auch dies den Schülern als Versuch vorzuführen.

76. Bestimmen der Nord-Süd-Richtung mit Hilfe einer Magnetnadel [Ü]

Magnetnadel auf Fuß, rotes und grünes Papier, Spiegel (etwa $300\text{ mm} \times 400\text{ mm}$).

Zum Bestimmen der Nord-Süd-Richtung wird eine auf einem Magnetnadelfuß schwingende Magnetnadel auf den Tisch gestellt. Sie kommt nach einigen Schwingungen zur Ruhe. Die Richtung, in der sie einspielt, wird auf der Tischplatte durch einen Kreidestrich gekennzeichnet. Sie weist mit großer Annäherung in die Nord-Süd-Richtung. So oft man auch die Nadel aus dieser Ruhelage bringt, immer stellt sie sich wieder in die Nord-Süd-Richtung ein.

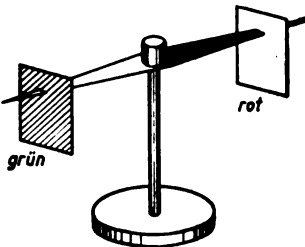


Abb. 118/2. Farbige Papierfähnchen an den Enden einer Magnetnadel

Bemerkung: Da die Schüler die Bewegung der Magnetnadel von ihren Plätzen aus im allgemeinen schlecht beobachten können, hält man über die Versuchsanordnung einen um etwa 45° geneigten Spiegel so, daß die Schüler die Magnetnadel und den Kreidestrich im Spiegelbild sehen. Außerdem empfiehlt es sich, den Nordpol der Nadel durch ein rotes und den Südpol durch ein grünes Papierfähnchen kenntlich zu machen (Abb. 118/2).

77. Herstellen einer behelfsmäßigen Magnetnadel aus einer Rasierklinge oder einer Stricknadel [Ü]

Magnetisierte Rasierklinge, magnetisierte Stricknadel, 2 Druckknöpfe, Kartonstreifen (150 mm × 20 mm), 2 Stecknadeln, 2 Flaschenkorken, kleines Fläschchen mit Korken, Glasröhren (\varnothing etwa 3 mm, Länge 25 mm), Zwirn.

a) Eine magnetisierte Rasierklinge wird mit einem Druckknopf als Lagerhütchen versehen. Mit seiner Hilfe wird die Rasierklinge auf einem Fuß gelagert, der aus einem großen Korken und einer durch ihn hindurchgesteckten Nadel besteht (Abb. 119/1).

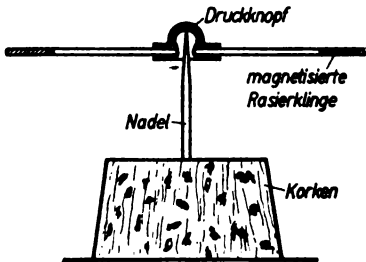


Abb. 119/1

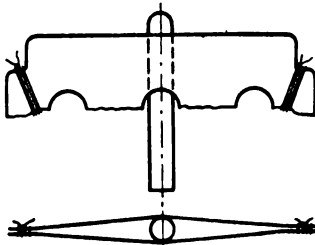


Abb. 119/2

Abb. 119/1. Verwendung einer Rasierklinge als Magnetnadel

Abb. 119/2. Verwendung einer der Länge nach durchgebrochenen Rasierklinge als Magnetnadel

Abb. 119/3. Verwendung einer Stricknadel als Magnetnadel

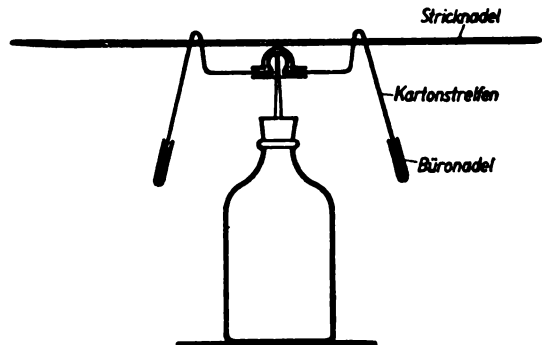


Abb. 119/3

b) Eine andere Möglichkeit zum Herstellen einer Magnetnadel bietet sich, indem man eine Langloch-Rasierklinge der Länge nach durchbricht und die Hälften an den Enden mit Zwirn zusammenbindet. Zwischen die Klingenhälften klemmt man ein einseitig zugeschmolzenes Glasröhren und klebt es mit Alleskleber an der Klinge fest (Abb. 119/2). Diese wird magnetisiert. Man steckt sodann die Magnetnadel mit dem Glasröhren auf die Stecknadel des Fußes wie bei a).

c) Man biegt einen 150 mm langen und 20 mm breiten Kartonstreifen in der in Abb. 119/3 wiedergegebenen Weise und befestigt in seiner Mitte einen Druckknopf als Lagerhütchen. Durch die beim Biegen entstandenen seitlichen Wülste wird dicht über dem Druckknopf eine magnetisierte Stricknadel hindurchgesteckt. Die Vorrichtung wird auf einen Fuß gesetzt, der aus einer kleinen Flasche und einer durch den Verschlusskorken gesteckten Nadel besteht. Zur Erhöhung der Stabilität des Gleichgewichts klemmt man gegebenenfalls zwei Büronadeln an die nach unten gerichteten Teile des Kartonstreifens.

Bemerkung: Die beschriebenen Geräte können als vollwertiger Ersatz an Stelle einer Magnetnadel verwendet werden. Man kann die Ausführungen a) und c) außerdem zu Kompaßmodellen ergänzen. Hierzu fertigt man eine kleine Windrose aus Zeichenpapier an (\varnothing etwa 40 mm), die man mit der Nord-Süd-Richtung in Richtung der Mittellinien auf die Rasierklinge oder auf den mittleren Teil des Kartonstreifens klebt.

78. Kraftwirkungen zwischen Magnetpolen [Ü]

2 gleichartige Stabmagnete, Hufeisenmagnet, 2 gleichartige zylindrische Stabmagnete, Magnetnadel auf Fuß, 2 magnetisierte Stricknadeln, eisenfreies Stativ, Doppelhaken aus Draht, Zwirn.

Versuch a:

Ein Stabmagnet wird wie in V 73 (Abb. 117/2 oder 3) aufgehängt. Nachdem er sich in die Nord-Süd-Richtung eingestellt hat, nähert man seinem nach Norden weisenden Ende nacheinander den Nordpol und den Südpol eines zweiten Stabmagneten. Auf die gleiche Weise wird mit dem nach Süden weisenden Ende des hängenden Magnetstabes verfahren. Man erkennt, daß gleichnamige Pole einander abstoßen, ungleichnamige einander anziehen.

Versuch b:

Man bezeichnet nach V 76 die Art der Pole an einer Magnetnadel. Dann nähert man ihrem Nordende nacheinander den Nordpol und den Südpol des Magneten. In gleicher Weise verfährt man mit dem Südpol der Magnetnadel. Man erkennt wieder, daß gleichnamige Pole einander abstoßen und ungleichnamige einander anziehen.

Versuch c:

Zwei gleiche zylindrische Magnetstäbe werden dicht nebeneinander auf die glatte Tischfläche gelegt, so daß gleichnamige Pole nebeneinanderliegen. Die Magnetstäbe rollen auseinander.

Die beiden Stäbe werden in einem Abstand von einigen Zentimetern je nach der Größe der Magnetstäbe parallel so nebeneinandergelegt, daß neben einem Nordpol ein Südpol liegt. Die Magnetstäbe rollen zusammen.

Der Versuch kann auch mit zwei magnetisierten Stricknadeln ausgeführt werden, ist aber dann nicht so wirkungsvoll wie mit zylindrischen Magnetstäben.

Bemerkungen:

1. Die Versuche, insbesondere aber Versuch *b*, eignen sich vorzüglich für Schülerübungen. Wird Versuch *b* als Schülerübung in gleicher Front durchgeführt, so kann man beim Fehlen einer genügenden Anzahl von Magnetnadeln behelfsmäßige Magnetnadeln nach V 77 verwenden.
2. Will man den Versuch *b* als Demonstrationsversuch durchführen, so wird man zweckmäßigerweise die Pole der Magnetnadel durch farbige Papierfähnchen kennzeichnen bzw. einen Spiegel über die Versuchsanordnung halten (vgl. V 76).

79. Schauversuche zur Kraftwirkung zwischen Magnetpolen [Ü]

Zu a) 2 magnetisierte Stricknadeln, 2 Korken.

Zu b) 3 Stopfnadeln, Magnet, Zwirnfaden.

Zu c) 4 magnetisierte Rasierklingen, 2 Holzklötzchen (etwa 50 mm \times 40 mm \times 15 mm) oder zwei Streichholzschachteln.

Zu d) 2 Glasstäbe (\varnothing 4 mm, Länge 50 mm), Reißzwecken, Holzklötzchen wie bei c), 2 Maniperm-Ringmagnete.

Versuch a:

Zwei etwa 15 cm lange Stücke magnetisierter Stricknadeln werden durch Aufstecken von Korken schwimmfähig gemacht, so daß sie, in einen mit Wasser gefüllten Glastrog gesetzt, etwa 2 cm aus dem Wasser ragen. Richtet man es so ein, daß gleichnamige Pole nebeneinanderliegen, beispielsweise beide Nordpole über dem Wasser und beide Südpole im Wasser, so stoßen sich die Stricknadeln gegenseitig ab und schwimmen auseinander (Abb. 121/1). Verschiebt man den Korken der einen Nadel so, daß sie jetzt umgekehrt schwimmt, dann beobachtet man eine Anziehung der ungleichnamigen Pole.

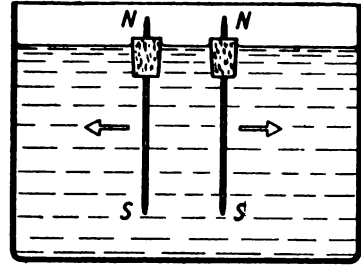


Abb. 121/1.

Kraftwirkung zwischen schwimmenden Magnetstäben: Gleichnamige Pole stoßen einander ab

Versuch b:

Man magnetisiert drei Stopfnadeln, von denen zwei in gleicher Richtung nebeneinanderliegen, durch Bestreichen mit einem Magneten, während die dritte entgegengesetzt dazu gerichtet ist (vgl. V 70). Dann zieht man durch die Öhre Fäden, an denen man die Nadeln hochheben kann. Wählt man dazu zwei Nadeln, bei denen gleichnamige Pole nebeneinanderhängen, so stoßen sich die Nadeln ab (Abb. 121/2 a). Nimmt man zwei Nadeln, bei denen ungleichnamige Pole nebeneinanderhängen, so ziehen sich die Nadeln an (Abb. 121/2 b).

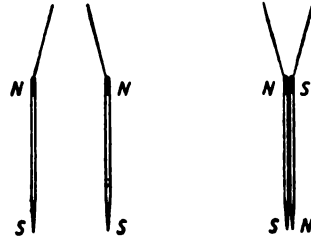


Abb. 121/2.

Kraftwirkung zwischen zwei nebeneinanderhängenden magnetisierten Stopfnadeln

a) Abstoßung zwischen gleichnamigen Polen

b) Anziehung zwischen ungleichnamigen Polen

Versuch c:

Zwei magnetisierte Rasierklingen werden mit Reißzwecken so an je einem Holzklötzchen oder einer Streichholzschachtel befestigt, daß gleichnamige Pole in gleicher Höhe liegen. Die beiden Rasierklingen werden in einem Abstand von etwa 2 bis 3 cm parallel zueinander aufgestellt. In den zwischen ihnen befindlichen Zwischenraum wird eine dritte magnetisierte Klinge mit gleicher Lage der Pole gebracht. Die mittlere Rasierklinge steht frei zwischen den beiden anderen, weil sich die gleichnamigen Pole abstoßen (Abb. 121/3).

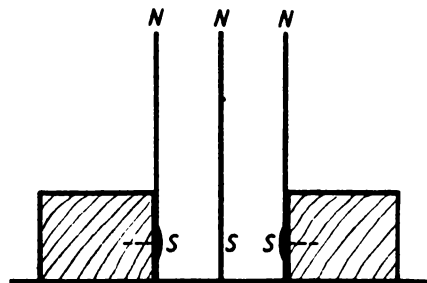


Abb. 121/3.

Eine zwischen zwei Klingen von gleicher Polage frei stehende magnetisierte Rasierklinge

Versuch d:

In zwei Bohrungen eines Holzklötzchens werden zwei kurze Glasstäbe mit einem Durchmesser von etwa 4 mm senkrecht zur Grundfläche so eingeführt, daß die Rasierklingen leicht daran aufgleiten können. Steckt man zwei magnetisierte Rasierklingen so auf die Stäbchen, daß gleichnamige Pole übereinanderliegen, dann schwebt die obere Klinge in einem Abstand von einigen Millimetern über der unteren (Abb. 122/1).

Noch eindrucksvoller läßt sich der Versuch mit zwei aus keramischem Magnetwerkstoff hergestellten Maniperm-Ringmagneten durchführen. Es sind dies sehr starke Dauermagnete, bei denen die Pole in den Endflächen liegen. Legt man die Magnete mit gleichnamigen Polen aufeinander und benutzt als Führung eine Glasröhre oder eine Flasche von gleichem Durchmesser wie der Innendurchmesser der Ringmagneten, so schweben diese in einem Abstand von 10 bis 15 mm übereinander.

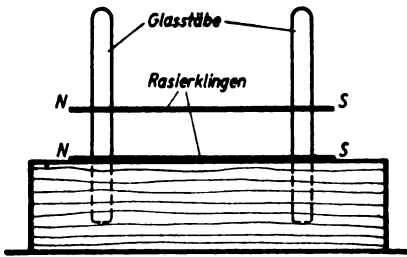


Abb. 122/1. Zwei mit gleichen Polen aufeinandergelegte magnetisierte Rasierklingen. Die obere schwebt über der unteren

Bemerkung: Damit die Versuche auch aus größerer Entfernung beobachtet werden können, empfiehlt es sich, sie im Schattenwurf durchzuführen. Auch Versuch a ermöglicht die Anwendung des Schattenwurfs, wenn man den Trog fast bis zum Rande mit Wasser füllt, so daß die Stricknadeln über den Rand des Troges hinausragen und dieser die Lichtstrahlen nicht behindert.

80. Die Abschirmung magnetischer Kräfte durch einzelne Stoffe [Ü]

Hufeisenmagnet, kleine Eisennägel, Papierblatt, Pappe, dünne Holzplatte (Zigarrenkistendeckel), Glasplatte, Aluminiumblech, Eisenblech, Nickelblech.

Man nähert einen Magneten von oben her einem Häufchen kleiner Eisennägel und hält den zu untersuchenden Stoff, z. B. ein Blatt Papier, zwischen die Nägel und den Magneten. Die magnetische Kraft wirkt durch das Papier hindurch. Die Nägel bleiben beim Hochheben des Magneten unter dem Papierblatt haften. Auf diese Weise untersucht man auch ein Stück Pappe, eine dünne Holzplatte, eine Glasplatte, ein Stück Aluminium-, Eisen- oder Nickelblech. Während die Kraftwirkung durch die meisten Stoffe nicht beeinträchtigt wird, wirkt das Eisenblech stark, das Nickelblech schwächer abschirmend; die Nägelchen bleiben nicht haften.

§ 23. DAS PERMANENTE MAGNETISCHE FELD – DIE MAGNETISCHE INFLUENZ

81. Veranschaulichung magnetischer Feldlinien durch Eisenfeilspäne [Ü]

2 Stabmagnete, Hufeisenmagnet, Weicheisenstück, Weicheisenring, Streubüchse mit Eisenfeilspänen, Glasplatte oder weiße Kartonscheibe, weißer Papierbogen.

Es empfiehlt sich, die Feldlinienbilder durch Eisenfeilspäne auf einer Glasplatte zu erzeugen, so daß der zu untersuchende Magnet selbst sichtbar bleibt. Damit sich die Feldlinien deutlich vom Untergrund abheben, legt man unter den Magneten einen weißen Papierbogen. Man kann auch auf den Magneten einfach eine weiße Kartonscheibe legen und auf diese Eisenfeilspäne streuen. Die Konturen des Magneten heben sich ebenfalls scharf von der Umgebung ab.

Man streut Eisenfeilspäne mit einer Streubüchse auf die Glasplatte und klopft leicht gegen diese. Die Späne ordnen sich in den Richtungen der magnetischen Kräfte. Auf diese Weise kann man die Bilder der verschiedensten Magnetfelder erzeugen. Insbesondere kommen in Frage:

- a) das Feld eines Stabmagneten,
- b) das Feld eines Hufeisenmagneten,
- c) das Feld zwischen zwei in einer Geraden angeordneten Stabmagneten, bei denen ungleichnamige Pole gegenüberliegen,
- d) das Feld zwischen zwei in einer Geraden angeordneten Stabmagneten, bei denen gleichnamige Pole gegenüberliegen,
- e) das Feld eines Hufeisenmagneten, zwischen dessen Polen sich ein Weicheisenstück befindet.

Die Feldlinien verlaufen im Weicheisenstück; sie werden von ihm gesammelt und werden nach außen nicht wirksam,

- f) das Feld eines Hufeisenmagneten, zwischen dessen Polen sich ein Weicheisenring befindet. Der Raum im Innern des Ringes bleibt feldfrei.

Bemerkungen:

1. Das Feldlinienbild zu f) stellt ein Beispiel der Schirmwirkung des Eisens dar.
2. Will man die Feldlinienbilder in größeren Klassen gut sichtbar machen, so projiziert man sie von unten her entweder an die Decke oder über einen unter 45° geneigten Spiegel an die Wand.
3. Die Feldlinienbilder sind nur ebene Schnitte durch die Magnetfelder. Über die an sich räumliche Anordnung der Feldlinien vgl. V 102, 2.

82. Herstellen dauerhafter Feldlinienbilder mit Hilfe von paraffiniertem Papier oder mit Hilfe von Fotopapier [Ü]

Verschiedene Magnete, dünnes Kartonblatt, Streubüchse mit Eisenfeilspänen.

Zu a) Paraffiniertes Papier, Heizsonne oder Infrarotstrahler oder ein anderer Wärmestrahler.

Zu b) Fotopapier (9 cm × 12 cm oder größer), Dunkelkammerleuchte mit Rot- oder Orangefilter, Verdunkelungseinrichtung.

Versuch a:

Für das Erzeugen dauerhafter Feldlinienbilder kann man einen Bogen paraffinierten Papiers verwenden, den man mit einem dünnen Kartonblatt als Unterlage auf einen Magneten legt. Man kann dieses Papier leicht herstellen, indem man weißes Papier kurzzeitig in geschmolzenes Paraffin taucht und es danach erkalten läßt. Wie in V 81 werden Feldlinienbilder mit Hilfe von Eisenfeilspänen auf diesem Papier erzeugt. Um die Späne in ihrer Lage zu fixieren, erhitzt man die Paraffinschicht von oben mit einem Wärmestrahler (einer Heizsonne, einem Infrarotstrahler od. dgl.), bis sie zu schmelzen beginnt. Nun dringen die Eisenfeilspäne in das Paraffin ein und sitzen nach dem Erkalten darin fest. Erst jetzt wird der Magnet entfernt.

Versuch b:

Im verdunkelten Raum werden bei rotem oder orangefarbenem Licht Feldlinienbilder auf einem großen Blatt Fotopapier erzeugt, das man auf einem dünnen Kartonblatt auf einen Magneten gelegt hat. Nach dem Bestreuen mit Eisenfeilspänen wird die Deckenbeleuchtung für einige Sekunden eingeschaltet. Die Belichtungszeit richtet sich nach der Beleuchtungsstärke und dem Härtegrad des verwendeten Fotopapiers. Sie wird durch einige Belichtungsproben ermittelt. Danach nimmt man bei Rotlicht das Fotopapier vom Magneten und schüttet die Eisenfeilspäne ab; das Papier wird in der üblichen Weise entwickelt und fixiert. Die Feldlinien erscheinen hell auf dunklem Grund. An Stelle der Deckenbeleuchtung kann auch eine beliebige andere Lichtquelle benutzt werden. Sie soll aber möglichst lotrecht über der Versuchsanordnung angebracht sein und von ihr einen Mindestabstand von 1 m haben. Als Fotopapier eignet sich besonders hartes oder extrahartes Kontakt- oder Vergrößerungspapier.

Bemerkungen:

1. Es können auf diese Weise alle Feldlinienbilder, die in V 81 aufgeführt sind, in dauerhafter Weise hergestellt werden, was besonders für Wiederholungen vorteilhaft ist.
2. Der Versuch *a* ist für Schülerübungen geeignet, während Versuch *b* nur für besondere Arbeitsgemeinschaften in Frage kommt.

83. Nachweis der magnetischen Influenz mit Hilfe von Nägeln [Ü]

Stabmagnet, Hufeisenmagnet, mehrere Nägel, Zwirn, Stativ mit Kreuzmuffe.

Versuch a:

Man klemmt einen Stabmagneten in seiner Mitte in waagerechter Lage an einem Stativ fest und bringt an den einen Pol einen Nagel. Der Nagel wird angezogen. Nähert man dem am Magneten hängenden Nagel einen zweiten Nagel, so bleibt er am ersten haften. Dies wiederholt sich unter Umständen noch ein zweites Mal, wenn man dem zweiten Nagel einen dritten nähert (Abb. 124/1). Die Nägel sind durch magnetische Influenz selbst zu

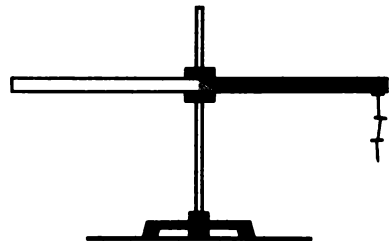


Abb. 124/1. Nägel in einer Reihe an einem Pol eines Stabmagneten

Magneten geworden. Nimmt man den ersten Nagel vorsichtig vom Magneten ab, so fallen auch die anderen Nägel herab.

Verwendet man einen Hufeisenmagneten, so können die Nägel einen geschlossenen Bogen bilden, der von einem Pol zum andern reicht.

Versuch b:

Zwei eiserne Nägel werden an Zwirnfäden gebunden und an diesen aufgehängt. Nähert man die Nägel von oben her einem Pol eines Stabmagneten, so spreizen sie sich etwas auseinander (Abb. 125/1). Infolge der magnetischen Influenz entstehen nämlich an den unteren und den oberen Enden der Nägel jeweils gleichnamige Pole, die einander abstoßen.

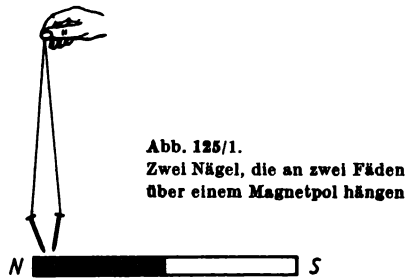


Abb. 125/1.
Zwei Nägel, die an zwei Fäden über einem Magnetpol hängen

Bemerkung: Damit der Versuch auch aus größerer Entfernung beobachtet werden kann, ist Schattenwurf zu empfehlen.

84. Teilung eines Magnetstabes [Ü]

Magnetisierte Stricknadel, Magnetnadel auf Fuß, 2 Flachzangen, Hebelvorschnneider.

Eine magnetisierte Stricknadel, deren Pole durch Papierfähnchen gekennzeichnet sind, wird zwischen zwei Flachzangen erfaßt und an der indifferenten Zone in zwei etwa gleich lange Teile zerbrochen. Untersucht man diese durch Annähern an eine Magnetnadel, so ergibt sich, daß beide Teile je einen Nord- und einen Südpol besitzen. Eine weitere Teilung führt zum gleichen Ergebnis. Soweit man auch die Teilung fortsetzt, immer sind die neu entstandenen Teilstücke vollständige Magnete mit zwei verschiedenen Magnetpolen (Abb. 125/2).

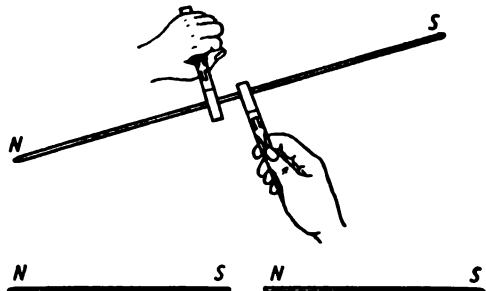


Abb. 125/2. Zerlegung einer magnetisierten Stricknadel in mehrere Teilstücke

Bemerkung: Zum Zerteilen der Stricknadel ist auch ein Hebelvorschnneider sehr geeignet.

85. Modellversuch zum Veranschaulichen des Magnetisierungsvorganges [Ü]

Reagenzglas mit Korkstopfen, Eisenfeilspäne, Magnet, Magnetnadel auf Fuß, Unterstellklotz.

Ein Reagenzglas wird mit Eisenfeilspänen gefüllt, so daß in ihm noch etwas freier Raum bleibt. Es wird durch einen Korken verschlossen und auf einen Unterstellklotz gelegt. Beim Untersuchen mit einer Magnetnadel erweist sich das Röhrrchen als un-

magnetisch; denn es werden von jedem Ende des Röhrchens beide Pole der Magnetnadel gleichermaßen angezogen. Führt man einen Pol eines kräftigen Magneten mehrmals in derselben Richtung an dem Röhrchen entlang und untersucht danach seine Enden durch Annähern einer Magnetnadel, so erkennt man, daß das Röhrchen die Eigenschaften eines Magneten angenommen hat. Durch leichtes Schütteln wird es wieder unmagnetisch.

86. Schwächen des Magnetismus durch Erwärmen des Magneten [Ü]

Dieselben Geräte wie für V 79 c.

Hufeisenmagnet, Nagel (20 mm), Kneifzange oder Vorschneider, Bunsenbrenner, Gasanschluß, Unterlegklötze.

Versuch a:

Man stellt dieselbe Versuchsanordnung zusammen wie bei V 79 c. Erwärmt man eine der beiden äußeren Rasierklingen durch eine Streichholzflamme, so verliert diese Klinge dadurch einen Teil ihrer magnetischen Wirkung. Die mittlere Klinge wird dann nicht so stark von der erwärmten abgestoßen und neigt sich auf diese zu. Unterbricht man die Erwärmung, bevor sich die Klingen berühren, so richtet sich die mittlere Klinge allmählich wieder auf.

Versuch b:

Man legt einen Hufeisenmagneten auf Unterlegklötze, so daß er mit den Polen möglichst weit überragt. Dann wickelt man mit Hilfe einer Kneifzange von einem Nagel, dessen Gewicht und Größe man ausprobieren muß, den Kopf ab und bringt den Nagel

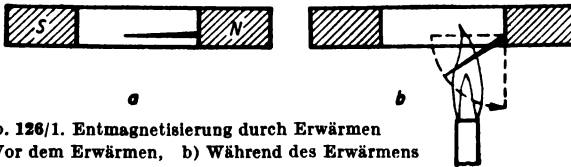


Abb. 126/1. Entmagnetisierung durch Erwärmen
a) Vor dem Erwärmen, b) Während des Erwärmens

zwischen die Pole des Hufeisenmagneten. Der Nagel haftet an dem einen Pol fest und stellt sich in die Richtung der Feldlinien ein (Abb. 126/1a). Unter den Nagel hält man in dieser

Lage einen Bunsenbrenner und bringt den Nagel dadurch zum Glühen, ohne aber den Magneten selbst zu erhitzen (Abb. 126/1 b). Der Nagel senkt sich und hängt lotrecht vom Magneten herab. Entfernt man die Flamme, so schnell er nach wenigen Sekunden wieder in seine ursprüngliche horizontale Lage zurück.

87. Magnetisieren eines Stahlkörpers mit Hilfe von Influenz durch das Magnetfeld der Erde

Längliche Stahlkörper, wie Stativstäbe, Messer, Schraubenzieher oder dgl., Hammer, Magnetnadel auf Fuß.

Ein unmagnetischer Stativstab wird unter dem Inklinationwinkel, den man nach V 89 bestimmt, in die Nord-Süd-Richtung gehalten und durch Klopfen mit einem Hammer leicht erschüttert. Danach stellt man durch Annähern einer Magnetnadel fest, daß der Stahlkörper einen Nordpol und einen Südpol aufweist, also schwach magnetisch geworden ist.

Unter dem Einfluß des Magnetfeldes der Erde haben sich beim Erschüttern des Stahlkörpers die Elementarmagnete teilweise ausgerichtet.

Bemerkung: Längliche eiserne Gegenstände, die sich längere Zeit annähernd in der Richtung der magnetischen Feldlinien der Erde befinden (lotrecht oder horizontal in Nord-Süd-Richtung), werden durch Influenz von selbst magnetisch. Man stellt ihren Magnetismus durch Annähern einer Magnetnadel fest. Untersucht man auf diese Weise das untere Ende eines Eisenstabes, der als Riegel in ein Fenster eingebaut ist, so wird der Nordpol der Magnetnadel abgestoßen und der Südpol angezogen. Es hat sich demnach am unteren Ende des Eisenstabes ein Nordpol gebildet. Am oberen Ende ist dagegen ein Südpol entstanden.

88. Vergleich der geographischen mit der magnetischen Nord-Süd-Richtung [Ü] – Bestimmung der Deklination [Ü]

Fadenlot (kein Eisenkörper!), Magnetnadel auf Fuß, Marschkompaß, Zeichenbogen, Reißzwecken.

Man heftet mit einigen Reißzwecken einen Zeichenbogen auf einen von der Sonne beschienenen Tisch und läßt darauf den Schatten eines über dem Tisch hängenden Lotes fallen. Genau um 12 Uhr markiert man den Schatten des Fadens durch einen Bleistiftstrich und stellt eine Magnetnadel so auf den Strich, daß dieser durch die Mitte des Fußes verläuft. Man stellt fest, daß die Magnetnadel angenähert in die Richtung der durch den Strich angegebenen geographischen Nord-Süd-Richtung zeigt.

Bemerkungen:

1. Der beschriebene Versuch ermöglicht nur einen groben Vergleich, da bei ihm die Abweichung der Ortszeit von der mitteleuropäischen Zeit (MEZ) und die Zeitgleichung nicht berücksichtigt wurden.
2. Man kann den Versuch dadurch verfeinern, daß man zuvor die Uhrzeit t_{ms} (Mittleuropäische Zeit) berechnet, die der wahren Mittagszeit (12^h) des Beobachtungsortes entspricht. Man entnimmt zu diesem Zweck einer Ortstafel den zwischen dem Ortslängenkreis und dem 15. Längengreis bestehenden Zeitunterschied Δt ; eine Tafel für die Kulminationszeiten der Sonne liefert die für den Beobachtungstag geltende Zeitgleichung z . Die für die Sonnenkulmination zutreffende Uhrzeit ergibt sich nach der Gleichung

$$t_{ms} = 12^h + \Delta t + z.$$

Genau zur Zeit t_{ms} wird dann der Schatten des Fadens durch einen Bleistiftstrich fixiert. Mit Hilfe eines Marschkompasses, dessen Meßkante man an den Strich legt, läßt sich dann die Deklination bestimmen.

89. Bestimmen der magnetischen Inklination [Ü]

Inklinationsnadel mit Winkelteilung, Kompaß.

Mit einem Kompaß wird die Nord-Süd-Richtung bestimmt und auf dem Experimentiertisch gekennzeichnet. Nach dem Entfernen des Kompasses wird eine Inklinationsnadel so aufgestellt, daß sie in der Meridianebene beweglich ist. An der Winkelteilung wird die Inklination abgelesen.

Bemerkung: Beim Aufstellen der Magnetnadeln ist darauf zu achten, daß sich im Umkreis von etwa 2 m keine Eisenteile befinden,

§ 24. MAGNETISCHE WIRKUNGEN UND MAGNETISCHES FELD DES GLEICHSTROMES

90. Ablenkung einer Magnetnadel durch das Magnetfeld eines stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters [Ü]

Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenatterie, Magnetnadel auf Fuß, 2 Holz-sche Fußklemmen, steifer Kupferdraht (Länge etwa 500 mm), 3 Kleinspannungsglüh-lampen (4 V, 2,4 W) in Fassungen (E 14) auf Brett, Hebelschalter, Verbindungskabel, Unterstellklotz.

Der Versuch ist als Oerstedtscher Versuch bekannt und vermittelt den Schülern einen ersten Einblick in die magnetischen Wirkungen eines elektrischen Stromes. Es empfiehlt sich, den Versuch in der unten angegebenen Reihenfolge in 4 Teilver-suchen durchzuführen, durch die die Kenntnisse allmählich erweitert werden.

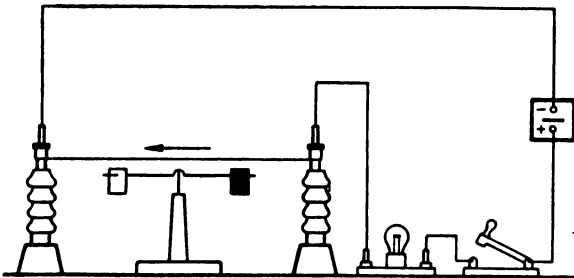


Abb. 128/1. Ablenkung einer Magnetnadel durch einen in einem geradlinigen Leiter fließenden Strom

(Abb. 128/1). Durch mehrfaches Wiederholen des Versuches wird festgestellt, daß der Ablenkungswinkel und die Ablenkungsrichtung immer gleich sind. Die Rechte-Hand-Regel gibt die Abhängigkeit der Ablenkungsrichtung von der Stromrichtung an.

Versuch 2:

Parallel zur ersten wird eine zweite und dann noch eine dritte Glühlampe in den Stromkreis gelegt, wodurch die Stromstärke anwächst.

Mit Hilfe der so abgewandelten Versuchsanordnung wird nachgewiesen, daß bei größerer Stromstärke auch der Ablenkungswinkel größer ist.

Versuch 3:

Durch Vertauschen der Anschlüsse an der Spannungsquelle wird die Stromrichtung umgekehrt. Der Ausschlag der Magnetnadel erfolgt nach der entgegengesetzten Seite.

Versuch 4:

Die Magnetnadel wird auf einen Holzklötz gestellt, so daß sie sich dicht über dem stromdurchflossenen Leiter befindet. Sie wird über dem Leiter in entgegengesetzter Richtung abgelenkt wie unter ihm.

Versuch 1:

Aus einer Gleichspannungsquelle (4 V –), einer Kleinspannungsglühlampe und einem Schalter wird ein Stromkreis gebildet. Ein aus steifem Kupferdraht bestehendes Teilstück des Stromkreises wird zwischen zwei Fußklemmen in der Nord-Süd-Richtung aufgestellt. Beim Schließen des Schalters wird die Magnetnadel aus der Nord-Süd-Richtung abgelenkt

Bemerkungen:

1. Damit die Ablenkung der Magnetnadel deutlich wird, sind Kleinspannungsglühlampen zu verwenden, die eine möglichst große Stromstärke hindurchlassen. Am besten eignen sich Glühlampen zu 4 V und 0,6 A.
2. Die Magnetnadelpole sind wie in V 76 mit Papierfähnchen zu markieren.
3. Zum Veranschaulichen der Stromrichtung wird empfohlen, Pappschildchen mit den Zeichen + und - vor die Fußklemmen zu stellen sowie ein weiteres Schildchen mit einem Pfeil an den Leiter zu hängen (Abb. 129/1).

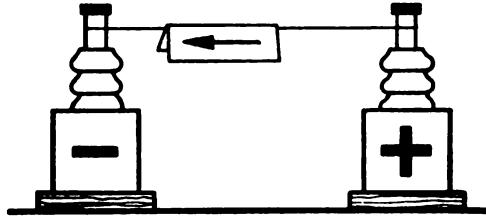


Abb. 129/1. Veranschaulichen der Stromrichtung durch Pappschildchen

91. Das Magnetfeld eines einzelnen stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters

Akkumulatorenbatterie (10 V), Stativ mit halblangem Stab, 2 Klemmenstangen, 3 Kreuzmuffen, Verbindungskabel, steifer Kupferdraht (\varnothing 2...3 mm, Länge 200 mm), Schalter für Starkstrom, starker weißer Karton (120 mm \times 120 mm), Korken, Eisenfeilspäne, Spiegel.

Man befestigt an einem Stativ waagrecht übereinander zwei Klemmenstangen. Zwischen diese klemmt man in vertikaler Lage ein Stück steifen Kupferdrahtes, den man vorher durch ein Loch in der Mitte einer starken weißen Kartonscheibe gesteckt hat (Abb 129/2). Man klebt unter den Karton in der Mitte einen Korken, durch den man zur Befestigung den Kupferdraht hindurchsteckt. Den Draht verbindet man über einen Starkstromschalter mit einer Akkumulatorenbatterie für 10 V und bestreut den Karton rings um den Draht mit Eisenfeilspänen. Dann schließt man kurzzeitig den Stromkreis und klopft dabei leicht gegen den Karton. Die Eisenfeilspäne ordnen sich in Kreisen um den Draht in Richtung der magnetischen Feldlinien. Man macht die Feldlinien den Schülern dadurch sichtbar, daß man sie von der Seite her stark beleuchtet und wie in V 80 einen Spiegel, schräg nach vorn gerichtet, darüberhält.

Bemerkungen:

1. Ein Stromversorgungsgerät ist bei diesem Versuch als Spannungsquelle nicht zu verwenden, da es die starken Ströme von 12...15 A, die für den Versuch erforderlich sind, nicht ohne Gefährdung des Gerätes liefern kann. Man ist daher auf einen Akkumulator angewiesen, den man kurzzeitig stark überlasten kann. Es ist aber zu empfehlen, ihm trotzdem einen kleinen behelfsmäßigen Schutzwiderstand vorzulegen. Näheres darüber siehe § 2, 2.

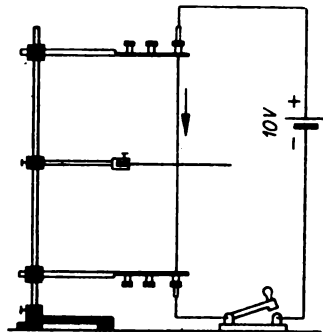


Abb. 129/2. Nachweis des Magnetfeldes eines einzelnen stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters (Teilschaltbild)

2. Als sehr zweckmäßig erweist es sich, an Stelle des Kartons eine Scheibe aus Piacryl oder aus einem anderen durchsichtigen Plast zu nehmen. Man kann dann die Feldlinien durch Schattentwurf an die Decke projizieren. Auch durchbohrte Glasplatten sind geeignet.

92. Das magnetische Feld eines stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters – Verwendung eines Bündels in Reihe geschalteter Leiter

3 Verbindungskabel (1000 mm), Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, weitere Verbindungskabel, Stativ mit 750 mm langem Stab, Klemmenstange, Stativstab (250 mm), Stabmuffe, 3 Kreuzmuffen, starker weißer Karton (120 mm × 120 mm), dünne Schnur, Eisenfeilspäne, isolierter Leitungsdraht (\varnothing 1 mm, Länge 40 m), Spiegel.

Man kann V 91 dahin abändern, daß man nicht einen einzelnen geradlinigen Leiter verwendet, sondern den Leiter mehrfach in gleicher Richtung durch die Öffnung der Kartonscheibe hindurchführt. Hierdurch entsteht ein Bündel hintereinandergeschalteter Leiter. Diese Anordnung bietet den Vorteil, daß sie die Durchführung des Versuchs mit wesentlich geringerer Stromstärke möglich macht als bei einem einzelnen Leiter. Das Leiterbündel kann entweder aus den drei Verbindungskabeln oder aus einem langen Leitungsdraht hergestellt werden.

Versuchsanordnung 1:

An einem Stativ mit langem Stab befestigt man waagrecht übereinander in gegenseitigem Abstand von etwa 35 cm eine Klemmenstange und einen kurzen Stativstab. Drei lange Verbindungskabel werden in die Buchsen der Klemmenstange gesteckt und nahe dieser mit einer dünnen Schnur zu einem Bündel zusammengefaßt. Die gebündelten Leiter werden senkrecht über den Klemmen an den kurzen Stativstab gebunden und von dort im Bogen zu der Klemmenstange zurückgeführt. Die einzelnen Verbindungskabel werden an der Klemmenstange in Reihe geschaltet (Abb. 130/1).

Man erhält somit ein Kabelrechteck, das aus 3 Windungen besteht. Die Enden des Kabelrechtecks werden über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät angeschlossen (10 V –).

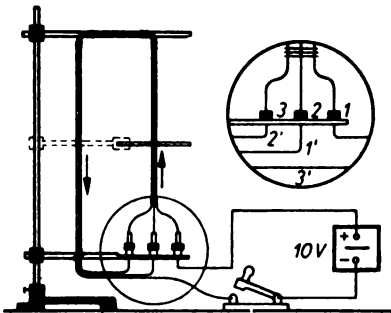


Abb. 130/1.
Aus einzelnen Verbindungskabeln zusammengesetztes Kabelrechteck, das an einem Stativ befestigt ist (Teilschaltbild)

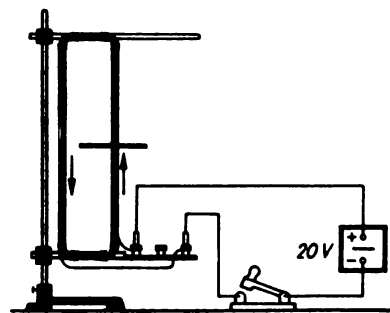


Abb. 130/2. Ein aus einem langen Leitungsdraht geformtes Drahtrechteck. Es ist an Stelle eines Leiterbündels an einem Stativ befestigt (Teilschaltbild)

Versuchsordnung 2:

Zum Herstellen des Leiterbündels kann man auch einen etwa 40 m langen isolierten Draht verwenden, der zu einem aus 50 Windungen bestehenden Leiterrechteck der Größe $12\text{ cm} \times 27\text{ cm}$ gelegt wird. Die einzelnen Windungen werden mit dünner Schnur zu einem Bündel zusammengehalten.

Dieses so entstehende Leiterrechteck wird mit vier dünnen Schnüren senkrecht an dem kurzen Stativstab und an der Klemmenstange befestigt (Abb. 130/2). Die Enden des Drahtrechtecks werden mit der Klemmenstange verbunden, die über einen Schalter an das Stromversorgungsgerät (20 V –) angeschlossen ist.

Versuch:

Ein starker weißer Karton ($120\text{ mm} \times 120\text{ mm}$) wird im Mittelpunkt durchbohrt. Der Durchmesser der Bohrung muß etwas kleiner gewählt werden als der Durchmesser des Leiterbündels. Schneidet man den Karton seitlich bis zur Bohrung ein und schiebt ihn über das Leiterbündel, so klemmt er sich an diesem fest. Der Karton wird waagrecht ausgerichtet.

Man streut aus einer Streubüchse Eisenfeilspäne gleichmäßig auf den Karton. Schaltet man den Strom kurzzeitig ein und klopft leicht gegen den Karton, so ordnen sich die Eisenfeilspäne in Richtung der magnetischen Feldlinien. Das Leiterbündel ist von konzentrischen Kreisen umgeben, die durch einen schräg darüber gehaltenen Spiegel den Schülern sichtbar gemacht werden:

Bemerkungen:

1. Sollte die Kartonscheibe nicht fest genug sitzen, so empfiehlt es sich, sie am Stativ mittels einer Stabmuffe zu befestigen.
2. Bei diesem Versuch wird im Gegensatz zu V 91 ein Stromversorgungsgerät verwendet. Die Klemmenspannung sinkt dabei infolge des gegenüber dem Außenwiderstand relativ großen Innenwiderstandes bei großer Strombelastung stark ab. Man darf den Strom unter diesen Umständen nur sehr kurzfristig einschalten, damit das Gerät nicht zu stark beansprucht wird.
3. Siehe auch Bemerkung 2 zu V 91.

93. Die Richtung der magnetischen Feldlinien eines stromdurchflossenen, geradlinigen Leiters – Bestimmung mit Hilfe einer Magnetnadel

Akkumulatorenbatterie (10 V), Magnetnadel auf Fuß, 2 Klemmenstangen, Stativ (möglichst eisenfrei) mit 2 Kreuzmuffen, Verbindungskabel, Schalter für Starkstrom, kleine Magnetnadel mit Handgriff, Amperemeter (10 A).

Zwischen zwei Klemmenstangen, die an einem Stativ befestigt sind, wird ein Verbindungskabel lotrecht ausgespannt. Falls ein Eisenstativ benutzt wird, achtet man darauf, daß es möglichst weit vom Kabel entfernt ist. Über einen Starkstromschalter und ein Amperemeter wird dieser Leiter an eine Akkumulatorenbatterie für 10 V angeschlossen (Abb. 132/1).

Nach dem Einschalten des Stromes bringt man eine kleine, auf einem Fuß ruhende Magnetnadel in die Nähe des Leiters und führt sie im Kreise um ihn herum. Man stellt fest, daß die Nadel stets tangential zum Umföhrungskreise steht. Ihr Nordende gibt die Richtung der magnetischen Feldlinien an.

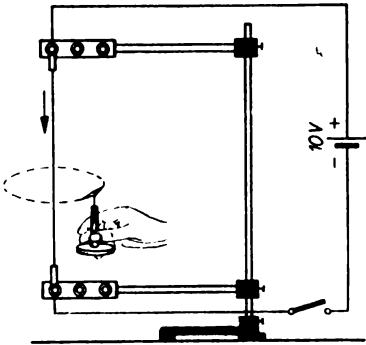


Abb. 132/1. Bestimmung der Feldlinienrichtung um einen stromdurchflossenen, geradlinigen Leiter (Teilschaltbild)

Man wiederholt den Versuch in verschiedenen Höhen und weist so nach, daß der Leiter überall von einem Magnetfeld umgeben ist. Der Zusammenhang zwischen Stromrichtung und Feldlinienrichtung wird durch die Rechte-Faust-Regel wiedergegeben. Ihre Gültigkeit wird in einem weiteren Versuch auch bei umgekehrter Stromrichtung nachgewiesen.

Bemerkung: Bezüglich der Spannungsquelle gilt für diesen Versuch das gleiche wie für V 91. Man muß wieder eine Akkumulatorenbatterie verwenden, die sich aber auch nur kurzzeitig stark überlasten läßt. Da jedoch die Durchführung des Versuchs wegen des Arbeitens mit der Magnetnadel erfahrungsgemäß längere Zeit in Anspruch nimmt, ist es zu empfehlen, eine der beiden Versuchsanordnungen des V 92 zu wählen. Man kann dann ohne Bedenken ein Stromversorgungsgerät verwenden.

94. Richtung der magnetischen Feldlinien eines vom Strom durchflossenen geradlinigen Leiters – Nachweis durch eine schwimmende Stricknadel

Stativ mit 750 mm langem Stab, 2 Kreuzmuffen, 2 Klemmenstangen, Becherglas (600 ml), Stück einer magnetisierten Stricknadel (Länge etwa 100 mm), Korken, steifer Leitungsdraht (\varnothing etwa 3 mm, Länge etwa 300 mm), Draht ring mit Zuleitungsdraht (Drahtdurchmesser etwa 3 mm, Ringdurchmesser 70 mm), Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, Verbindungskabel, Schwefelsäure.

Versuchsanordnung:

Zwei Klemmenstangen werden an einem Stativ in einem Abstand von etwa 25 cm übereinander befestigt (Abb. 132/2). An die obere Klemmenstange klemmt man einen 300 mm langen steifen Leitungsdraht, dessen unteres Ende in ein senkrecht darunter

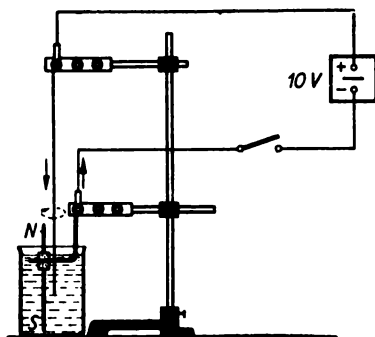


Abb. 132/2. Eine magnetisierte Stricknadel kreist um einen stromdurchflossenen Leiter (Teilschaltbild)

gestelltes Becherglas eintaucht. Das Becherglas wird mit leicht angesäuertem Wasser gefüllt. Ein Leitungsdraht mit einem Durchmesser von etwa 3 mm und einer Länge von etwa 250 mm wird zu einem Ring mit einem äußeren Durchmesser von 70 mm gebogen. Das überstehende Ende des Drahtes wird senkrecht zur Ringfläche abgewinkelt und so an der unteren Klemmenstange befestigt, daß der Ring etwa 5 mm waagrecht im angesäuerten Wasser liegt. Die für diesen Versuch erforderliche Spannung von 10 V wird über ein Stromversorgungsgerät entnommen. Es wird über einen Schalter mit den Klemmenstangen verbunden.

Eine magnetisierte Stricknadel wird entsprechend der Höhe des verwendeten Becherglases auf

eine Länge von etwa 10 bis 15 cm gekürzt und durch einen Korken gesteckt. Sie schwimmt innerhalb des Ringes in lotrechter Lage, wobei sie 1 bis 2 cm aus dem Wasser herausragt.

Versuch:

Schaltet man den Strom ein, so beginnt die Stricknadel um den lotrechten Leiter zu kreisen. Ragt der Nordpol der Stricknadel aus dem Wasser und ist der positive Pol der Stromquelle an den lotrechten Leiter und der negative Pol an den Ring geschaltet, so kreist die Stricknadel im Uhrzeigersinn. Kehrt man die Stromrichtung um, so schwimmt die Stricknadel in entgegengesetzter Richtung. Die gleiche Änderung der Bewegungsrichtung erhält man, wenn man den aus dem Wasser ragenden Magnetpol ändert. Zu diesem Zwecke kehrt man die Magnetnadel um und verschiebt den Korken bis in die Nähe des anderen Endes der Nadel.

Bemerkung: Man kann die Stromstärke vergrößern, indem man den Säuregehalt des Wassers durch Hinzufügen von Schwefelsäure bis zu 30 Prozent steigert.

95. Die Ablenkung einer Magnetnadel in einer stromdurchflossenen Leiterschleife [Ü]

Die gleichen Geräte wie bei V 90.

Aus dem schon zu V 90 verwendeten Kupferdraht wird eine längliche Leiterschleife gebogen und zwischen den beiden Fußklemmen in der Nord-Süd-Richtung befestigt. Eine Magnetnadel stellt man so auf, daß sie sich innerhalb der Leiterschleife drehen kann (Abb. 133/1). Man schließt die Leiterschleife über eine Kleinspannungsglühlampe als Schutzwiderstand und einen Schalter an eine Gleichspannungsquelle (4 V –) an. Beim Einschalten wird die Magnetnadel aus der Nord-Süd-Richtung gedreht. Bei sonst gleichen Bedingungen wie in V 90 ist die Ablenkung der Nadel jetzt wesentlich größer, da die Magnetnadel sowohl durch den oberen als auch durch den unteren Teil der Leiterschleife in der gleichen Richtung beeinflusst wird. Dies läßt sich leicht zeigen, wenn man den Versuch mit einem längeren Kupferdraht wiederholt, den man in mehreren Windungen zu einer Leiterschleife formt.

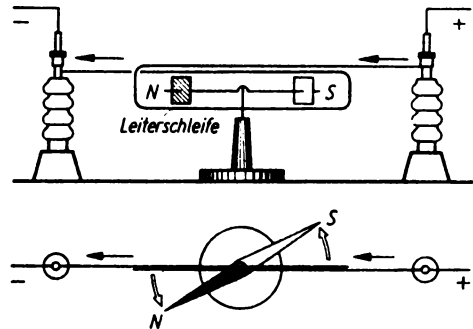


Abb. 133/1. Magnetnadel in einer Leiterschleife

96. Der Marschkompaß als behelfsmäßiges Galvanoskop [Ü]

Taschenlampenbatterie, 2 Krokodilklemmen, Kleinspannungsglühlampe (4 V) in Fassung (E 10) auf Brett, Marschkompaß, isolierter Kupferdraht (etwa 1 m), 2 Holz-sche Fußklemmen, Schalter, Verbindungskabel, Zwirn.

Man stellt den Teilring eines Marschkompasses so ein, daß die Verbindungslinie des N- und des S-Punktes genau senkrecht zur Anlegekante liegt. Um den Marschkompaß

legt man dann in mehreren Windungen senkrecht zur Anlegekante einen isolierten Kupferdraht. Man bindet die Windungen auf beiden Seiten des Marschkompasses mit Zwirn zusammen, damit sie nicht vom Kompaß abrutschen. Die Enden des Kupferdrahtes klemmt man in zwei Fußklemmen und legt den Kompaß flach auf den Tisch (Abb. 134/1). Man richtet ihn so aus, daß die Magnetnadel in der Mittellinie der Windungen liegt. Dann schließt man die Fußklemmen über eine Kleinspannungsglühlampe und einen Schalter an eine Taschenlampenbatterie an, wozu man sich zweier Krokodilklemmen bedient. Schließt man den Stromkreis, so schlägt die Magnetnadel aus.

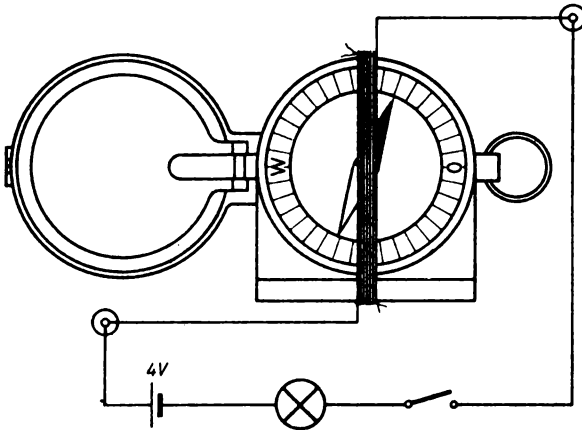


Abb. 134/1. Verwendung eines Marschkompasses zum Herstellen eines behelfsmäßigen Galvanoskops

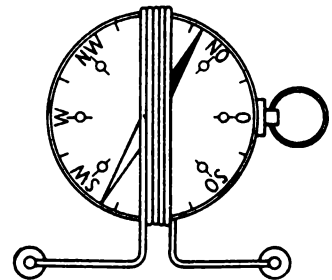


Abb. 134/2. Einfacher Wanderkompaß als behelfsmäßiges Galvanoskop

Bemerkungen:

1. Das behelfsmäßige Galvanoskop ist als einfacher Stromanzeiger für Schülerübungen gut geeignet.
2. Das Ablesen des Winkels erfolgt an der Skale des Teilrings. Die Bruchteile der Skalenteile sind dabei zu schätzen.
3. Auch aus einem einfachen Wanderkompaß läßt sich ein behelfsmäßiges Galvanoskop herstellen (Abb. 134/2).

97. Selbstanfertigen eines behelfsmäßigen Vertikalgalvanoskops [Ü]

Streichholzsachtel, dünner isolierter Kupferdraht (Länge etwa 2,5 m), Stecknadel, magnetisierte Stopfnadel, Flaschenkorken, Isolierband, Pappscheibe (100 mm × 60 mm), Klebestreifen.

Man wickelt um die Hülse einer Streichholzsachtel nahe dem Rand einen dünnen isolierten Kupferdraht in etwa 20 Windungen. Damit sich die Windungen nicht wieder lösen, legt man sie durch einige Stückchen Isolierband fest. Man steckt ein 3 cm langes Stück einer magnetisierten Stopfnadel durch ein Korkwürfelchen und treibt knapp darüber senkrecht dazu eine Stecknadel als Achse hindurch. Ein schmaler auf die Stecknadel gesteckter Papierstreifen dient als Zeiger (Abb. 135/1). Die Stecknadel

wird nun auf den Rand der umwickelten Schachtelhülse gelegt. Damit man die Größe der Zeigerausschläge vergleichen kann, klebt man an die Streichholzschachtel eine Skale aus dünnem Karton. Die so vorbereitete Schachtel stellt man zum Erreichen einer größeren Standfestigkeit auf eine kleine Pappscheibe und klebt sie an dieser mit einigen Klebepapierstreifen fest. Danach wird die Nadelachse so eingestellt, daß der Zeiger senkrecht nach oben gerichtet ist und auf Null einspielt. Man kann auch dieses behelfsmäßige Galvanoskop ebenso wie das in V 96 angegebene mit Erfolg als Stromanzeiger in Schülerübungen verwenden. Bei Gebrauch schließt man das Gerät zweckmäßigerweise an zwei Fußklemmen an.

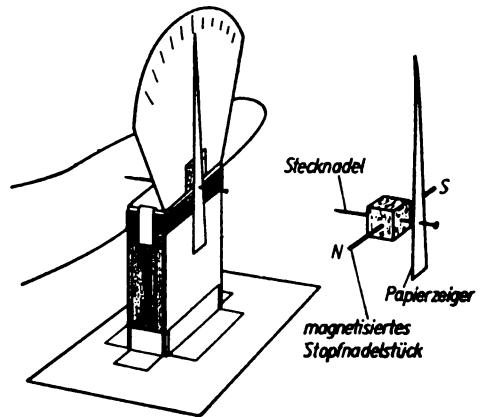


Abb. 135/1. Behelfsmäßiges Vertikalgalvanoskop

98. Veranschaulichen des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Leiterschleife

Steifer Kupferdraht (\varnothing etwa 2 mm, Länge etwa 350 mm), weiße Kartonscheibe (etwa 200 mm \times 200 mm), 2 Holzische Fußklemmen, Akkumulatorenbatterie (10 V), Verbindungskabel, Schalter für Starkstrom, eisenfreies Stativ mit Muffe und Klemme, Eisenfeilspäne, Spiegel.

Durch ein Stück weißen Kartons sticht man im Abstände von etwa 5 cm zwei Löcher und führt einen steifen Kupferdraht so hindurch, daß er eine kreisförmige offene Schleife bildet. Die Schleifenenden werden an zwei Fußklemmen angeschlossen; die Kartontafel wird von einem Stativ gehalten (Abb. 135/2). Die Leiterschleife wird über einen Starkstromschalter mit einer Akkumulatorenbatterie für 10 V verbunden. Nachdem man den Karton gleichmäßig mit Eisenfeilspänen bestreut hat, schließt man den Schalter für wenige Sekunden und klopft dabei leicht gegen den Karton. Die Eisenfeilspäne ordnen sich zu Feldlinien an. Man erkennt, daß sich diese an keiner Stelle schneiden.

Das Sichtbarmachen der Feldlinien für die ganze Klasse erfolgt wie bei V 91 durch einen Spiegel.

Doch ist hier auch das in Bem. 2 zu V 91 angegebene Verfahren zu empfehlen.

Bemerkungen:

1. Über die Spannungsquelle gilt dasselbe wie bei V 91.
2. Durch Annähern einer Magnetnadel kann man feststellen, daß sich die eine Seite der stromdurchflossenen Leiterschleife wie ein magnetischer Nordpol, die andere wie ein Südpol verhält.

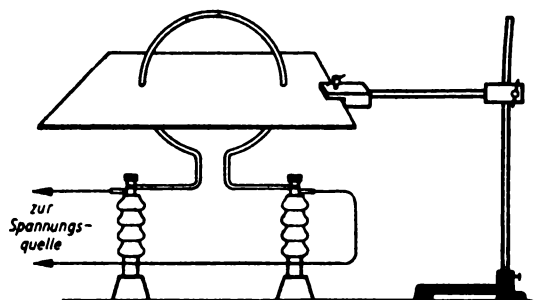


Abb. 135/2. Versuchsanordnung zur Untersuchung des Magnetfeldes einer Leiterschleife

99. Das magnetische Feld einer vom Strom durchflossenen Drahtwindung – Nachweis durch einen Kabelring

2 Klemmenstangen, Hebelschalter, 3 Verbindungskabel (500 mm), weitere Verbindungskabel, Stromversorgungsgerät, 2 Stativ mit langen Stäben, 2 kurze Stativstäbe, 4 Kreuzmuffen, starker weißer Karton (150 mm × 250 mm), dünne Schnur, Eisenfeilspäne, kleine Magnetonadel auf Fuß oder kleine Magnetonadel mit Handgriff, Spiegel.

Versuchsordnung:

Die Versuchsanordnung ist ähnlich der in V 92. Nur werden statt der 1 m langen Verbindungskabel drei 50 cm lange verwendet. Dem Stativ mit der Klemmenstange und dem kurzen Stativstab wird ein zweites ebensolches gegenübergestellt. Der Abstand zwischen dem kurzen Stab und der Klemmenstange wird auf 20 cm verringert. Die von der linken Klemmenstange ausgehenden drei Verbindungskabel werden nicht wie in V 92 zu dieser zurückgeführt, sondern an die rechte Klemmenstange angeschlossen.

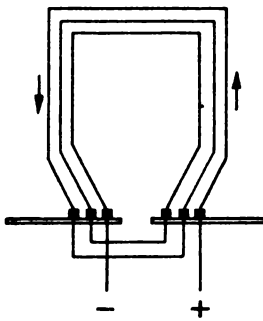


Abb. 136/1. Schaltung eines aus Verbindungskabeln gebildeten Leiterringes

Die Verbindungskabel werden mit dünner Schnur zu einem Bündel zusammengefaßt und an den kurzen Stativstäben befestigt. Mittels anderer kurzer Verbindungskabel schaltet man die einzelnen Leiter an den Klemmenstangen in Reihe. Die Schaltung ist aus der Abb. 136/1 zu ersehen. Der so entstehende Leiterring wird über einen Hebelschalter an ein Stromversorgungsgerät (10 V –) angeschlossen.

Ein starker Karton (150 mm × 250 mm) wird mit zwei Bohrungen für den Leiterring im Abstand von etwa 10 cm versehen. Er wird wie in V 92 waagrecht an den Leiterring geklemmt.

Versuch:

Nach dem Einschalten des Stromes ordnen sich die Eisenfeilspäne um beide Stränge des Leiterringes zu geschlossenen Linien, die sich nirgends schneiden. Mit Hilfe einer kleinen Magnetonadel kann man den Richtungssinn des Magnetfeldes nachweisen. Es zeigt sich, daß das Magnetfeld des aufsteigenden Stranges gegenüber dem des absteigenden einen entgegengesetzten Richtungssinn hat.

Die entstandenen Feldlinien werden wie in V 91 durch einen schräg nach vorn darüber gehaltenen Spiegel den Schülern sichtbar gemacht.

Bemerkungen:

1. Beachte Bem. 2 zu V 92.
2. Siehe auch Bem. 2 zu V 91.

100. Das magnetische Feld einer vom Strom durchflossenen Spule – Nachweis an einer Kupferdrahtwendel

Blanker Kupferdraht (\varnothing 2...3 mm, Länge 2,5 m), 2 Holtzsche Fußklemmen, Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, Verbindungskabel, weißer Karton (200 mm ×

300 mm), Eisenfeilspäne, Standzylinder ohne Randverstärkung (\varnothing 45 mm), Spiegel (etwa 300 mm \times 400 mm).

Um einen Standzylinder ohne Randverstärkung mit einem Durchmesser von 45 mm wird ein starker, etwa 2,5 m langer Kupferdraht eng aufgewickelt. Man erhält dadurch eine Wendel mit etwa 15 Windungen. Die Wendel wird so weit auseinandergezogen, daß der Abstand zwischen den einzelnen Windungen etwa 10 mm beträgt. In einen starken weißen Karton werden entsprechend dem Durchmesser der Wendel und dem gegenseitigen Abstand der Windungen zwei Reihen von Durchgangslöchern für die einzelnen Windungen so gebohrt, daß sie gegeneinander auf Lücke versetzt sind. Man führt die erste Windung der Wendel in die ersten beiden Löcher ein und schraubt dann die Wendel unter langsamem Drehen bis in die Mitte der Kartonebene. Die Enden der Wendel werden senkrecht zur Kartonebene nach unten gebogen und an zwei Fußklemmen befestigt (Abb. 137/1). Die Fußklemmen werden über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät angeschlossen (10 V—). Dann bestreut man den Karton, gleichmäßig über die ganze Fläche verteilt, leicht mit Eisenfeilspänen. Schaltet man nun den Strom kurzzeitig ein und klopft dabei leicht gegen den Karton, so ordnen sich die Späne zu Feldlinien, die das Innere der Spule der Länge nach durchsetzen und an den Enden nach außen umbiegen. Zum Sichtbarmachen der Feldlinien für die ganze Klasse dient wie in V 91 ein schräg darüber gehaltener Spiegel. Doch vergleiche auch Bemerkung 2 desselben Versuchs.

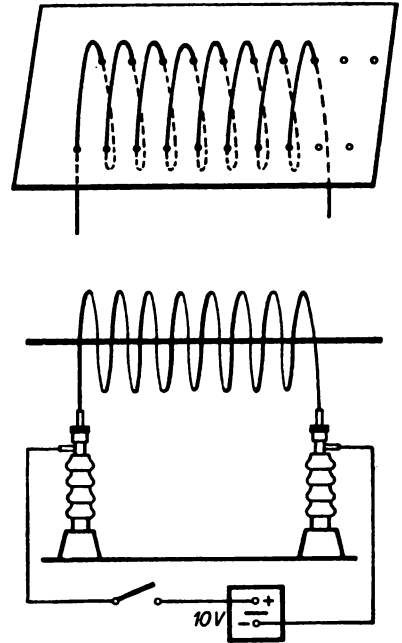


Abb. 137/1. Kupferdrahtwendel zum Nachweis des magnetischen Feldes einer vom Strom durchflossenen Spule. Darüber ein Schrägbild der Wendel (Teilschaltbild)

Bemerkung: Bem. 2 zu V 92 ist zu beachten.

101. Das magnetische Feld einer vom Strom durchflossenen Spule –

Nachweis an einer aus Verbindungskabeln zusammengesetzten Spule

7 Verbindungskabel (250 mm), 2 Klemmenstangen, 2 Holzsche Fußklemmen, Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, weitere Verbindungskabel, 2 Stative mit kurzen Stäben, 2 Kreuzmuffen, starker weißer Karton (150 mm \times 200 mm), Eisenfeilspäne, Spiegel.

Versuchsordnung:

An zwei Stativen mit kurzen Stäben werden zwei Klemmenstangen waagrecht in gleicher Höhe befestigt. Die beiden Stative werden so einander gegenübergestellt, daß die Klemmenstangen in einer Geraden liegen.

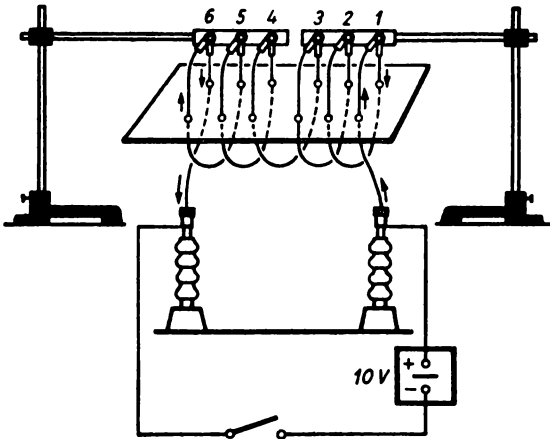


Abb. 138/1. Modell einer Spule, die aus einzelnen Verbindungskabeln zusammengesetzt ist (Teilschaltbild)

Vermittels der Buchsen der Klemmenstangen werden sieben 25 cm lange Verbindungskabel in Reihe geschaltet (Abb. 138/1). Es entsteht dadurch ein Spulenmodell, dessen Windungen man einzeln zu- oder abschalten kann. Das Spulenmodell wird mit zwei Fußklemmen verbunden, die über einen Hebelschalter an ein Stromversorgungsgerät angeschlossen sind (10 V—). Entsprechend dem gegenseitigen Abstand der einzelnen Verbindungskabel voneinander werden 12 paarweise einander zugeordnete Löcher mit einem Durchmesser von etwa 1,5 mm in einen weißen Karton gebohrt. Der Karton wird seitlich bis zu den Löchern eingeschnitten. Die Verbindungskabel können dadurch in die Löcher geschoben werden und tragen den Karton infolge der Reibung.

Der Karton wird seitlich bis zu den Löchern eingeschnitten. Die Verbindungskabel können dadurch in die Löcher geschoben werden und tragen den Karton infolge der Reibung.

Versuch 1:

Der Karton wird gleichmäßig mit Eisenfeilspänen bestreut und der Strom kurzzeitig eingeschaltet. Nach leichtem Klopfen an den Karton zeigt sich der Feldlinienverlauf des Magnetfeldes einer vom Strom durchflossenen Spule.

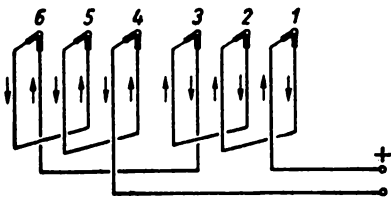


Abb. 138/2. Stromverlauf im Spulenmodell bei gegeneinandergeschalteten Spulen

Versuch 2:

Trennt man die Verbindung zwischen den Klemmen 3 und 4, so erhält man zwei Spulen zu je drei Windungen. Schaltet man Klemme 3 mit Klemme 6 zusammen und verbindet man die Stromquelle mit den Klemmen 1 und 4, so fließt der Strom in der zweiten Spule in entgegengesetzter Richtung zur ersten (Abb. 138/2). Man erhält somit zwei entgegengesetzt gerichtete magnetische Felder, wie aus dem Feldlinienverlauf zu erkennen ist.

Zum Sichtbarmachen der Feldlinien für die ganze Klasse benutzt man einen schräg zur Versuchsanordnung darübergehaltenen Spiegel. Man kann aber auch nach Bemerkung 2 von V 91 verfahren.

Bemerkung: Beachte Bem. 2 zu V 92.

102. Veranschaulichen des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule [Ü]

Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Spule (500 Wdg.), Schalter, weiße Kartontafel (etwa Format A 4), Streubüchse mit Eisenfeilspänen, Verbindungskabel, Unterlegklötze, Schachtel, Spiegel.

Versuch 1:

Eine weiße Kartontafel wird mit einem Ausschnitt, in den eine Spule von 500 Windungen hineinpaßt, über die Spule geschoben und von unten her durch Unterlegklötze waagrecht gehalten (Abb. 139/1). Durch den Hohlraum der Spule steckt man vorher ebenfalls einen Kartonstreifen, auf dem die Kartontafel aufliegt. Die Spule wird über einen Schalter an eine Gleichspannungsquelle (6 V) angeschlossen. Man streut Eisenfeilspäne gleichmäßig auf den Karton, schließt den Stromkreis für kurze Zeit und klopft dabei leicht gegen den Karton. Die Eisenfeilspäne ordnen sich in Richtung der Feldlinien. Diese werden durch einen Spiegel der Klasse sichtbar gemacht.

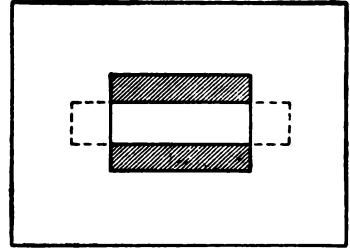


Abb. 139/1. Kartontafel zum Veranschaulichen des Magnetfeldes einer Spule

Versuch 2:

Durch eine Änderung der Versuchsanordnung läßt sich erreichen, daß die räumliche Anordnung der Feldlinien stark in Erscheinung tritt. Die zu Versuch 1 benutzte Spule wird mit der Öffnung nach unten über eine Schachtel mit Eisenfeilspänen gehalten. In dem Augenblick, in dem der Stromkreis geschlossen wird, werden die Eisenfeilspäne in die Spule hineingerissen und hängen beim Hochheben als dichtes Büschel an ihr. An der Form dieses Büschels erkennt man deutlich, daß die Feldlinien nach allen Seiten räumlich auseinanderlaufen. Beim Ausschalten des Stromes bricht das magnetische Feld zusammen; die Späne fallen ab. Man kann den Versuch auch so durchführen, daß man die Spule mit der Öffnung nach unten an ein Stativ klemmt und ihr die Schachtel mit den Eisenfeilspänen von unten her nähert.

§ 25. KRAFTWIRKUNGEN UND MAGNETISCHE FELDER ZWISCHEN ZWEI VON GLEICHSTROM DURCHFLOSSENEN LEITERN

103. Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier stromdurchflossener, geradliniger Leiter

2 Klemmenstangen, 2 Lamettafäden, Hebelschalter, Verbindungskabel, Stromversorgungsgerät, Stativ.

Versuchsanordnung:

Zwei Klemmenstangen werden übereinander im Abstand von etwa 30 cm an einem Stativ befestigt. An der oberen Klemmenstange werden zwei Lamettafäden gemeinsam an eine Klemmschraube so eingeklemmt, daß sie in einem Abstand von etwa 5 mm nebeneinander lose herabhängen. Ihre Enden werden einzeln an zwei Klemmen der unteren Klemmenstange befestigt.

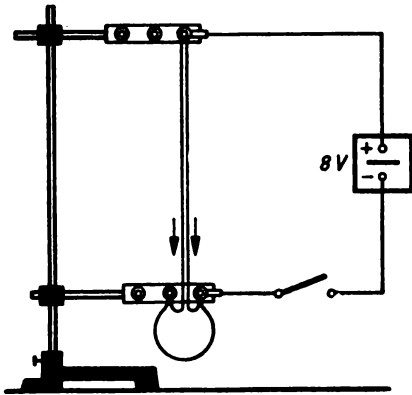


Abb. 140/1. Gegenseitige Anziehung zweier stromdurchflossener, parallelgeschalteter Lamettafäden (Teilschaltbild)

werden die Lamettafäden in Reihe geschaltet. Sie werden vom Strom in entgegengesetzter Richtung durchflossen und stoßen einander ab.

Bemerkungen:

1. Will man die Lamettafäden auf größere Entfernungen sichtbar machen, so empfiehlt es sich, den Versuch in der Schattenprojektion vorzuführen. Unter Umständen genügt es auch, eine zu den Lamettafäden in der Farbe stark kontrastierende Pappscheibe dahinter zu stellen.
2. Beachte V 92, Bemerkung 2.

104. Das magnetische Feld zweier vom Strom durchflossener geradliniger Leiter – Nachweis an zwei aus einzelnen Verbindungskabeln gebildeten Kabelrechtecken

Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, 2 Klemmenstangen, 6 Verbindungskabel (1000 mm), weitere Verbindungskabel, 2 Stative mit 750 mm langen Stäben, 2 kurze Stativstäbe (250 mm), 4 Kreuzmuffen, starker weißer Karton (120 mm × 120 mm), dünne Schnur, Eisenfeilspäne, Spiegel.

Versuchsanordnung:

Bei diesem Versuch wird die gleiche Stativanordnung verwendet wie in V 92. Statt eines Kabelrechtecks sind aber zwei erforderlich, von denen jedes wie in V 92 an einem Stativ befestigt wird (Abb. 141/1). Der gegenseitige Abstand der Kabelrechtecke beträgt 20 mm. Ein starker weißer Karton (120 mm × 120 mm) wird wie in V 92 waagrecht an die Kabelrechtecke geklemmt.

Versuch 1: Verlauf der magnetischen Feldlinien bei entgegengesetzt gerichteten Strömen.

Man verbindet nach Abb. 141/2 Klemme 3 und 4 durch ein kurzes Verbindungskabel und schließt die Enden der Kabelrechtecke über einen Hebelschalter an ein Stromversorgungsgerät an (10 V –). Nachdem man Eisenfeilspäne gleichmäßig auf den

Versuch 1:

Man schließt die mit den Lamettafäden verbundenen Klemmen der unteren Klemmenstange durch ein Verbindungskabel kurz. Verbindet man die obere und die untere Klemmenstange über einen Schalter mit dem Stromversorgungsgerät (8 V –), so sind die Lamettafäden parallelgeschaltet (Abb. 140/1). Schließt man den Stromkreis, so werden sie von diesem in gleicher Richtung durchflossen. Die Lamettafäden ziehen sich gegenseitig an und berühren sich nahezu auf ihrer ganzen Länge.

Versuch 2:

Man löst das kurze Verbindungskabel zwischen den Klemmen der unteren Klemmenstange und verbindet diese beiden Klemmen mit dem Stromversorgungsgerät. Dadurch

Karton gestreut hat, schaltet man den Strom kurzzeitig ein. Es fließt in den beiden gegenüberstehenden Seiten der Kabelrechtecke ein Strom von entgegengesetzter Richtung. Nach leichtem Klopfen an den Karton ordnen sich die Eisenfeilspäne in geschlossenen Linien um jedes der beiden Leiterbündel. Die Feldlinien verlaufen dicht gedrängt zwischen diesen.

Versuch 2: Verlauf der magnetischen Feldlinien bei gleichgerichteten Strömen.

Man löst das Verbindungskabel an den Klemmen 3 und 4 und legt an Klemme 3 das Ende des rechten Kabelrechtecks. Klemme 4 wird mit der Spannungsquelle verbunden (Abb. 141/3). Schaltet man den Strom kurzzeitig ein, so fließt er in beiden

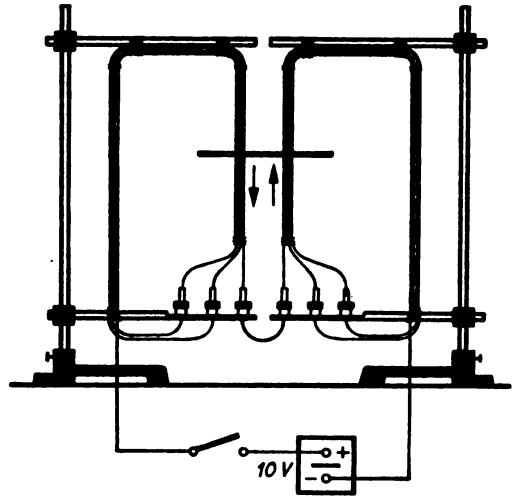


Abb. 141/1. Zwei aus langen Verbindungskabeln zusammengesetzte und an zwei Stativen befestigte Kabelrechtecke zum Veranschaulichen des magnetischen Feldes zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern (Teilschaltbild)

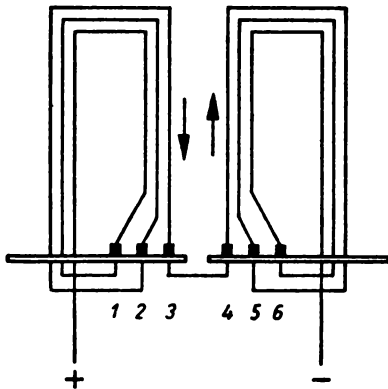


Abb. 141/2. Schaltung der beiden Kabelrechtecke bei Strömen entgegengesetzter Richtung

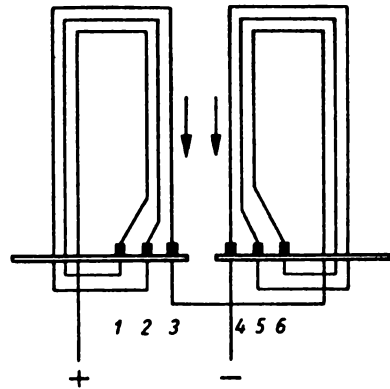


Abb. 141/3. Schaltung der beiden Kabelringe bei Strömen gleicher Richtung

Leiterbündeln in gleicher Richtung. Die Eisenfeilspäne zeigen, daß die Feldlinien die beiden Leiterbündel gemeinsam umschlingen.

Das Sichtbarmachen der Feldlinien erfolgt bei beiden Versuchen durch einen schräg darübergehaltenen Spiegel. Doch vergleiche auch Bem. 2 zu V 91.

Bemerkung: Beachte V 92, Bemerkung 2.

105. Das magnetische Feld zweier vom Strom durchflossener Leiter – Nachweis mit Hilfe von Drahtrechtecken

2 Holtzsche Fußklemmen, isolierter Leitungsdraht (\varnothing 1 mm, Länge 40 m), Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, 2 Stative mit 750 mm langen Stäben, 2 Stativstäbe (1000 mm lang), 4 Kreuzmuffen, starker weißer Karton (120 mm \times 120 mm), Verbindungskabel, dünne Schnur, Eisenfeilspäne, Spiegel.

Versuchsanordnung:

An zwei Stativen mit 750 mm langen Stäben werden zwei 1000 mm lange Stäbe im Abstand von etwa 310 mm waagrecht übereinander angeklemt. Zwei aus Leitungsdraht bestehende Rechtecke von der Größe 200 mm \times 500 mm mit je 14 Windungen werden senkrecht mit dünner Schnur an den beiden waagerechten Stäben befestigt (Abb. 142/1). Der Abstand zwischen den beiden nebeneinanderliegenden Seiten des

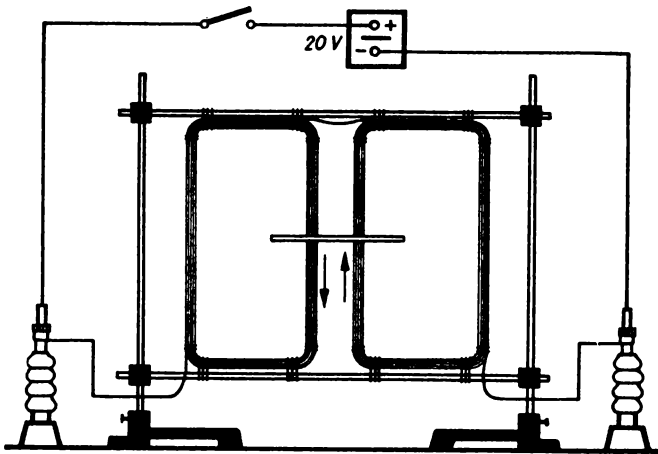


Abb. 142/1. Zwei an Stativen befestigte, zusammenhängende Drahtrechtecke zur Veranschaulichung des magnetischen Feldes zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern (Teilschaltbild)

rechten und des linken Rechtecks beträgt 40 mm. Die Enden der Rechtecke werden mit zwei Fußklemmen verbunden, die über einen Schalter an das Stromversorgungsgerät angeschlossen werden (20 V –). Ein starker weißer Karton (120 mm \times 120 mm) wird wie in V 92 waagrecht an die nebeneinanderliegenden Seiten der Drahtrechtecke geklemmt.

Versuch:

Schaltet man kurzzeitig den Strom ein, so fließt er in den nebeneinanderliegenden Seiten der beiden Drahtrechtecke in entgegengesetzter Richtung. Kehrt man den Strom in einem der Drahtrechtecke um, so fließt er in den nebeneinanderliegenden Rechteckseiten in gleicher Richtung. Die auf den Karton gestreuten Eisenfeilspäne zeigen in beiden Fällen den gleichen Feldlinienverlauf wie in V 104. Sie werden in derselben Weise wie dort sichtbar gemacht.

Bemerkung: Es gilt das gleiche wie zu V 92, Bemerkung 2.

106. Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier stromdurchflossener Leiter – Nachweis durch eine elastische Drahtwendel

2 Klemmenstangen, Holzsche Fußklemme, Hebelschalter, Stromversorgungsgerät, Standzylinder ohne Randverstärkung (\varnothing 45 mm), Rohrklemme, 3 Stativfüße, lackierter Kupferdraht (\varnothing 0,4 mm, Länge etwa 3 m), Verbindungskabel.

Versuchsordnung:

Auf einem Standzylinder ohne Randverstärkung mit einem Durchmesser von 45 mm wird dünner, lackierter Kupferdraht zu einer Wendel straff gewickelt. Diese besteht aus 20 Windungen, die eng aneinanderliegen. Gibt man die Wendel frei, so schnellte sie infolge der Elastizität des Kupfers auf die etwa sechsfache Länge auseinander. Die mittelste Windung wird zu einer Schlaufe mit einer Länge von 10 cm herausgezogen, in der Mitte der Schlaufe auf etwa 20 mm von der Lackschicht befreit und an eine Fußklemme geklemmt. Die Enden der Wendel werden an zwei senkrecht stehenden Klemmenstangen befestigt. Der Standzylinder wird waagrecht in eine Rohrklemme eingespannt. Die Klemmenstangen werden über einen Schalter mit einem Stromversorgungsgerät (12 V –) verbunden (Abb. 143/1).

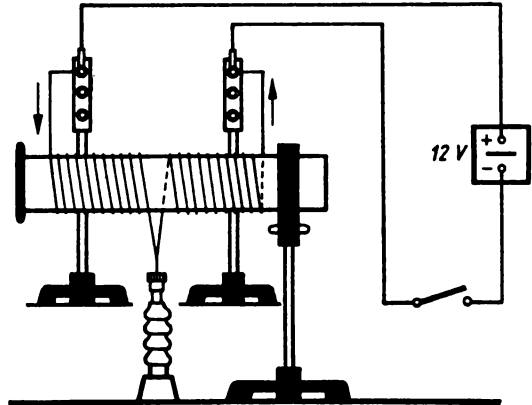


Abb. 143/1. Drahtwendel zum Nachweis der gegenseitigen Anziehung und Abstoßung zweier stromdurchflossener Leiter. Die beiden Klemmenstangen und die Holzsche Klemme stehen auf der Tiscebene. Im Bild sind sie zur besseren Übersicht in verschiedenen Höhen gezeichnet (Teilschaltbild)

Versuch 1:

Schaltet man den Strom ein, so bildet sich um jede Windung der Wendel ein magnetisches Feld gleicher Richtung. Es zeigt sich die gleiche magnetische Kraftwirkung wie in V 103, 1. Die einzelnen Windungen der Wendel ziehen sich ruckartig gegenseitig an; die Wendel verkürzt sich dabei beträchtlich. Schaltet man den Strom aus, so dehnt sich die Wendel wieder bis auf ihre ursprüngliche Länge aus.

Versuch 2:

Man löst eins der Verbindungskabel von der Klemmenstange und legt es an die Fußklemme; die Klemmenstangen verbindet man durch ein kurzes Verbindungskabel. Die Wendel ist dann als ein parallelgeschaltetes Spulenpaar aufzufassen, dessen einzelne Spulen vom Strom in entgegengesetztem Sinne umflossen werden. Schaltet man den Strom ein, so ziehen sich die Windungen der einzelnen Spulen gegenseitig an. Die beiden Spulenteile dagegen stoßen einander ab.

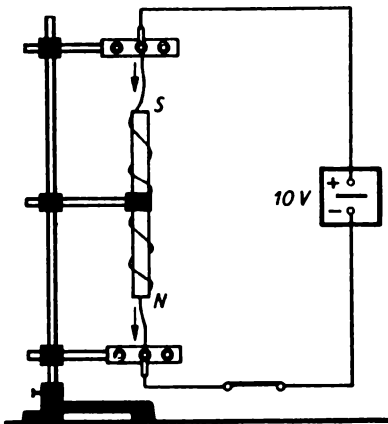
Bemerkungen:

1. Die im Versuch gezeigten magnetischen Kraftwirkungen treten bei Großtransformatoren auf, deren Sekundär- und Primärspulen aus Scheibenspulen bestehen. Bei hoher Belastung des Transformators fließen primär- und sekundärseitig starke Ströme in entgegengesetzter Richtung. Die zwischen beiden Spulen wirkenden magnetischen Kräfte haben die Größe von mehreren Megapond.
2. Vgl. MB, S. 113.

107. Aufwendeln eines stromdurchflossenen Lamettafadens um einen Magnetstab

Stabmagnet, 2 Klemmenstangen, Lamettafaden, Stativ mit langem Stab, 3 Kreuzmuffen, Stabmuffe, Stromversorgungsgerät, Hebelschalter, Verbindungskabel.

Ein Stabmagnet wird in senkrechter Lage mittels einer Stabmuffe an einem Stativ befestigt. Parallel zum Stabmagneten wird in geringer Entfernung ein Lamettafaden zwischen zwei Klemmenstangen locker aufgehängt. Die Länge des Lamettafadens wird so gewählt, daß der Faden in aufgehängtem Zustand mehrmals um den Stabmagneten gewunden werden kann. Die Klemmenstangen werden über einen Hebelschalter mit einem Stromversorgungsgerät (10 V-) verbunden. Wird der Stromkreis geschlossen, so wendelt sich der Lamettafaden mehrere Male um den Magneten (Abb. 144/1). Kehrt man die Stromrichtung um, so zeigt auch der Lamettafaden entgegengesetzten Wicklungssinn.

*Bemerkungen:*

1. Ein Vergleich mit Versuch 94 zeigt, daß die Bewegungen relativ sind. Bei fest eingespanntem Leiter kreist der Magnetpol um den Leiter. Bei fest eingespanntem Magnetpol bewegt sich der Leiter um den Magnetpol.
2. Beachte Bemerkung 2 zu V 92.

Abb. 144/1. Lamettafaden, der sich bei Stromdurchgang um einen Stabmagneten wendelt (Teilschaltbild)

§ 26. DER ELEKTROMAGNET

108. Anziehen eines länglichen Eisenkörpers durch eine stromdurchflossene Spule [Ü]

Spule (500 Wdg.), Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, langer Nagel (70 mm oder länger), Spiralbohrer, kurzer Stativstab (100 mm) oder ein anderer länglicher Eisenkörper, 2 Unterlegklötze, Verbindungskabel, Schalter.

Man stellt eine Spule mit der Öffnung nach unten so auf zwei Unterlegklötze, daß die Öffnung frei ist und ein daruntergestellter Nagel, Spiralbohrer, kurzer Stativstab oder ein anderer länglicher Eisenkörper noch etwas in die Spule hineinragt. Die Spule wird über einen Schalter an eine Gleichspannungsquelle (6 V-) angeschlossen. Schaltet man den Strom ein, so wird der Eisenkörper ruckartig empor- und in die Spule hineingezogen. Schaltet man aus, so fällt der Eisenkörper im gleichen Augenblick wieder auf den Tisch. Durch abwechselndes Schließen und Öffnen des Stromes kann man den Eisenkörper im Takt auf und nieder bewegen.

109. Hineinziehen eines Weicheisenkerns in eine stromdurchflossene Spule – Modell eines Weicheisenamperemeters [Ü]

Spule (500 Windungen), Weicheisenkern mit Haken an einem Ende, Stativ mit 500 mm langem Stab, Stabmuffe, Stativhaken am Ring, weiche Schraubenfeder mit Ösen an beiden Enden, Federwaage (100 p bzw. 1 kp), Stromversorgungsgerät, Schiebewiderstand (30 Ω), Amperemeter (5 A), Schalter, Verbindungskabel, weißer Kartonstreifen, Federklammer.

Eine Spule wird so auf den Tisch gelegt, daß die eine Öffnung nach oben zeigt. Über der Spule wird eine Schraubenfeder mit daranhängendem Weicheisenkern mittels einer Stabmuffe und eines Stativringes so an einem Stativ befestigt, daß der Eisenkern etwa 1 cm in das Spulenninnere taucht. Die Spule wird über einen Schiebewiderstand, ein Amperemeter und einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (10 V-) angeschlossen (Abb. 145/1). Bei vollständig eingeschaltetem Widerstand wird der Stromkreis geschlossen. Darauf wird der Widerstand langsam so weit verringert, bis die Stromstärke auf 4 A angewachsen ist. Dadurch wird der Eisenkern immer mehr in die Spule hineingezogen. Schwächt man den Strom wieder durch Vergrößern des Widerstandes, so zieht die Federkraft den Eisenkern allmählich in die Ausgangslage

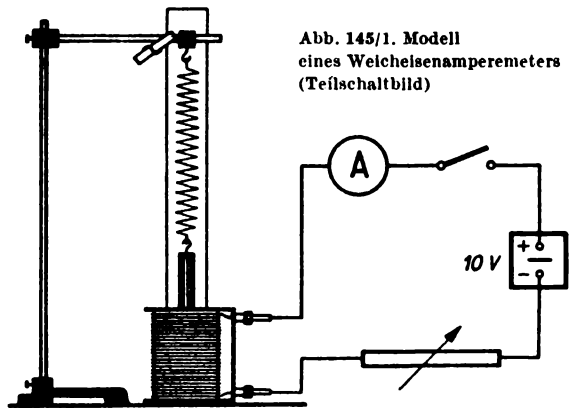


Abb. 145/1. Modell eines Weicheisenamperemeters (Teilschaltbild)

zurück. An Stelle der Schraubenfeder läßt sich auch eine Federwaage verwenden. Der zu wählende Meßbereich richtet sich nach dem Gewicht des Weicheisenkerns.

Der Versuch kann als Modellversuch zum Weicheisenamperemeter angesehen werden. Man kann die Vorrichtung mit einer behelfsmäßigen Ampereskala versehen. Man klemmt zu diesem Zweck dicht hinter die Schraubenfeder einen vertikal herabhängenden Kartonstreifen und markiert auf ihm durch Vergleich mit dem Amperemeter den Stand des Eisenkerns, indem man die Stromstärke von Null aus um je 0,5 A wachsen läßt.

110. Kraftwirkung einer stromdurchflossenen Spule auf eine Magnetnadel [Ü]

Spule (500 Wdg.), Magnetnadel auf Fuß, Unterlegklotz, I-Kern, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorzelle, Schiebewiderstand (30 Ω), Schalter, Verbindungskabel, rechteckiger Spiegel.

Auf den Tisch wird eine auf einem Fuß ruhende Magnetnadel gestellt, die sich nach einigen Schwingungen in die Nord-Süd-Richtung einstellt (Stellung 0). Dann legt man

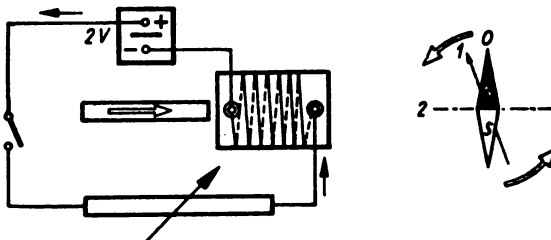


Abb. 146/1. Schaltbild zur Kraftwirkung einer stromdurchflossenen Spule auf eine Magnetnadel

in einem Abstände von etwa 20 cm von der Nadel eine Spule auf einen Unterlegklotz so hin, daß die Achse der Spule in Höhe der Magnetnadel in der Ost-West-Richtung verläuft und auf die Magnetnadel hin gerichtet ist. Die Spule wird über einen Hebel- schalter und einen Schiebewiderstand an ein Stromversorgungsgerät (2 V-) oder an eine Akkumulatorzelle angeschlossen (Abb.

146/1). Bei vollständig eingeschaltetem Widerstand wird der Stromkreis geschlossen und dann der Widerstand so eingestellt, daß die Magnetnadel einen Ausschlag von etwa 20° aus der Nord-Süd-Richtung zeigt (Stellung 1). Nunmehr wird ein I-Kern von der der Nadel abgewandten Seite her langsam in die Spule hineingeschoben. Sofort tritt eine erhebliche Vergrößerung des Nadelausschlages ein; die Magnetnadel stellt sich schließlich in die Ost-West-Richtung ein (Stellung 2). Durch einen schräg über die Magnetnadel gehaltenen Spiegel kann man der Klasse die Erscheinung besser sichtbar machen.

111. Elektromagnet

2 Spulen (500 Wdg.), zylindrischer Kern, I-Kern, U-Kern, 2 Laschen für I- und U-Kern, Spannfeder, Stativ mit 500 mm langem Stab, Stabmuffe, 2 Parallelmuffen, 1-Kilopond-Stück, 5-Kilopond-Stück, Schnur, Stromversorgungsgerät, Schalter, Verbindungskabel.

Versuch I:

Eine Spule mit 500 Windungen wird mit vertikal gerichteter Achse an ein Stativ geklemmt und über einen Schalter mit einem Stromversorgungsgerät (2 V-) verbunden. Schließt man den Stromkreis, so umgibt sich die Spule mit einem magnetischen

Feld. Doch ist die Tragkraft so gering, daß ein eiserner Schlüssel kaum an ihr haften bleibt. Führt man dagegen einen zylindrischen Eisenkern in die Spule ein und klemmt ihn von oben mittels einer Stabmuffe und einer Parallelmuffe ebenfalls am Stativ fest, so vermag jetzt die Spule beim Anlegen der gleichen Spannung ein 1-kp-Stück zu tragen (Abb. 147/1). Man kann die Spannung bis zu 6 V — steigern, was eine erhebliche Zunahme der Tragkraft bewirkt.

Versuch 2:

Man hängt einen U-Kern mit Hilfe einer dafür bestimmten Lasche an eine an ein Stativ geklemmte Stabmuffe, so daß die beiden Schenkel nach unten gerichtet sind. Auf die Schenkel schiebt man von unten her zwei Spulen mit je 500 Windungen und sichert sie durch Anlegen einer zum Aufbaugerätesatz gehörenden Spannfeder gegen das Herabfallen. Man legt beide Spulen in Reihe über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (6 V —), wobei man den Wicklungssinn zu beachten hat. Schließt man den Stromkreis, so wird ein waagrecht unter den U-Kern gehaltener I-Kern vom U-Kern kräftig angezogen. Streift man über den I-Kern eine Lasche, so wird ein an diesen Stab gebundenes 5-kp-Stück ebenfalls vom Elektromagneten getragen (Abb. 147/2). Man kann die Spannung bis zu 12 V — steigern.

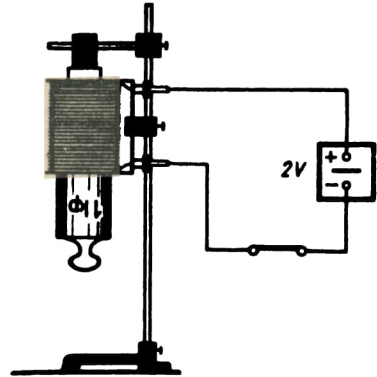


Abb. 147/1.
Stabförmiger Elektromagnet (Teilschaltbild)

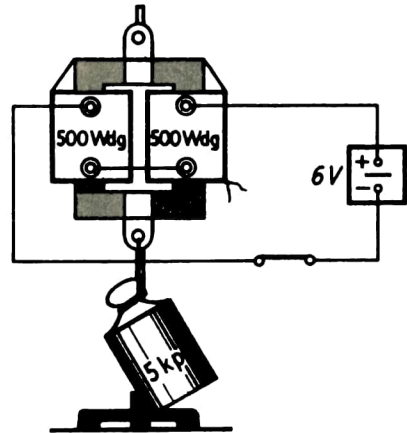


Abb. 147/2.
U-förmiger Elektromagnet (Teilschaltbild)

112. Das magnetische Feld eines U-förmigen Elektromagneten mit Anker [Ü]

Spule (1500 Wdg.), U-Kern, I-Kern, Stromversorgungsgerät, Schalter, Verbindungskabel, Bogen Kartonpapier, Eisenfeilspäne, Unterlegklötze, Spiegel (330 mm × 480 mm).

Versuchsordnung:

Eine Spule mit 1500 Windungen wird auf den einen Schenkel eines U-Kernes gesteckt. Sie wird zwischen zwei Unterlegklötzen, die zur Unterstützung des U-Kernes dienen, so auf dem Tisch gelagert, daß ihre Achse waagrecht liegt. Vor den U-Kern wird auf den einen Unterlegklotz noch ein I-Kern als Anker gelegt und die beiden Kerne mit einem Bogen Kartonpapier bedeckt, der mit einem Ausschnitt über die

Spule paßt. Die Spule wird sodann über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (14 V –) angeschlossen (Abb. 148/1). Vor der Durchführung des Versuchs wird der I-Kern zunächst noch einmal fortgenommen.

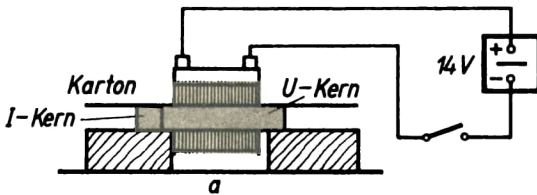
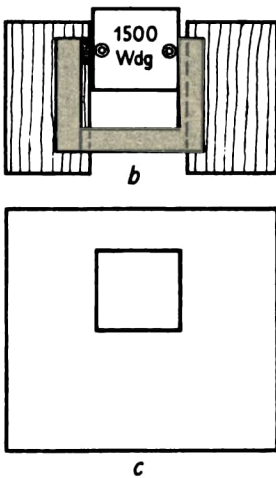


Abb. 148/1. Erzeugung des magnetischen Feldes eines U-förmigen Elektromagneten (Teilschaltbild)

- a) Seitenansicht der Versuchsanordnung
 b) Draufsicht ohne Kartonblatt
 c) Kartonblatt mit Ausschnitt für die Spule

Versuche:



1. Der Karton wird gleichmäßig mit Eisenfeilspänen bestreut. Schaltet man den Strom ein und klopft leicht gegen den Karton, so ordnen sich die Eisenfeilspäne zu Feldlinien. Sie zeigen ein starkes Streufeld.
2. Man legt den I-Kern im Abstände von 3 cm parallel zu den Endflächen des U-Kernes und schließt den Stromkreis wieder. Die Streuung der Feldlinien ist geringer geworden. Die von den Endflächen des U-Kernes ausgehenden Feldlinien verlaufen jetzt alle auf den I-Kern zu. Die Feldlinien werden von diesem gesammelt.
3. Der I-Kern wird fest gegen den U-Kern gedrückt und der Strom von neuem eingeschaltet. Ein Streufeld ist nicht mehr festzustellen. Durch einen schräg über die Versuchsanordnung gehaltenen Spiegel kann man die Feldlinien der ganzen Klasse sichtbar machen.

113. Der Topfmagnet

4-V-Topfmagnet, kreisförmige Ankerplatte, Stromversorgungsgerät oder 2 Akkumulatorzellen, Hebelschalter, Verbindungskabel, von denen 2 je 2 m lang sind, 2 Stative, 2 Kreuzmuffen, außerdem 250 mm lange Stativstange, 20-Kilopond-Stück, Unterlegklötze, Bogen Kartonpapier, Eisenfeilspäne.

Ein kleiner, etwa faustgroßer Topfmagnet wird an eine zwischen zwei Stativen geklemmte kurze Stativstange gehängt und durch zwei lange Verbindungskabel über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (4 V –) oder an eine kleine Akkumulatorbatterie angeschlossen. Die gegen den Magneten gedrückte Ankerplatte hängt infolge des remanenten Magnetismus am Magneten, fällt aber schon bei ganz geringer Belastung ab. Schaltet man dagegen den Strom ein, so wird die Ankerplatte von dem Magneten angezogen und vermag einen Körper mit einem Gewicht von 20 kp oder mehr zu tragen.

Zur Ergänzung des Versuchs legt man den Topfmagneten mit vorgelegter Ankerplatte zwischen zwei Unterlegklötze, deren Höhe gleich dem Radius des Magneten ist, mit waagrecht liegender Achse auf den Tisch. Man legt einen Bogen Kartonpapier mit einem Ausschnitt für den Topfmagneten auf die Unterlegklötze. Dann bestreut man den Bogen gleichmäßig mit Eisenfeilspänen, schließt den Stromkreis und klopft leicht gegen den Karton. Ein magnetisches Streufeld ist nicht nachzuweisen; die Feldlinien verlaufen ihrer ganzen Länge nach im Eisen.

114. Nachweis des remanenten Magnetismus [Ü]

Spule (500 Wdg.), zylindrischer Kern, Stativ mit 500 mm langem Stab, Stabmuffe, 2 Parallelmuffen, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorzelle, Schalter, Verbindungskabel, Weicheisenstück (20...50 p).

An ein Stativ wird ähnlich wie in V 111,1 (vgl. Abb. 147/1) eine Spule mit 500 Windungen geklemmt, die einen von oben her hineinragenden, an einer Stabmuffe befestigten Zylinderkern umfaßt. Man muß sich vorher davon überzeugen, daß der Zylinderkern unmagnetisch ist. Die Spule wird über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (2 V-) oder an eine Akkumulatorzelle angeschlossen. Der Strom wird eingeschaltet und ein Weicheisenstück mit einem Gewicht von 20 bis 50 p an den Elektromagneten gehängt. Wird der Strom unterbrochen, so bleibt es am Zylinderkern hängen und fällt erst bei einer Erschütterung des Magneten ab. Der remanente Magnetismus des Kernes ist damit erwiesen.

§ 27. TECHNISCHE ANWENDUNGEN DES ELEKTROMAGNETEN

115. Wagnerscher Hammer – Elektrische Klingel [Ü]

Spule (500 Wdg.), Blattfeder mit Schaft und Steckbuchse, Zylinderkern, Klemmenstange, Kontaktschraubenträger mit Kontaktschraube, Klöppel, Glocke mit Stiel, 2 Zylinderfüße, Hebelschalter, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Stativ, 2 Kreuzmuffen, Unterlegscheiben.

Versuch 1:

Zum Aufbau eines Wagnerschen Hammers verwendet man eine Spule mit 500 Windungen. Sie wird über einen Zylinderkern geschoben, der senkrecht unmittelbar auf dem Tisch oder auf einem Zylinderfuß steht. Im Abstand von wenigen Millimetern über dem Eisenkern klemmt man

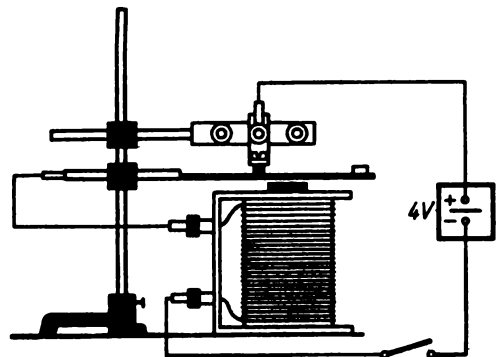


Abb. 149/1.
Wagnerscher Hammer (Teilschaltbild). Der Zylinderfuß ist der Einfachheit halber fortgelassen

eine Blattfeder mit Schaft und Steckdose an ein Stativ. Darüber wird an einer Klemmenstange ein Kontaktschraubenträger mit Kontaktschraube am gleichen Stativ befestigt (Abb. 149/1).

Man stellt die Kontaktschraube so ein, daß sie die Blattfeder nur leicht berührt. Spule, Blattfeder und Kontaktschraube werden in Reihe geschaltet und über einen Hebelschalter an ein Stromversorgungsgerät (4 V-) oder an eine Akkumulatorenbatterie gelegt. Schließt man den Strom, so wird dadurch die Feder zum Schwingen gebracht und gibt ein schnarrendes Geräusch.

Versuch 2:

Die Versuchsanordnung des Versuches 1 wird durch einen Klöppel und eine Glocke mit Stiel ergänzt.

Man steckt den Klöppel in die Buchse der Blattfeder und stellt die Glocke mit Stiel auf einen Zylinderfuß so neben den Klöppel, daß dieser die Glocke leicht berührt. Unter Umständen muß man die Blattfeder und die Kontaktschraube etwas nachstellen. Beim Einschalten des Stromes ertönt ein schriller Klingelton.

116. Modell eines Morseapparates [Ü]

Stativ mit 250 mm langem Stab, 2 Kreuzmuffen, kurzer Stativstab, Blattfeder mit Schaft und Steckbuchse, Schreibspitze, Spule (500 Wdg.), I-Kern, Morsetaste, 2 kurze Gummischlauchstücke, kurzes Stück Schnur, Papierstreifen (Breite etwa 10 mm), Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Verbindungskabel.

Eine Spule mit 500 Windungen wird über einen I-Kern geschoben und senkrecht auf den Tisch gestellt. Über der Spule wird waagrecht an einem Stativ eine Blattfeder befestigt, in deren Buchse ein nach unten gerichteter Schreibstift steckt. Man verschiebt die Spule so, daß die Schreibspitze beim Anziehen der Blattfeder auf die obere Stirnfläche der Spule drückt (Abb. 150/1).

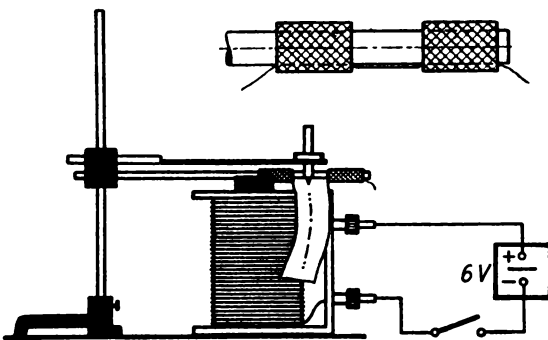


Abb. 150/1. Modell eines Morseapparates (Tellschaltbild).
Im Nebenbild der Streifenhalter, stark vergrößert

Der Morsestreifen wird aus Schreibpapier geschnitten. Die Breite des Streifens soll etwa 10 mm betragen. Damit man eine größere Länge des Streifens erhält, klebt man mehrere Streifen aneinander. Auch ein Stück einer käuflichen Papierschlange ist gut geeignet. Als Streifenhalter klemmt man unterhalb und seitlich der Blattfeder einen kurzen Stab an das Stativ. Über das freie Ende des Stabes schiebt man zwei 10 mm breite Gummischlauchstücke im Abstand von 1 cm voneinander und klemmt zwischen diese und

den Stativstab ein Stück dünne Schnur. Zwischen der Schnur und dem Stab steckt man den Papierstreifen hindurch und führt ihn unter der Schreibspitze entlang.

Die Spule wird in Reihe mit einer Morsetaste an ein Stromversorgungsgerät (6 V—) oder an eine Akkumulatorenbatterie gelegt. Zieht man den Papierstreifen langsam unter der Schreibspitze hinweg und drückt man die Morsetaste im Rhythmus der Morsezeichen, so entstehen auf dem Papierstreifen die Zeichen der Morseschrift.

117. Modell einer Fallklappe [Ü]

Spule (500 Wdg.), I-Kern, Blechstreifen (70 mm × 10 mm), Kartonstreifen (100 mm × 40 mm), Drucktaste, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Verbindungskabel.

Eine Spule mit 500 Windungen und eingeschobenem I-Kern wird senkrecht auf den Tisch gestellt. Aus Konservendosenblech schneidet man einen etwa 10 mm breiten und etwa 70 mm langen Streifen. Das eine Ende biegt man nicht ganz rechtwinklig um und schiebt es zwischen die Spule und den Eisenkern, so daß der umgebogene Streifen über dem Eisenkern liegt. Das andere Ende wird rechtwinklig nach oben gebogen und spitz zugeschnitten. Vor die Spule stellt man einen Kartonstreifen und schneidet aus ihm in der Höhe des Metallstreifens ein kleines Fenster aus. Das untere Ende des Kartonstreifens wird mit dünnem Papier wie mit einem Scharnier an die untere Stirnfläche der Spule geklebt, so daß der Kartonstreifen immer wieder nach vorn fällt, wenn man ihn emporrichtet und wieder losläßt. Die Spitze des Blechstreifens muß gerade durch das Fenster des nach oben gerichteten Kartonstreifens hindurchragen und hinter der oberen Kante des Ausschnittes leicht einrasten (Abb. 151/1). Die Spule verbindet man über eine Drucktaste mit einer Spannungsquelle (4 V—). Schließt man den Stromkreis, so wird der Blechstreifen angezogen und gibt den Kartonstreifen frei, der infolgedessen nach vorn umfällt.

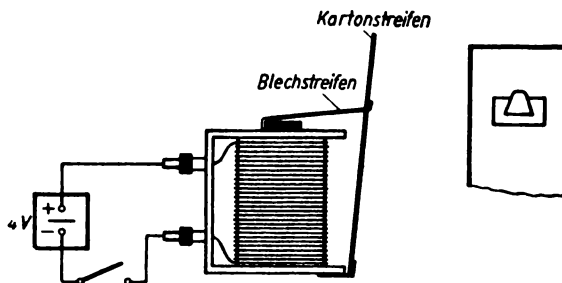


Abb. 151/1. Teilschaltbild des Modells einer Fallklappe.
Im Nebenbild die Seitenansicht des Fensters im Kartonstreifen

Zwischen den Kartonstreifen und die Spule kann man noch einen zweiten Kartonstreifen stellen, auf den eine Ziffer gemalt ist. Beim Herunterklappen des beweglichen Kartonstreifens wird die Ziffer sichtbar.

118. Modell eines Mikrophons [Ü]

Holzrahmen (150 mm × 150 mm), Zeichenkarton, 3 Kohlestäbe einer Taschenlampenbatterie, dünne Schnur, dünner Kupferdraht, 2 Klemmschrauben, Kopfhörer, Akkumulatorzelle oder Taschenlampenbatterie, Stativfuß, Stabmuffe, Stimmgabel, Verbindungskabel, 2 kleine Nägel, Alleskleber.

Ein Holzrahmen (150 mm × 150 mm) wird mit starkem Zeichenkarton bespannt und dadurch das Modell einer Mikrophonmembran hergerichtet. Zwei kurze Kohlestäbe einer Taschenlampenbatterie werden etwa bis auf die Hälfte ihres Durchmessers

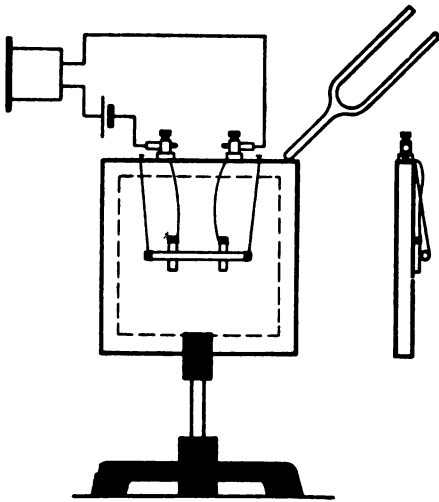


Abb. 152/1. Teilschaltbild des Modells eines Mikrophons

abgefeilt. Vorher glüht man die Kohlestäbchen über einem Bunsenbrenner zweckmäßigerweise aus. An je einem Ende der Stäbchen wird ein dünner Draht durch Verdrillen befestigt. Die Kohlestäbchen werden mit Alleskleber im Abstand von etwa 20 mm in der Mitte der Membran parallel zueinander in vertikaler Lage aufgeklebt und die Drähte in loser Drahtführung in zwei Klemmschrauben festgeklemmt, die in den Holzrahmen geschraubt sind. Das dritte Stäbchen wird in der Art einer Schaukel mit zwei dünnen Schnüren an dem Holzrahmen so befestigt, daß es in der Mitte der Membran die beiden aufgeklebten Stäbchen leicht berührt. Der Holzrahmen wird in ein Stativ geklemmt (Abb. 152/1). Zum Veranschaulichen der Wirkungsweise des Mikrophons schließt man es in Reihe mit einem Kopfhörer an eine Akkumulatorzelle oder eine Taschenlampenbatterie an. Hält man eine schwingende Stimmgabel an den Holzrahmen, so hört man den Ton im Kopfhörer.

119. Modell eines Relais

Die gleichen Geräte wie in V 115, außerdem eine 220-V-Glühlampe, Netzanschluß.

Zum Aufbau des Relais wird die gleiche Anordnung der Einzelteile wie zum Wagnerschen Hammer in V 115 verwendet. Die Spule stellt man dabei zweckmäßigerweise auf einen Zylinderfuß. Beide Versuchsanordnungen unterscheiden sich wesentlich durch ihre Schaltung.

Die Spule wird über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (6 V --) oder an eine Akkumulatorenbatterie gelegt. Die Blattfeder und die Klemmenstange werden in Reihe mit einer Glühlampe für 220 V an eine Netzsteckdose angeschlossen. Außerdem verschiebt man die Spule zum äußeren Ende der Blattfeder hin. Die Kontaktschraube wird von unten her in den Kontaktschraubenträger eingeschraubt und die Klemmenstange so angeordnet, daß die Kontaktschraube beim Senken der Blattfeder Kontakt gibt (Abb. 152/2). Schließt man den Stromkreis der Spule, so wird die Blattfeder angezogen und schließt dabei über die Kontaktschraube den Lampenstromkreis.

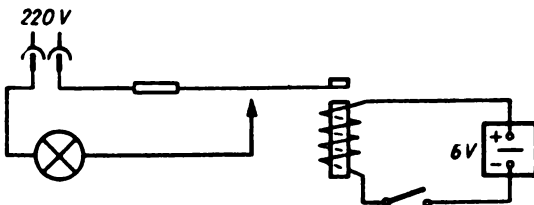


Abb. 152/2. Schaltbild zum Relaismodell

Bemerkungen:

1. Bei diesem Versuch ist es zweckmäßig, für den Lampenstromkreis eine Spannung von 220 V zu verwenden. Dadurch wird besonders erkennbar, daß
 1. zwei verschiedene Stromkreise wirksam sind und
 2. mit Hilfe des Relais die elektrische Unfallgefahr wesentlich gemindert wird.
2. Dadurch, daß man den Schalter des Spulenkreises weit entfernt von der Spule, wenn möglich ins Nachbarzimmer legt, kann man die Bedeutung eines Relais für die Fernsteuerung elektrischer Vorgänge demonstrieren.
3. Da die Netzspannung offen an nicht isolierten Geräteteilen, dem Kontaktschraubenträger, der Kontaktschraube und der Blattfeder, liegt, ist beim Experimentieren Vorsicht geboten. Die Schüler sind von der Versuchsanordnung fernzuhalten, solange sie unter Spannung steht.

120. Modell eines Drehspulgerätes [Ü]

Spule (500 Wdg.), 2 Stabmagnete, Stativfuß, 2 lange Stativstäbe, Parallelmuffe, Kreuzmuffe, Klemmenstange, 2 Unterlegklötze, Hebelschalter, Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, dünne Schnur, Verbindungskabel, isolierter Kupferdraht (\varnothing 0,3 mm, Länge 3 m), Papierzeiger.

Eine Spule mit 500 Windungen wird mit Hilfe zweier dünner Schnüre an einem Stativ bifilar aufgehängt. Das Stativ wird zu diesem Zweck durch Aufsetzen eines zweiten langen Stabes verlängert. Als Aufhängestab verwendet man eine Klemmenstange. Die elektrische Verbindung zwischen der Spule und der Klemmenstange wird mit Hilfe von zwei etwa 0,3 mm starken Kupferdrähten hergestellt. Dabei ist darauf zu achten, daß der Draht die Drehbewegung der Spule nicht hindert. In gleicher Höhe mit der Spulenöffnung werden beiderseits zwei Stabmagnete auf Unterlegklötze so gelegt, daß einem Nordpol des einen ein Südpol des anderen Stabes gegenübersteht (Abb. 153/1). Legt man eine Gleichspannung von etwa 4 V bis 6 V an die Klemmenstange, so dreht sich die Spule entsprechend der Stromrichtung aus ihrer Ruhelage. Zum besseren Erkennen der Bewegung und der Größe des Ausschlages bringt man an der Spule einen Papierzeiger an.

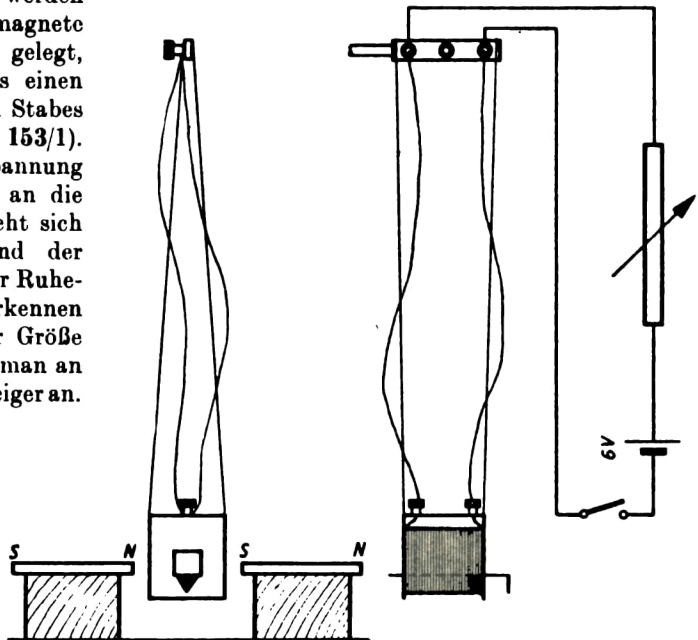


Abb. 153/1.
Teilschaltbild des Modells
eines Drehspulgerätes

121. Abstoßung zweier Eisenstäbe in einer stromdurchflossenen Spule [Ü]

Spule (500 Wdg.), 2 Eisenstäbe (\varnothing 5 mm, Länge 100 mm) oder zwei stählerne Stricknadeln, Stromversorgungsgerät, Verbindungskabel, Schalter, Unterlegklotz (10 mm hoch).

In eine Spule mit 500 Windungen werden zwei etwa 100 mm lange Eisenstäbe mit einem Durchmesser von etwa 5 mm oder zwei 150 mm lange stählerne Stricknadelstücke gelegt. Durch Unterlegen eines etwa 10 mm starken Unterlegklotzes unter die eine Längsseite der Spule wird diese etwas gekantet. Legt man an die Spule eine Spannung von 6 V—, so stoßen sich die Stäbe gegenseitig ab. An dieser Tatsache ändert sich nichts, wenn man die Gleichspannung durch eine Wechselspannung von gleicher Höhe ersetzt.

122. Vorversuch zum Dreheisengerät [Ü]

Dieselben Geräte wie in V 121.

Außerdem: Unterlegklotz (100 mm hoch), Eisenblechstreifen (60 mm \times 20 mm), Kupferdraht (\varnothing 0,5 mm, Länge 100 mm), Schiebewiderstand (30 Ω), Kartonstreifen (50 mm \times 30 mm).

Man legt eine Spule mit 500 Windungen mit der Öffnung nach vorn auf einen Unterlegklotz, so daß sie mit der vorderen Fläche des Klotzes bündig abschließt. In der rechts oben befindlichen inneren Hohlkante bindet man einen der Eisenstäbe oder einen starken Nagel (1) fest. In das Innere der Spule führt man einen 30 mm breiten Kartonstreifen (2) ein, den man vorher an beiden Seiten 5 mm breit umbiegt und in der Mitte der emporstehenden Teile mit zwei flachen Einkerbungen versieht. Diese sollen zur Aufnahme eines schmalen Blechstreifens dienen, an dessen eine Schmalseite man ein Stück Kupferdraht als einen nach unten gerichteten Zeiger gelötet hat. Dieser dient außerdem dazu, die stabile Lage des Blechstreifens zu gewährleisten. In die Kerben

des Kartonstreifens setzt man den Blechstreifen (3) ein, so daß er in aufrechter stabiler Lage stehen bleibt (Abb. 154/1). Die Spule verbindet man über einen Schalter und einen Schiebewiderstand mit einem Stromversorgungsgerät (6 V—). Schließt man den Stromkreis und vermindert den Widerstand allmählich, so treten zwischen dem Eisenstab und dem Blechstreifen abstoßende magnetische Kräfte auf. Der Blechstreifen neigt sich zur Seite.

Man erreicht dieselbe Wirkung, wenn man die Gleichspannung durch eine Wechselspannung von gleicher Höhe ersetzt.

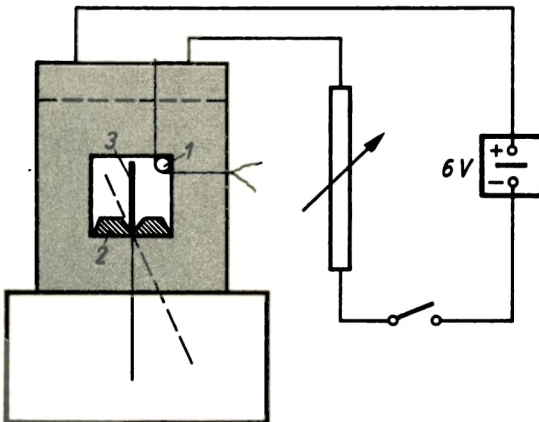


Abb. 154/1. Vorversuch zum Dreheisengerät (Teilschaltbild)

123. Modell eines Dreheisengerätes [Ü]

Spule (500 Wdg.), 2 Eisenblechstreifen (50 mm × 95 mm und 70 mm × 15 mm), Kupferdraht (Ø 0,5 mm, Länge 100 mm), Dreheiseneinsatz eines Aufbaugerätesatzes, Unterlegklotz, weißer Karton (100 mm × 100 mm), Stromversorgungsgerät oder Akkumulatorenbatterie, Amperemeter, Schiebewiderstand (30 Ω), Schalter, Verbindungskabel, Alleskleber.

Herstellung eines Dreheiseneinsatzes:

Für das Modell eines Dreheisengerätes steht ein Dreheiseneinsatz eines Aufbaugerätes zur Verfügung. Doch seien denjenigen Physiklehrern, die einen solchen Dreheiseneinsatz selbst herstellen wollen, Anregungen für die Anfertigung gegeben.

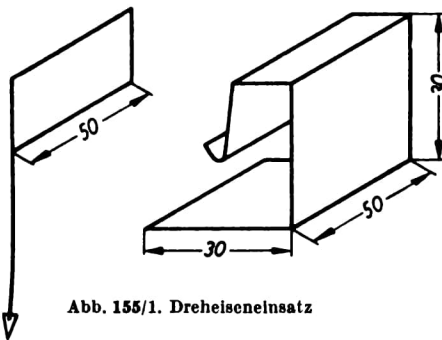
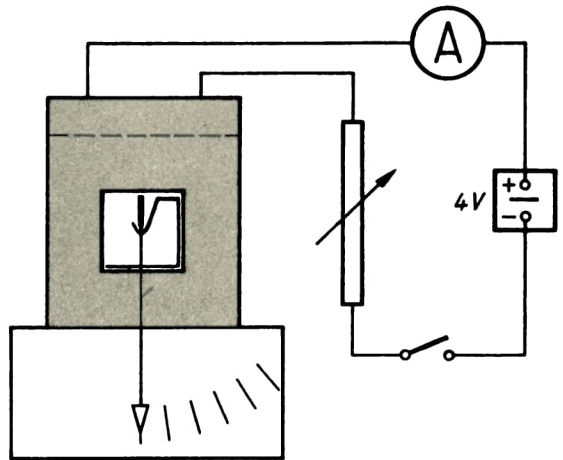


Abb. 155/1. Dreheiseneinsatz

Abb. 155/2. Teilschaltbild des Modells eines Dreheisengerätes



Aus dem Blech einer Konservendose schneidet man einen etwa 50 mm breiten und 95 mm langen Streifen und biegt ihn entsprechend Abb. 155/1. Das untere Ende des kurzen Teiles wird zu einer flachen Rinne geformt. Diese dient zur Aufnahme eines 15 mm hohen und 70 mm langen Blechstreifens. An die eine Schmalseite des Streifens wird ein Stück Kupferdraht gelötet, das die stabile aufrechte Lage des Streifens in der Rinne sichern soll und zugleich als Zeiger dient. An das untere Drahtende wird noch mit Alleskleber eine Papierspitze angeklebt.

Versuchsordnung:

Man legt eine Spule mit 500 Windungen mit der einen Öffnung nach vorn auf einen genügend hohen Unterlegklotz, so daß die vordere Spulenfläche bündig mit der vorderen Klotzfläche abschneidet, und schiebt den gebogenen Blechstreifen in das Innere ein. Danach führt man den schmalen Blechstreifen ein und setzt ihn auf die Rinne. Man läßt ihn etwas nach vorn herausragen, so daß der Zeiger vor der Spule frei schwingen kann (Abb. 155/2). Man schiebt unter die Spule einen um die Kante des Unterlegklotzes senkrecht nach unten gebogenen weißen Kartonbogen, damit der Zeiger gut sichtbar ist. Statt des selbstgefertigten läßt sich auch der Dreheiseneinsatz des Aufbaugerätesatzes verwenden. Das Anbringen eines Kartonbogens erübrigt sich dann.

Versuch:

Man schließt die Spule über einen Schiebewiderstand, den man zunächst noch voll einschaltet, und einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (4 V—) an. Schließt man den Stromkreis und schaltet den Schiebewiderstand allmählich aus, so stoßen sich der feste und der bewegliche Blechstreifen in immer stärkerem Maße ab. Es entsteht ein Zeigerausschlag. Legt man in die Leitung noch ein Amperemeter, so kann man das Dreheisenmodell durch Vergleich mit dem Amperemeter mit einer behelfsmäßigen Ampereskale versehen. An dem Vorgang ändert sich nichts, wenn man das Modell statt an eine Gleichspannung an eine Wechselspannung legt. Es spricht auf Wechselstrom wie auf Gleichstrom in gleicher Weise an.

Bemerkung: Es empfiehlt sich, beim Verwenden des selbstgefertigten Dreheiseneinsatzes den Strom nicht unvermittelt mit seiner vollen Stärke einzuschalten, sondern ihn allmählich anwachsen zu lassen, da sonst der schmale Blechstreifen durch die plötzlich einsetzende Kraftwirkung aus der Rinne gestoßen werden kann.

§ 28. DER GLEICHSTROMMOTOR

124. Bewegungsantrieb eines stromdurchflossenen Leiters in einem magnetischen Feld

Hufeisenmagnet, Klemmenstange, Leiterbügel mit schaukelförmigen Leitern, Stativ mit 750 mm langem Stab, Kreuzmuffe, Stromversorgungsgerät, Verbindungskabel, Schalter. — U-Kern, 2 Spulen (500 Wdg.), Verbindungskabel (1000 mm), 2 Fußklemmen, 3 stählerne Stricknadeln.

Versuch 1:

An einem Stativ wird eine Klemmenstange befestigt und unter die beiden seitlichen Klemmen ein Leiterbügel so geklemmt, daß seine beiden Leiterbänder vertikal nach unten hängen und das starre Querstück wie eine Schaukel tragen. Darunter wird ein starker Hufeisenmagnet so auf den Tisch gelegt, daß seine beiden Schenkel parallel übereinander liegen und die Leiterschaukel dicht vor seiner Öffnung hängt. Die Schaukel darf durch den Magneten nicht behindert werden und muß frei in den Innenraum zwischen den Magnetschenkeln hinein- und aus ihm herauschwingen können. Die beiden oberen Enden der Leiterschaukel werden über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (8 V—) angeschlossen (Abb. 156/1).

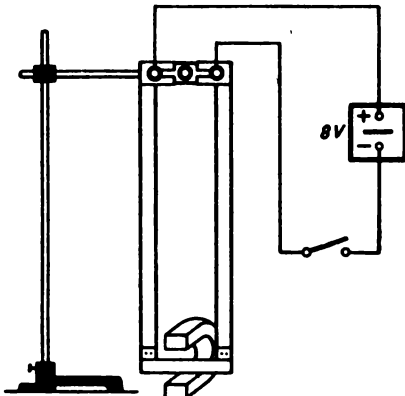


Abb. 156/1. Leiterschaukel zwischen den Schenkeln eines Hufeisenmagneten (Tellschaltbild)

Schaltet man den Strom ein, so werden zwischen dem horizontalen Schaukelteil und den vertikal verlaufenden Feldlinien Kräfte wirksam, die die Schaukel entsprechend

der Stromrichtung nach der UVW-Regel für Leiterbewegung aus dem Feld heraus-treiben oder sie tiefer hineinziehen.

Keht man die Stromrichtung durch Vertauschen der Anschlüsse am Stromversorgungsgerät um oder vertauscht die Anordnung der Magnetpole, so bewegt sich die Schaukel beim Einschalten des Stromes entgegengesetzt zur ursprünglichen Richtung.

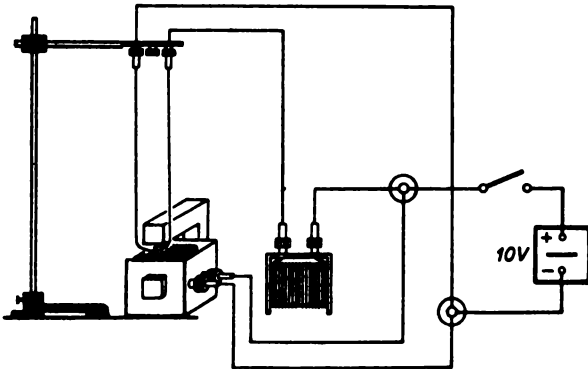


Abb. 157/1.
Leiterschleife zwischen den Schenkeln eines Elektromagneten
(Teilschaltbild)

hervorruft. Als bewegliche Leiterschaukel dient ein langes Verbindungskabel, dessen Stecker in den Buchsen einer Klemmenstange stecken. Die Klemmenstange befestigt man mittels einer Kreuzmuffe so an einem langen Stativstab, daß die Leiterschaukel ungehindert in dem Magnetfeld schwingen kann. Die Buchsen der Klemmenstange schließt man über eine Spule von 500 Windungen als Vorwiderstand ebenfalls an die Fußklemmen an. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß man die beiden Zweigleitungen gleichzeitig ein- und ausschalten kann (Abb. 157/1).

Schließt man den Schalter, so wird die Leiterschleife entsprechend der Stromrichtung aus dem Magnetfeld gestoßen oder in das Feld hineingezogen.

Versuch 3:

Eine dritte Möglichkeit zum Durchführen des Versuchs besteht darin, daß man aus zwei Stricknadeln, die man in gleicher Höhe in zwei Fußklemmen klemmt, zwei parallel zu den Magnetschenkeln gerichtete Schienen herstellt. Eine dritte Nadel wird etwa 1 cm vor den Magnetschenkeln quer auf die Schienen gelegt und kann auf ihnen entlangrollen. Die beiden Fußklemmen werden über einen Schalter mit einer Spannungsquelle (8 V-) verbunden (Abb. 157/2). Schaltet man den Strom ein, so rollt die bewegliche Nadel je nach der Stromrichtung tiefer in das Feld hinein oder aus ihm heraus.

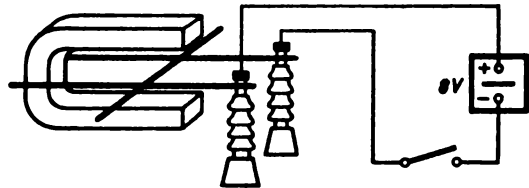


Abb. 157/2.
Auf einer Schienenbahn rollende Stricknadel (Teilschaltbild)

125. Vorversuche zum Gleichstrommotor

Grundbrett mit Spannvorrichtung, Hufeisenmagnet, Polschuhpaar mit Lager, zwei Bürstenhalter, 2 Bürsten, eisenlose Ankerspule mit Schleifringen und Kollektor, Doppel-T-Anker mit Schleifringen und Kollektor, Stromversorgungsgerät, Schalter, Verbindungskabel. Zusätzlich: U-Kern, 2 Spulen (125/250 Wdg.), Akkumulatorenbatterie (6 V), Schalter.

Versuch 1:

Man setzt in das zum Aufbaugerätesatz gehörende Grundbrett in vertikaler Stellung einen Hufeisenmagneten ein und versieht ihn mit dem dazugehörigen Polschuhpaar, das zugleich ein Lager, zwei Bürstenhalter und zwei Bürsten trägt. Das Ganze spannt

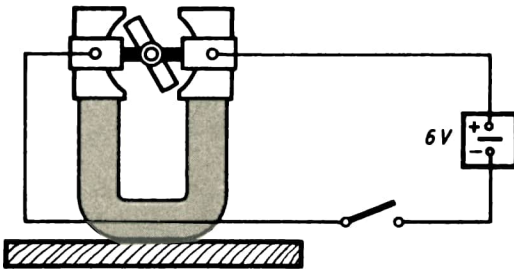


Abb. 158/1. Drehbare Spule als Anker im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten (Teilschaltbild). Die Spannvorrichtung ist in den Abbildungen 158/1, 159/1, 159/2, 159/3 fortgelassen

man mit Hilfe einer Spannvorrichtung auf dem Grundbrett fest. Auf die Lagerachse steckt man eine eisenlose Spule, die auf einem rechteckigen, drehbaren Rahmen gewickelt ist, und bringt die Bürsten mit den beiden Schleifringen zur Berührung. Man stellt die Spule so ein, daß die Spulenöffnungen nach oben bzw. nach unten zeigen. Die Bürstenhalter schließt man über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät (6 V—) an (Abb. 158/1). Schaltet man den Strom ein, so vollführt die Spule eine

Vierteldrehung, bis die beiden Spulenöffnungen den Polschuhen gegenüberstehen. Dann kommt die Bewegung zum Stillstand.

Versuch 2:

Man verstellt nunmehr die beiden Bürstenhalter so, daß die Bürsten den Kollektor berühren. Schaltet man den Strom erneut ein, so dreht sich die Spule langsam über die beim Versuch 1 erreichte Lage hinaus in derselben Richtung weiter.

Versuch 3:

Man ersetzt die eisenlose Spule durch einen Doppel-T-Anker mit Schleifringen und Kollektor und schließt den Doppel-T-Anker über den Kollektor ebenfalls an das Stromversorgungsgerät (10 V—) an. Schaltet man den Strom ein, so gerät der Anker in eine Drehbewegung.

Versuch 4:

Man kann die Wirkung des Modells noch steigern, wenn man den Permanentmagneten durch einen Elektromagneten ersetzt. Man spannt zu diesem Zweck an Stelle des Permanentmagneten einen U-Kern, auf dessen Schenkel man je eine Spule mit 125 Windungen steckt, in die Spannvorrichtung ein. Man schließt die beiden hintereinandergeschalteten Spulen zweckmäßigerweise über einen Schalter an eine besondere Gleich-

spannungsquelle an und benutzt dazu eine Akkumulatorenbatterie mit einer Spannung von 6 V (Abb. 159/1). Schließt man die beiden Stromkreise, so führt der Anker eine lebhaftere Drehbewegung aus.

Diese Versuchsanordnung stellt ein einfaches Modell eines Elektromotors dar. Sie bietet den Vorteil, daß für den Anker und den Feldmagneten zwei getrennte Stromkreise verwendet werden. Dadurch wird den Schülern das Verständnis für das Modell wesentlich erleichtert.

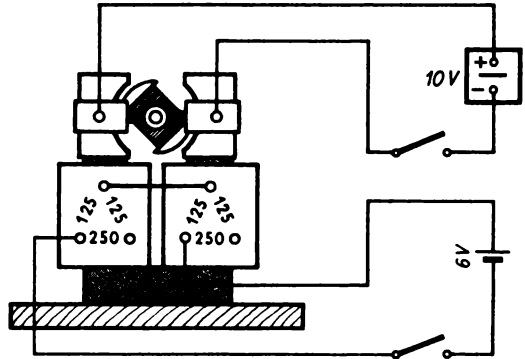


Abb. 159/1. Teilschaltbild zum Elektromotorenmodell mit zwei getrennten Stromkreisen

126. Modelle eines Hauptschluß- und eines Nebenschlußmotors für Gleichstrom

Grundbrett, Spannvorrichtung, U-Kern, Polschuhpaar mit Lager, 2 Bürstenhalter, 2 Bürsten, Doppel-T-Anker mit Schleifringen und Kommutator, Trommelanker mit Schleifringen und Kollektor

für Hauptschlußmotor: 2 Spulen (125/250 Wdg.), für Nebenschlußmotor: 2 Spulen (750/1500 Wdg.).

Stromversorgungsgerät, Schalter, Verbindungskabel, 2 Fußklemmen.

Versuch 1:

Das in V 125, 4 angegebene Modell läßt sich mit geringer Mühe zu einem der technischen Wirklichkeit mehr entsprechenden Modell eines Hauptschlußmotors entwickeln. Man braucht zu diesem Zweck nur die Verbindungskabel von den in Abb. 159/1 links befindlichen Klemmen am Bürstenträger und an der Spule zu lösen und diese Klemmen unmittelbar miteinander zu verbinden (Abb. 159/2). Die vom rechten Bürstenträger und von der rechten Spule ausgehenden Verbindungskabel führt man über einen Schalter zu einem Stromversorgungsgerät (10 V-). Man erhält so das Modell eines Hauptschlußmotors. Schließt man den Stromkreis, so beginnt der Anker sofort zu rotieren.

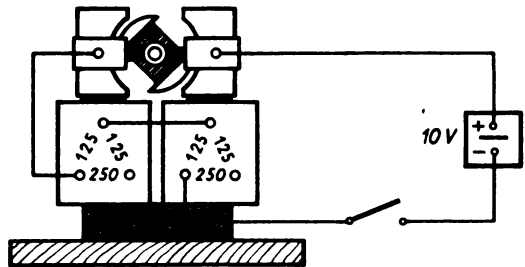


Abb. 159/2. Teilschaltbild des Modells eines Hauptschlußmotors

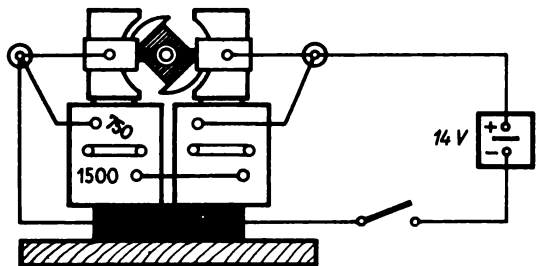


Abb. 159/3. Teilschaltbild des Modells eines Nebenschlußmotors

Versuch 2:

Das in Versuch 1 entwickelte Modell läßt sich mit wenigen Handgriffen zu einem Modell eines Nebenschlußmotors umgestalten. Es ist allerdings elektrisch zweckmäßig, die beiden Spulen mit 125 Windungen gegen zwei Spulen mit 750/1500 Windungen auszuwechseln. Man verbindet die beiden unteren Spulenklemmen miteinander und verwendet die beiden oberen als Stromzuführungsklemmen. An dieselben Klemmen schließt man auch die beiden Bürstenträger an. Zur Erhöhung der Übersicht empfiehlt es sich, als Verzweigungspunkte zwei Fußklemmen zu wählen (Abb. 159/3). Man verbindet diese beiden Klemmen über einen Schalter mit einem Stromversorgungsgerät (14 V –). Schließt man den Stromkreis, so dreht sich der Anker mit nahezu konstanter Drehzahl.

Bemerkungen:

1. Die Motormodelle kann man statt mit einem Doppel-T-Anker auch mit einem Trommelanker ausstatten. Die Drehung erfolgt dadurch noch gleichmäßiger. Auf die Schaltung der Einzelteile hat die Ankerform keinen Einfluß.

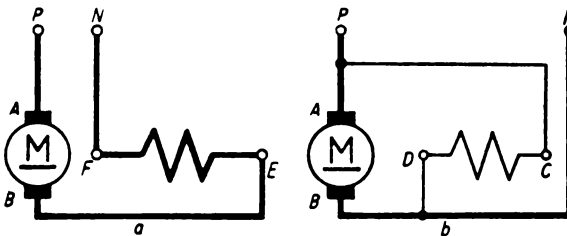


Abb. 160/1. Schaltbild eines Motors
a) Hauptschlußmotor
b) Nebenschlußmotor

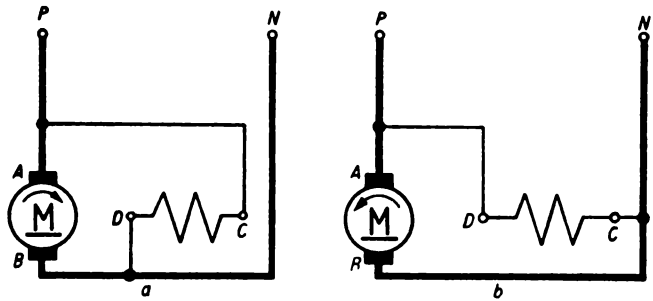
2. Von erheblichem polytechnischem Bildungswert ist es, die Schüler an die technischen Schaltbilder der Elektromotoren zu gewöhnen. Es ist darauf zu achten, daß dabei die genormten Schaltzeichen und die genormten Klemmenbezeichnungen (vgl. § 6, 2) verwendet werden. Die im Hauptschluß liegenden Spulen werden stark, die im Nebenschluß liegenden schwach gezeichnet. In den Schaltbildern wird von den Feldmagneten nur *eine* Spule gezeichnet. Die Abb. 160/1a und 160/1b geben die nach diesen Richtlinien angefertigten Schaltbilder eines Hauptschlußmotors und eines Nebenschlußmotors wieder.

127. Ändern der Drehrichtung eines Elektromotors

Dieselben Geräte wie zu V 126.

Man stellt wie in V 126 das Modell eines Elektromotors zusammen und wählt dazu das Modell eines Nebenschlußmotors. Man schließt das Modell wieder an ein Stromversorgungsgerät (14 V –) an. Vertauscht man die Anschlußstellen am Stromversorgungsgerät untereinander, so hat dies auf den Gang des Motors keinen Einfluß. Die Drehrichtung wird dadurch nicht geändert. Vertauscht man dagegen nur die Anschlüsse des Feldmagneten an den Fußklemmen, so findet eine Umkehr der Drehrichtung statt. Abbildung 161/1 zeigt die Schaltbilder für Rechtslauf und für Links-

Abb. 161/1. Schaltbilder eines
Nebenschlußmotors
a) Rechtslauf
b) Linkslauf



lauf. Dieselbe Erscheinung läßt sich auch an einem Hauptschlußmotor nachweisen. Man braucht nur die zu den Bürstenträgern führenden Anschlußkabel von diesen zu trennen und die Anschlußstellen untereinander zu vertauschen.

Die Tatsache, daß sich die Drehrichtung des Motormodells nicht ändert, wenn man den Strom im ganzen umpolt, ermöglicht es, das Modell auch mit Wechselstrom zu betreiben. Tatsächlich läuft das Modell unverändert, wenn man es am Stromversorgungsgerät an 14 V \sim anschließt. Dies hat allerdings zur Voraussetzung, daß man für den Feldmagneten einen geblätternen U-Kern verwendet.

SACHVERZEICHNIS

- Abisolieren** 23
Ablenkung 112, 128
Abstoßung 139, 143
Akkumulator 5
 —, alkalischer 6
Amperesche Schwimmerregel 112
Amperesekunde 15
Anschlußkabel 22
Anziehung 139, 143, 146
Ausdehnung 45
Aufwendeln 144

Bananenstecker 10
Belastung 108 f.
Belastungswiderstand 12
Blättchen-Elektroskop 16
Bleiakkumulator 5, 31, 59.
Bleistiftmine 84
Blitzlichtpulver 46 f.
Bogenlampe 50 f.
Bunsenbrenner 83 f.

Chromnickel 12

Dauerbelastung 13
Dauermagnet 122
Dekadenwiderstand 13, 86 f., 106 f.
Deklination 127
Drahtwendel 143
Dreheiseneinsatz 155 f.
Dreheisengerät 14
 —, Modell eines 155
Drehrichtung 160 f.
Drehspiegel 43
Drehpulvergerät 14
 —, Modell eines 153

Ein-Aus-Schalten 48 f.
Einstellzeit 15

Elektromagnet 112, 145 f.
Elektrometer 16
 —, Braunsches 16
 —, elektrostatisches 16
Elektromotor 17 ff.
Elektronenstrom 40
Elektroskop 34 ff.
 —, behelfsmäßiges 34 f.
Elektrostatik 1
Elemente, galvanische 7
Entladen 6, 60
Erdschluß 20
Erwärmung 44 f., 126
Experimentiermotor 17

Fallklappe 151
Federklammer 34
Feld, magnetisches 113, 123, 128 f.
Feldlinien, magnetische 123, 129 ff.
Feldlinienbilder 123
Feldwicklung 18
Flammenspitze 84
Flußmittel 23
Folien 22
Fußklemme s. Holtzsche Klemme

Galvanometer, ballistisches 15
Galvanoplastik 59
Galvanoskop 133 f.
Gerätesteckdose 32, 91
Gleichrichter 61
Gleichspannungsquelle 5
Gleichstrommotor 113, 158
Glimmlampe 41
Glühdraht 47

Glühlampenschaltungsmodelle 48
Gruppenschaltung 103

Hartgummi 23
Hauptschlußmotor 157 f.
Hebelumschalter 11, 40
Heizwendel 44, 46
Hinterinanderschalten 100 f.
Hitzdrahtgerät 14
Hochohmwiderstand 12
Hofmannscher Zersetzungsapparat 57 f.
Holtzsche Klemme 10 u. v. a.
Hufeisenmagnet 22, 115, 123 ff., 156, 158

Influenz, magnetische 123 f., 126 f.
Inklination 127
Ionenleitfähigkeit 31

Jablotschkow-Kerze 52

Kabelmaterial 11
Kabelrechteck 130, 140
Kabelring 136
Kastenëlektroskop 34 ff.
Kippscher Apparat 37 f.
Kleinspannungsglühlampe 33 f., 40, 48, 59, 84, 98, 106 ff.
Klemmenbrett 18
Klemmenstange 44 f., 47, 50, 53 ff., 87 f., 95 f., 129 ff. u. v. a.
Klemmschraube 10, 109
Klingel, elektrische 29, 33, 148
Klingelschalter 11, 48 f.

- Klingeltransformator 8
 Knallgasentwicklung 6
 „Kochen“ (von Akkumulatoren) 6
 Kochplatte 28, 87f., 90f.
 Kochsalzlösung 47
 Kohlefadenslampe 71f.
 Kohleplatte 57
 Kohleschichtwiderstand 12
 Kohlestäbe 50ff.
 Kohlestifte 56
 Konstantan 12
 Kraftwirkung 139
 Krokodilklemme 10, 72f.
 Kunststoff 24
 Kupferlitze 11
 Kurbelwiderstand 4

 Lamettafaden 144
 Leistungsaufnahme 97, 105
 Leiter 29
 Leiterbündel 130f.
 Leiterschaukel 156f.
 Leiterschleife 112, 133, 157
 Leiterteil 76
 Leuchtwirkung 47
 Lichtbogen 50ff.
 Linkslauf 17, 161
 Lötarbeiten 23f.
 Lüsterklemme 47

 Magnesiumband 46f.
 Magnet 22, 115f.
 —, keramischer 122
 Magneteisenstein 115
 Magnetismus, permanenter 111, 115f.
 —, remanenter 149
 Magnetnadel 22, 118ff., 128f., 131f.
 Manganin 12
 Manipermmagnete 122
 Manometer 45
 Marschkompaß 133f.
 Matrize 59
 Meßbereich 14, 105ff.
 Meßbrücke, technische 92f.
 Messerstecker 10
 Meßgenauigkeit 91f.
 Meßgerät 4, 14f.
 Meßwiderstand 4, 13
 Metallblättchen 34f.

 Mikrophon 151f.
 Modellversuch 30, 37, 125
 Morseapparat 150f.
 Morsetaste 11, 150f.
 Multiva 14
 Multizet 14

 Natriumsulfatlösung 60
 Nebenschlußmotor 18, 159f.
 Nebenschlußwiderstand 12f.
 Netzspannung 20
 Netztransformator 10
 Neumagnetisieren 22
 Nichtleiter 29, 34
 Nickel-Cadmium-Akkumulator 5
 Nickelin 74f.
 Nickel-Stahl-Akkumulator (Sammler) 5f.
 Nulleinstellung 15
 Nulleiter 19f.
 Nullpunktmittellage 89

 Oerstedtscher Versuch 128
 Ohmmeter 92
 Ohmsches Gesetz 4, 63ff.

 Parallelschalten 103ff., 108
 Phasenleiter 19f.
 Phenolphthalein 60
 Photopapier 123f.
 Piacryl 24
 Plaste 24, 34
 Polarität 41
 Pole 114, 116
 Polreagenzpapier 41, 61
 Polsucher 41, 43
 Polystyrol 24
 Potentiometer 67f., 72, 77, 82
 PVC 24, 34, 115

 Rechte-Faust-Regel 136
 Rechte-Hand-Regel 112
 Rechtslauf 17, 161
 Regelwiderstand 4, 12
 Reihenschaltung s. Hintereinanderschalten 36, 99
 Relaismodell 152
 Rheostat 4, 13
 Roguetsche Spirale 113

 Säuredichte 5
 Schaltbild 30, 33, 35f.
 Schalttafel 8
 Schaltzeichen 12, 25ff.
 Schiebewiderstand 4, 12
 Schienenbahn 157
 Schmelzsicherung 30, 53f. 104
 Schweißen 53
 Serienschalter (-schaltung) 48f., 104
 Sicherungsautomat 53ff.
 Silitwiderstand 12
 Sockelbezeichnung von Glühlampen 31
 Spannungsabfall 7, 67, 108f.
 Spannungsbegriff 28f.
 Spannungsempfindlichkeit 15
 Spannungsteiler 8f., 73, 109f.
 Spannungverteilung 101f. Spiegelgalvanometer 14
 Spulen 50, 52ff., 97f., 101ff., 137ff., 145ff.
 Stabmagnet 22, 116ff., 123ff., 153, 194
 Steckbrücke 81
 Steckdose 3, 28f., 32
 Stöpselwiderstand 4
 Stromarbeit 66, 95, 97f.
 Stromkreis, elektrischer 36
 —, unverzweigter 66, 98
 —, verzweigter 66, 102, 105
 Stromempfindlichkeit 15
 Stromleistung 66, 93ff.
 Stromrichtung 40f.
 —, technische 40
 Stromversorgungsgerät 3, 7f.
 Stromverteilung 102, 105
 Stufentransformator 9
 Substitution 86

 Trockengleichrichter 10

 Übergangswiderstand 19
 Unfälle 19f.
 UVW-Regel 114

 Verbindungskabel 11
 Verbraucher 9, 100f.
 Verteilerschalttafel 9
 Vertikalgalvanoskop 134
 Vielfachmeßgerät 14

- | | | |
|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Vinidur 24 | Weicheisenkern 145 | Widerstandseinheiten, be- |
| Vorschaltwiderstand 12 | Weston-Normal-Element 7 | helfsmäßige 62, 68 ff. |
| Wackelkontakte 12 | Wheatstonesche Brücke 65, | Widerstandsgesetz 65, 81 ff. |
| Wagnerscher Hammer 149 | 89 ff. | Widerstandsmessung 65, 87 ff. |
| Wärmewirkung 30, 44 f. | Widerstand, spezifischer 65, | Wirkungsweise eines Blei- |
| Wasserzersetzung 57 | 81 f. | akkumulators 31, 59 f. |
| Wechselstrom 42 ff. | Widerstandsbegriff 62 | Zahnradvorgelege 17 |
| Wechselwirkung zwischen | Widerstandsbrett 63, 67 f., | Zink-Kohle-Element 7 |
| Magneten 115 | 109 | Zink-Kupfer-Element 7 |
| Weicheisenamperemeter 145 f. | Widerstandseinheiten des | Zündung 46 f. |
| | Ohm (Ω) 60 ff., 72 ff. u. a. | |

Quellenverzeichnis der Abbildungen

Werkfoto VEB Gerätewerk, Karl-Marx-Stadt: Abbildung 16/2 · Fotokino Krütgen, Halle/Saale: Abbildungen 16/1, 43/3, 58/2 · Wolf Mucke, Leipzig: Abbildung 92/2 · Produktionsgenossenschaft Fototechnische Werkstätten, Berlin: Abbildungen 58, 13/1, 92/1