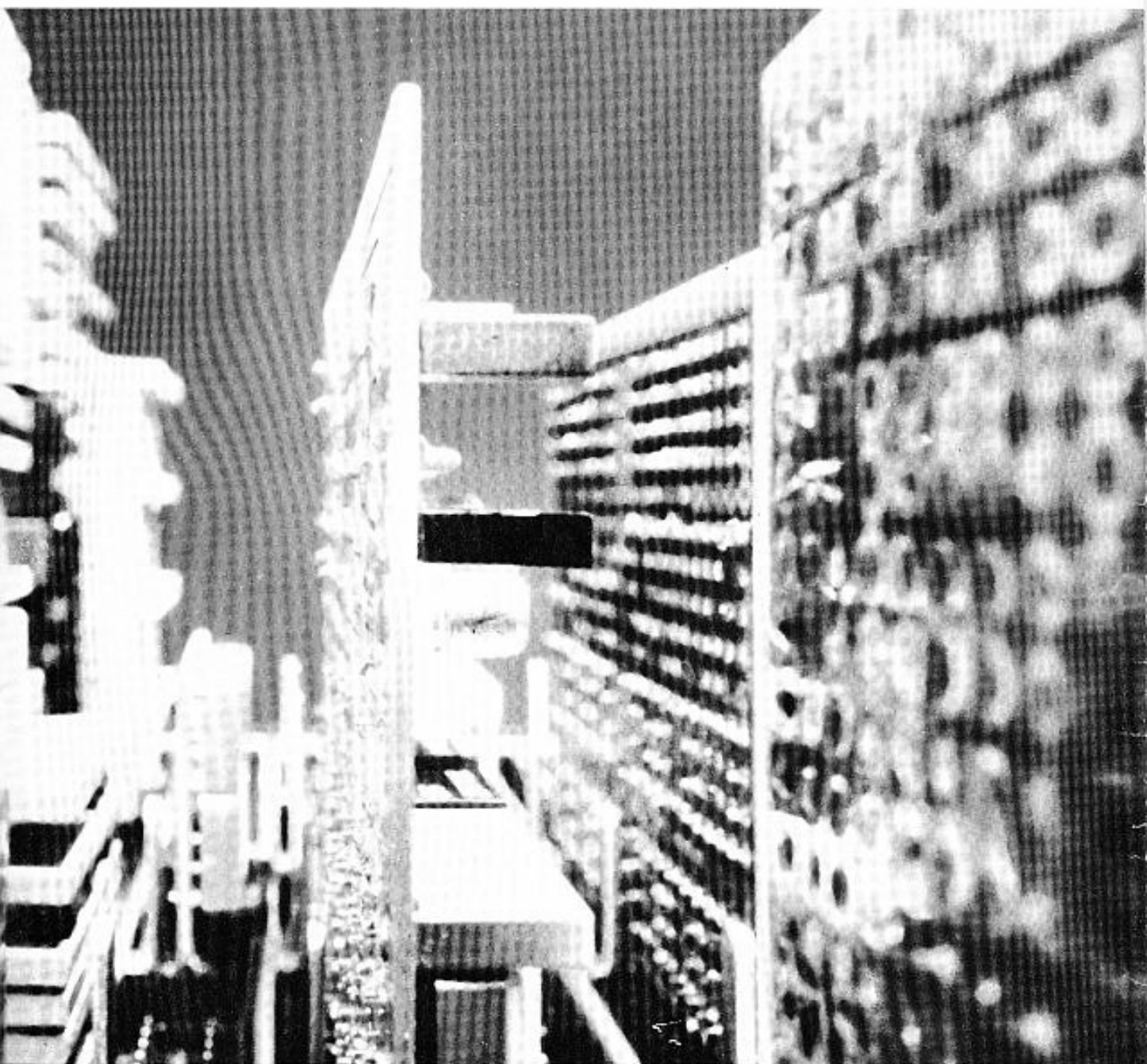


biPOL



HOPT biPOL Elektronik-Lehrbaukasten 61201



a) Allgemeines

Bitte, achten Sie bei allen Versuchen, bei denen ätzende Chemikalien verwendet werden, auf peinlichste Sauberkeit. Eventuelle Spritzer verursachen Flecken an Kleidungsstücken und auf Möbeln. Spülen Sie alle verwendeten Teile, denn Säurerückstände wirken zerstörend.

Es ist zweckmäßig, die runde Aussparung im Verpackungsunterteil als Halterung für den Meßbecher zu benutzen.

In den Schaltungen wird folgendes Batteriesymbol verwendet:

Bei diesem Symbol stellt der lange Strich den Plus-Pol und der kurze Strich den Minus-Pol dar. Bitte, beachten Sie, daß bei der empfohlenen Normalbatterie der lange Messingstreifen der Minus-Pol und der kurze Messingstreifen der Plus-Pol ist.

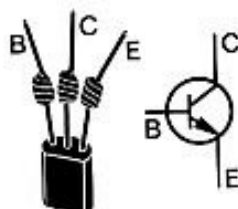
Auf Seite 107 werden die Faktoren für die allgemein verwendeten Vorsilben angegeben. Die Vorsilben selbst werden wie folgt gelesen:

- k = Kilo
- m = milli
- M = Mega
- $\mu$  = Mikro

(Bitte beachten Sie: MW = Megawatt  
M $\Omega$  = Megohm)

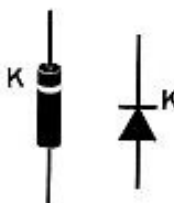
Transistoren und Dioden sind schnell beschädigt. Ein richtiger Anschluß ist deshalb wichtig! Siehe hierzu untenstehende Zeichnungen!

- B = Basis
- C = Kollektor
- E = Emitter



Transistor 2 N 3704  
Best.-Nr. 610 47

- K = Kathode
- in
- Pfeilrichtung



Diode BA 130  
Best.-Nr. 901 7 21050

b) Berichtigungen

Beachten Sie bitte nachstehend aufgeführte Änderungen:

Auf Seite 4, rechts, fettgedruckter Absatz, muß es heißen: Eine genaue Übersichtstafel über alle Einzelheiten ist diesem Buch in der Umschlagtasche beigelegt. Darüberhinaus finden Sie eine Klub-Karte. Letztere füllen Sie am besten gleich aus und senden sie an uns. Wir werden Sie immer über die neueste Entwicklung informieren.

Seite 5, letzter Absatz

Es muß richtig lauten: Dreielektrodenröhre und nicht Dreielektronenröhre.

Versuch 4

Um das in diesem Versuch beschriebene Hitzdrahtinstrument zu eichen, muß auf dem mittleren, einem beliebigen Baustein, ein Papierstreifen aufgeklebt werden, auf dem durch Striche die verschiedenen Stellungen der als Zeiger dienenden Krokodilklemmen markiert werden. Unter Umständen ist es zweckmäßig, den ganzen Aufbau durch 2 weitere Bausteine zu erhöhen.

Seite 16, links unten, vorletzte Zeile

Es muß richtig heißen:  
Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an. Um Mißverständnisse zu vermeiden, möchten wir darauf hinweisen, daß der auf Seite 17 schematisch dargestellte Versuch nicht mit dem fotografierten Versuch identisch ist.

Versuch 7 und 8

Da die bei diesem Versuch entstehenden Gas-mengen sehr gering sind, kann das Experiment nur gelingen, wenn auf absolute Dichtheit des Korkens im Glas und der Kohlestifte bzw. der Glasspitze im Korken geachtet wird.

Versuch 10 und 11

Bei diesen Versuchen wurden die Formeln für die Berechnung des Widerstandes irrtümlich verkehrt angegeben. Es muß richtig heißen:

$$R = \frac{U}{I} \frac{(V)}{(\mu A)} (M\Omega)$$

### Versuch 11, Seite 26, letzte Zeile

Es muß richtig lauten:

$$U = R \cdot I = 10\,000 \, \Omega \cdot 0,00045 \, \text{A} = 4,5 \, \text{V}.$$

### Versuch 12 und 13, Seite 28

Auf Seite 28, Zeile 14 muß es richtig heißen:

Ein Vergleich der Spalten 2, 3, 5 und 6 ergibt Regel II.

### Versuch 16, 17, 41 und 42

Bei diesen Versuchen können bei ungünstiger Einstellung des Potentiometers sehr hohe Ströme auftreten, die das Potentiometer und das Instrument beschädigen. Es wird deshalb empfohlen, einen Schutzwiderstand zu verwenden. Dieser Schutzwiderstand wird in Versuch 16 zwischen RS und R1 (Potentiometer) und in Versuch 41 und 42 zwischen R (Potentiometer) und den Plus-Pol der Batterie eingebaut.

### Versuch 22

Bei Versuch 22, Tabelle in rechter Spalte, muß es richtig lauten:

$$I = \frac{U_{kl}}{R_a} \quad (\text{A})$$

### Versuch 20

Es muß richtig heißen:

$$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{47 \, \Omega \cdot 0,0314 \, \text{mm}^2}{3 \, \text{m}} \approx 0,5 \, \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

### 5.2, Seite 62, 2. Absatz

Es muß richtig heißen: Versuch 22.

### Versuch 33 und 34

Bei diesen beiden Versuchen wurden irrtümlicherweise in den Fotografien die Elektrolytenkondensatoren falsch gepolt dargestellt. Die Polung muß so sein, wie sie im Schaltbild gezeichnet ist.

Auf Seite 79 muß zur Stückliste hinzugefügt werden:

Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Stecker, 2-fach	610 40
R	1	NTC-Widerstand, 60 k $\Omega$	933 7 1943 0

Zum Lehrbaukasten sollte dazu gekauft werden:  
2 Batterien à 4,5 V, Kupfervitriol, Schwefelsäure, Paraffinöl 20 cm<sup>3</sup>

### 10.7, Seite 100, Zeile 6

Es muß lauten: 10.6, an Stelle von 16.6.



<b>1. Aus der Geschichte der Elektrizitätslehre</b>	
<b>2. Der elektrische Strom und seine Wirkungen</b>	
2.1 Stromkreis	V 1
2.2 Leiter und Nichtleiter	V 2, V 3
2.3 Wärmewirkung des Stromes	V 4
2.4 Chemische Wirkung	V 5
2.5 Magnetische Wirkung	V 6
<b>3. Die elektrischen Grundgrößen und ihre Maßeinheiten</b>	
3.1. Stromstärke I Ampere	V 7
3.2 Ladung Q Coulomb	V 8
3.3 Spannung U Volt	V 9
<b>4. Der Ohmsche Widerstand</b>	
4.1 Ohmsches Gesetz	V 10
4.2 Reihenschaltung von Widerständen	V 11
4.3 Kirchhoffsche Regeln	V 12
4.4 Parallelschaltung von Widerständen	V 13
4.5 Meßbereichänderung beim Voltmeter	V 14
4.6 Meßbereichänderung beim Amperemeter	V 15, V 16, V 17
4.7 Spannungsteilung	V 18
4.8 Potentiometer	V 19
4.9 Abhängigkeit des Widerstands von der geometrischen Form des Leiters	V 20
4.10 Temperaturabhängigkeit des Widerstands einer Glühlampe	V 21
4.11 Die elektromotorische Kraft (E.M.K.)	V 22
4.12 Wheatstonesche Brücke (Ohmmeter)	V 23
4.13 Sekundärelemente	V 24
4.14 Polarisation	V 25
4.15 Spannungsreihe	V 26
4.16 Leitfähigkeit des menschlichen Körpers	V 27
<b>5. Arbeit und Leistung</b>	
5.1 Arbeit und Leistung	V 28
5.2 Anpassung	V 29
<b>6. Kondensator und Farad</b>	
6.1 Kondensator und Farad	V 30
6.2 Entladen über einen Widerstand, Messung der Kapazität	V 31
6.3 Laden eines Kondensators über Widerstand	V 32

6.4	Parallelschaltung von Kondensatoren	V 33
6.5	Reihenschaltung von Kondensatoren	V 34
6.6	Energie des Kondensators	V 35
<b>7.</b>	<b>Temperatureinfluß bei Halbleitern</b>	
7.1	NTC-Widerstand oder Heißeiter	V 36
7.2	Temperaturabhängigkeit des NTC-Widerstands	V 37
<b>8.</b>	<b>Lichteinfluß bei Halbleitern</b>	
8.1	Photowiderstand	V 38
8.2	Herstellung eines Luxmeters	V 39
<b>9.</b>	<b>Dioden</b>	
9.1	Diode allgemein	V 40
9.2	Kennlinie einer Diode	V 41
<b>10.</b>	<b>Transistoren</b>	
10.1	Transistoren, Diodenstrecken	V 42
10.2	Transistor-Kennlinie	V 43
10.3	Transistor-Verstärkung	V 44
10.4	Transistor als Schalter	V 45
10.5	Transistor als Dämmerungsschalter	V 46
10.6	Elektronischer Temperaturwächter	V 47
10.7	Temperaturüberwachung mit Meßinstrument	V 48
10.8	Temperatureinfluß beim Transistor	V 49
10.9	Verminderung des Temperatureinflusses bei Transistoren	V 50
<b>11.</b>	<b>Größen, Einheiten, Dimensionen</b>	
11.1	Physikalische Größen	
11.2	Größengleichungen	
11.3	Spezielle Größengleichungen und das Rechnen mit speziellen Größengleichungen	
11.4	Grundgrößen und abgeleitete Größen	
11.5	Einheiten und Einheitengleichungen	
11.6	Dimensionen und Dimensionsgleichungen	
<b>12.</b>	<b>Inhaltsübersicht des Lehrbaukastens 612 01</b>	
<b>13.</b>	<b>Überblick über den Lehrbaukasten 612 02 (Wechselstromkreis)</b>	

## Einleitung

5-4-3-2-1 Start!

Wer kennt nicht das charakteristische count-down, das die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts geprägt hat?

Wer hat nicht schon einmal von den sagenhaften Leistungen der Elektronengehirne gehört? Und wer schließlich hat nicht schon Bilder gesehen, die schwarz-weiß und farbig wie von Geisterhand dirigiert über Kontinente hinweg auf den Bildschirmen unserer Fernsehgeräte erscheinen?

Diese Beispiele ließen sich beliebig vermehren. Und doch haben sie alle eines gemeinsam: sie sind undenkbar ohne den elektrischen Strom und ohne seine höchste Anwendungsform, die Elektronik.

Gemeinhin schreckt die Meisten Begriffe wie Strom, Elektrizität oder Elektronik, weil das scheinbar unfaßbare Dinge sind, die sich kaum vor Augen führen lassen. Diese Ansicht ist natürlich nicht richtig. Das beweist der **biß**-Lehrbaukasten.

Durch einfache Versuche, zu denen keinerlei Vorkenntnisse oder spezielle Fertigkeiten notwendig sind, soll der spielerisch Übende an das Wesen der Elektrizität, angefangen von seinen Grundregeln bis zur Erfassung elektronischer Vorgänge, herangeführt werden.

Möglich ist das nur durch einen systematischen Aufbau von Grund auf. Es soll nicht einfach blinken und funktionieren, ohne daß man überhaupt weiß, warum die Teile oder Schaltungen gerade diesen Effekt zeigen.

Insofern ist dieser Baukasten auch ein Lehrgang für Elektrizität und Elektronik. Dem Fleißigen winkt am Ende reiche Belohnung: er kann mitreden, wenn es um elektrische Dinge geht, er versteht viel mehr von der technischen Welt, als er sich je träumen ließ.

Dem Schüler und Studierenden läßt **biß** Hilfe

und Anregung zuteil werden und macht den Erfolg leicht.

Es ist nun noch nötig, darüber zu reden, wie die Baukästen aufgebaut sind und wie sie sich auseinander entwickeln.

Mit dem Lehrbaukasten 612 01 wird versucht, die elektrischen Bauelemente im Gleichstromkreis darzustellen. Daran anschließend dehnen sich die Versuche mit dem Ausbaubaukasten 612 02 auf den Wechselstromkreis aus. Wie er sich zusammensetzt, zeigt Punkt 13 am Ende des Buches. Weitere Ausbaumöglichkeiten bieten sich mit den Kästen 612 03 (Digitaltechnik) und 612 04 (Hochfrequenztechnik) an. Genaueres ist aus der beigefügten Übersichtstafel ersichtlich.

Der darüber hinaus Interessierte kann entweder parallel oder im Anschluß an die Lehrbaukästen zu den Experimentierbaukästen 610 50 (analoge Schaltungen) und 612 51 (digitale Schaltungen) übergehen. Hier läßt sich dann der Ausbau noch mit dem Kompaktbaustein fortsetzen, der bereits komplette elektronische Schaltungen enthält. Hochinteressante Versuche vom einfachen Verstärker über Wechselsprechanlagen, Babysitter-Anlagen, bis zu Stereo-Verstärkern oder digitalen Zählleinheiten werden ermöglicht. Man könnte Bände schreiben, wollte man hier über jede einzelne Nutzenanwendung sprechen.

**Wichtig: Eine genaue Übersichtstafel über alle Einzelheiten ist diesem Buch in der Umschlagtasche beigefügt. Zudem sind eine Garantiekarte. Letztere füllen Sie am besten gleich aus und senden sie an uns. Wir werden Sie immer über die neueste Entwicklung informieren.**

Abschließend sei noch gesagt, daß statt der angegebenen Trockenbatterien auch die **biß**-Bausteinkombination Netzteil 608 19, Netzgleichrichter 608 16, Elko 608 04, Verbindungsteil 610 00, 2 Buchsen 608 10 sowie Verbindungskabel 610 05 (blau) und 610 09 (rot) verwendet werden kann. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß sie eine exakte konstante Spannung über beliebige Zeiträume liefert. Für besondere Zwecke ist auch ein wiederaufladbarer Akkubaustein vorhanden.

## 1. Aus der Geschichte der Elektrizität

Vor zweieinhalb Jahrtausenden wußten die Griechen, daß ein Magneteisenstein (bei der Stadt Magnesia lagen diese Vorkommen) Eisen und geriebener Bernstein (griech. Elektron, daher Elektrizität) leichte Teilchen anziehen kann. In China war um Christi Geburt bekannt, daß sich ein frei beweglicher Magnet in die Nord-Süd-Richtung stellt. So benutzte man auch im Mittelmeerraum seit dem 12. Jahrhundert einfache Magnetkompassse für die Navigation.

Ebenso wichtig für die Weiterentwicklung war das 15. bis 16. Jahrhundert. Nicht mehr ein vorgezeichnetes Weltbild lag der Wissenschaft und Forschung zugrunde, sondern nur noch das, was effektiv aufgrund von Versuchen und Beobachtungen bewiesen werden konnte. Gegen 1600 tat der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, William Gilbert, einen bahnbrechenden Schritt mit seinem Werk »De Magnete«. Er erklärte die Erde für einen großen Magneten und unterschied als erster scharf zwischen magnetischen und elektrischen Kräften. Otto von Guericke, Bürgermeister von Magdeburg, baute 1671 die erste Elektrisiermaschine. Eine drehbare Schwefelkugel nämlich, die mit den Händen während des Drehens gerieben wurde. 1745 entdeckte der Domdechant, Ewald Jürgen von Kleist, den Kondensator. Kleist hatte in ein Medizinalglas einen Nagel gesteckt, den er mit dem Pol einer Elektrisiermaschine in Berührung brachte, solange er das Glas in der Hand hielt. Berührte er danach den Nagel mit der freien Hand, erhielt er unerwartet einen starken Schlag.

Im Jahre 1789 war es dann Luigi Galvani, Professor der Anatomie in Bologna, der durch Zufall eine weitere wichtige Entdeckung machte. Er beobachtete, daß frisch präparierte Froschschenkel, die an Kupferhäkchen hingen, zuckten, wenn sie mit einem eisernen Gitter in Berührung kamen. Die richtige Deutung dieser Beobachtung gelang

seinem Landsmann Alessandro Volta, Professor in Pavia. Er baute um 1800 das erste galvanische Element zur Erzeugung strömender Elektrizität.

In rascher Folge wurde 1801 die Wärmewirkung (Humphrey Davy), 1820 die magnetische Wirkung (Hans Christian Örsted, Professor der Physik in Kopenhagen) und 1834 die chemische Wirkung (Michael Faraday) entdeckt. Das Jahr 1826 brachte durch Georg Simon Ohm, damals Oberlehrer am Gymnasium Köln, das nach ihm benannte Ohmsche Gesetz und G. Robert Kirchhoff, Professor in Berlin, stellte 1847 die Gesetze der Stromverzweigung auf. Die Wirkung zweier stromdurchflossener Leiter untersuchte der französische Physiker André Marie Ampère, Professor in Paris, schon ums Jahr 1820.

Nun war der Weg frei für die ersten technischen Anwendungen. 1833 bauten der Physiker Wilhelm Eduard Weber und der große Mathematiker aus Göttingen, Karl Friedrich Gauß, den ersten elektromagnetischen Telegraphen zwischen dem physikalischen Institut und der Universitätssternwarte. Die Vollendung brachte 1861 die Erfindung des Telefons durch Philipp Reis.

Obwohl 1831 Faraday die Induktion entdeckte und ihre Gesetze angab, gelang es erst 1866 Werner von Siemens aufgrund dieser Gesetze die erste Dynamomaschine zu bauen. Die Starkstromtechnik nahm ihren Anfang. 1891 übertrug Oskar von Miller, Gründer des Deutschen Museums in München, mit Hilfe von hochgespannten Strömen, elektrische Energie über eine Entfernung von 180 km.

Die Emission von Elektronen bei einer Glühkathode entdeckte 1883 der amerikanische Erfinder, Thomas Alva Edison, und 1906 fand der ebenfalls aus Amerika stammende Techniker Lee de Forest die Dreielektrodenröhre. Alle diese Entdeckungen ermöglichten die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie, sie brachten uns Rundfunk und Fernsehen in höchster Form und bedeuteten den Beginn unseres »elektronischen Zeitalters«.



## 2.1 Stromkreis

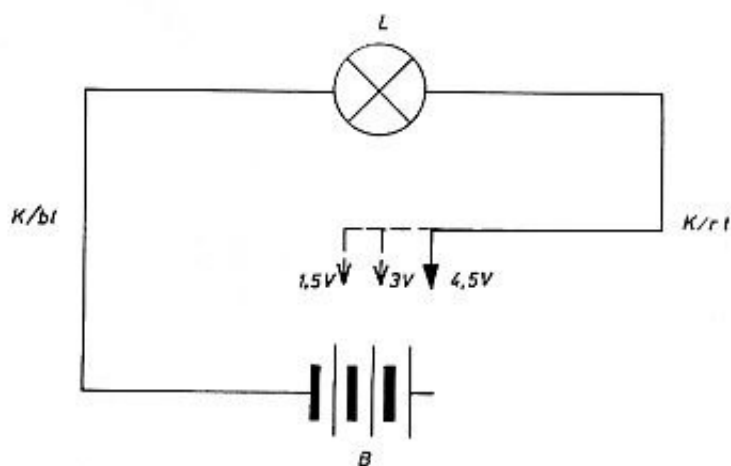
Eine Anordnung oder Schaltung, in der ein elektrischer Strom fließt, heißt Stromkreis. Ein elektrischer Strom fließt nur dann, wenn der Stromkreis, bestehend aus Stromquelle, Leitungen und Gerät, geschlossen ist. Wird dieser an einer beliebigen Stelle unterbrochen, so hört der Strom sofort auf zu fließen.

### Versuch 1

Als Strom- oder Spannungsquelle benützt man eine gewöhnliche Taschenlampenbatterie. Der kurze Messingstreifen ist der Pluspol oder die Plusklemme, der lange Messingstreifen ihr Minuspol. Hebt man den oberen Pappdeckel ab, so sieht man die miteinander verbundenen Elemente. Die Verbindungsdrähte, die jeweils von dem äußeren Zinkgehäuse zu dem mittleren Kohlestift führen, kann man blankschaben und dann auch als Klemmen benützen, wenn man nicht die volle Spannung benötigt. Die abgreifbaren Spannungen sind 1,5 V, 3,0 V und 4,5 V. Als Leitungen benützt man zunächst die Kabel mit den Bananensteckern und als Gerät eine Glühlampe. Die Zuleitungen der Glühlampe werden auf dem Stecker festgeschraubt, der Stecker auf den Buchsen-Baustein gesteckt.

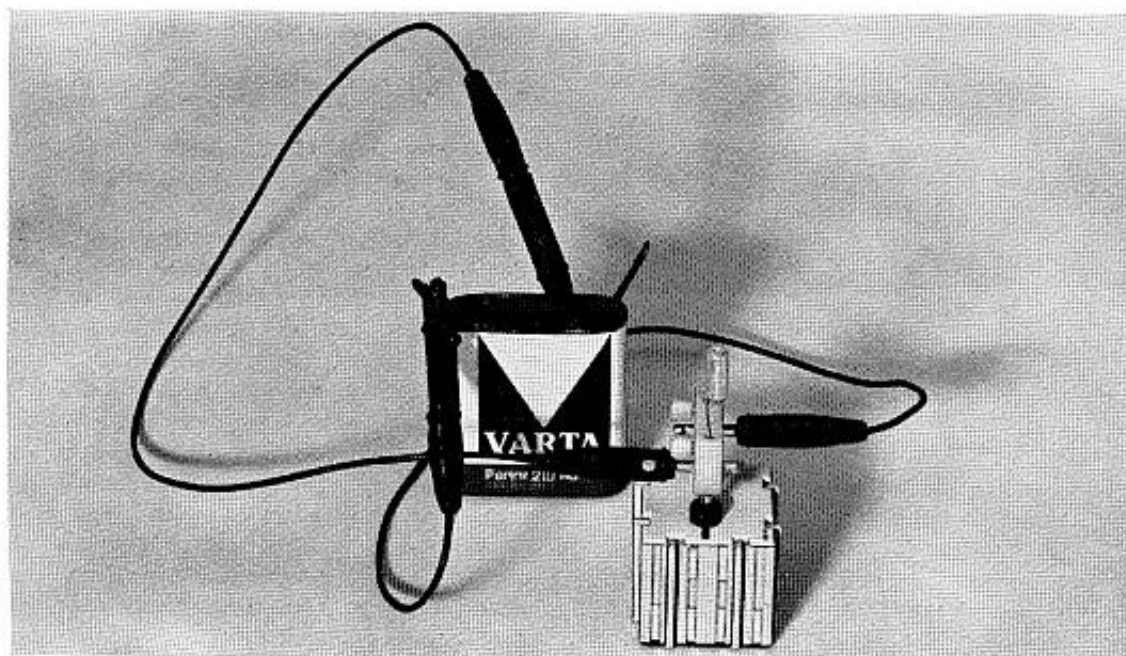
Die Verbindungskabel werden am einen Ende in die seitlichen Bohrungen des Steckers und am anderen Ende durch die aufgesteckten Krokodilklemmen mit den Klemmstreifen der Batterie verbunden. Eine einfachere Anschlußmöglichkeit an die Batterie, die meist ausreicht, besteht darin, daß man die Bananenstecker zwischen Feder und Stift des Bananensteckers in die Klemmstreifen der Batterie einhängt.

Je nach der abgegriffenen Spannung brennt bei geschlossenem Kreis das Lämpchen mehr oder weniger hell.



Pos.	Stückz.	Benennung	Bestell-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Lampe 6 V/50 mA	610 2 3007 0
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	2	Klemme	970 7 2146 0

x Nicht im Baukasten enthalten

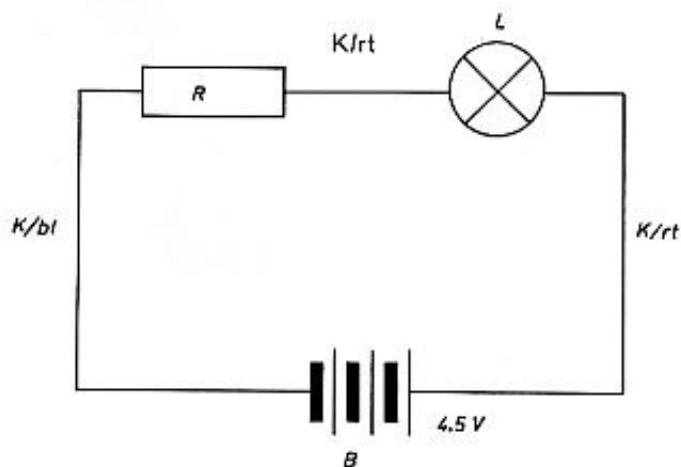


## 2.2 Leiter und Nichtleiter

Gute Leiter sind alle Metalle, Kohle, sowie Lösungen von Säuren, Laugen und Salzen in Wasser. Nichtleiter (Isolatoren) sind Porzellan, Glas, Gummi, Kunststoffe, sowie reines Wasser und Luft.

### Versuch 2 (feste Leiter)

Um zu prüfen, welche Stoffe den elektrischen Strom leiten oder nicht, unterbrechen wir den Schaltkreis von Versuch 1. Wir lösen die Kabelverbindung zum Plus- oder Minuspol der Batterie, klemmen mit der Krokodilklemme das eine Ende des zu untersuchenden Gegenstandes an, schließen am anderen Ende das dritte mitgelieferte Kabel mit der Krokodilklemme an und hängen dann dieses Kabel zwischen Feder und Stift des Bananensteckers am freien Pol der Batterie wieder ein. Handelt es sich bei dem Gegenstand um einen guten Leiter, so brennt das Lämpchen hell. Das ist der Fall, wenn man die mitgelieferten Metallplättchen, sonstige Metallstücke wie Münzen, Löffel usw. oder ein Kohlestäbchen ein-klemmt. Wählt man als Gegenstand ein Streichholz, Glas, Porzellan oder Kunststoff, so brennt das Lämpchen nicht.



V 2

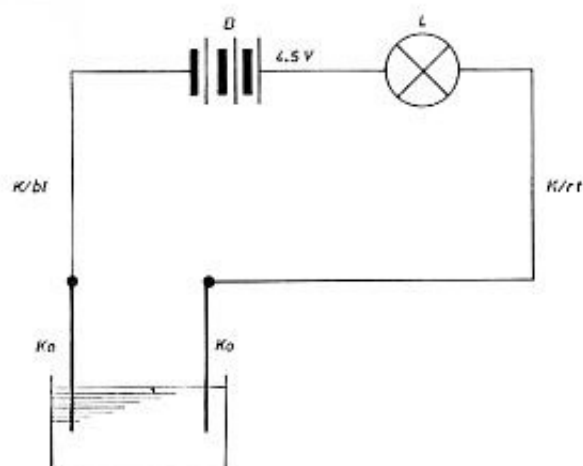
Pos.	Stückz.	Benennung	Bestell-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
R	1	Leiter	x
R	1	Nichtleiter	x
L	1	Lampe 6 V/50 mA	610 2 3007 0
	2	Klemme	970 2 2146 0
	1	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Anschlußbuchse	610 04
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
K/bl	2	Kabel, blau	610 05

x Nicht im Baukasten enthalten



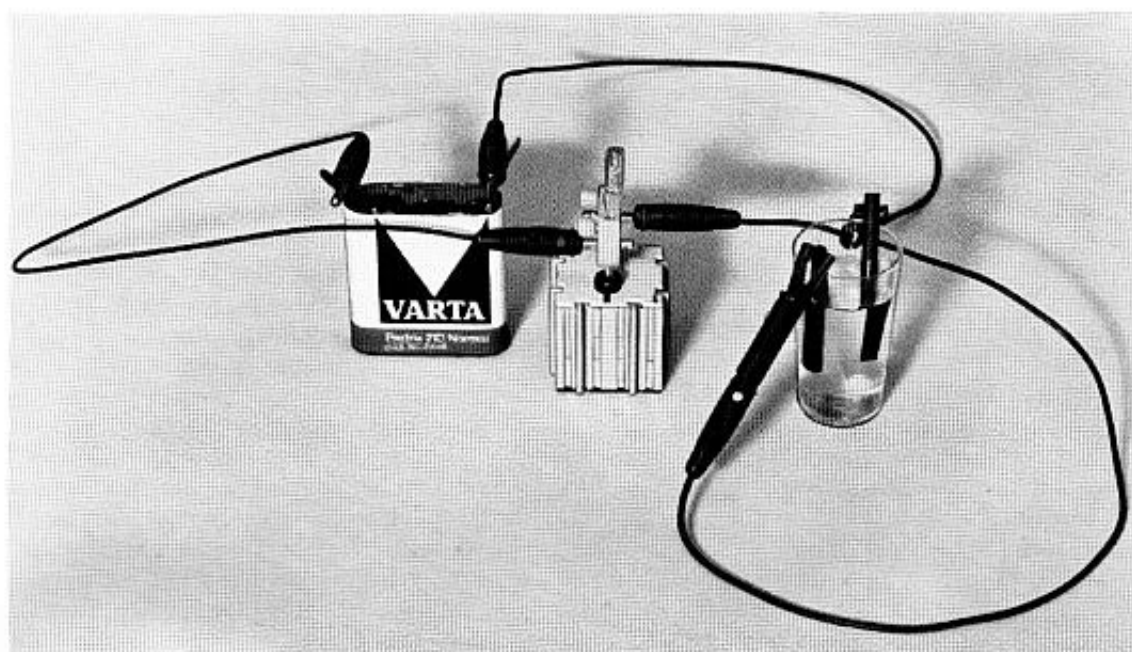
**Versuch 3 (flüssige Leiter)**

Um die Leitfähigkeit von Flüssigkeiten zu untersuchen, befestigt man an den Kabelenden mit den Krokodilklemmen 2 Kohlestäbchen (evtl. auch Stricknadeln) als Elektroden und taucht die Elektroden in die zu untersuchende Flüssigkeit. Als Elektroden bezeichnet man die Leiterstäbe, die in eine Flüssigkeit eintauchen. Bei gewöhnlichem Wasser leuchtet das Lämpchen meist nicht auf. Löst man aber in dem Wasser etwas Salz oder Laugenstein, oder gießt man etwas Säure hinein, so brennt das Lämpchen, zumindest, wenn man den Abstand zwischen beiden Kohleelektroden verringert. Je mehr Salz usw. in dem Wasser gelöst wird, um so heller brennt das Lämpchen.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
		Salz, Lauge, Säure	x
		Wasser	x
B	1	Batterie, 4,5 V	x
	1	Becher	980 7 1998 0
Ko	2	Kohle	610 2 3209 0
	2	Klemme	970 7 2146 0
K/rt	2	Kabel, rot	610 09
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Stecker, 2-fach	610 40
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0

x Nicht im Baukasten enthalten



## 2.3 Wärmewirkung des Stromes

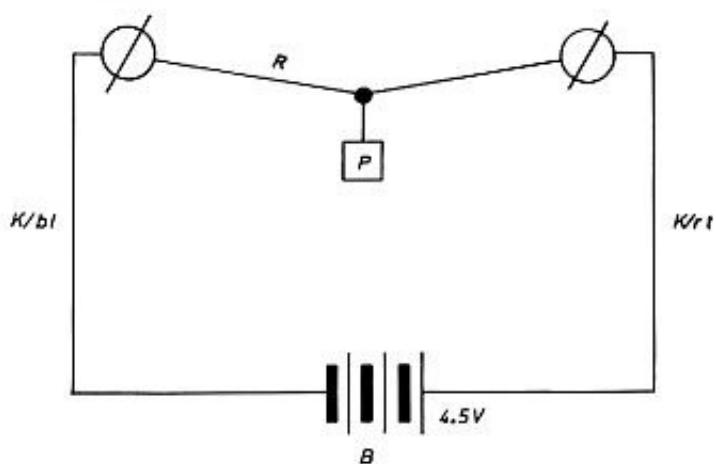
In einem stromdurchflossenen Leiter wird Wärme erzeugt. Dieser Vorgang hängt nicht von der Stromrichtung ab (siehe auch 2.4). Die Wärmewirkung wächst mit der Stromstärke.

Wenn man in Versuchsanordnung 1 an der Taschenlampenbatterie nacheinander die Spannungen einer Zelle, von 2 Zellen, von 3 Zellen abgreift, so brennt die Lampe verschieden hell, d. h. der Glühdraht wird je nach Stromstärke verschieden stark erwärmt.

## Versuch 4

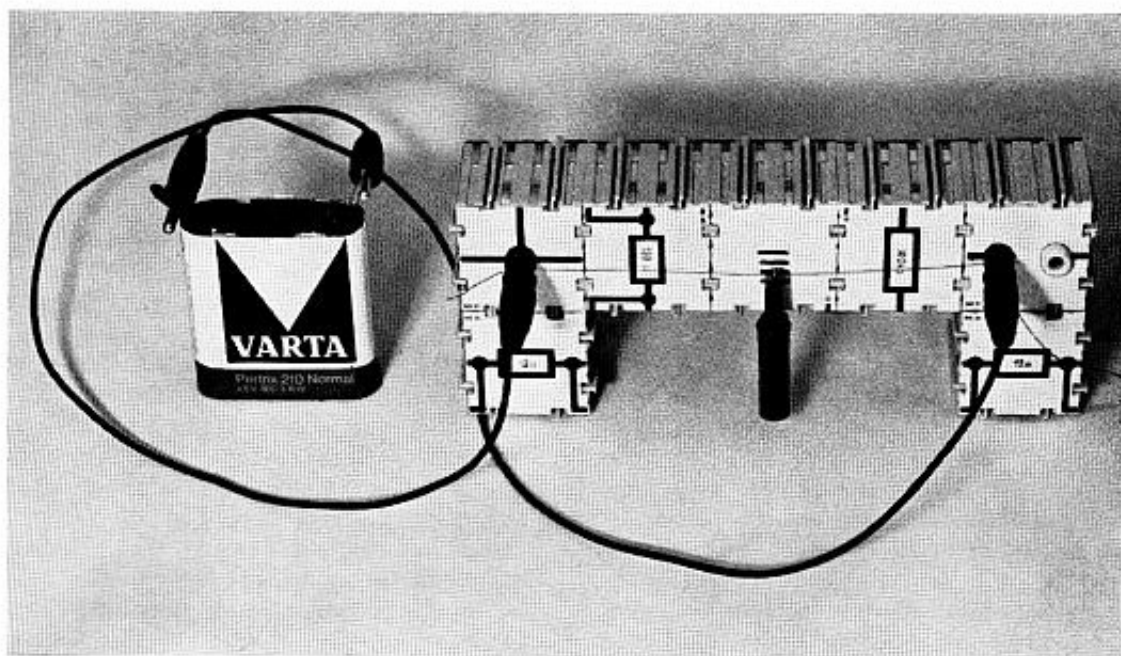
Man baut aus 7 Bausteinen, die jetzt eine rein mechanische Funktion haben, ein aus der Abbildung zu entnehmendes Gestell auf und spannt an den Bananensteckern ein Stück des Konstantandrahtes mit 0,1 mm Durchmesser ein. Man bringt den Draht zwischen Feder und Stift des Bananensteckers. Beim Einstecken wird die Feder gegen den Stift gedrückt und klemmt den Draht fest. Durch leichtes Drehen kann der Konstantandraht leicht gespannt werden. In der Mitte hängt man ein kleines Gewicht, z. B. eine Krokodilklemme, auf. Greift man verschiedene Spannungen ab, so erhält man verschiedene Stromstärken, und der Draht dehnt sich verschieden stark aus. Beim Umpolen erhält man denselben Ausschlag.

Bei stärkerem Strom wird dem Draht mehr Wärme zugeführt, seine Temperatur steigt, mit steigender Temperatur dehnt er sich aus und hängt dann weiter durch. Den Durchhang kann man zur Anzeige der Stromstärke benutzen (Hitzdrahtinstrument).



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
R	1	Widerst.-Draht	610 2 3207 0
	7	Baustein	610 ...
P	1	Gewicht	
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
	2	Klemme	970 7 2146 0

x Nicht im Baukasten enthalten





## 2.4 Chemische Wirkung

Bei der Untersuchung der Leiter (2.2) wurde festgestellt, daß bestimmte Flüssigkeiten (Säuren, Laugen, Salzlösungen) den elektrischen Strom leiten. Solche Flüssigkeiten heißen Elektrolyte, die mit der Stromquelle verbundenen Leiterstücke, die in den Elektrolyten eintauchen, Elektroden. Man nennt die Elektrode, die mit dem Minuspol verbunden ist, die Kathode und die mit dem Pluspol verbundene die Anode.

Beim Stromdurchgang durch einen Elektrolyten, d. h. bei der sogenannten Elektrolyse, wird der Elektrolyt chemisch verändert. An der Kathode wird Wasserstoff bzw. Metall abgeschieden, an der Anode wird Sauerstoff abgeschieden bzw. Metall abgelöst.

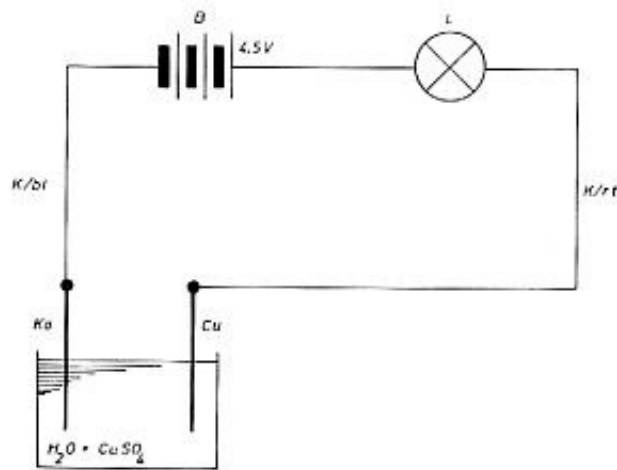
Der beobachtete Transport des Metalls von der einen Elektrode zur anderen war der Grund für die Wahl der Stromrichtung von Plus nach Minus. In metallischen Leitern ist mit dem Strom kein Materialtransport verknüpft. In Metallen bewegen sich die negativ geladenen Elektronen, die kaum Masse besitzen.

## Versuch 5

Man löst in einem mit Wasser gefüllten Becher  $\text{CuSO}_4$  (Kupfervitriol), bis eine blau gefärbte Flüssigkeit entsteht. Als Elektroden benutzt man den Cu-Streifen und ein Kohlestäbchen. Zweckmäßigerweise schiebt man die beiden Krokodilklemmen auf den Stecker. Mit den Krokodilklemmen wird der Cu-Streifen und das Kohlestäbchen möglichst zusammen mit einem Stäbchen (z. B. Streichholz) festgeklemmt und die Anordnung so auf den Becher gelegt, daß nur Kohle und Cu-Plättchen in den Elektrolyten eintauchen (vgl. Abbildung).

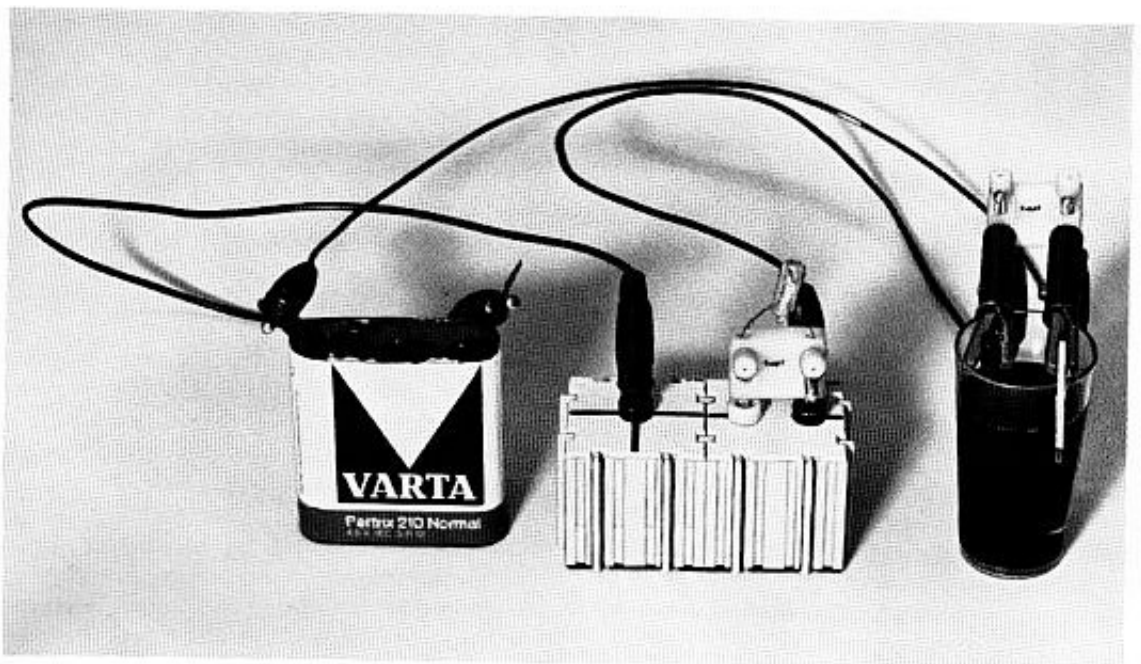
Im wesentlichen ist die Anordnung dieselbe wie bei Versuch 3. Die Stromstärke ist durch geeignetes Abgreifen an der Taschenlampenbatterie so zu wählen, daß das Glühlämpchen normal brennt. Gegebenenfalls schaltet man eine zweite Taschenlampenbatterie in Reihe mit der ersten und erhält so die Spannungen 6 V, 7,5 V, 9 V (vgl. auch 3.3). Macht man den Cu-Streifen zunächst zur Anode (+) und das Kohlestäbchen zur Kathode (-), so überzieht sich die Kohle nach ca. 5 Min. mit einer dünnen Cu-Schicht. Dreht man die Polung um, so wird das Cu wieder abgelöst und an der Cu-Platte angelagert.

Beim Galvanisieren überzieht man auf diese Weise einen Gegenstand aus unedlem Metall mit einer Schicht aus edlerem Metall. So werden Metalle verzinkt, versilbert, verkupfert und vergoldet.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
Cu SO <sub>4</sub>		Kupfervitriol	x
Ko	1	Kohlestift	610 2 3209 0
	1	Becher	980 7 1998 0
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0
	2	Klemme	970 7 2146 0
Cu	1	Cu-Streifen	610 2 3003 0
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
	2	Stecker, 2-fach	610 40
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09

x Nicht im Baukasten enthalten



## 2.5 Magnetische Wirkung des Stromes

Eine stromdurchflossene Spule mit Weicheisenkern verhält sich wie ein Stabmagnet mit Nord- und Südpol. Das Ende einer Spule, das ein elektrischer Strom – von außen gesehen – im Uhrzeigersinn durchfließt, ist ein Südpol, fließt er im Gegensinn, so ist es ein Nordpol.

Für permanente Magnete und Elektromagnete gilt: Gleichnamige Pole ziehen sich an, ungleichnamige stoßen sich ab.

## Versuch 6

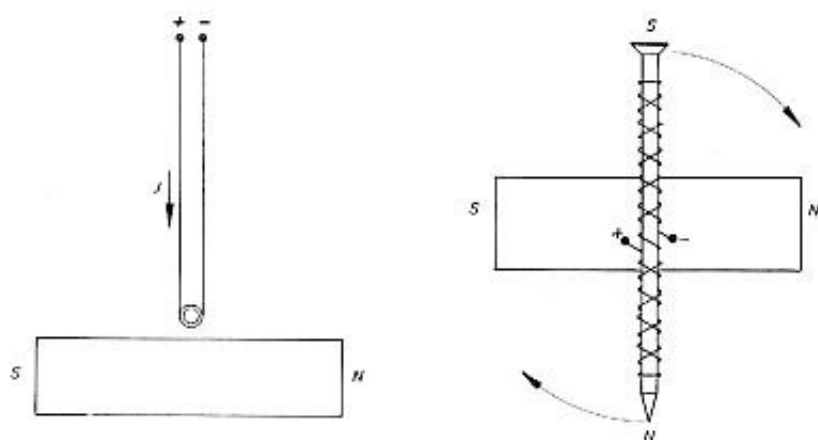
Man umwickelt einen 8–10 cm langen gewöhnlichen Eisennagel mit einem der Kabel. Es ergeben sich ca. 25 Windungen. Die Verbindungskabel zur Stromquelle werden mit den Krokodilklemmen an die Wicklung angeschlossen. Zum Anschluß an die Batterie (4,5 V) werden die Bananenstecker zwischen Feder und Stift in die Klemmstreifen eingehängt. Bei geschlossenem Stromkreis ist der Nagel magnetisch. Er hält kleinere Nägel fest und läßt sie beim Unterbrechen des Stromkreises wieder fallen.

Zweckmäßig legt man die Wicklungen um den Nagel so an, daß die Enden in der Mitte des Nagels sind und der Elektromagnet frei beweglich aufgehängt werden kann (vgl. Abb.).

Bringt man einen permanenten Stabmagneten unter den aufgehängten Elektromagneten (Abb.), kann man beobachten, daß der Elektromagnet bei Stromschluß eine Drehung erfährt, die mit der Stromstärke wächst. Steigende Stromstärken erhält man durch entsprechendes Abgreifen größerer Spannungen an der Taschenlampenbatterie. Aus dem Drehsinn kann man auf den Nord- und Südpol des Elektromagneten schließen. Gleichnamige Pole stoßen sich ab. Hat man den Pol ermittelt, vergleicht man mit dem Umlaufsinn des Stromes.

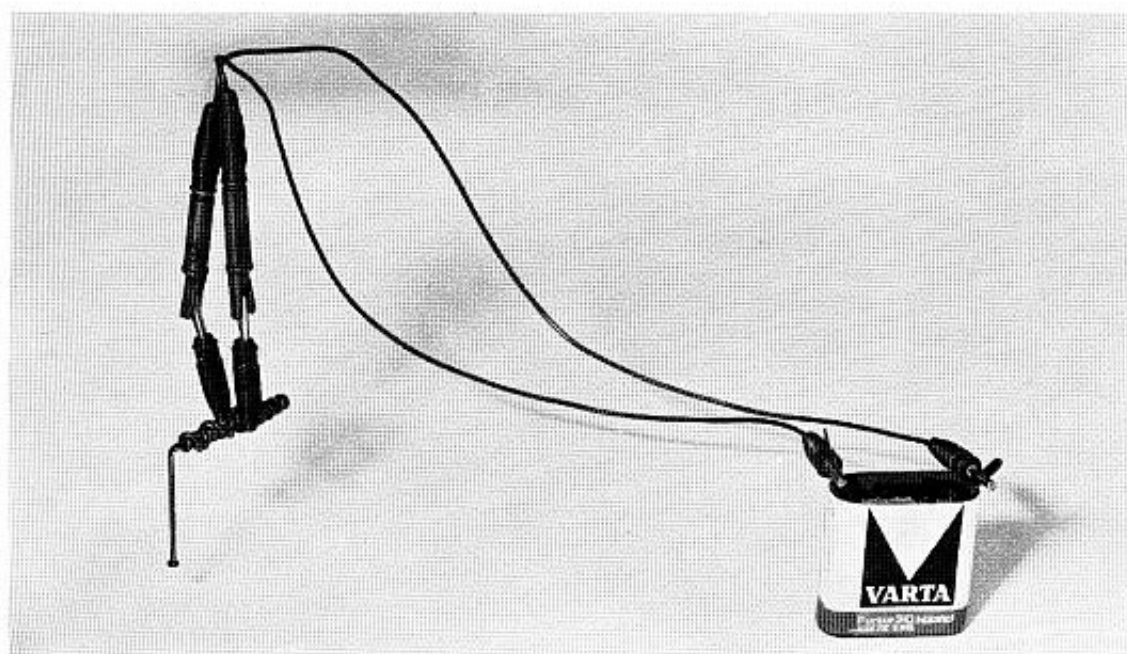
Zugleich stellt die zuletzt besprochene Anordnung ein sehr vereinfachtes Modell eines Drehspulenmeßinstrumentes dar. Eine drehbare Spule (Elektromagnet) erfährt bei größerer Stromstärke einen stärkeren Ausschlag.

Als permanenten Stabmagneten benützt man notfalls einen magnetischen Türverschluss, dessen Polung gefunden wird, wenn man den Magneten an einem Faden aufhängt und seine Orientierung im magnetischen Erdfeld abwartet. Der N-Pol zeigt nach Norden.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
	2	Nagel	x
	1	Dauermagnet	x
	2	Klemme	970 7 2146 0
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09

x Nicht im Baukasten enthalten



### 3.1 Stromstärke – Ampere

Die elektrische Stromstärke, die mit dem Buchstaben  $I$  bezeichnet wird, bestimmt bei unverändertem Leiter die entwickelte Wärmemenge (siehe 2.3) und die damit verbundene Temperaturerhöhung, sie bestimmt die Stärke des Magnetfeldes und die Masse der bei Elektrolyse abgeschiedenen Stoffmenge. Die Masse der pro Sekunde abgeschiedenen Stoffmenge ist der Stromstärke  $I$  direkt proportional. Aufgrund dieser Tatsache wird die Einheit der Stromstärke, das Ampere, festgelegt.

Der elektrische Strom hat die Stärke 1 A, wenn er aus einer wässrigen Silbernitratlösung je Sekunde 1,118 mg Silber (Ag) abscheidet oder aus angesäuertem Wasser in 1 Sek.  $0,174 \text{ cm}^3$  Knallgas bei  $0^\circ \text{ C}$  und 760 Torr Luftdruck abscheidet.  $1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$ ,  $1 \text{ mA} = 1000 \mu\text{A}$

### Versuch 7

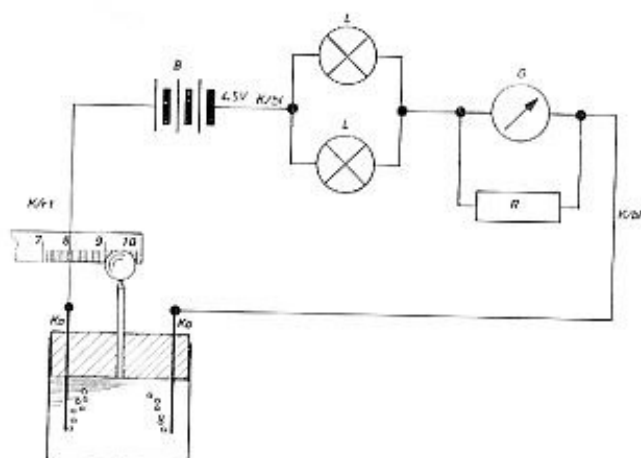
Als Elektroden benützt man 2 Kohlestäbchen, die gasdicht in die beiden seitlichen Bohrungen des Korkstopfens gesteckt werden. In die mittlere Bohrung setzt man ebenfalls gasdicht die Glasspitze ein. Man füllt das Reagenzglas so weit mit Wasser, daß beim Aufsetzen des Korkstopfens das Wasser in der Glasspitze noch hochsteigt. Das Wasser wird mit einigen Tropfen Schwefelsäure, die in der Apotheke zu besorgen ist, so stark angesäuert, daß in dem angegebenen Stromkreis das Meßinstrument bei 4,5 V etwa 5 Skalenteile Ausschlag zeigt. 5 Skalenteile bedeutet bei dem 1,2-Ohm-Parallelwiderstand eine Stromstärke  $I = 0,05 \text{ A}$  (vgl. 4.6). Bei geschlossenem Stromkreis beobachtet man an der Kathode eine stärkere (Wasserstoff) Gasbildung als an der Anode (Sauerstoff). Die Gasbildung geht auf die Hälfte zurück, wenn man ein Glühlämpchen entfernt (Stecker herausziehen) und damit die Stromstärke auf die Hälfte herabsetzt. Wasserstoff und Sauerstoff vermengen sich zu Knallgas, das in der Glasspitze hochsteigt. Man taucht ein Stäbchen, das am besten eine cm-Einteilung aufweist, in Seifenlösung und bringt es an die Glasspitze. Die sich bildenden Seifenblasen erreichen nach 60 sec einen Durchmesser von 1 cm. In einer Kerzenflamme verbrennt die Seifenblase unter starker Hitzebildung (Knall) wieder zu Wasser.

Eine Kugel mit dem Durchmesser 1 cm hat ein Volumen  $V \approx \frac{1}{6} \text{ cm}^3$ ,  $I = 0,05 \text{ A}$  scheiden also in 1 sec

$$V = \frac{1}{2 \cdot 60} \text{ cm}^3 \text{ Knallgas und } I = 1 \text{ A in 1 sec}$$

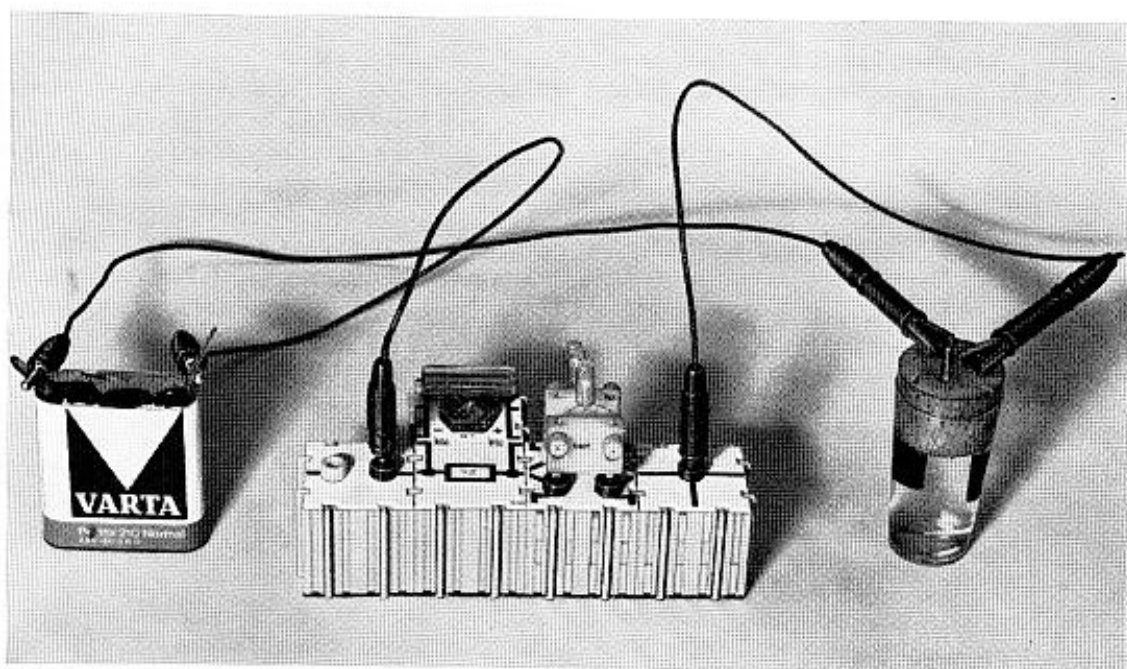
$$V = 1/6 \text{ cm}^3 \approx 0,17 \text{ cm}^3 \text{ Knallgas ab.}$$

Es ist darauf zu achten, daß die Glasspitze unten mit dem Korken abschließt.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
Ko	2	Kohlestift	610 2 3209 0
B	1	Batterie, 4,5 V	x
	1	Becher	980 7 1998 0
	1	Stopfen	610 2 3016 0
	1	Glasspitze	610 2 3017 0
	2	Klemme	970 7 2146 0
L	2	Lampe, 6 V/ 50 mA	610 2 3007 0
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27
R	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Verbindungsteil	610 07
	2	Stecker, 2-fach	610 40

x Nicht im Baukasten enthalten



### 3.2 Ladung – Coulomb

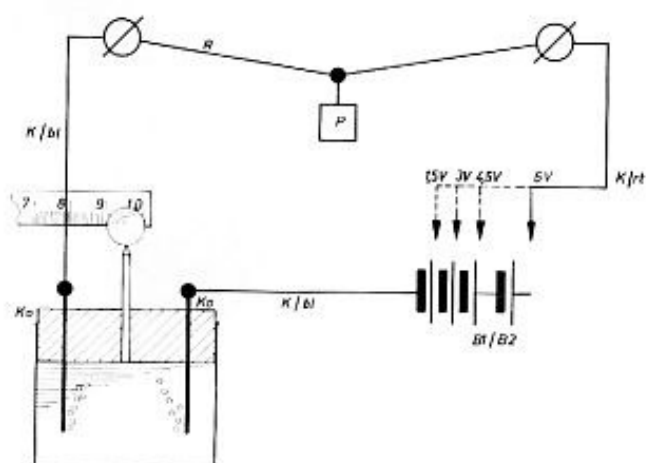
Der elektrische Strom ist die Bewegung von elektrischen Ladungen. Jeder Körper, Leiter oder Nichtleiter, enthält elektrische Ladungen. Im normalen Zustand besitzt er gleiche Mengen negativer und positiver Ladung. Jeder Körper (flüssig oder fest) besteht aus Atomen. Der Atomkern besitzt positive Ladung, und seine Hülle besteht aus negativen Ladungen. Die positive Ladung des Kernes ist gleich groß wie die negative Ladung der Hülle. Legt man an einen Körper eine Spannung an, so erfahren die Minusladungen eine Kraft zum Pluspol und die Plusladungen eine Kraft zum Minuspol der Spannungsquelle. Handelt es sich um einen festen Isolator (Nichtleiter), so erfahren die Ladungen wohl eine Kraft, aber sie können sich nicht in Bewegung setzen. Bei einem festen Leiter (Metall) ist pro Atom etwa 1 Elektron so locker gebunden, daß es sich in Bewegung setzen kann. Je mehr solche freibeweglichen Elektronen pro sec den Leiterquerschnitt passieren, um so größer ist der Strom  $I$ . Bei einem Strom  $I = 1 \text{ A}$  passiert pro sec die Ladungsmenge  $Q = 1 \text{ Coulomb}$  den Querschnitt (das sind etwa 6 Trillionen Elektronen). Man schreibt

$Q = I \cdot t \quad 1 \text{ Coulomb (1 C)} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ sec}$   
 1 Coulomb (1 C) scheidet in beliebiger Zeit  $0,174 \text{ cm}^3$  Knallgas ab.

Eine Flüssigkeit leitet nicht, wenn sich in ihr nur neutrale Atome befinden (dest. Wasser). Erst wenn ein Teil der Atome ein zusätzliches überzähliges Elektron in die Hülle aufnehmen (neg. Ion) oder 1 Elektron aus der Hülle abgeben (pos. Ion), wandern diese Ionen (Wanderer) in der Flüssigkeit zur Anode (Anionen) oder zur Kathode (Kationen). Die Ionenwanderung stellt einen Materialtransport dar.

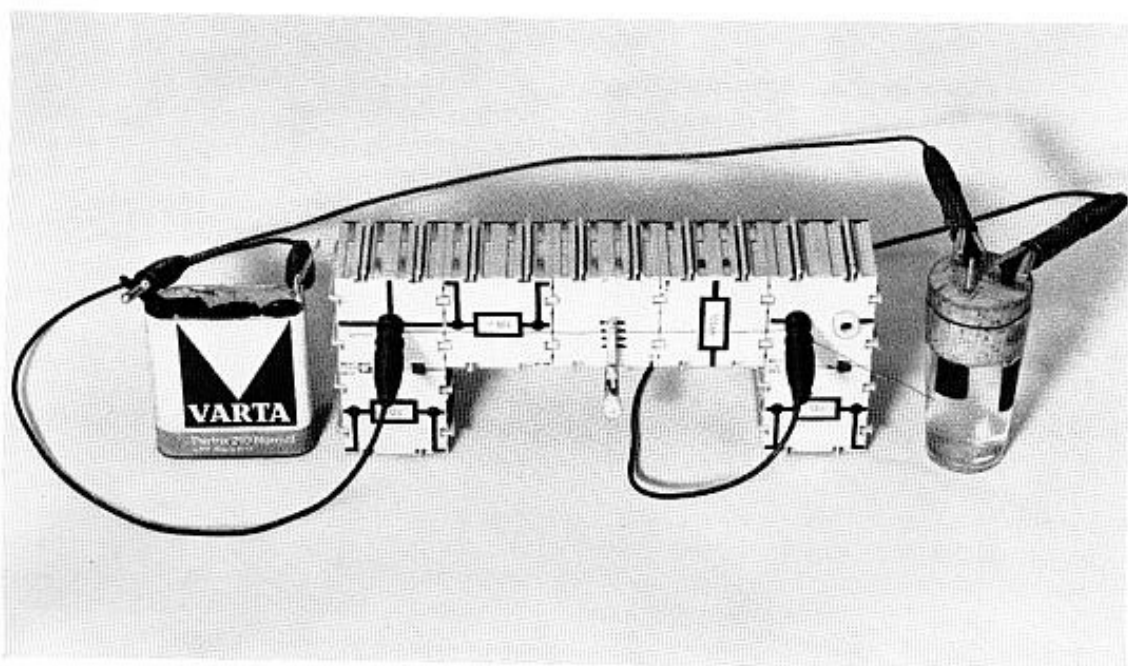
#### Versuch 8

Da die in Versuch 7 abgeschiedene Knallgasmenge der Ladung  $Q$  direkt proportional ist, nennt man eine solche Anordnung auch ein Knallgascoulombmeter. Im vorliegenden Versuch soll diese Anordnung zur Eichung des Hitzdrahtinstrumentes (Modell) benützt werden. Man bringt an dem Modell an dem mittleren Baustein einen Papierstreifen an, auf dem die Skalenteile markiert werden können. Greift man an den Taschenlampenbatterien die Spannungen  $V = 1,5 \text{ V}, 3,0 \text{ V}, 4,5 \text{ V}, 6,0 \text{ V}$  ab, so beobachtet man eine immer stärkere Gasentwicklung und einen immer größer werdenden Ausschlag des Hitzdrahtinstrumentes. Man mißt nun für die einzelnen Spannungen die Zeit, in der eine Seifenblase vom Durchmesser  $2r = 1 \text{ cm}$ , d. h. eine Seifenblase mit dem Volumen  $V = \frac{1}{2} \text{ cm}^3$  gebildet wird. Man erhält Werte, nach denen man eine ungefähre Skala anfertigen kann. Es ist darauf zu achten, daß die Glasspitze unten mit dem Korken abschließt.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
		Wasser, angesäuert	x
	1	Stopfen	610 2 3016 0
	1	Glasspitze	610 2 3017 0
Ko	2	Kohlestift	610 2 3209 0
	1	Becher	980 7 1998 0
R	1	Widerstandsdraht	610 45
P	1	Gewicht	x
	2	Klemme	970 7 2146 0
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
	7	Baustein	610 ...

x Nicht im Baukasten enthalten





### 3.3 Spannung – Volt

In einem Stromkreis kann nur dann ein Strom fließen, wenn an den Polen der Stromquelle eine Spannung herrscht. Die elektrische Spannung, die mit dem Buchstaben  $U$  bezeichnet wird, ist die Ursache für das Fließen des Stromes.

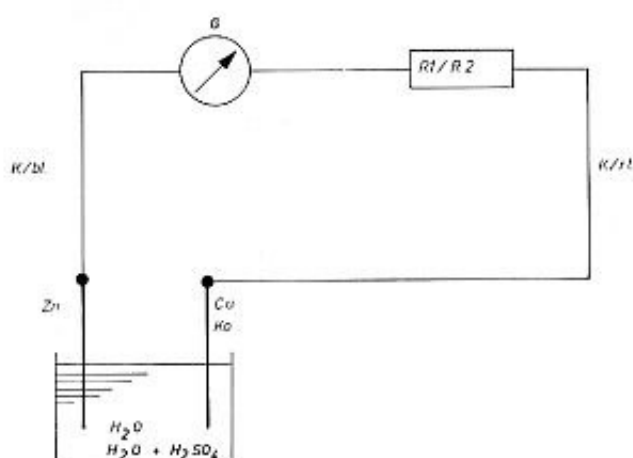
Die Einheit der Spannung, das Volt (V) wird festgelegt über die Spannung von galvanischen Elementen. Bei ihnen entsteht die Spannung durch chemische Vorgänge. Taucht man eine Kupfer- und eine Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure, so entsteht ein sogenanntes Voltaschen Element mit der Spannung von etwa 1 V. Man kann nun sagen: Die Einheit der Spannung heißt 1 Volt (1 V). Die Spannung 1 V ist nahezu die Spannung eines frisch angesetzten Voltaschen Elementes.

Die Spannung 2 V, 3 V usw. erhält man, wenn man 2, 3, usw. Voltasche Elemente hintereinanderschaltet. Vgl. hierzu die Spannung bei der Taschenlampenbatterie, wo Kohle - Zink - Elemente mit je 1,5 V hintereinander geschaltet werden.

### Versuch 9

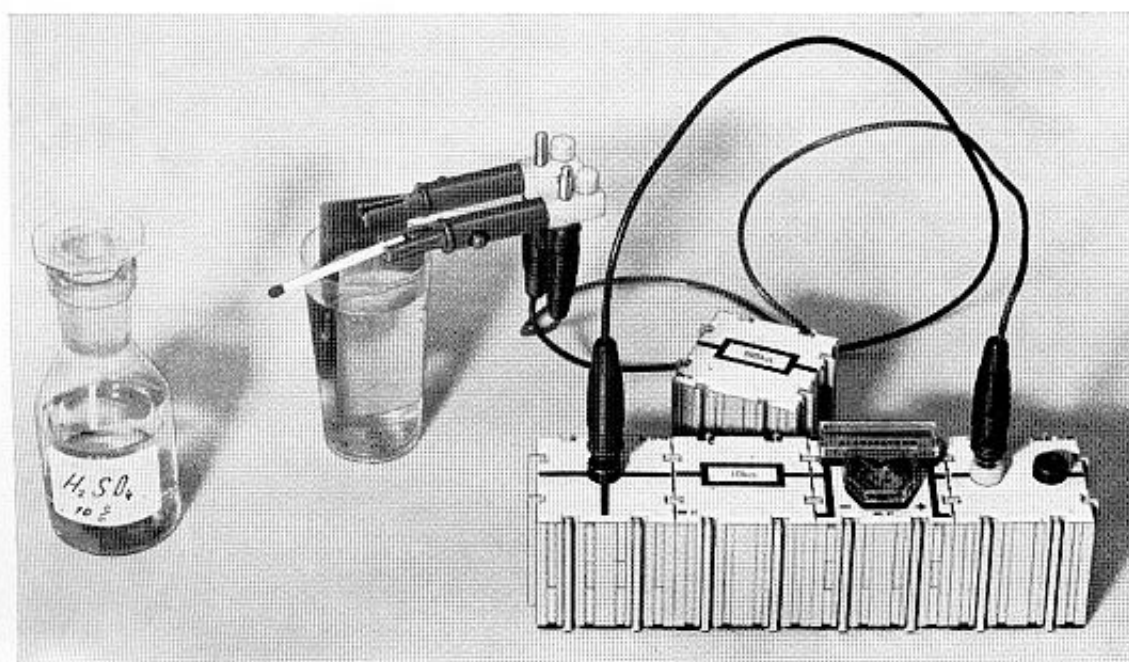
Man befestigt ähnlich wie bei Versuch 5 an den Krokodilklemmen den Cu- und den Zn-Streifen, taucht beide in gewöhnliches Leitungswasser und mißt die Spannung, indem man dem Meßinstrument den 10 k $\Omega$ -Baustein vorschaltet. Als Anschlußklemmen benützt man 2 Buchsen-Bausteine. Das Meßinstrument in Reihe mit dem 10 k $\Omega$ -Baustein stellt ein Voltmeter für 1 V dar, mit dem 100 k $\Omega$ -Baustein ein Voltmeter für 10 V (vgl. 4.5). Man mißt die Spannung  $U = 0,5$  V, die auf 1 V ansteigt, wenn man das Wasser mit Schwefelsäure leicht ansäuert. Es zeigt sich, daß die Spannung vom Plattenabstand (Drehen der Krokodilklemmen) und der Plattengröße (langsameres Herausziehen der Platte) **nicht** abhängt, sondern nur von den Metallsorten und dem Säuregehalt des Elektrolyten.

Wählt man Kohle und Zink, so erhält man max. die Spannung 1,5 V (Taschenlampenbatteriezellen).



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
		Leitungswasser	x
		Wasser, angesäuert	x
Ko	1	Kohlestift	610 2 3209 0
	1	Becher	980 7 1998 0
	2	Klemme	970 7 2146 0
Zn	1	Zn-Streifen	610 2 3004 0
Cu	1	Cu-Streifen	610 2 3003 0
K/rt.	1	Kabel, rot	610 09
K/bl.	1	Kabel, blau	610 05
	1	Verbindungsstück	610 07
R2	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
R1	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Anschlußbuchse	610 04

x Nicht im Baukasten enthalten



### Versuch 10

Um den Zusammenhang zwischen der Spannung  $U$  und dem Strom  $I$  genauer zu erfassen, benötigt man anstelle der Glühlampe das Meßinstrument, das bei dem  $I = 100 \mu\text{A} = 0,1 \text{ mA}$  Vollausschlag zeigt. In den Stromkreis wird zunächst ein Stromleiter mit den Farbringen braun, schwarz, gelb eingebaut. Die in Reihe geschalteten Zellen der Taschenlampenbatterie liefern die Spannungen  $1,5 \text{ V}$ ,  $3,0 \text{ V}$ ,  $4,5 \text{ V}$ . Man erhält die in der Tabelle zusammengestellten Stromwerte. Man sieht, daß einer Vervielfachung der Spannung eine entsprechende Vervielfachung des Stromes entspricht. Trägt man in der 3. Spalte das Verhältnis  $U/I$  ein, so erhält man eine konstante Größe. Diese Größe nennt man den Widerstand  $R$ . Er beträgt  $100\,000 \Omega$ . Benützt man Leiter mit den Farbringen rot; rot, gelb bzw. grün, braun, orange, so erhält man die Werte  $R = 220\,000 \Omega$  bzw.  $51\,000 \Omega$ .

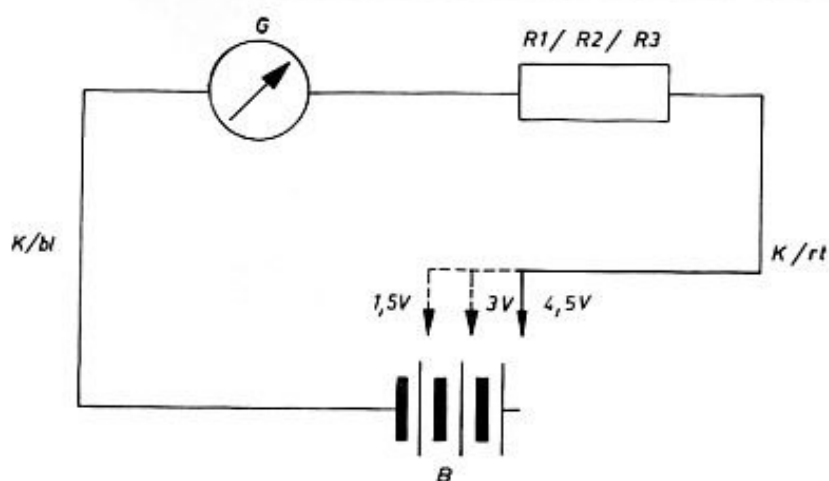
Markierung des Leiters	$U$ (V)	$I$ ( $\mu\text{A}$ )	$R = \frac{U}{I}$ ( $\mu\text{A}$ ) (V)
braun, schwarz, gelb	1,5	15	0,1
	3,0	30	0,1
	4,5	45	0,1
rot, rot, gelb	1,5	6,8	0,22
	3,0	13,6	0,22
	4,5	20,5	0,22
grün, braun, orange	1,5	29	0,051
	3,0	59	0,051
	4,5	88	0,051

### 4.1 Ohmsches Gesetz

Wenn man bei ein und demselben Leiter die Spannung  $U$  verdoppelt bzw. verdreifacht, erhält man den doppelten bzw. dreifachen Strom  $I$ , d. h. das Verhältnis  $U/I$  ist konstant. (Ohmsches Gesetz). Das Verhältnis  $U/I$  nennt man den Widerstand  $R$  und schreibt  $R = U/I$  (Definition des Widerstandes). Die Maßeinheit des Widerstandes ist  $1 \Omega$ .

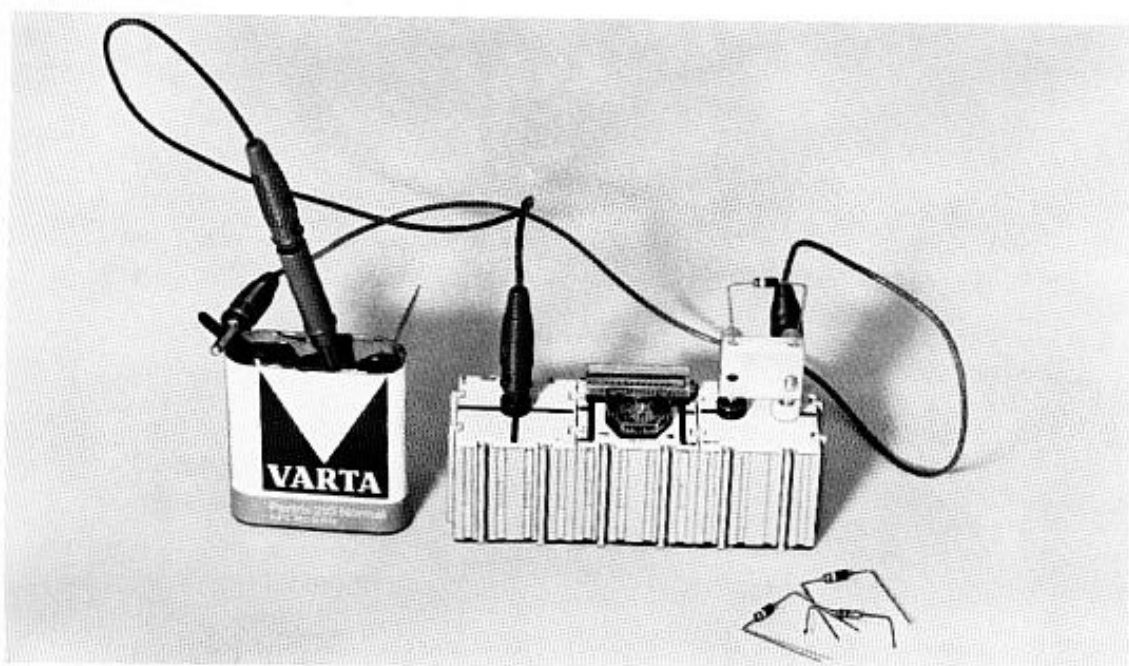
Definition: Ein Leiter hat den Widerstand  $1 \Omega$ , wenn bei einer Spannung  $U = 1 \text{ V}$  der Strom  $I = 1 \text{ A}$  fließt.

$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega$ ,  $1 \text{ M}\Omega = 1\,000\,000 \Omega = 10^6 \Omega$ .



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Verbindungsteil	610 07
R3	1	Widerst. gr./br./or.	930 7 2128 0
B	1	Batterie 4,5 V	x
R2	1	Widerst. br./schw./ge.	930 7 1473 0
R1	1	Widerst. rt./rt./ge.	930 7 2129 0
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27
	1	Stecker, 2-fach	610 40

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.2 Reihenschaltung von Widerständen

Bei Reihenschaltung addieren sich die Widerstände. Der Gesamtwiderstand ist größer als der größte Einzelwiderstand.

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Bei diesen Untersuchungen ist es zweckmäßig, zusammenstimmende Maßeinheiten von U, I und R anzuwenden. Am Ende des Buches findet man genauere Angaben.

Man verwendet zweckmäßigerweise entweder

$$\begin{array}{l} V - A - \Omega \quad \text{oder} \\ V - \text{mA} - \text{k}\Omega \quad \text{oder} \\ V - \mu\text{A} - \text{M}\Omega \end{array}$$

#### Versuch 11

Schaltet man 3 100 k $\Omega$ -Widerstände in Reihe, so erhält man bei der Spannung U = 4,5 V die in der Tabelle zusammengestellten Meßwerte.

Zahl der Widerstände	U (V)	I ( $\mu$ A)	$R = \frac{U}{I}$ (M $\Omega$ )
2	4,5	22	0,200 M $\Omega$
3	4,5	15	0,300 M $\Omega$

Schaltet man einen 100 k $\Omega$ -Widerstand und einen 51 k $\Omega$ -Widerstand in Reihe, so ergeben sich die nachfolgenden Meßwerte:

U (V)	I ( $\mu$ A)	$R = \frac{U}{I}$ (M $\Omega$ )
4,5	30	0,150 M $\Omega$

Wenn die Spannung U und der Strom I gegeben ist, kann man also den Widerstand  $R = U/I$  berechnen.

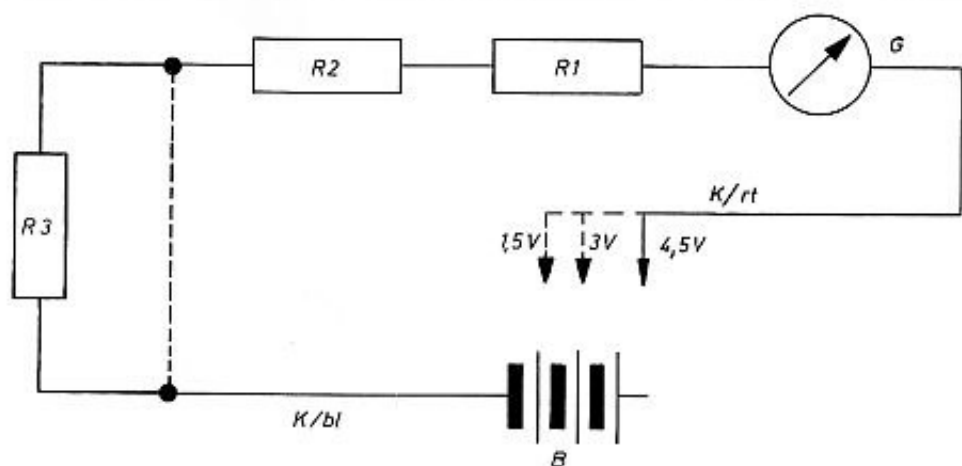
Ist umgekehrt der Widerstand R und die Spannung U vorgegeben, so kann man den Strom  $I = U/R$  ausrechnen.

Beispiel:  $R = 10\,000 \Omega$ ,  $U = 4,5 \text{ V}$ ,

$$\begin{aligned} I &= \frac{U}{R} = \frac{4,5 \text{ V}}{10\,000 \Omega} = 0,00045 \text{ A} \\ &= 0,45 \text{ mA} = 450 \mu\text{A} \end{aligned}$$

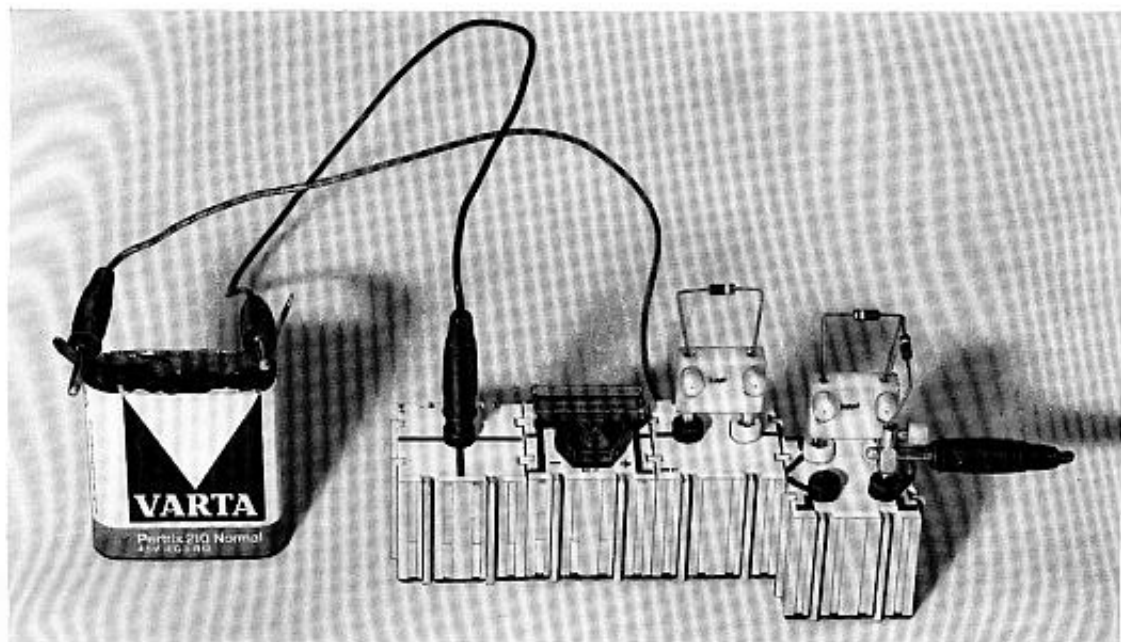
Ist der Widerstand R gegeben und der über den Widerstand fließende Strom I, so ist die an den Widerstand angelegte Spannung  $U = R \cdot I$ .

Beispiel:  $R = 10\,000 \Omega$ ,  $I = 450 \mu\text{A}$ ,  
 $U = R \cdot I = 10\,000 \Omega \cdot 0,00045 \text{ A} = 4,5 \text{ V}$ .



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
R1/R2/R3	3	Widerstand, 100 k $\Omega$	930 7 1473 0
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27
	1	Verbindungsteil	610 07
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43

x Nicht im Baukasten enthalten



### Versuch 12 und 13

Man schaltet die Widerstände  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$  und  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$  bzw.  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$  und  $R_2 = 51 \text{ k}\Omega$  nach dem Schaltplan parallel. Durch Verschieben des vierpoligen Bausteines ist das Meßinstrument zuerst im Hauptkreis, dann im oberen Zweig und schließlich im unteren Zweig. Man erhält die folgenden Meßwerte:

1.	2.	3.	4.	5.	6.
U (V)	$R_1$ (M $\Omega$ )	$R_2$ (M $\Omega$ )	I ( $\mu$ A)	$I_1$ ( $\mu$ A)	$I_2$ ( $\mu$ A)
3	0,100	0,100	60	30	30
3	0,100	0,051	90	30	60

Ein Vergleich der Spalten 4, 5 und 6 ergibt Regel I.  
Ein Vergleich der Spalten 2, 3, 4 und 5 ergibt Regel II.

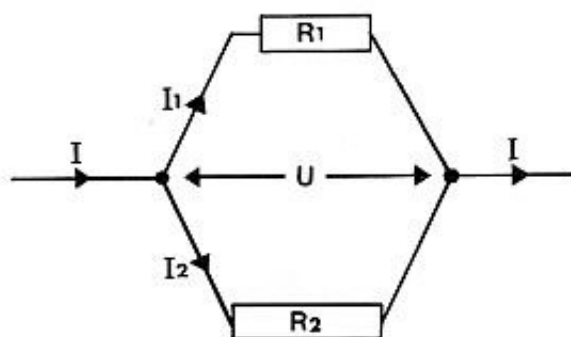
Die zweite Kirchhoffsche Regel erhält man auch nach dem Ohmschen Gesetz.

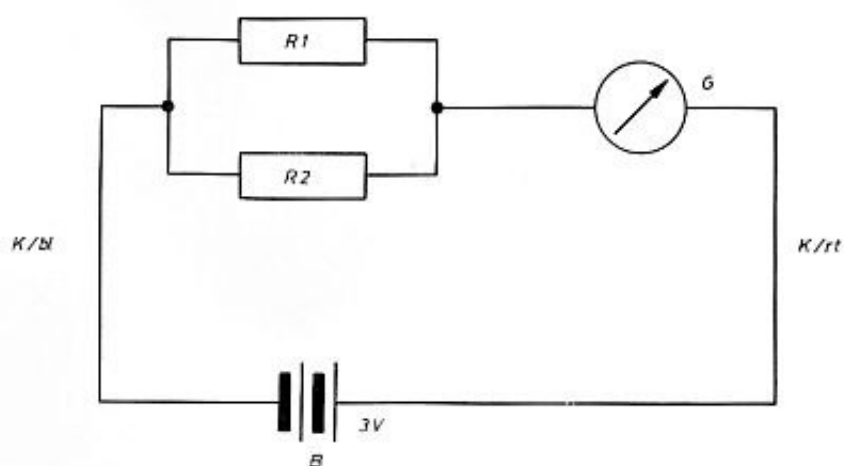
$$\text{Es ist } I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2} \text{ und damit } \frac{I_1}{I_2} = \frac{U \cdot R_2}{R_1 \cdot U} = \frac{R_2}{R_1}$$

### 4.3 Kirchhoffsche Regeln

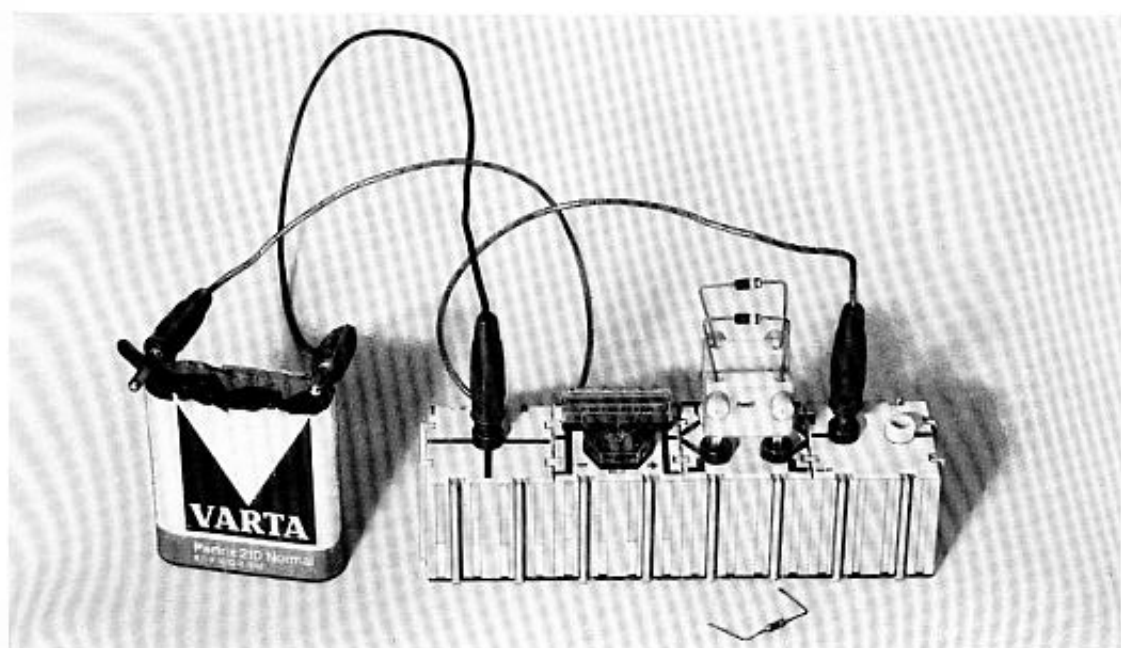
Bei einer Stromverzweigung gelten die Kirchhoffschen Regeln.

- I. Der Hauptstrom ist gleich der Summe der Zweigströme.  $I = I_1 + I_2$ .
- II. Die Zweigströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände der Stromzweige.  
 $I_1 : I_2 = R_2 : R_1$ .





Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Verbindungsteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	2	Stecker, 2-fach	610 40
R <sub>1</sub> /R <sub>2</sub>	2	Widerstand, 100 k $\Omega$	930 7 1473 0
R <sub>2</sub>	1	Widerstand, 51 k $\Omega$	930 7 2128 0
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09





#### 4.4 Parallelschaltung von Widerständen

Der Kehrwert des Gesamtwiderstandes ist bei Parallelschaltung von Widerständen gleich der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände.

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Führt man den Begriff des Leitwertes  $G = 1/R$  ein, so kann man auch sagen:

$$G_{\text{ges}} = G_1 + G_2$$

Merke: Der Gesamtwiderstand ist stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

#### Versuch 13 und 12

Die Auswertung der Meßwerte bei Versuch 12 ergibt

$$R_1 = \frac{3 \text{ V}}{30 \mu\text{A}} = 0,1 \text{ M}\Omega, R_2 = \frac{3 \text{ V}}{30 \mu\text{A}} = 0,1 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{3 \text{ V}}{60 \mu\text{A}} = 0,05 \text{ M}\Omega$$

Rechnung:

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{100 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{100 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{50 \text{ k}\Omega}$$

$$R_{\text{ges}} = 50 \text{ k}\Omega$$

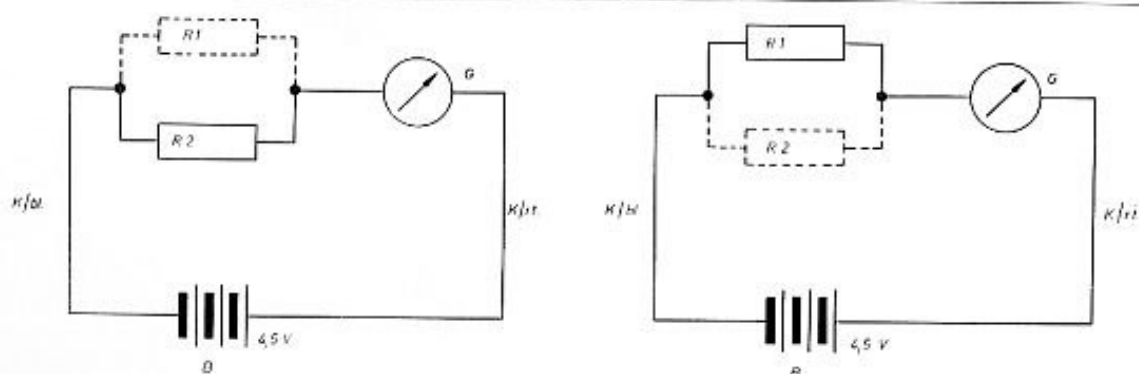
$$R_1 = 0,1 \text{ M}\Omega, R_2 = 0,05 \text{ M}\Omega, R_{\text{ges}} =$$

$$\frac{3 \text{ V}}{90 \mu\text{A}} = 0,033 \text{ M}\Omega$$

Rechnung:

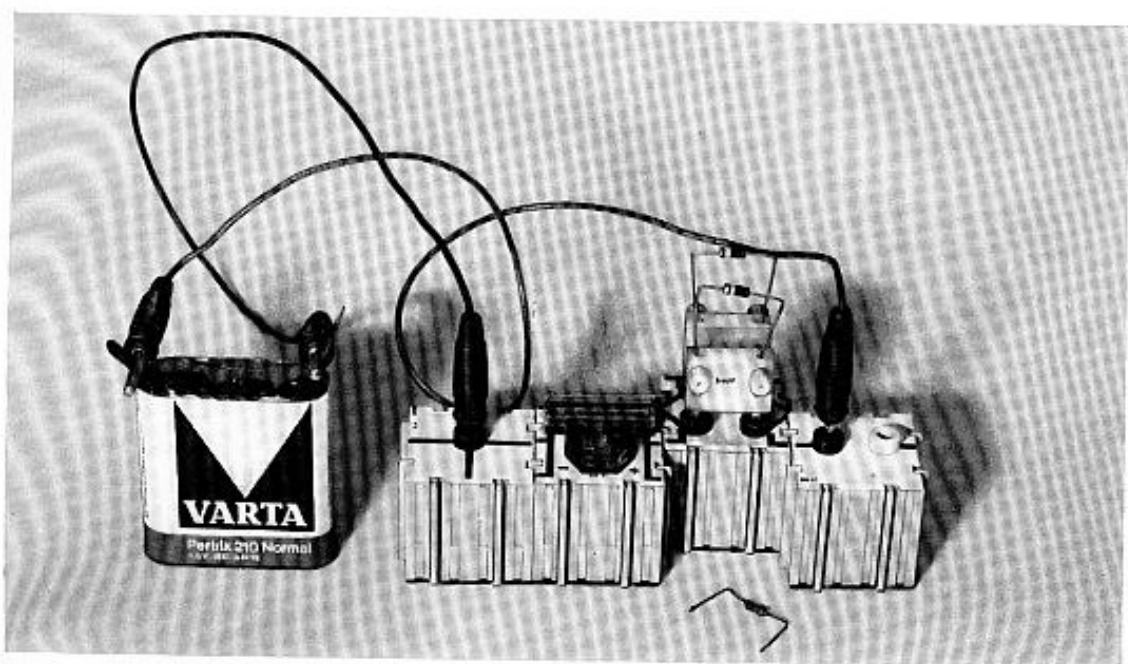
$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{100 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{50 \text{ k}\Omega} = \frac{3}{100 \text{ k}\Omega};$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{100 \text{ k}\Omega}{3} = 33 \text{ k}\Omega = 0,033 \text{ M}\Omega$$



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Verbindungsteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	2	Stecker, 2-fach	610 40
R <sub>1</sub> /R <sub>2</sub>	2	Widerstand, 100 kΩ	930 7 1473 0
R <sub>2</sub>	1	Widerstand, 51 kΩ	930 7 2128 0
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/r	1	Kabel, rot	610 09

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.5 Meßbereichänderung bei Voltmeter

Man kann jedes Amperemeter als Voltmeter benutzen, wenn man seinen inneren Widerstand  $R_i$  (z. B. Widerstand der Drehspule, des Hitzdrahtes) kennt. Ist  $I_m$  der Strom, bei dem das Meßwerk Vollausschlag zeigt, so liegt bei Vollausschlag nach dem Ohmschen Gesetz die Spannung  $U_m = R_i \cdot I_m$  an den Klemmen des Meßwerkes. Für unser Meßwerk gilt:

$$I_m = 0,1 \text{ mA}, R_i = 1,2 \text{ k}\Omega, \text{ und } U_m = R_i \cdot I_m = 0,12 \text{ Volt.}$$

Jedes stromverbrauchende Voltmeter ist im Grunde ein umgezeichnetes Amperemeter.

Soll bei einem Voltmeter die Spannung  $U$  Vollausschlag ergeben, muß bei der angelegten Spannung  $U$  der Strom  $I_m$  fließen. Der Gesamtwiderstand  $R$  des Voltmeters muß durch Reihenschaltung eines Vorwiderstandes  $R_v$  so groß gemacht werden, daß folgendes gilt:

$$I_m = \frac{U}{R_v + R_i} \text{ oder } R_v = \frac{U}{I_m} - R_i$$

Je größer der Meßbereich eines Voltmeters werden soll, desto größer muß der Widerstand gewählt werden.

Die Klemmen eines Voltmeters (Meßwerk und Vorwiderstand gelten als Voltmeter) sind mit den Punkten zu verbinden, zwischen denen man die Spannung messen will. Voltmeter werden parallel geschaltet.

#### Versuch 14

Wählt man als Vorwiderstand den  $100 \text{ k}\Omega$ -Baustein, so ergibt sich der Meßbereich

$$U = (R_v + R_i) \cdot I_m = 101,2 \text{ k}\Omega \cdot 0,1 \text{ mA} = 10 \text{ V.}$$

Man kann die Spannungen  $U = 1,5 \text{ V}, 3,0 \text{ V}, 4,5 \text{ V}$  einer Taschenlampenbatterie messen.

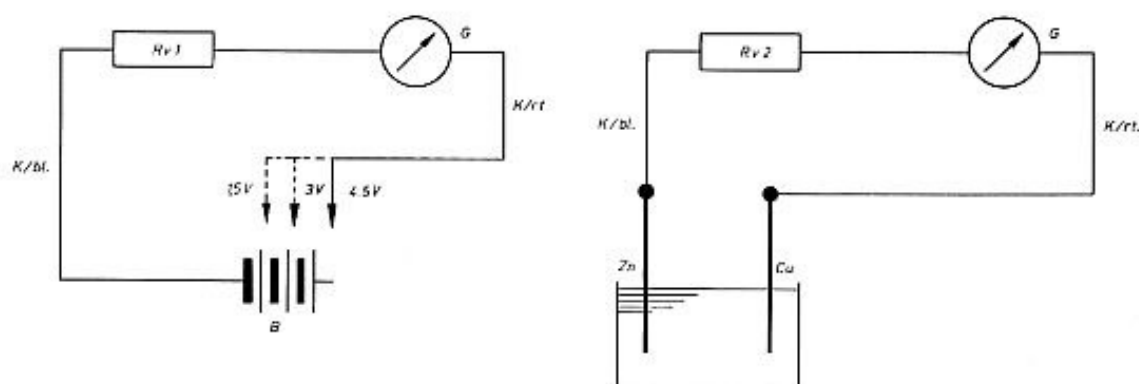
Wählt man als Widerstand den  $10 \text{ k}\Omega$ -Baustein, so ergibt sich der Meßbereich:

$$U = (R_v + R_i) I_m = 11,2 \text{ k}\Omega \cdot 0,1 \text{ mA} = 1,12 \text{ V}$$

Mit dieser Anordnung kann man die Spannung einer Volta-Zelle (ca.  $1 \text{ V}$ ) messen.

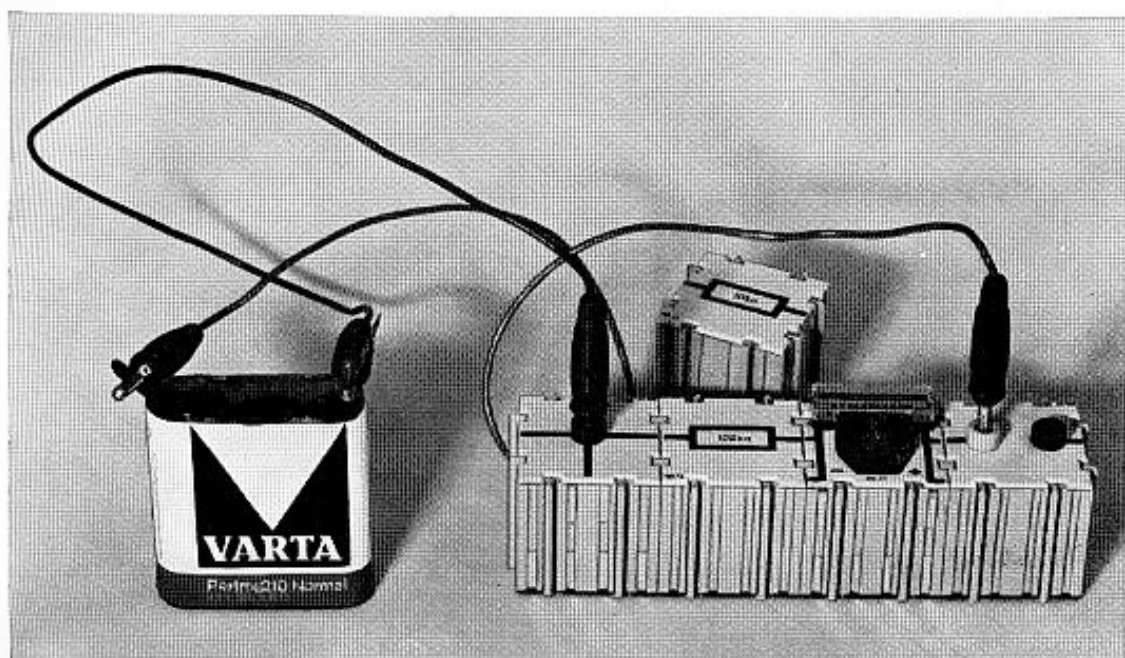
Wählt man als Vorwiderstand  $1 \text{ M}\Omega = 1\,000\,000 \Omega$  (ein entsprechender Widerstand kann besorgt und in den Stocker geklemmt werden), so ergibt sich der Meßbereich:

$$U = (R_v + R_i) I_m = 1\,001,2 \text{ k}\Omega \cdot 0,1 \text{ mA} = 100 \text{ V.}$$



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Anschlußbuchse	610 04
R2	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
R1	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Verbindungsteil	610 07
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	2	Klemme	970 7 2146 0
Zn	1	Zinkstreifen	610 2 3004 0
Cu	1	Kupferstreifen	610 2 3003 0
Ko	1	Kohlestift	610 2 3209 0
B	1	Batterie, 4,5 V	x
	1	Becher Wasser angesäuert	980 7 1998 0 x

x Nicht im Baukasten enthalten



### Versuch 15

Schaltet man zum Meßinstrument einen zwischen 0 und 1 k $\Omega$  veränderlichen Widerstand parallel, so beobachtet man, daß der Ausschlag des Meßinstrumentes sich verändert, wenn man den parallel geschalteten Widerstand ändert, obwohl der Strom in der unverzweigten Leitung konstant bleibt. Der Strom in der unverzweigten Leitung ist im wesentlichen durch die Spannung  $U = 9\text{ V}$  und den Widerstand  $R = 100\text{ k}\Omega$  bestimmt. Er beträgt:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9\text{ V}}{100\text{ k}\Omega} = 0,09\text{ mA} = 90\text{ }\mu\text{A}$$

Je kleiner der parallel geschaltete Widerstand ist, um so kleiner ist der Ausschlag. Der Strom in der unverzweigten Leitung  $I = 90\text{ }\mu\text{A}$  verzweigt sich in die Teilströme  $I_1$  (über das Meßwerk) und  $I_2$  (über den parallelgeschalteten Widerstand). Nach 4.6 gilt:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (2. \text{ Kirchhoffsche Regel})$$

Den parallel geschalteten Widerstand nennt man Nebenschlußwiderstand oder Shunt  $R_s$ . Ohne Nebenschluß zeigt das Meßinstrument ca.  $90\text{ }\mu\text{A}$ .

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9\text{ V}}{0,1\text{ M}\Omega} = 90\text{ }\mu\text{A}$$

Wird der Shunt auf 1 k $\Omega$  gestellt, so zeigt das Meßinstrument  $40\text{ }\mu\text{A}$  an, da

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{1,0\text{ k}\Omega}{1,2\text{ k}\Omega} = \frac{5}{6}, \quad I_1 = \frac{90 \cdot 5}{11}\text{ }\mu\text{A} \approx 40\text{ }\mu\text{A},$$

$$I_2 = \frac{9 \cdot 6}{11}\text{ }\mu\text{A} \approx 50\text{ }\mu\text{A}$$

Bei Vollausschlag fließt in der unverzweigten Leitung  $90\text{ }\mu\text{A} \cdot 2,5 = 225\text{ }\mu\text{A}$ . Der Meßbereich ist mit dem 1 k $\Omega$ -Shunt  $225\text{ }\mu\text{A}$ .

Stellt man den veränderlichen Widerstand auf die Mitte ( $R_s \approx 0,5\text{ k}\Omega$ ), dann ist:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{0,5\text{ k}\Omega}{1,2\text{ k}\Omega} = \frac{5}{12}, \quad I_1 = \frac{90 \cdot 5}{17}\text{ }\mu\text{A} \approx 25\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_2 = \frac{90 \cdot 12}{17}\text{ }\mu\text{A} \approx 65\text{ }\mu\text{A}$$

Das Meßinstrument zeigt  $25\text{ }\mu\text{A}$  an.

Bei Vollausschlag wird in der unverzweigten Leitung  $4 \cdot 90\text{ }\mu\text{A} = 360\text{ }\mu\text{A}$  fließen, d. h. der Meßbereich des Instrumentes ist  $360\text{ }\mu\text{A}$ .

### 4.6 Meßbereichänderung beim Amperemeter

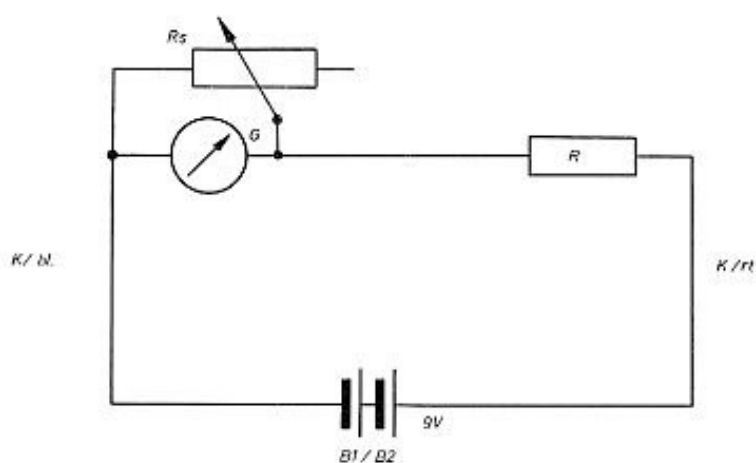
Soll bei einem Amperemeter der Strom  $I$  Vollausschlag ergeben, so darf nur der Strom  $I_m$  über das Meßwerk fließen, der Reststrom  $I_s = I - I_m$  muß über einen Nebenschlußwiderstand oder Shunt  $R_s$  am Meßwerk vorbeifließen.

Da eine Stromverzweigung vorliegt, gilt die 2. Kirchhoffsche Regel:

$$\frac{R_s}{R_i} = \frac{I_m}{I - I_m}, \quad R_s = R_i \frac{I_m}{I - I_m}$$

Je größer der Meßbereich des Amperemeters werden soll, desto kleiner muß der Widerstand im Nebenschluß gewählt werden.

Das Amperemeter, bestehend aus Meßwerk und Nebenschluß, wird in den Stromkreis geschaltet, in dem man den Strom messen will. Amperemeter werden in Reihe geschaltet.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
	2	Klemme	970 7 2146 0
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
R	1	Widerstand 100 k $\Omega$	610 13
Rs	1	Pot. 1 k $\Omega$	610 16
G	1	Instrument	610 27

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.6 Meßbereichänderung beim Amperemeter (Fortsetzung)

Die als Nebenschlußwiderstände vorgesehenen Widerstände sind so gewählt, daß sich innerhalb der Meßgenauigkeit leicht abzulesende Meßbereiche ergeben. Die als Bausteine mitgelieferten Widerstände sind  $133 \Omega$ ,  $12 \Omega$ ,  $1,2 \Omega$ . Berechnung der Meßbereiche:

$$\frac{I_s}{I_m} = \frac{R_i}{R_s}$$

$$I = I_m + I_s = I_m \left(1 + \frac{R_i}{R_s}\right)$$

$$= 0,1 \text{ mA} \left(1 + \frac{1200}{133}\right) = 0,1 \text{ mA} (1 + 9) = 1 \text{ mA}$$

$$= 0,1 \text{ mA} \left(1 + \frac{1200}{12,1}\right) = 0,1 \text{ mA} (1 + 99) = 10 \text{ mA}$$

$$= 0,1 \text{ mA} \left(1 + \frac{1200}{1,21}\right) = 0,1 \text{ mA} (1 + 999) = 100 \text{ mA}$$

10 Skalenteile entsprechen also 1 mA, 10 mA und 100 mA bei den Nebenschlußwiderständen  $133 \Omega$ ,  $12 \Omega$ ,  $1,2 \Omega$ .

Der Gesamtwiderstand der Amperemeter, der sich aus den parallel geschalteten Widerständen ergibt, ist in der Tabelle zusammengestellt:

Meßbereich	$R_s$	$R_{\text{ges}}$
1 mA	133	$\frac{0,12 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 120 \Omega$
10 mA	12,1	$\frac{0,12 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 12 \Omega$
100 mA	1,2	$\frac{0,12 \text{ V}}{100 \text{ mA}} = 1,2 \Omega$

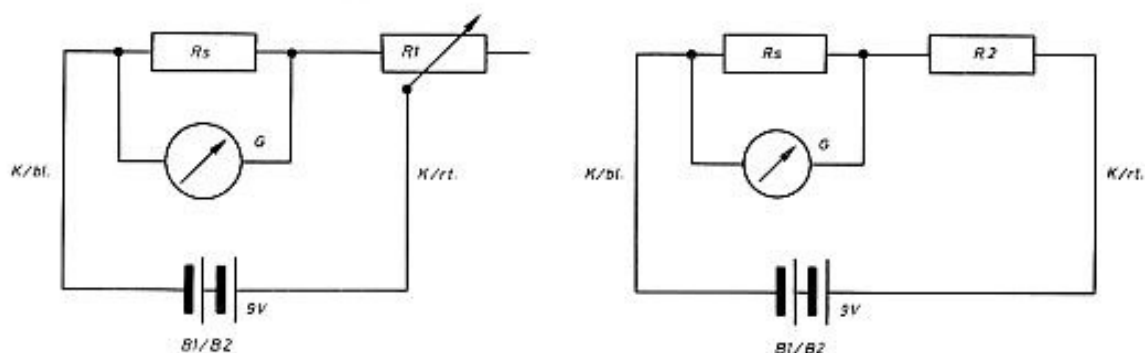
#### Versuch 16 und 17

Die Richtigkeit der Berechnungen kann durch die angegebenen Anordnungen geprüft werden. Die Anordnungen ergeben folgende Ströme:

$$I_1 = \frac{9 \text{ V}}{10,12 \text{ k}\Omega} = 0,9 \text{ mA} = 900 \mu\text{A} \text{ (} 10 \text{ k}\Omega\text{-Widerst.)}$$

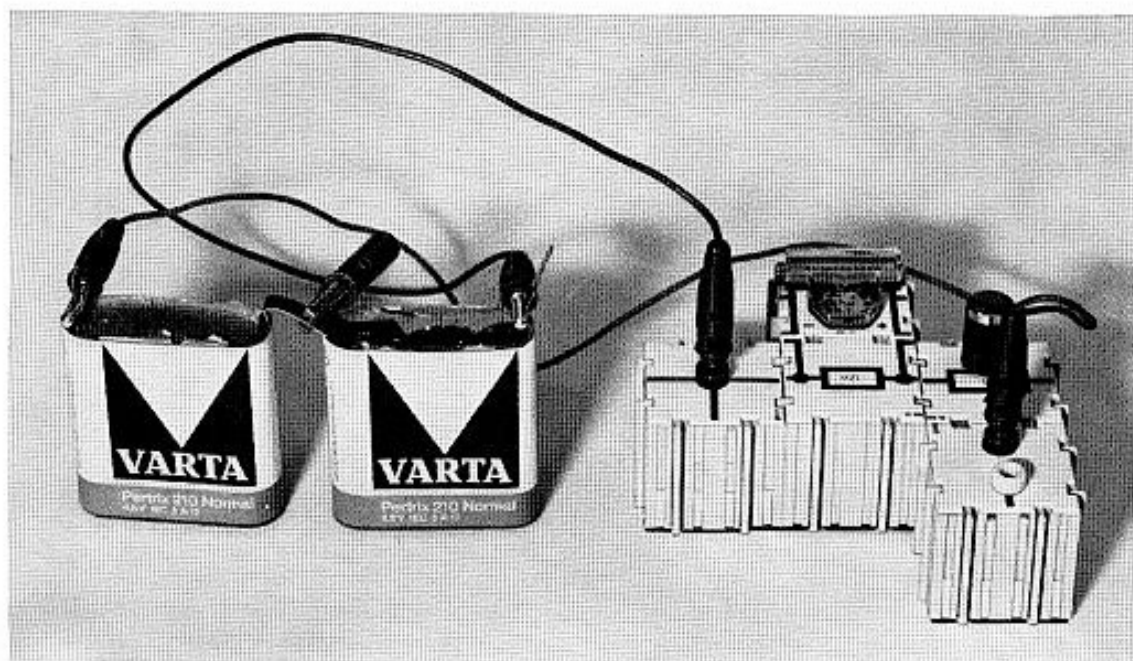
$$I_2 = \frac{9 \text{ V}}{1,012 \text{ k}\Omega} = 9 \text{ mA} \text{ (Potentiometer auf } 1 \text{ k}\Omega \text{ gestellt)}$$

$$I_3 = \frac{9 \text{ V}}{0,051 \text{ k}\Omega} = 18 \text{ mA} \text{ (Potentiometer auf } 0,5 \text{ k}\Omega \text{ gestellt)}$$



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Anschlußbuchse	610 04
R2	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
G	1	Instrument	610 27
R1	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
Rs	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
Rs	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
Rs	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
	1	Verbindungsteil	610 07
	2	Klemme	970 7 2146 0
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09

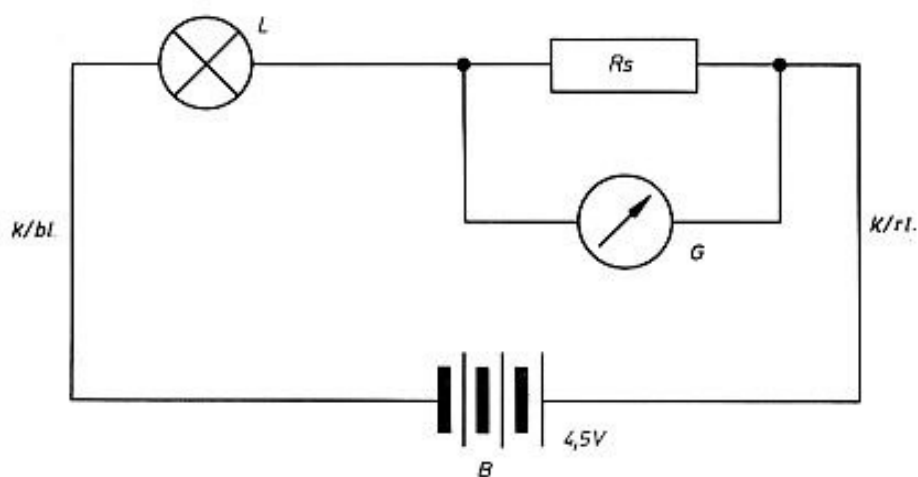
x Nicht im Baukasten enthalten





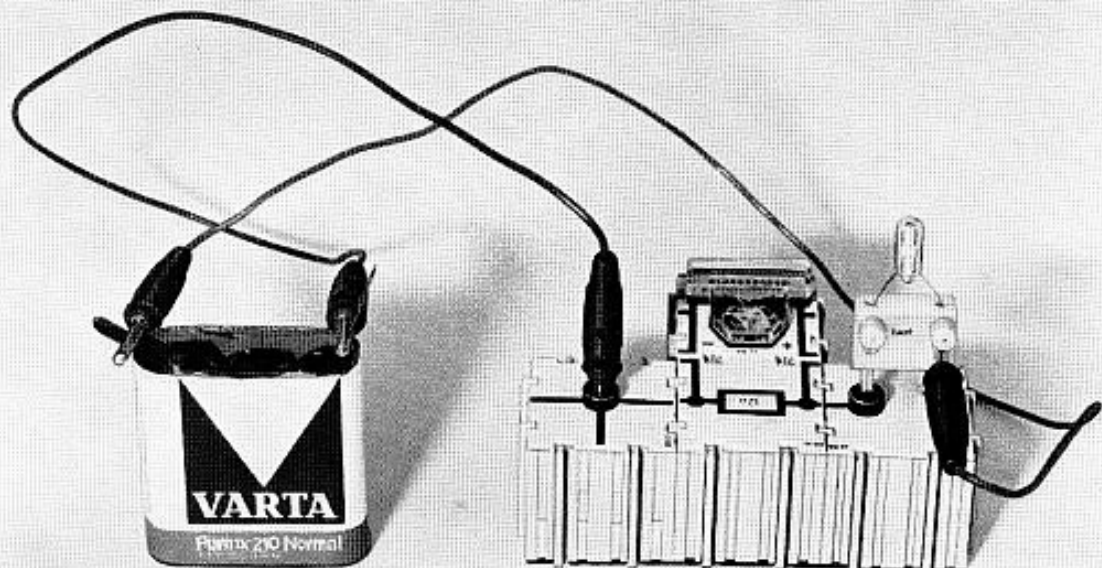
**Versuch 16 und 17**

Mit dem Nebenschlußwiderstand  $R_s = 1,2 \Omega$  kann der Strom, den die mitgelieferten Glühlampen aufnehmen, gemessen werden.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0
	1	Stecker, 2-fach	610 40
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
Rs	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
G	1	Instrument	610 27

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.7 Spannungsteilung

Fließt ein Strom  $I$  durch zwei in Reihe geschaltete Widerstände  $R_1$  und  $R_2$ , so tritt an jedem Widerstand entsprechend dem Ohmschen Gesetz ein Spannungsabfall auf ( $U_1 = I R_1$ ,  $U_2 = I R_2$ ). Die Summe der Spannungsabfälle ist gleich der an der gesamten Anordnung liegenden Spannung  $U$ . Die Teilspannungen  $U_1$  und  $U_2$  verhalten sich wie die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$ .

$$U = U_1 + U_2 \text{ und } \frac{U_1}{U_2} = \frac{I R_1}{I R_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

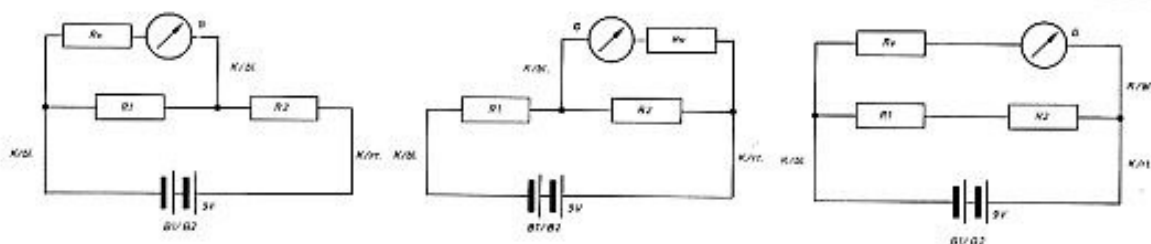
#### Versuch 18

Man schaltet die beiden Widerstände  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  und  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  bzw.  $R_2 = 5,1 \text{ k}\Omega$  in Reihe und legt die Spannung  $U = 9 \text{ V}$  an. Mit einem Voltmeter (Meßbereich  $U = 10 \text{ V}$ ,  $R_V = 100 \text{ k}\Omega$ ) mißt man die Gesamtspannung  $U$  und die Teilspannungen  $U_1$  und  $U_2$ . Im ersten Fall mißt man die Spannungen  $U_1 = 4,5 \text{ V}$  und  $U_2 = 4,5 \text{ V}$ , im zweiten Fall die Spannungen  $U_1 = 6 \text{ V}$  und  $U_2 = 3 \text{ V}$ , d. h. man findet

$$U = U_1 + U_2 \text{ und } \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

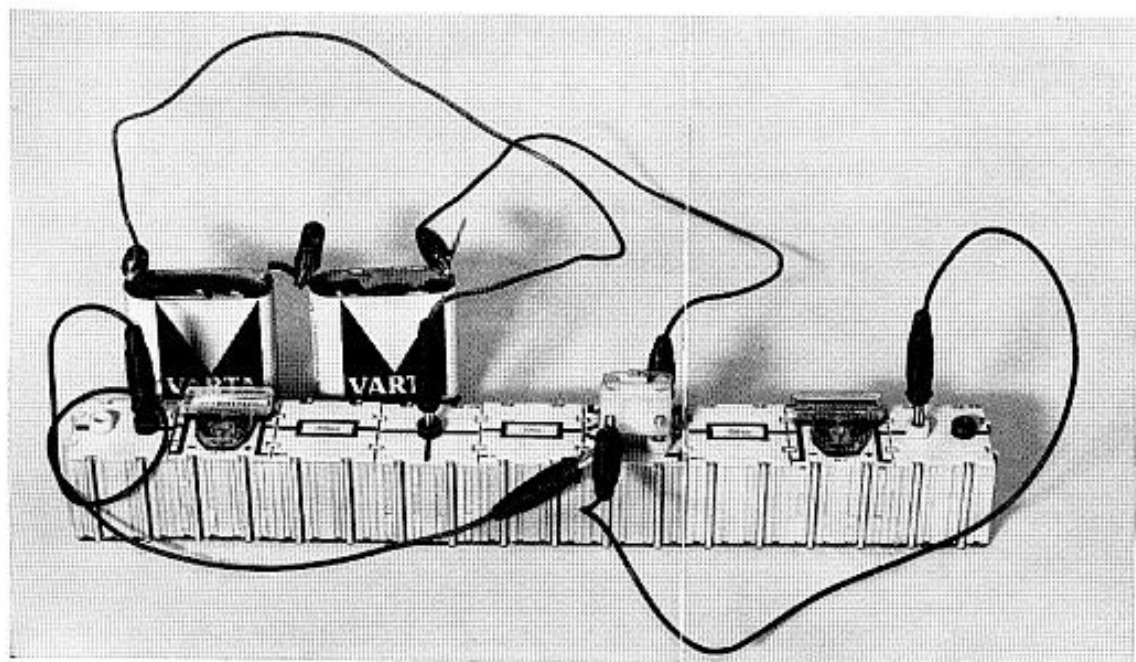
bestätigt.

In der Abbildung erscheinen 2 Meßinstrumente. Da aber nur 1 Meßinstrument zur Verfügung steht, kann man natürlich nur entweder die Spannung an  $R_1$  (Voltmeter links in der Abbildung) oder die Spannung an  $R_2$  messen (Voltmeter rechts in der Abbildung).



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
	2	Klemme	970 7 2146 0
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/r	1	Kabel, rot	610 09
Rv	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
R1	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Stecker, 2-fach	610 40
R2	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	930 7 1961 0
R2	1	Widerstand, 5,1 k $\Omega$	930 7 1786 0
G	1	Instrument	610 27

x Nicht im Baukasten enthalten

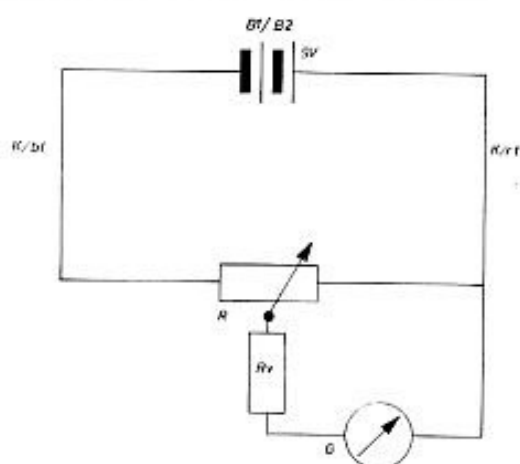
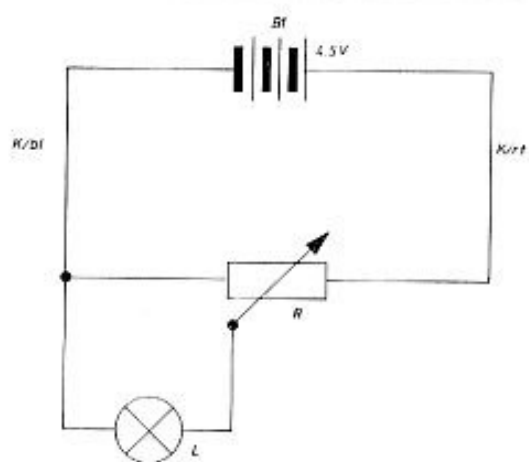


#### 4.8 Potentiometer

Man ersetzt nun die beiden Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  durch einen in den Stromkreis geschalteten Widerstand mit einem beliebig verschiebbaren mittleren Schleifkontakt (Potentiometerbaustein). Damit läßt sich das Verhältnis  $U_1 : U = R_1 : R$  variieren.  $U_1$  kann zwischen 0 und  $U$  kontinuierlich geändert werden. Für viele Versuche und zahlreiche Geräte ist eine solche Einrichtung von großem Vorteil.

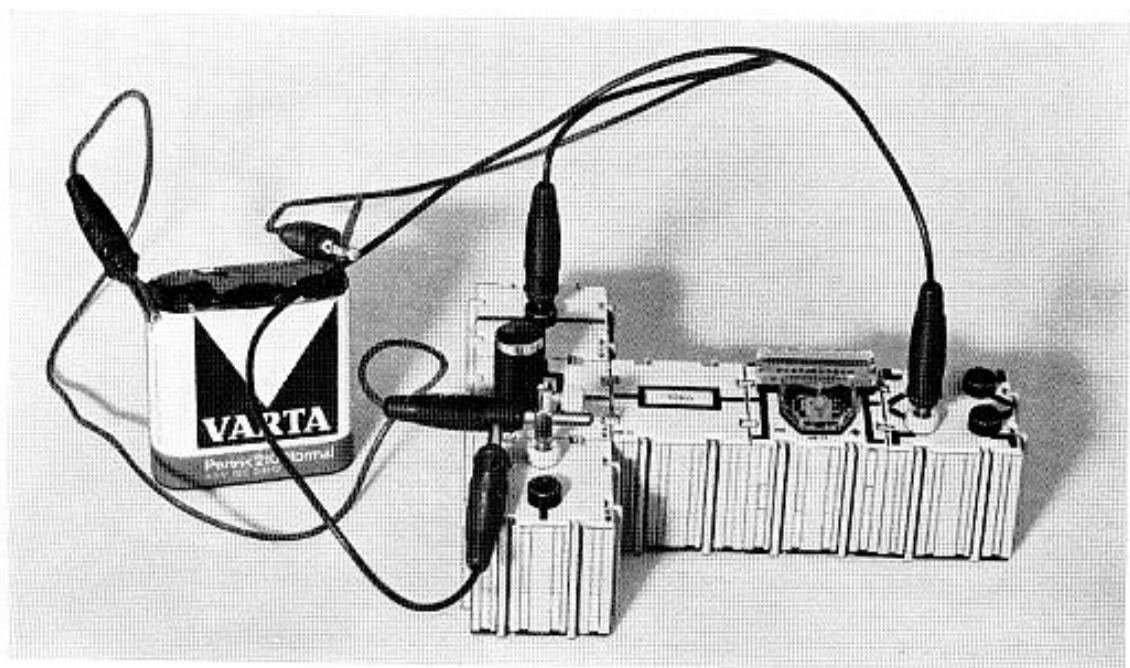
#### Versuch 19

Wählt man eine Gesamtspannung von  $U = 9 \text{ V}$ , so erhält man zwischen dem Gleitkontakt und dem einen Endkontakt jede Spannung zwischen 0 und 9 V, wie man mit dem Voltmeter leicht nachweisen kann (Meßbereich 10 V,  $R_v = 100 \text{ k}\Omega$ ). Schaltet man zwischen Gleitkontakt und einen Endkontakt die Glühlampe, so kann die Stromstärke und damit die Helligkeit beliebig verändert werden. Eine ähnliche Funktion haben die Potentiometer z. B. zum Regeln von Lautstärke bei Rundfunkgeräten usw.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Buchse, 4-fach	610 39
G	1	Instrument	610 27
Rv	1	Widerstand, 10 kΩ	610 11
R	1	Pot., 1 kΩ	610 16
	1	Stocker, 2-fach	610 40

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.9 Abhängigkeit des Widerstands von der geometrischen Form des Leiters

Der Widerstand eines Drahtes ist unabhängig von Krümmungen und der Form des Querschnittes (im Gegensatz zum Widerstand von Rohrleitungen für Wasser). Der Widerstand eines Drahtes ist proportional zur Länge  $l$ , umgekehrt proportional zum Querschnitt  $A$  und ist abhängig vom Material des Drahtes.

Man schreibt  $R = \rho \frac{l}{A}$ ;  $\rho$  ist der vom Stoff abhängige spezifische Widerstand. Dies ist zahlenmäßig der Widerstand eines Drahtes aus dem betreffenden Stoff bei 1 m Länge und 1 mm<sup>2</sup> Querschnitt.

#### Versuch 20

Man bestimmt den Widerstand  $R = U/I$  von Konstantendraht verschiedener Längen und verschiedenen Querschnitts. Konstantan ist eine Legierung aus 60 % Kupfer und 40 % Nickel, bei der, wie der Name andeutet, der Widerstand von der Temperatur unabhängig ist. Wählt man die Längen  $l = 1,5$  und 3 m und die Durchmesser 0,1 mm und 0,2 mm, so erhält man mit der angegebenen Schaltung folgende Meßwerte:

$l$ (m)	$\phi$ (mm)	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$U$ (V)	$I$ (mA)	$R = \frac{U}{I}$ ( $\Omega$ )
1,5	0,1	0,0075	3,6	38	94
3,0	0,1	0,0075	3,6	19	188
3,0	0,2	0,0314	3,5	76	47

Aus der Tabelle entnimmt man:

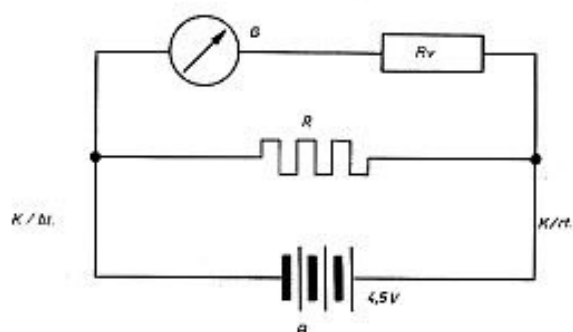
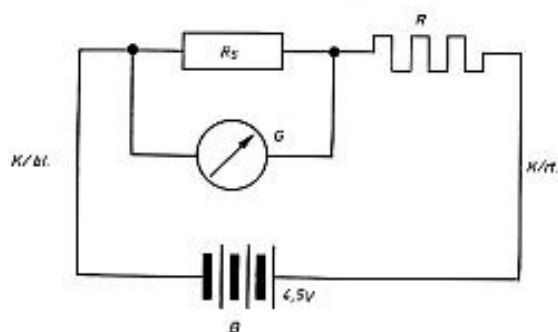
$R \sim l$  (Zeile 1 und 2)

$R \sim \frac{1}{A}$  (Zeile 2 und 3)

$$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{3 \text{ m}}{47 \Omega \cdot 0,0314 \text{ mm}^2} \approx 0,5 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

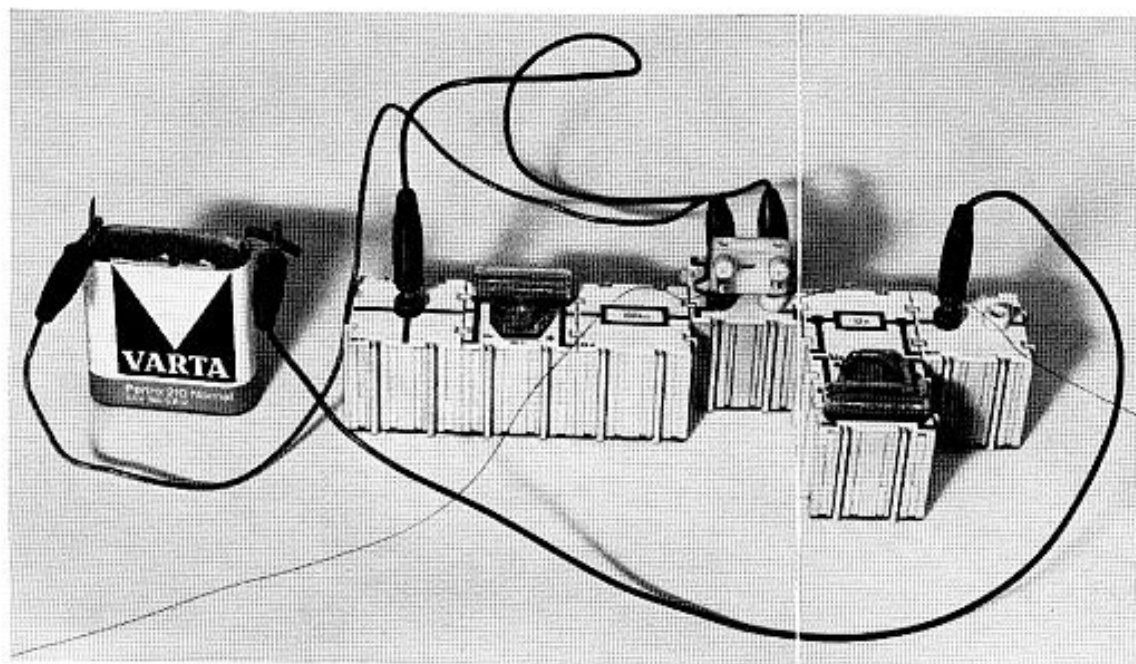
Die Enden des Konstantendrahtes werden am Stecker festgeklemmt, entweder mit den Schrauben, oder die Enden des Konstantendrahtes werden zwischen Feder und Stift des Steckers geschoben. Beim Eindrücken des Steckers in die Buchsen werden die Drahtenden festgeklemmt. Den Konstantendraht führt man nach dem Festklemmen um eine Stuhllehne in passender Entfernung, damit unerwünschte Kontakte zwischen losen Drahtenden vermieden werden.

Da nur ein Meßinstrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich entweder in Stellung I (zum Messen von  $I$ ) oder in Stellung II (zum Messen von  $U$ ) zu bringen.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
Rv	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
	1	Buchse, 4-fach	610 39
Rs	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
R	1	Widerstandsdraht	610 45

x Nicht im Baukasten enthalten





stand (1 k $\Omega$ ) eingestellt. Man erhält etwa folgende Werte:

U (V)	I (mA)	R ( $\Omega$ )	Farbe	Temperatur
0,63	9,0	70	rot	ca. 700 $^{\circ}$ C
1,4	13	108		
2,6	20	130	gelb	
3,9	25	156		
5,2	30	173		
6,0	32	188	weiß	ca. 2300 $^{\circ}$ C

Der Widerstand wacht also mit steigender Temperatur, und zwar, wie hier nicht gezeigt werden kann, gleichmäßig. Trägt man die Meßwerte für beginnende Rotglut und für volle Helligkeit in ein Diagramm ein und zieht durch die beiden Punkte eine Gerade (gleichmäßige Zunahme des Widerstandes mit der Temperatur), so erhält man  $R_0 = 18 \Omega$ ,  $R_{1000} = 92 \Omega$ . Für den Temperaturkoeffizienten ergibt sich:

$$TK = \frac{R_{1000} - R_0}{R_0 \cdot 1000} = \frac{1}{250} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

Der Temperaturkoeffizient der meisten Metalle beträgt ca. 1/250, d. h. wenn ein metallischer Leiter bei 0 $^{\circ}$  C den Widerstand  $R_0$  hat, so nimmt sein Widerstand bei Erwärmung um 1 $^{\circ}$  C, z. B. von 0 $^{\circ}$  auf 1 $^{\circ}$  C oder von 1000 $^{\circ}$  C auf 1001 $^{\circ}$  C um  $R_0/250$  zu. Er hat demnach bei 250 $^{\circ}$  C den Widerstand  $2R_0$ , bei 1000 $^{\circ}$  C den Widerstand  $5R_0$  und bei -250 $^{\circ}$  C (genauer beim absoluten Nullpunkt -273 $^{\circ}$  C) den Widerstand 0.

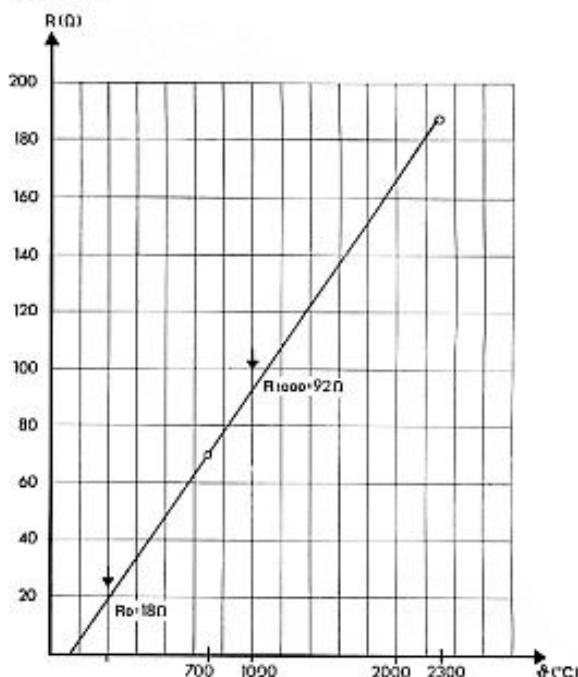
Da nur ein Meßinstrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich in Stellung I oder II zu bringen.

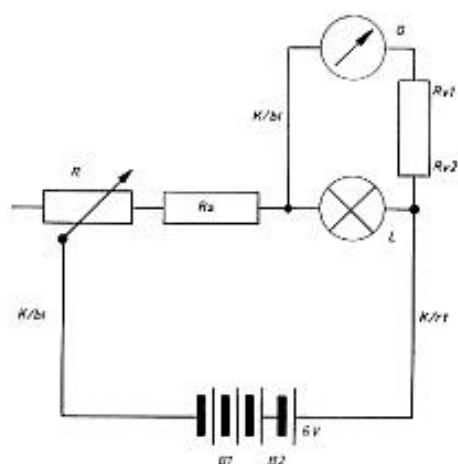
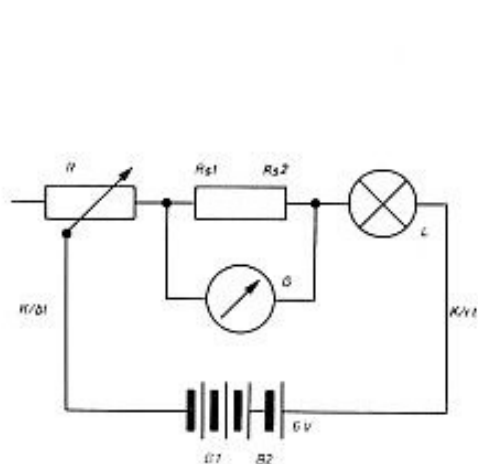
#### 4.10 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes

Der Widerstand der meisten metallischen Leiter wacht mit steigender Temperatur.

##### Versuch 21

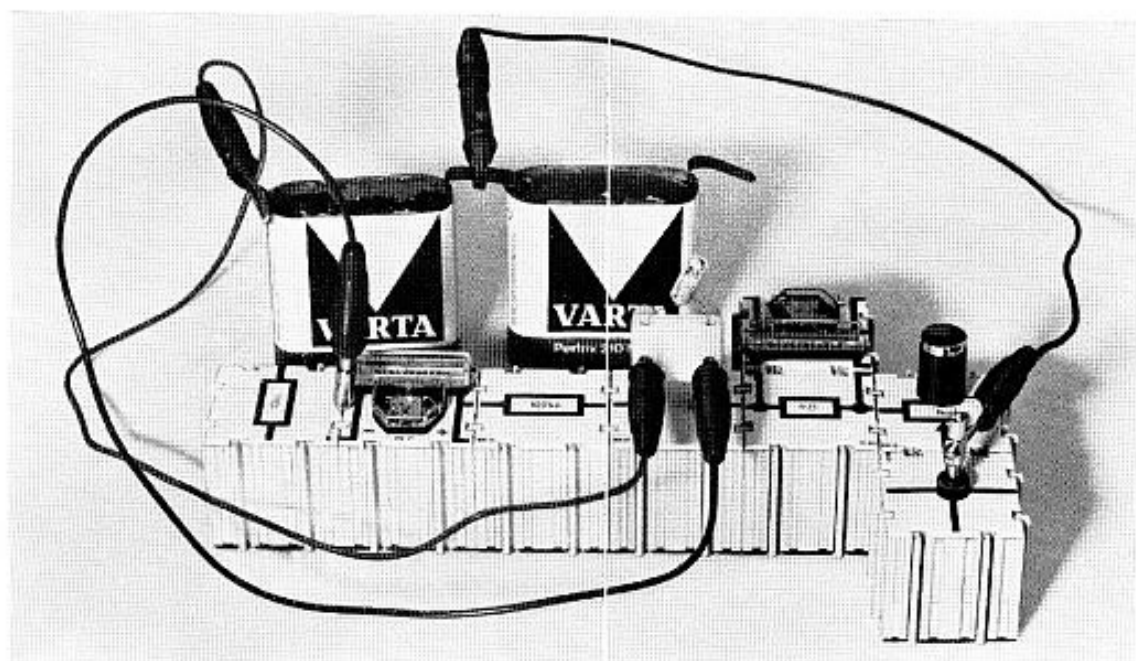
Am einfachsten untersucht man die Temperaturabhängigkeit bei einer Glühlampe (Metall: Wolfram), die man auf verschiedene Helligkeiten einstellt. Beginnende Rotglut entspricht etwa einer Temperatur von 700 $^{\circ}$  C. Bei voller Helligkeit (6 V) beträgt die Temperatur einer Glühlampe mit einfacher Wandel etwa 2300 $^{\circ}$  C. Die beginnende Rotglut, die volle Helligkeit bei 6 V und einige Zwischenwerte werden mit dem regelbaren Wider-





Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
R	1	Prüfspitze	610 2 2974 0
Rs2	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
Rs1	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
Rs1	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
G	1	Instrument	610 27
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Stecker, 2-fach	610 40
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0
Rv2	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
Rv1	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
	1	Baustein	610 ...

x Nicht im Baukasten enthalten



## Versuch 22

Um die EMK  $E$  und den inneren Widerstand  $R_i$  der bisher benutzten Taschenlampenbatterie zu bestimmen, wählt man als Außenwiderstand  $R_a$  einen Konstantendraht mit  $0,2 \text{ mm } \phi$ . Man kann dann für jede beliebige Länge  $l$  den Widerstand berechnen ( $R = \rho \frac{l}{A}$ ,  $\rho = 0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ,

$$A = 0,0314 \text{ mm}^2 \text{ [vgl. 4.9]}).$$

Für den Versuch wählt man am besten die Längen  $50 \text{ cm}$ ;  $25 \text{ cm}$ ;  $12,5 \text{ cm}$ ;  $6,25 \text{ cm}$ , die den Widerständen  $8 \Omega$ ;  $4 \Omega$ ;  $2 \Omega$  und  $1 \Omega$  entsprechen. Für jeden Außenwiderstand mißt man  $U_{kl}$  und berechnet den Strom  $I = U_{kl}/R_a$ .

Die gemessenen Werte werden in ein I-U-Diagramm eingetragen. Man erhält eine Gerade. Der Schnitt der Geraden mit der U-Achse ergibt die EMK  $E$  ( $I = 0$ ), und der Schnitt mit der I-Achse den Kurzschlußstrom  $I_k$  ( $U_{kl} = 0$ ).

Den inneren Widerstand erhält man aus  $R_i = E/I_k = 4,5 \text{ V}/1,8 \text{ A} = 2,5 \Omega$ .

$U_{kl} \text{ (V)}$	$R_a \text{ (}\Omega\text{)}$	$I = \frac{R_a}{U_{kl}} \text{ (A)}$
4,5	$\infty$	0
3,4	8	0,43
2,8	4	0,7
2,0	2	1,0
1,3	1	1,3

### 4.11 Die elektromotorische Kraft (EMK.) und der innere Widerstand einer Batterie

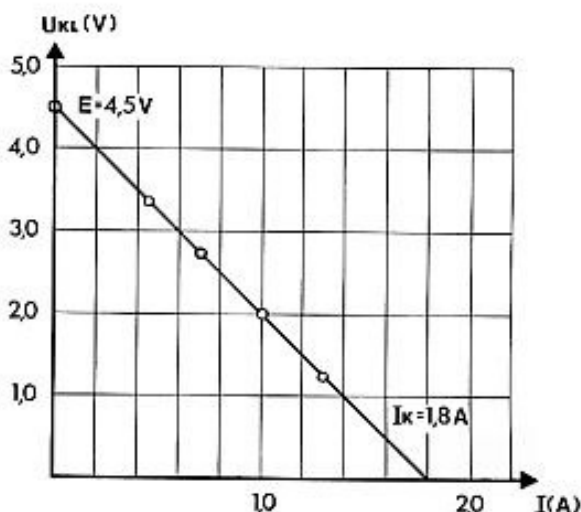
In einem geschlossenen Stromkreis ist die Stromstärke  $I$  überall dieselbe, also auch im Innern der Stromquelle. Nun besitzt jede Stromquelle einen inneren Widerstand. Bei einer Batterie ist es im wesentlichen der Widerstand des Elektrolyten. Es tritt also im Inneren beim Stromfluß ein Spannungsabfall  $I \cdot R_i$  ein, und die Klemmspannung  $U_{kl}$  ist um diesen Betrag niedriger als die Urspannung oder el. motor. Kraft (EMK)  $E$ .

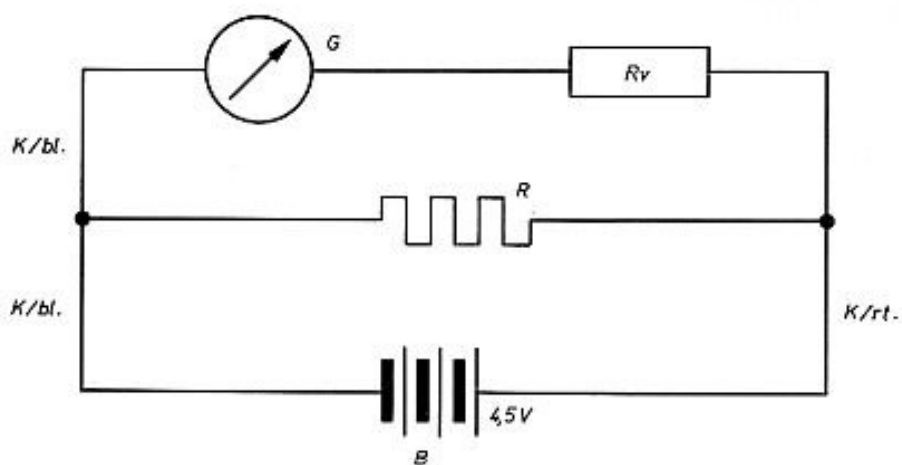
$$U_{kl} = E - I \cdot R_i, \quad I = \frac{E}{R_i + R_a}, \quad R_a \text{ ist der Außenwiderstand.}$$

Aus diesen beiden Beziehungen folgt:

$I = \frac{U_{kl}}{R_a}$ ; ist  $R_a = 0$ , so fließt der sogenannte Kurzschlußstrom  $I_k$ . Für  $I_k$  gilt dann:

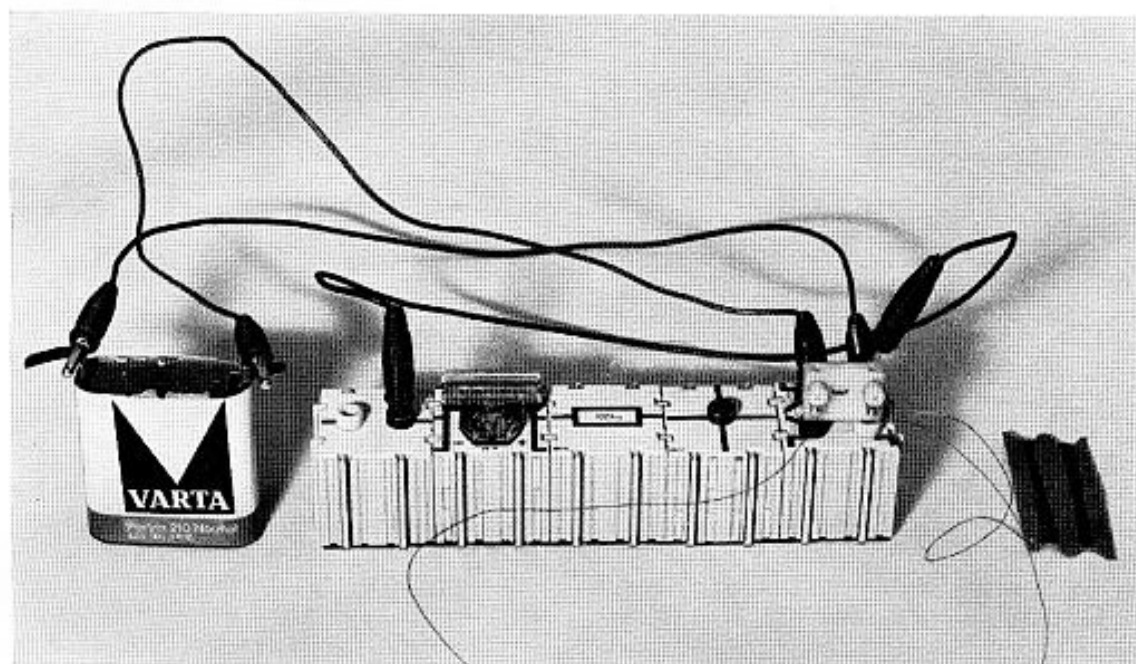
$$I_k = \frac{E}{R_i}$$



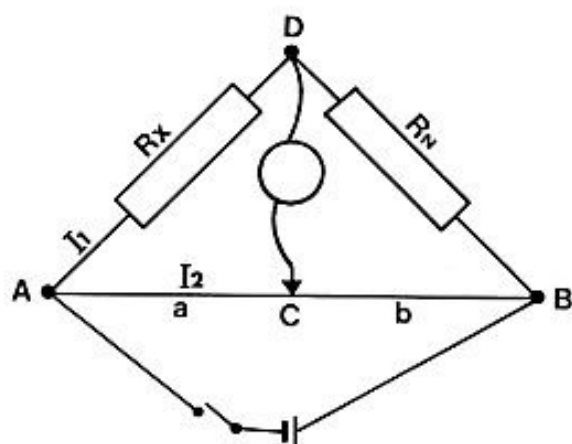


Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
R	1	Widerstandsdraht	610 45
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27
Rv	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Buchse, 4-fach	610 39

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.12 Wheatstonesche Brücke, Ohmmeter



Die Wheatstonesche Brückenschaltung dient zur Messung des unbekanntes Widerstandes  $R_x$ , wenn ein bekannter Normwiderstand  $R_N$  gegeben ist. AB ist ein Widerstandsdraht mit dem spezifischen Widerstand  $\rho$  und konstantem Querschnitt  $A$ , über den ein Gleitkontakt C beliebig verschoben werden kann. Man kann die Kontaktstelle C immer so wählen, daß der Spannungsabfall von A nach D gleich groß ist wie der Spannungsabfall von A nach C. In diesem Fall fließt über die Brücke DC kein Brückenstrom ( $I_B = 0$ ). Ist  $I_B = 0$ , dann fließt über  $R_x$  und  $R_N$  derselbe Strom  $I_1$  und über den gesamten Widerstandsdraht AB der Strom  $I_2$ . Nun ist:

$$\frac{U_{AD}}{U_{DB}} = \frac{U_{AC}}{U_{CB}}$$

$U_{AD}$  ist die Spannung zwischen den Punkten A und D,  $U_{DB}$  entsprechend die Spannung zwischen D und B, usw.

$$\frac{I_1 \cdot R_x}{I_1 \cdot R_N} = \frac{I_2 \cdot \frac{a}{A}}{I_2 \cdot \frac{b}{A}}$$

a und b sind die Drahtlängen AC und CB. Durch Kürzen ergibt sich:

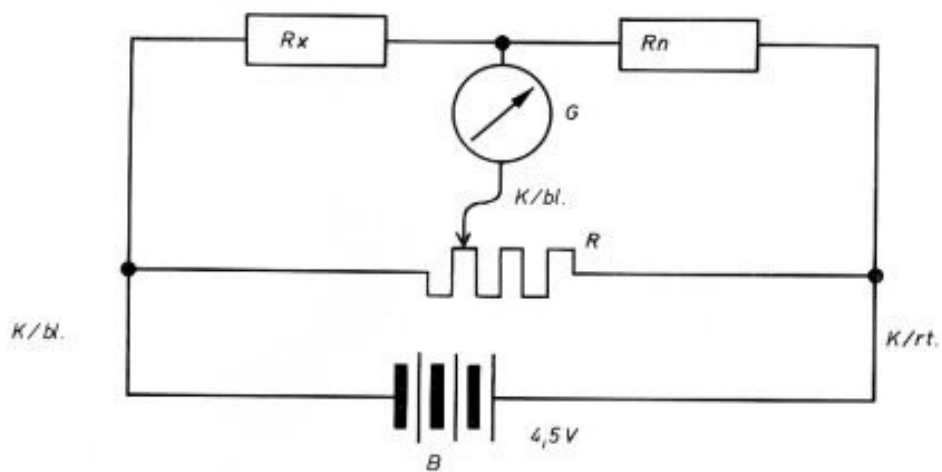
$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{a}{b} \quad R_x = R_N \frac{a}{b}$$

Man braucht nun nur mehr die Strecken a und b zu messen und kann den Widerstand  $R_x$  berechnen. Diese Brückenschaltung ist eine besonders empfindliche Meßmethode, weil es eine sogenannte Nullmethode ist, d. h. man muß die Einstellung so wählen, daß kein Strom fließt.

#### Versuch 23

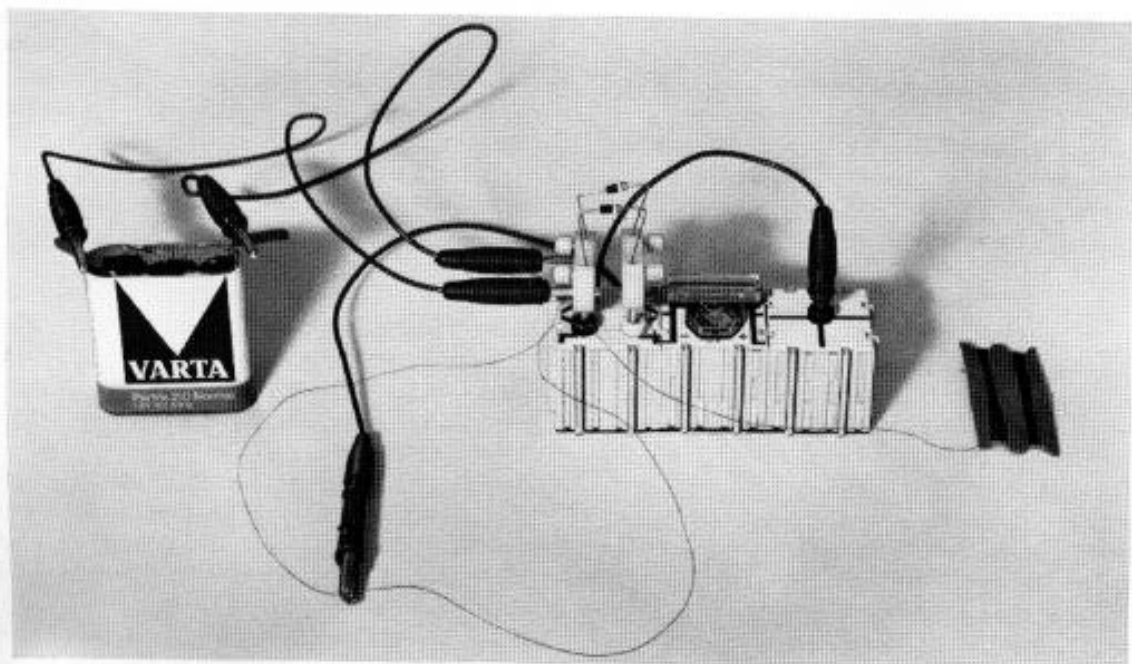
Als Widerstandsdraht nimmt man 0,5 m Konstantandraht mit 0,2 mm  $\phi$ , als Gleitkontakt C dient behelfsmäßig eine Krokodilklemme. Der Konstantandraht wird zwischen Feder und Stift der Bananenstecker geklemmt. Beim Meßinstrument ist zu beachten, daß die Ausschläge nach links nur angedeutet sein können. Man arbeitet zweckmäßig so, daß man C so wählt, daß Ausschläge nach rechts auftreten, und macht diese immer kleiner. Wenn man sich Normwiderstände mit 0,5% Genauigkeit beschafft, kann man die übrigen Widerstände, die Toleranzen von 5% (Gold) und 10% (Silber) aufweisen, genau vermessen. Ohne solche Normwiderstände kann man die mitgelieferten Widerstände nur vergleichen und den Widerstand des gelieferten Potentiometers in verschiedenen Stellungen messen.

Beim Messen wird zuerst der Kontakt C gewählt und dann durch Antippen die Batteriespannung angelegt.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
R	1	Widerstandsdraht	610 45
Rn	1	Widerstand	nach Bedarf x
Rx	1	Widerstand	nach Bedarf x
	1	Buchse, 4-fach	610 39
G	1	Instrument	610 27
	1	Verbindungsteil	610 07
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Klemme	970 7 2146 0

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.13 Bleiakкумуляtor (Sekundärelement)

Ein galvanisches Element (Primärelement) entsteht, wenn man 2 **verschiedene** Metalle (eines kann durch Kohle ersetzt werden) als Elektroden in einen Elektrolyten taucht. Die Spannung hängt von der Art der Metalle und der Konzentration des Elektrolyten ab, nicht aber von der Elektrodengröße und dem Elektrodenabstand (vgl. 3.3). Liefert ein Primärelement längere Zeit Strom, so wird der Elektrolyt verbraucht, und das Metall löst sich teilweise auf (z. B. Zinkbecher beim Trockenelement). Das Element ist unbrauchbar geworden. Beim Bleiakкумуляtor (Sekundärelement) hat man zunächst 2 gleiche Bleielektroden, die, in verdünnte Schwefelsäure (20 %) getaucht, sich mit Bleisulfat überziehen. 2 gleiche mit Bleisulfat überzogene Bleielektroden liefern keine Spannung. Führt man Strom zu, so kommt es an den Elektroden zu chemischen Umwandlungen. Die Anode wird braun (Bleiodioxyd), die Kathode grau (Blei). Die Elektroden weisen jetzt eine Spannung von ca. 2 V auf. Durch Entladen erhält man wieder den alten Zustand mit 2 gleichen mit Bleisulfat überzogenen Bleielektroden, und man kann erneut aufladen. Das Sekundärelement wird nicht verbraucht.

#### Versuch 24

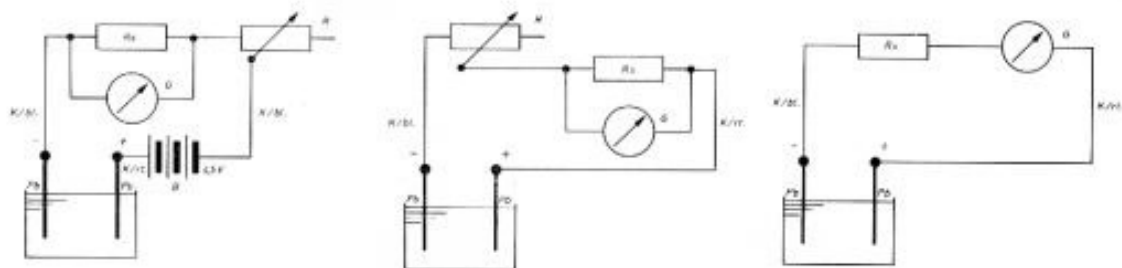
In einen Glas- oder Plastikbecher bringt man Akkusäure (ca. 20 % Schwefelsäure), befestigt wie in 2.4 die beiden Bleiplatten an dem Stecker und taucht sie in den Elektrolyten. In den Stromkreis schaltet man ein Amperemeter (12  $\Omega$ -Shunt, 10 mA-Bereich) und den regelbaren 1 k $\Omega$ -Widerstand. Man regelt den Ladestrom  $I_L = 10$  mA und mißt die Ladezeit. Nach etwa 20 Min. beendet man das Laden, beobachtet die Färbung der Platten und mißt mit dem Voltmeter (10 V-Bereich) die Spannung des Akkus. Beim Entladen mißt man den mittleren Entladestrom  $I$ , die Entladezeit und zwischendurch die Spannung  $U$ , die beim Entladen allmählich absinkt. Die Kapazität eines Akkus ist die Elektrizitätsmenge  $Q_E$ , die er beim Entladen abgibt.

$$Q_E = I_E \cdot t_E.$$

Wenn man die beim Entladen vom Akku abgegebene Elektrizitätsmenge mit der zum Laden aufgewendeten Elektrizitätsmenge vergleicht, so stellt man fest, daß der Akku stets weniger abgibt, als er aufgenommen hat.

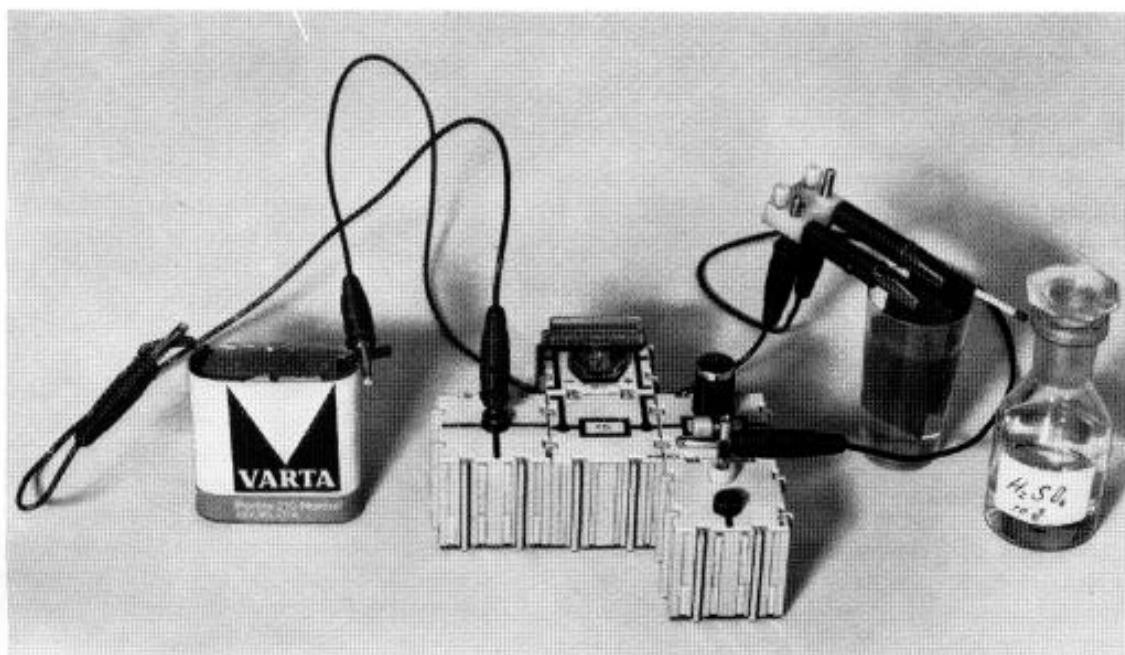
Wird der Akku öfters mit gleicher Polarität geladen (Pluspol und Minuspol an gleicher Platte), so formiert sich der Akku, d. h. das Verhältnis abgegebener zu aufgenommener Elektrizitätsmenge wird günstiger.

Selbstverständlich können Sekundärelemente auch aus anderen Materialien als Blei bestehen.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
		Akkusäure	x
	1	Becher	980 7 1996 0
Pb	2	Bleistreifen	610 2 3005 0
	2	Klemmen	970 7 2146 0
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
Rs	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
Rv	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
R	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27

x Nicht im Baukasten enthalten





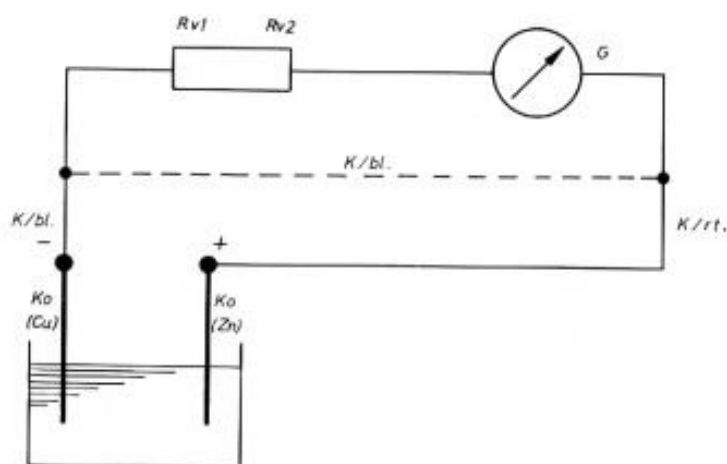
#### 4.14 Polarisierung

Der Vorgang, durch den in 4.13 das Sekundärelement entstanden ist, heißt Polarisierung und beruht auf der Elektrolyse (3.1 und 3.2). An der Kathode hat sich beim Stromdurchgang Wasserstoff abgeschieden und an der Anode Sauerstoff, so daß sich die letztere mit der braunen Bleidioxidschicht überzieht. Ersetzt man die 2 Bleielektroden durch 2 Kohlestäbchen, so erhält man eine ähnliche, wenn auch nicht so nachhaltige Wirkung. An der porösen Kohleelektrode lagern sich Wasserstoff und Sauerstoff an, und man erhält gewissermaßen ein Wasserstoff-Sauerstoff-Element. Dieser Vorgang tritt auch bei einem galvanischen Element auf (z. B. Zn-C, Zn-Cu), wenn man Strom entnimmt. Der Strom fließt im Innern von der Zn-Elektrode zu der Cu- bzw. C-Elektrode und lagert dort Wasserstoff an, der die Spannung herabsetzt. Um diese Wirkung auszuschalten, wird in Kohle-Zink-Elementen die Kohle von Hersteller mit Braunstein umhüllt. Dieser gibt leicht Sauerstoff ab, der sich mit dem Wasserstoff zu Wasser verbindet. Braunstein ist das Depolarisationsmittel.

#### Versuch 25

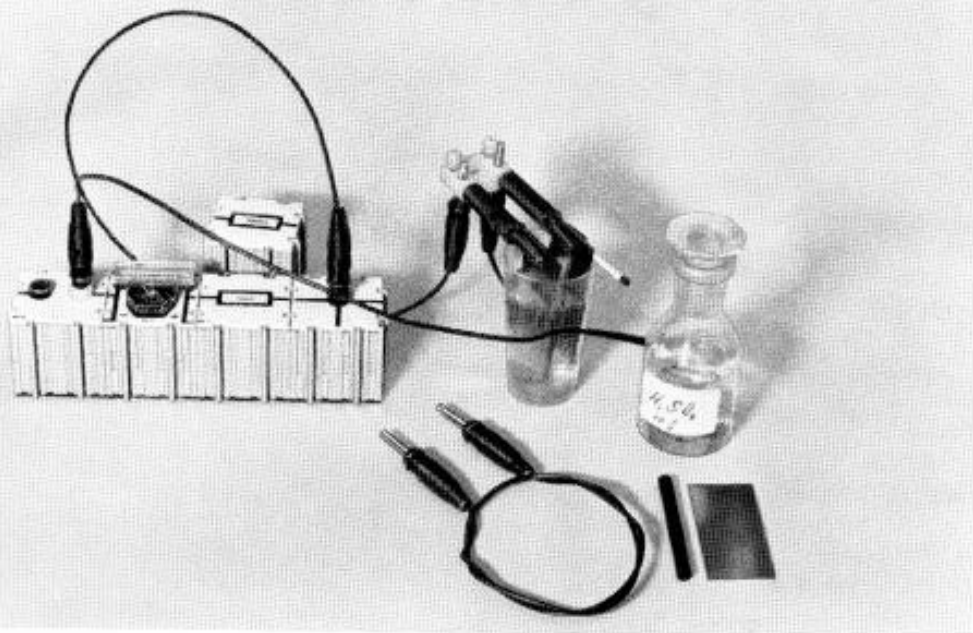
Man ersetzt die Bleielektroden in Versuch 24 durch Kohlestäbchen und legt kurzzeitig direkt die Batteriespannung  $U = 4,5 \text{ V}$  an (Elektrolyse des Wassers, starke Gasbildung). Danach mißt man wie bei Versuch 24 Spannung und Entladestrom des Polarisationselementes.

Bringt man ein Kohlestäbchen und eine Zinkplatte in angesäuertes Wasser, so erhält man ein Element mit  $U = 1,5 \text{ V}$  (Trockenbatterie). Schließt man die Pole der Batterie 2–3 Min. kurz, so fließt ein starker Strom außen von der Kohle zum Zink und im Elektrolyten vom Zink zur Kohle und lagert dort Wasserstoff an. Nimmt man den Kurzschluß wieder weg, so mißt man eine stark verminderte Spannung, die sich allmählich wieder erholt. Das Kohlestäbchen kann beim Versuch auch durch ein Kupferplättchen ersetzt werden ( $U = 1 \text{ V}$ ).



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
		Wasser, angesäuert	x
	1	Becher	980 7 1998 0
Ko	2	Kohlestift	610 2 3209 0
Zn	1	Zinkstreifen	610 2 3004 0
Cu	1	Kupferstreifen	610 2 3003 0
	2	Klemme	970 7 2146 0
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Anschlußbuchse	610 04
Rv2	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
Rv1	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27

x Nicht im Baukasten enthalten



#### 4.15 Spannungsreihe

Die Spannung eines galvanischen Elementes ist unabhängig von der Größe des Elektroden, dagegen ist sie abhängig vom Material der Elektroden (3.3). Man kann die Metalle in eine Reihe (Spannungsreihe) derart ordnen, daß jedes Metall gegen ein in der Reihe später stehendes Metall in den Elektrolyten eingetaucht positiv geladen, gegen ein früher stehendes aber negativ geladen ist. Die Spannungsreihe für wichtige Stoffe lautet:

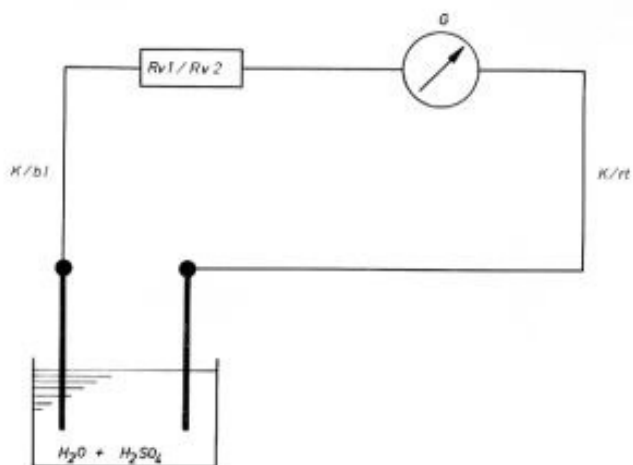
+ Kohle, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink, Aluminium, Magnesium –

Geringe Verunreinigungen eines Metalls können seine Stellung verändern, ferner ist die Reihe nicht unabhängig vom Elektrolyten, in dem die Metalle stehen. Aus diesen Gründen kann die angegebene Reihe nur ungefähr stimmen.

#### Versuch 26

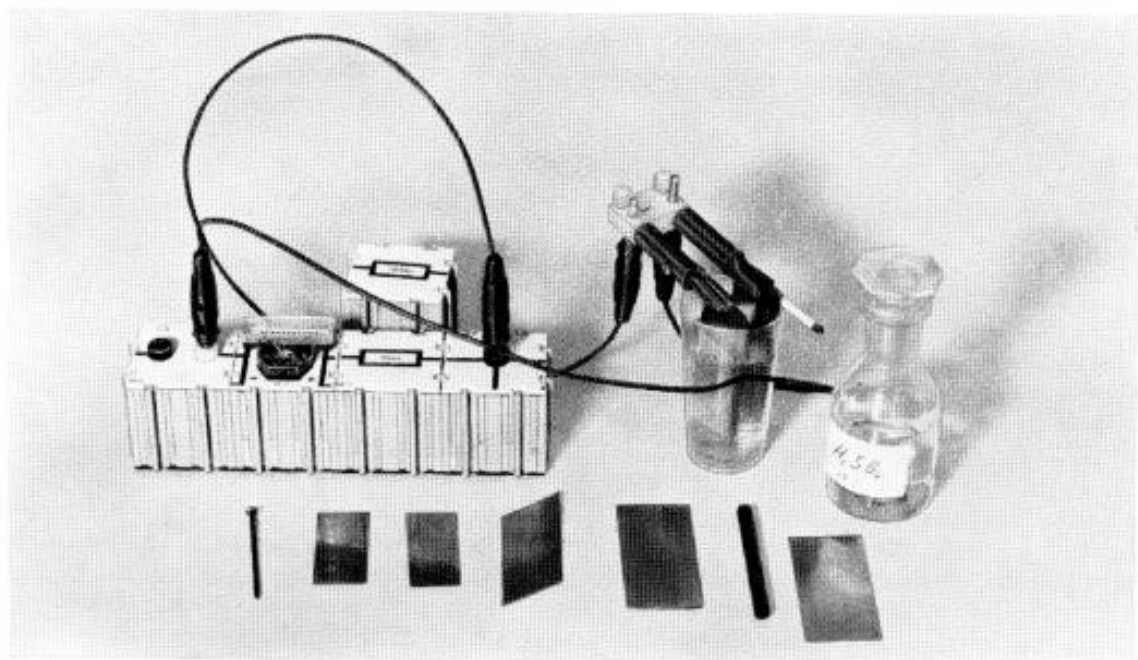
Wie beim Versuch 9 (3.3) mißt man zunächst von jedem Metall seine Spannung gegen Kohle. Als Elektrolyten nimmt man mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser.

Die Metalle Silber, Eisen, Zinn, Aluminium, Magnesium kann man sich besorgen (Löffel, Nagel, Schrauben), die anderen Metalle sind mitgeliefert. Hat man die Reihe aufgestellt, kann man 2 beliebige Metalle herausgreifen und deren Spannung und Polung überprüfen.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
		Wasser, angesäuert	x
	1	Becher	980 7 1998 0
	2	Klemme	970 7 2146 0
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
Rv2	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
Rv1	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27

x Nicht im Baukasten enthalten

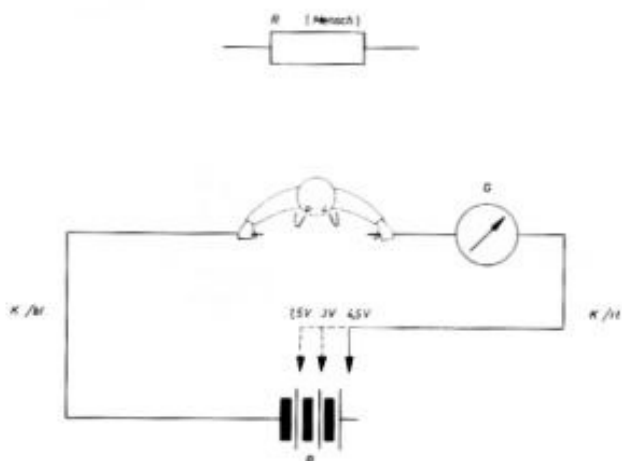


#### 4.16 Leitfähigkeit des menschlichen Körpers

Das Innere des menschlichen Körpers stellt im wesentlichen einen guten elektrolytischen Leiter dar, nur die Haut besitzt je nach Dicke, Beschaffenheit (Hornhaut) und Feuchtigkeit einen mehr oder weniger großen Widerstand (um  $10\text{ k}\Omega$ ). Die Stromstärke, die den menschlichen Körper durchfließt, hängt also kaum von der Entfernung ab, die die Kontaktelektroden auf der Haut haben, sondern ausschließlich von dem Übergangswiderstand auf der Haut. Ströme von wenigen mA sind schon gefährlich, Vorsicht!

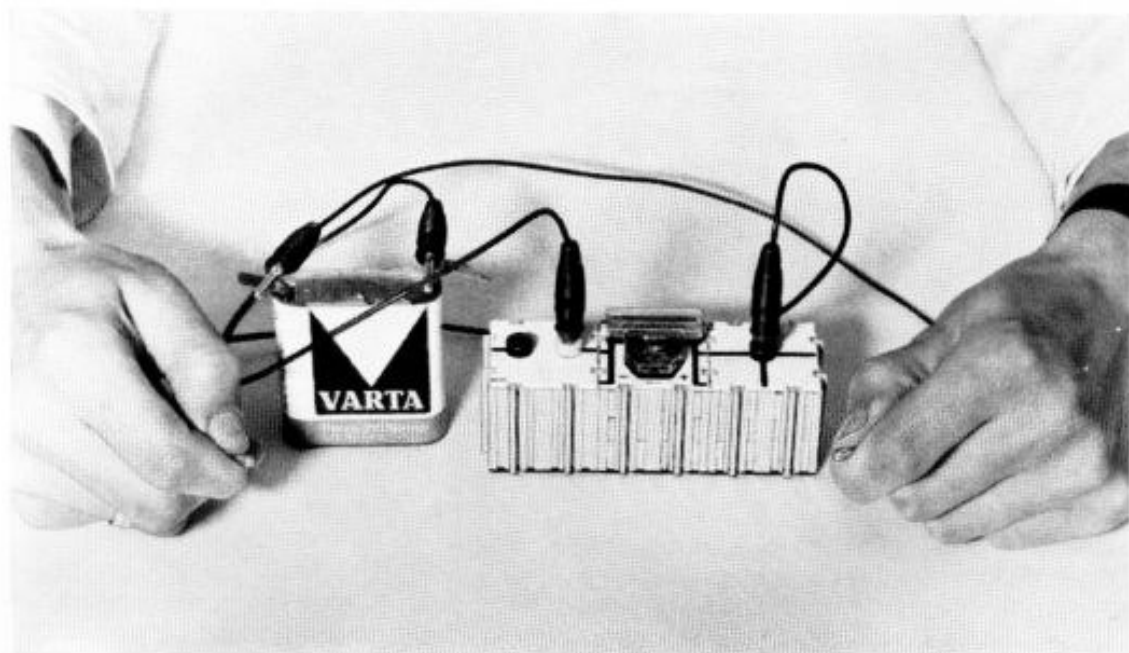
#### Versuch 27

Der menschliche Körper wird in den Stromkreis geschaltet, indem man die beiden freien Enden der Kabel als Kontaktelektroden auf die Haut legt. Bei einer Batteriespannung von  $1,5\text{ V}$  zeigt das Meßinstrument (ohne Shunt) Ströme zwischen  $0$  und  $0,1\text{ mA}$  an, je nach der Art der Kontaktstelle. Beim Fingernagel als Kontaktstelle erhält man keinen meßbaren Strom, bei trockener Haut  $10\text{--}30\text{ }\mu\text{A}$ , bei feuchter Haut ca.  $100\text{ }\mu\text{A}$  (z. B. Zunge).



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
G	1	Instrument	610 27
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Anschlußbuchse	610 04

x Nicht im Baukasten enthalten



## 5.1 Elektrische Leistung und Arbeit

Die elektrische Leistung  $P$  ist das Produkt aus Stromstärke  $I$  und Spannung  $U$ .  $P = U \cdot I$ .

Die Einheit der elektrischen Leistung ist 1 Watt (1 W). Ein Gerät nimmt die Leistung 1 Watt auf, wenn an ihm die Spannung 1 V liegt und ein Strom von 1 A fließt.

Die elektrische Arbeit  $W$  ist das Produkt aus Leistung  $P$  und Zeit  $t$ .  $W = P \cdot t$ .

Die Einheit der elektrischen Arbeit ist 1 Wattsekunde (1 Ws). Ein Strom verrichtet an einem Verbraucher die Arbeit 1 Ws, wenn dieser 1 sec lang die Leistung 1 W aufnimmt.

In Widerständen wird die elektrische Leistung in Wärmeleistung umgewandelt. Die freiwerdende Wärmeleistung ist proportional der verbrauchten elektrischen Leistung. Dadurch erklärt sich auch die unter 2.3 angegebene Wärmewirkung des Stromes. Da bei diesem Versuch der Widerstand eingeschaltet war, konnte die Erwärmung direkt in Abhängigkeit vom Strom gemessen werden.

### Versuch 28

Als eine vorläufige behelfsmäßige Einheit der Leistung betrachtet man die Leistung, die ein Glühlämpchen, das normal leuchtet, aufnimmt. Wenn 2 bzw. 3 solcher Glühlämpchen normal leuchten, nehmen sie die Leistung 2 bzw. 3 auf. Will man mehrere Glühlämpchen in Betrieb nehmen, so kann man entweder die Lämpchen parallel schalten, in Reihe schalten oder beides zugleich tun. Bei Parallelschaltung erhält man folgende Meßwerte:

Zahl der Lämpchen	Leistung in Glühlampeneinheiten	U (V)	I (mA)
1	1	4,5	30
2	2	4,5	60
3	3	4,5	90

Bei konstanter Spannung  $U$  ist die Leistung dem Strom  $I$  proportional.

Bei Reihenschaltung ergibt sich:

Zahl der Lämpchen	Leistung in Glühlampeneinheiten	U (V)	I (mA)
1	1	4,5	25
2	2	9,0	25

Bei konstantem Strom  $I$  ist die Leistung der Spannung  $U$  proportional.

Zusammengefaßt ergibt sich:  $P \sim U \cdot I$ .

Man kann 4 Lämpchen in Betrieb nehmen, wenn je 2 Lämpchen in Reihe und 2 solcher Reihen parallel geschaltet werden. Man erhält die nachstehende Tabelle:

Zahl der Lämpchen	Leistung in Glühlampeneinheiten	U (V)	I (mA)
2	2	4,5	50
4	4	9,0	50

Verdoppelung von Strom und Spannung ergibt 4fache Leistung.

Wählt man nun die endgültige Einheit der Leistung so, daß die Leistungseinheit gegeben ist, wenn bei der Spannung  $U = 1$  V der Strom  $I = 1$  A fließt, so kann man schreiben:

$$P = U \cdot I.$$

Die neue Leistungseinheit 1 V · 1 A nennt man 1 Watt (1 W).

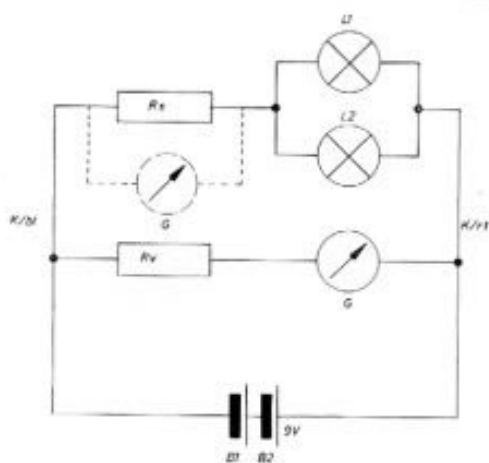
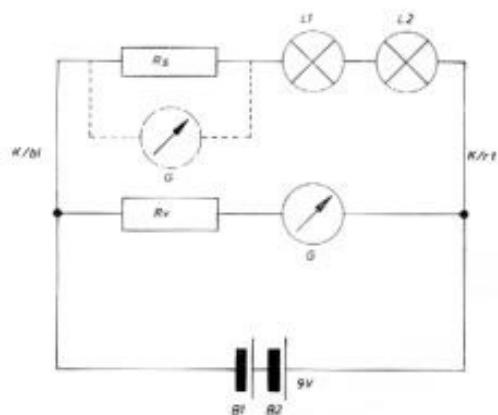
Die elektrische Arbeit, die verrichtet wird, oder vereinfacht das, was man dem Elektrizitätswerk bezahlen muß, ist proportional der Leistung  $P$ , die z. B. eine Lampe aufnimmt und proportional der Zeit  $t$ , während der z. B. eine Lampe in Betrieb ist. Man wählt nun als Einheit der Arbeit die Wattsekunde (1 Ws), d. h. die Arbeitseinheit 1 Ws liegt vor, wenn 1 Sekunde lang die Leistung 1 W aufgenommen wird. Mit dieser Einheit kann man schreiben:

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t.$$

1 Wattsekunde ist eine sehr kleine Einheit. Deshalb hat man als größere Arbeitseinheit 1 Kilowattstunde (1 kWh) eingeführt.

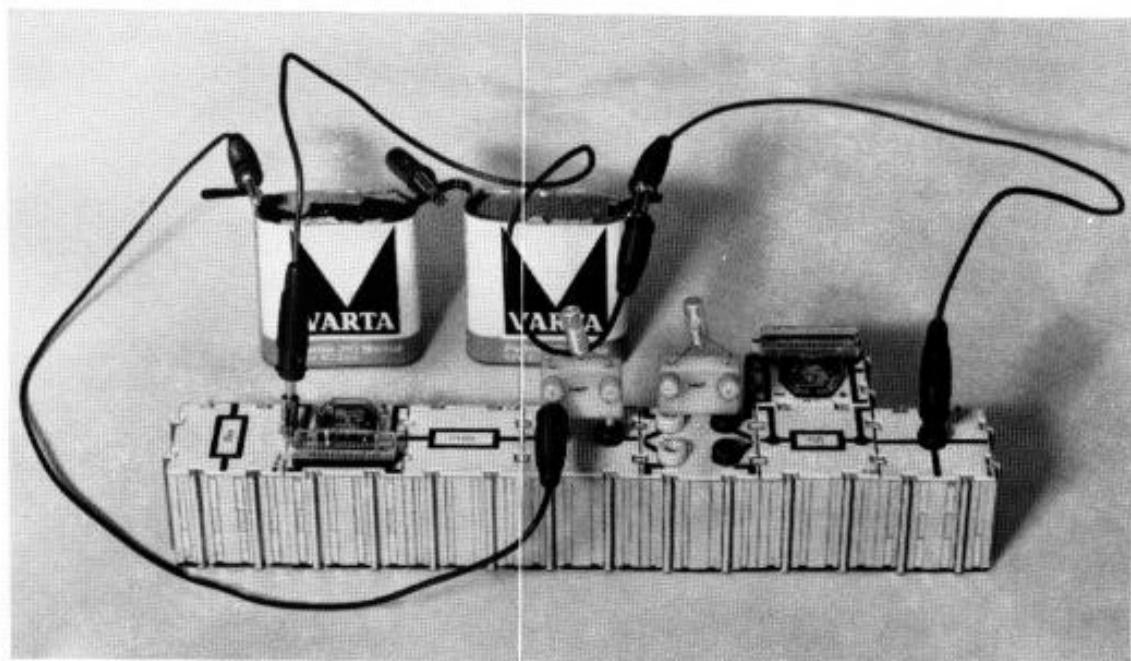
$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ W s} \\ = 3,6 \cdot 10^6 \text{ W s}$$

Da nur ein Meßinstrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich in Stellung I oder Stellung II zu bringen.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
Rs	1	Widerstand, 1,2Ω	610 33
Rv	1	Widerstand, 100 kΩ	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	2	Stocker, 2-fach	610 40
L	2	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0

x Nicht im Baukasten enthalten





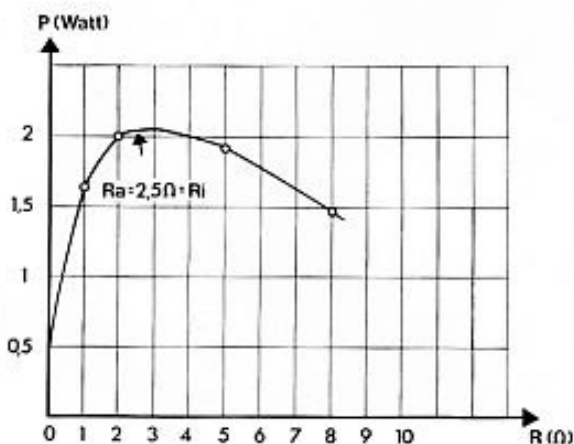
## 5.2 Anpassung

Die von einer Stromquelle an einen Verbraucher übertragene Leistung hat ihren Höchstwert, wenn der Widerstand des Verbrauchers  $R_a$  gleich dem inneren Widerstand des Generators  $R_i$  ist. Man spricht von Leistungs- od. Widerstands-anpassung. Im Versuch 22 wurde der innere Widerstand  $R_i$  einer Batterie bestimmt. Es soll nun untersucht werden, bei welchem Außenwiderstand  $R_a$  diese Batterie mit  $R_i = 2,5 \Omega$  ihre maximale Leistung abgibt.

Benützt man die Meßwerte aus Versuch 20, so ergibt sich die folgende Tabelle und das folgende Diagramm:

$U_{kl}$ (V)	$R_a$ ( $\Omega$ )	$I$ (A)	$P = U_{kl} I$ (W)
4,5	$\infty$	0	0
3,4	8	0,43	1,45
2,8	4	0,7	1,95
2,0	2	1,0	2,0
1,3	1	1,3	1,7
0	0	1,8	0

Für  $R_a = R_i$  hat die an  $R_a$  abgegebene Leistung ihren Höchstwert.



## Versuch 29

In diesem Versuch soll die Anpassung untersucht werden, nachdem durch Zuschalten des Widerstandes mit  $133 \Omega$  eine Stromquelle mit  $R_i = 133 \Omega$  entstanden ist. Als Verbraucherwiderstand dient das  $1 \text{ k}\Omega$ -Potentiometer. Eine vorherige gesonderte Einstellung des Potentiometers erübrigt sich. Man mißt für verschiedene Einstellungen des Potentiometers  $U_{kl}$  und  $I$  und berechnet den Außenwiderstand aus:

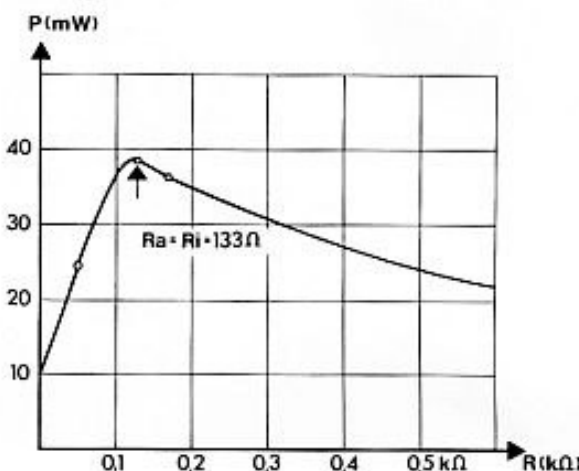
$$R_a = \frac{U_{kl}}{I}$$

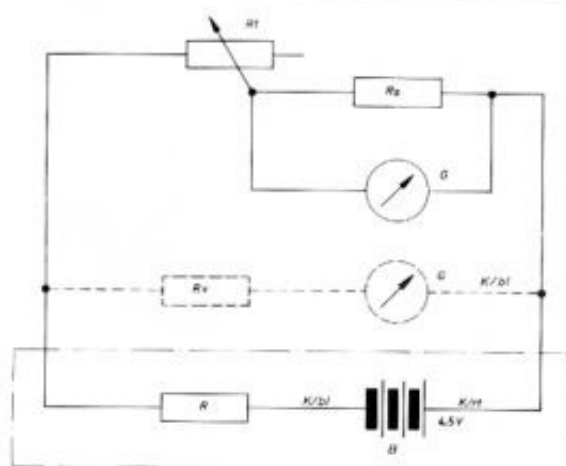
$U$ (V)	$I$ (mA)	$R_a = \frac{U_{kl}}{I}$ (k $\Omega$ )	$P$ (mW)
4,2	2	2,1	8,4
3,8	6	0,63	22,8
2,6	14	0,185	36,4
1,4	23	0,061	32,5
0,4	31	0,013	12,4

Man sieht, daß für  $R_a = 133 \Omega$  die maximale Leistung abgegeben wird.

Man kann den Versuch nach Zuschalten eines anderen Widerstandes wiederholen und erhält natürlich wieder maximale Leistungsabgabe, wenn  $R_a = R_i$  ist.

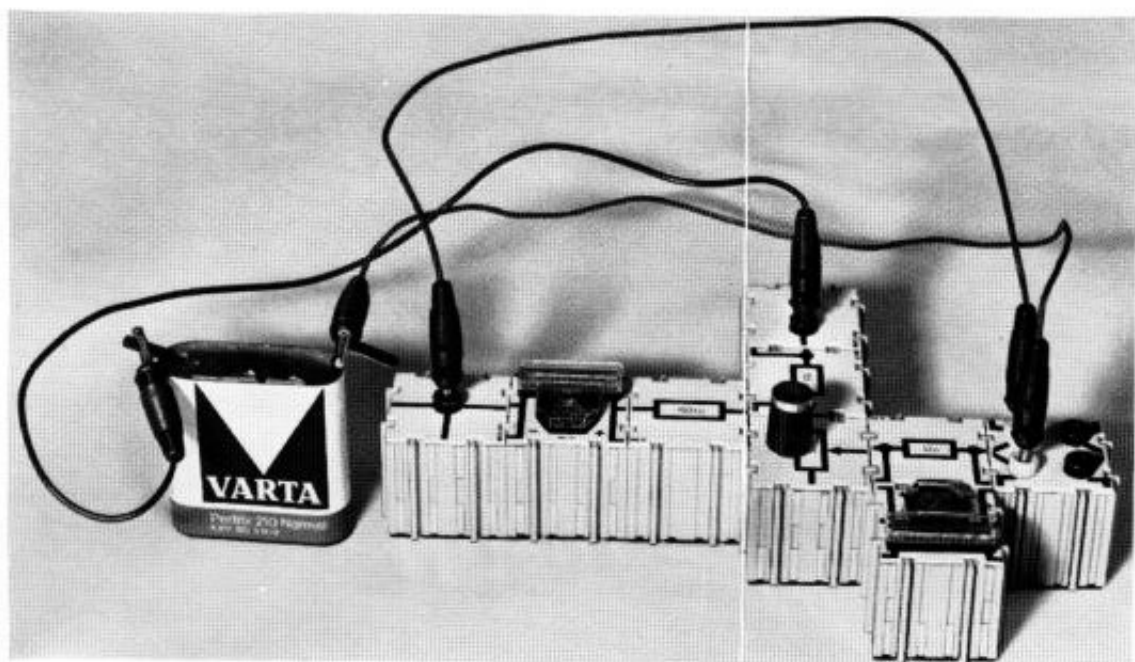
Da nur ein Instrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich in Stellung I oder Stellung II zu bringen.





Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Buchse, 4-fach	610 39
Rs	1	Widerstand, $1,2 \Omega$	610 33
R	1	Widerstand, $133 \Omega$	610 36
Rv	1	Widerstand, $100 \text{ k}\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Anschlußbuchse	610 04
R1	1	Pot. $1 \text{ k}\Omega$	610 16

x Nicht im Baukasten enthalten



## 6.1 Kondensator – Einheit der Kapazität

Ein Kondensator besteht aus 2 Leitern, z. B. zwei Metallplatten, die gegeneinander isoliert sind. Die Isolierung besteht im einfachsten Fall aus Luft (Plattenkondensator). Verbindet man die Platten mit dem Plus- und Minuspol einer Gleichspannungsquelle, so nehmen die Platten Ladungen auf.

Schließt man danach die Platten kurz, so gleichen sich die Ladungen wieder aus.

Die Ladung  $Q$  eines Kondensators ist der angelegten Spannung  $U$  direkt proportional:  $Q \sim U$ . Bei ein und demselben Kondensator ist also das Verhältnis  $Q/U$  konstant.

Für verschiedene Kondensatoren ist der Quotient  $Q/U$  nicht gleich groß, er gibt an, welche Ladung bei einer Spannung von 1 V von dem Kondensator aufgenommen wird, er ist also ein Maß für das Fassungsvermögen oder die Kapazität eines Kondensators. Man sagt: Die Kapazität  $C$  ist gleich dem Quotienten aus Ladung  $Q$  und Spannung  $U$ .

$$C = \frac{Q}{U}$$

Die Einheit der Kapazität heißt 1 Farad (1 F). Ein Kondensator hat die Kapazität 1 Farad, wenn die Platten bei einer Spannung  $U = 1$  V die Ladung  $Q = 1$  Coulomb besitzen.

Die Einheit 1 F ist sehr groß, die gebräuchlichen Kondensatoren haben wesentlich kleinere Kapazitäten. Man benützt die Einheiten

$$1 \text{ nF} = 0,001 \mu\text{F} = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ pF} = 0,001 \text{ nF} = 10^{-12} \text{ F}$$

Die Kapazität  $C$  hängt von der Plattengröße  $A$ , dem Plattenabstand  $d$  und der Isolierstoffkonstanten  $\epsilon_r$  ab.  $C \sim \frac{\epsilon_r A}{d}$

Ein Plattenkondensator mit  $A = 1 \text{ cm}^2$ ,  $d = 1 \text{ mm}$  und Luft als Isolierstoff ( $\epsilon_r = 1$ ) hat z. B. die Kapazität  $C = 0,9 \text{ pF}$ .

Ein im folgenden sehr häufig benützter Kondensator ist der sogenannte Elektrolytkondensator, kurz Elko genannt. In einen Elektrolyten tauchen 2 Metallelektroden. Bei richtiger Polung überzieht sich die eine Elektrode, meist eine Alufolie, durch Elektrolyse mit einer dünnen Schicht, die isoliert und die Elektrolyse abbricht. Bei falscher Polung entsteht die isolierende Schicht nicht. Es fließt dann dauernd ein starker Strom (Erwärmung, Gasbildung, Explosionsgefahr). Den Platten des oben beschriebenen Plattenkondensators entspricht die mit einer Isolierschicht überzogene Folie (1. Platte) und der Elektrolyt (2. Platte). Die 2. Elektrode dient nur als Stromzuführung und ist meist in Form eines das ganze fassenden Bechers ausgeführt. Da die Isolierschicht sehr dünn ist, erhält man auf kleinem Raum große Kapazitäten.

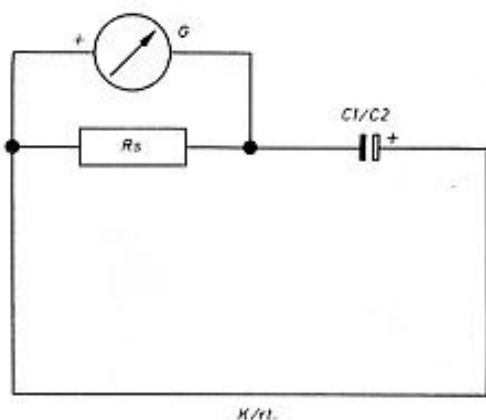
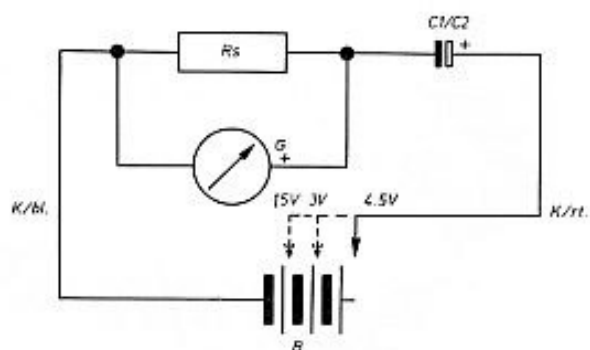
### Versuch 30

Ein Kondensator mit der Aufschrift  $50 \mu\text{F}$  wird aufgeladen und entladen. Schaltet man ein Meßinstrument in den Lade- bzw. Entladekreis, so macht sich das Fließen der Ladungen als kurzzeitiger Ausschlag (Stromstoß) bemerkbar. Der Ausschlag ist der Ladung  $Q$  proportional. Man untersucht den Stromstoß in Abhängigkeit von der Spannung  $U$ . Mißt man den Entladestromstoß, so muß das Meßinstrument umgepolt werden. Beim Aufladen muß auf **die Polung** des Kondensators geachtet werden.

Es ergibt sich folgende Meßreihe:

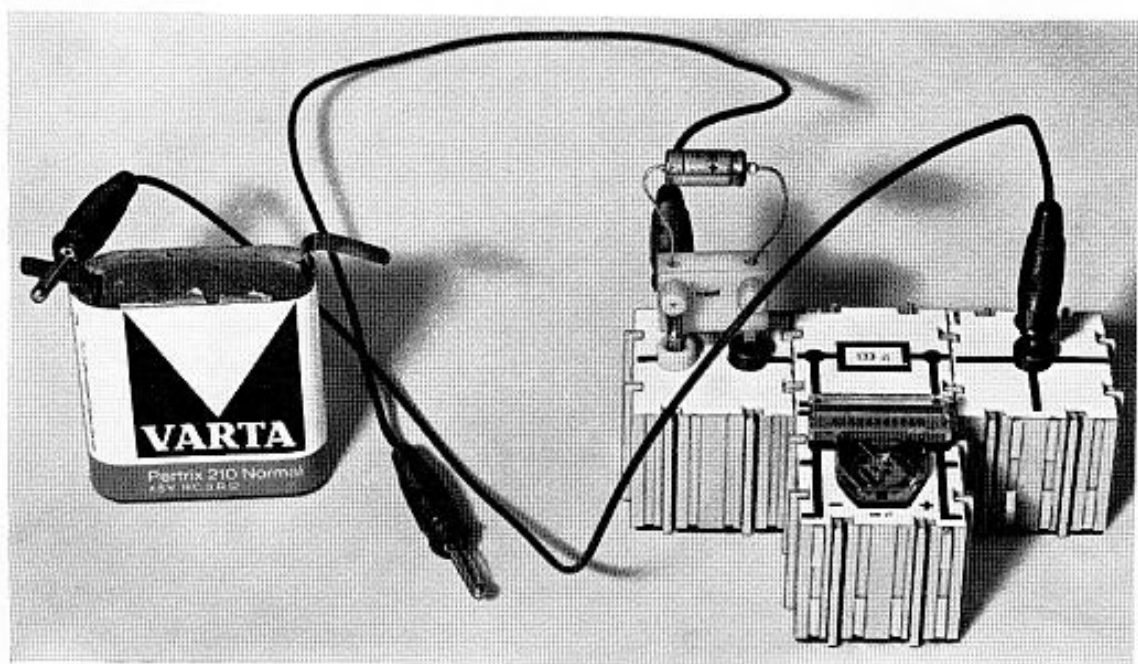
U (V)	Skt. beim Aufladen	Skt. beim Entladen
1,5	4	4
3,0	8	8

Man sieht, daß  $Q$  proportional zu  $U$  ist und daß die Ladung nach dem Abtrennen der Spannungsquelle die Ladung behält, da der Entladestromstoß gleich groß ist wie der Ladestromstoß. Der Kondensator kann also elektrische Energie speichern. Letzteres ist auch ersichtlich, wenn man in den Entladestromkreis ein Glühlämpchen bringt, das kurzzeitig aufleuchtet. Wenn der Kondensator aufgeladen ist, fließt kein Strom mehr. Im Gleichstromkreis stellt jeder Kondensator eine Unterbrechung dar, d. h. der Kondensator entspricht einem unendlich großen Widerstand.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
G	1	Instrument	610 27
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Anschlußbuchse	610 04
Rs	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
C2	1	Elko, 50 $\mu$ F	923 7 1960 0
C1	1	Elko, 100 $\mu$ F	923 7 2122 0
	1	Stecker, 2-fach	610 40

x Nicht im Baukasten enthalten



## 6.2 Entladen eines Kondensators über einen Widerstand Messung der Kapazität

Wenn die Spannung eines Kondensators von  $U_1$  auf  $U_2$  um  $\Delta U = U_2 - U_1$  sich ändert, ändert sich seine Ladung von  $Q_1 = C \cdot U_1$  auf  $Q_2 = C \cdot U_2$ , d. h. um  $\Delta Q = Q_2 - Q_1 = C (U_2 - U_1) = C \cdot \Delta U$ .

Man erhält  $C = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$ , ( $\Delta Q \approx I \cdot t$ ).

Die zu einer Spannungsänderung  $\Delta U$  gehörende Ladungsänderung  $\Delta Q$  läßt sich häufig leichter messen als  $Q/U$ .

Wird ein Kondensator über einen Widerstand  $R$  entladen, dauert natürlich die Entladung um so länger, je größer die Kapazität  $C$  ist.

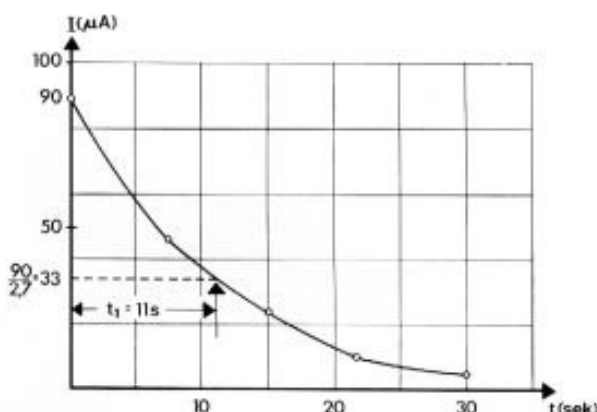
Eine Rechnung, die über den Rahmen dieser Ausführungen hinausgeht, ergibt, daß in der Zeit  $t_1 = R \cdot C$  die Ladung  $Q$ , die Spannung  $U$  und der Entladestrom  $I$  je auf den 2,7ten Teil zurückgehen. Das Produkt  $RC$  hat die Dimension Zeit.

Zweckmäßig mißt man  $R$  in  $M\Omega$  und  $C$  in  $\mu F$ , dann erhält man  $RC$  in sec.

## Versuch 31

Die Beziehungen  $C = \Delta Q / \Delta U$  und  $C = t_1 / R$  ergeben zwei Möglichkeiten, eine Kapazität  $C$  zu messen. Für beide Möglichkeiten ist es zweckmäßig, den Entladestrom in Abhängigkeit von der Zeit aufzunehmen und die gemessenen Werte in ein Schaubild einzutragen. Man lädt den mitgelieferten Kondensator von  $100 \mu F$  durch Berühren mit den Batterien auf  $9 V$  auf und nimmt den Entladestrom in Abhängigkeit von der Zeit auf. Man beobachtet am besten die Zeiten, in denen der Strom jeweils auf  $1/2$ , auf  $1/4$  usw. absinkt. Es zeigt sich, daß diese Zeiten sich verhalten wie  $1 : 2 : 3 : 4$ .

$I (\mu A)$	90	45	22	11	6
$t (s)$	0	7,5	15	23	30
$U (V)$	9	4,5	2,2	1,1	0,6



Der Entladestrom  $I$  ist in jedem Augenblick gegeben durch  $I = U/R$ , wobei  $U$  die Spannung des Kondensators in dem betreffenden Zeitpunkt ist. Wenn also in den ersten  $7,5$  sec der Strom von  $90 \mu A$  auf  $45 \mu A$  absinkt, so sinkt in der gleichen Zeit die Spannung  $U$  von  $0,1 M\Omega \cdot 90 \mu A = 9 V$  auf  $0,1 M\Omega \cdot 45 \mu A = 4,5 V$  (vgl. Tabelle). Der mittlere Entladestrom während dieser Zeit ist

$$I = \frac{1}{2} (90 + 45) \mu A = 67,5 \mu A.$$

Man erhält also nach Methode 1:  $C = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$

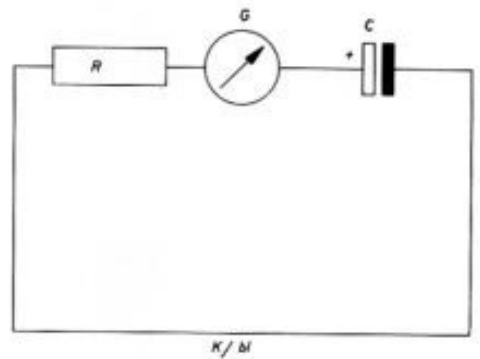
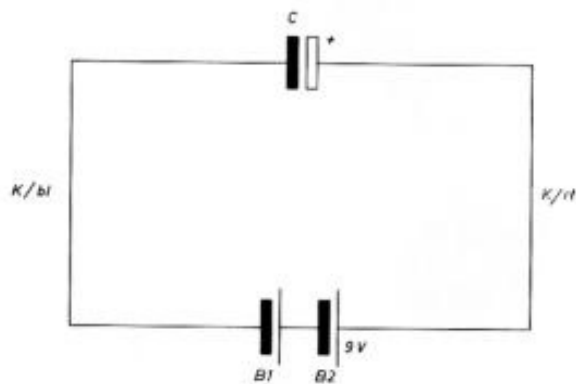
$$\Delta U = 4,5 V, \Delta Q = 67,5 \mu A \cdot 7,5 s = 507 \mu C,$$

$$C = \frac{507 \mu C}{4,5 V} = 112 \mu F,$$

nach der Methode 2:  $C = t_1 / R$  erhält man

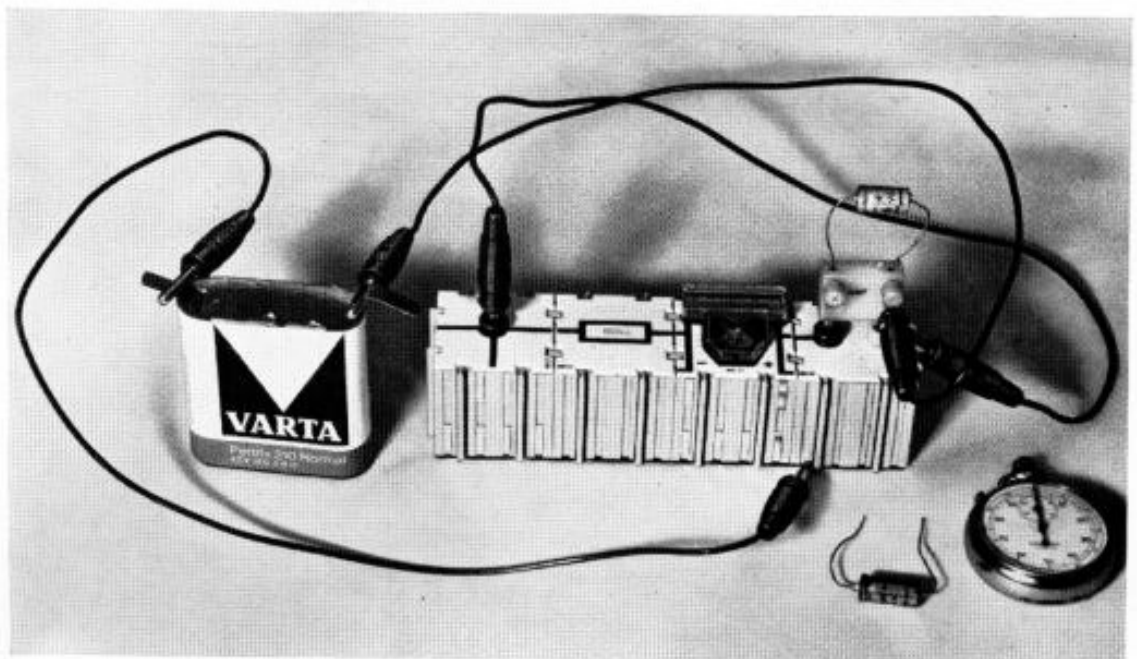
$$C = \frac{11 s}{0,1 M\Omega} = 110 \mu F.$$

Die zweite Methode ist die genauere. Wir wollen sie bei den folgenden Versuchen beibehalten.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Stoppuhr	x
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Anschlußbuchse	610 04
R	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Stecker, 2-fach	610 40
C	1	Elko, 100 $\mu$ F	923 7 2122 0

x Nicht im Baukasten enthalten



### 6.3 Laden eines Kondensators über einen Widerstand

Beim Laden eines Kondensators ergibt sich für den Ladestrom  $I$  dieselbe zeitliche Abhängigkeit wie beim Entladestrom, man erhält dieselben Meßwerte und dasselbe Schaubild.

Aber der Zusammenhang zwischen  $U$  (Spannung am Kondensator),  $U_B$  (Spannung der Batterie) und  $I$  (Ladestrom) ist jetzt gegeben durch

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

Je mehr der Kondensator aufgeladen wird, d. h. je näher  $U$  an  $U_B$  heranrückt, um so kleiner wird der Ladestrom.

Für  $Q$  gilt  $Q = C \cdot U$ .

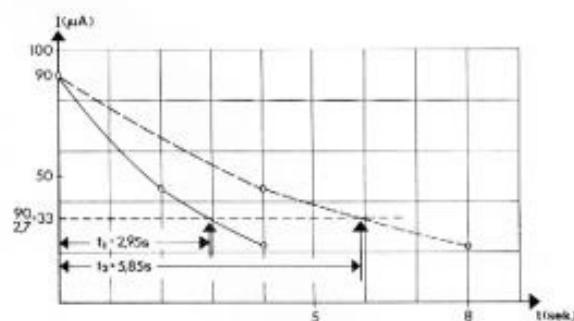
Auch hier kann man aus dem Schaubild die Zeit  $t_1$  bestimmen, in der der Strom  $I$  auf  $1/2,7$  abgenommen hat, und dann, wie eine hier nicht durchgeführte Rechnung zeigt, auch jetzt mit der Formel  $C = t_1/R$  arbeiten.

### Versuch 32

Man lädt einen Kondensator mit  $100 \mu\text{F}$  über den Widerstand  $R = 100 \text{ k}\Omega$  mit der Batteriespannung  $U_B = 9 \text{ V}$  auf. Man mißt wieder die Zeiten, in denen der Ladestrom, der zu Beginn  $90 \mu\text{A}$  beträgt, auf  $45 \mu\text{A}$ ,  $22,5 \mu\text{A}$  und  $11,25 \mu\text{A}$  absinkt. Man erhält dieselbe Tabelle und dasselbe Schaubild wie beim Entladen.

Es ist zweckmäßig, vor Beginn der Messung die Kapazität durch einen Kurzschluß zu überbrücken, weil dann das Meßinstrument sich schon vor Beginn der Messung auf den Anfangsladestromwert einstellt. Der Kurzschlußbügel wird im gleichen Moment gezogen, in dem man die Stoppuhr laufen läßt.

Ersetzt man  $R = 100 \text{ k}\Omega$  durch  $50 \text{ k}\Omega$  oder  $C = 100 \mu\text{F}$  durch  $C = 50 \mu\text{F}$ , so geht  $t$  auf die Hälfte zurück.



Bei  $R = 50 \text{ k}\Omega$  und  $C = 50 \mu\text{F}$  geht  $t$  auf  $t/4$  zurück.

$$R = 100 \text{ k}\Omega, C = 50 \mu\text{F}$$

$I$	$90 \mu\text{A}$	$45 \mu\text{A}$	$22,5 \mu\text{A}$
$t$	0	4 s	8 s

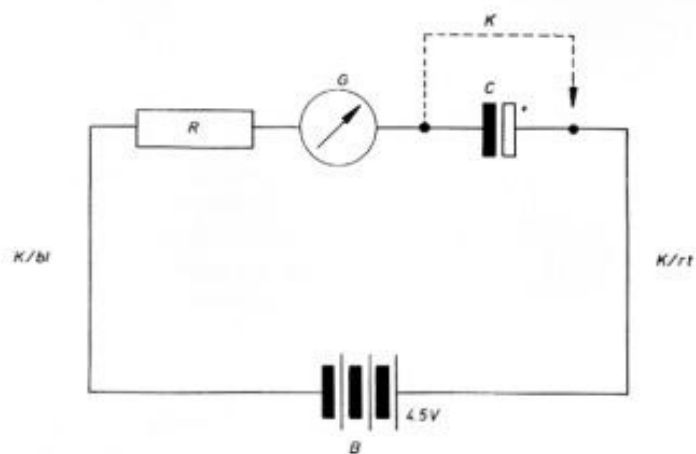
$$R = 50 \text{ k}\Omega, C = 50 \mu\text{F}$$

$I$	$90 \mu\text{A}$	$45 \mu\text{A}$	$22,5 \mu\text{A}$
$t$	0	2 s	4 s

Mit der Form  $C = \frac{t_1}{R}$

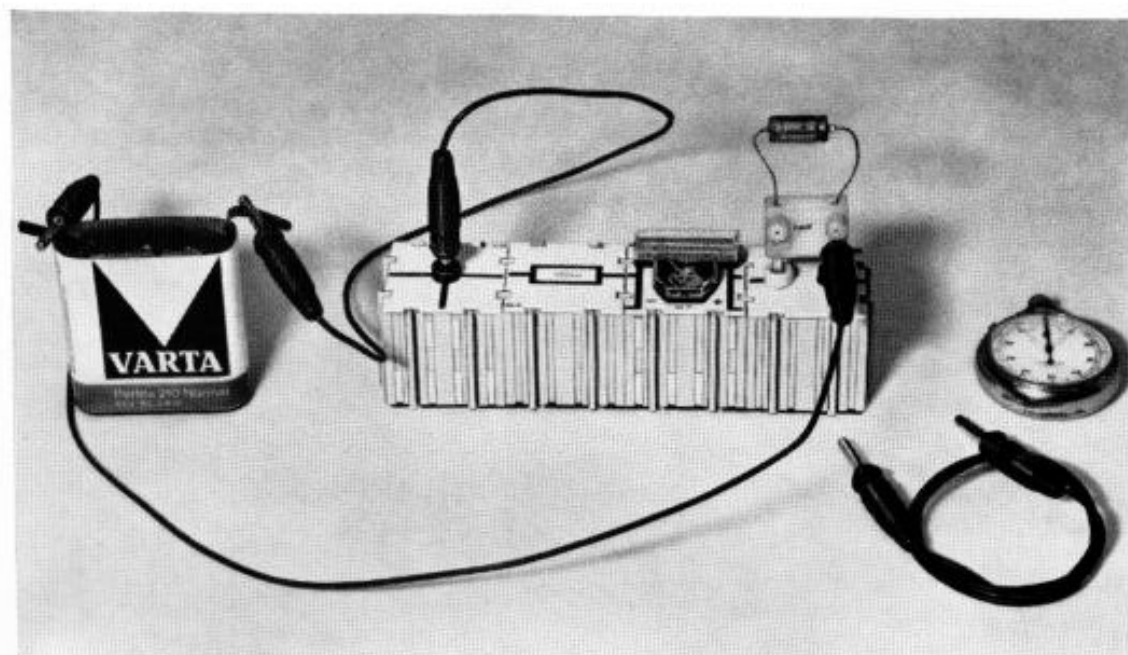
$$\text{erh\u00e4lt man: } C = \frac{5,8 \text{ s}}{0,1 \text{ M}\Omega} = 58 \mu\text{F bzw.}$$

$$C = \frac{2,9 \text{ s}}{0,05 \text{ M}\Omega} = 58 \mu\text{F}$$



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Stoppuhr	x
B	1	Batterie, 4,5V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
R	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Stecker, 2-fach	610 40
K	1	Kurzschlußbügel	610 2 3006 0
C	1	Elko, 100 $\mu$ F	923 7 2122 0

x Nicht im Baukasten enthalten





### Versuch 33

Man bestimmt die Gesamtkapazität  $C_{ges}$

a) bei den parallel geschalteten Kapazitäten

$$C_1 = 100 \mu\text{F} \text{ und } C_2 = 100 \mu\text{F},$$

b) bei den parallel geschalteten Kapazitäten

$$C_1 = 100 \mu\text{F} \text{ und } C_3 = 50 \mu\text{F}.$$

Die Gesamtkapazität ermittelt man gemäß 6.3 beim Aufladen.  $100 \text{ k}\Omega$  und die parallel geschalteten Kondensatoren werden mit dem Meßinstrument in Reihe geschaltet und an die Spannung  $U = 9 \text{ V}$  angeschlossen.

Zunächst werden die Kapazitäten mit einer Kabelverbindung kurzgeschlossen. Nun fließt der Strom  $I = 90 \mu\text{A}$ . Dies ist auch der Strom, der im ersten Moment als Ladestrom fließt.

Man löst zur Zeit  $t = 0$  die Kurzschlußverbindung und stellt fest, wie lange es dauert, bis der Zeiger des Meßinstrumentes die  $45 \mu\text{A}$ -Marke und die  $22,5 \mu\text{A}$ -Marke passiert. Wenn man diese »Halbwertszeit«  $t$  gemessen hat, kann man wie in 6.3 das Schaubild zeichnen. Aus dem Schaubild entnimmt

man die Zeit  $t_1$ , in der der Ladestrom auf  $\frac{90}{2,7} \mu\text{A} = 33 \mu\text{A}$  abgefallen ist, und berechnet  $C = t_1/R$ . Aus dem Schaubild entnimmt man

Fall a)

$$t_1 = 22 \text{ s}, \quad C_{ges} = \frac{22 \text{ s}}{100 \text{ k}\Omega} = \frac{22 \text{ s}}{0,1 \text{ M}\Omega} \\ = 220 \mu\text{F} = C_1 + C_2$$

Fall b)

$$t_2 = 16 \text{ s}, \quad C_{ges} = \frac{16 \text{ s}}{100 \text{ k}\Omega} = \frac{16 \text{ s}}{0,1 \text{ M}\Omega} \\ = 160 \mu\text{F} = C_1 + C_3$$

Die gemessenen Werte können von den aufgedruckten Werten abweichen, weil die Toleranz der mitgelieferten Kondensatoren bis  $50\%$  beträgt.

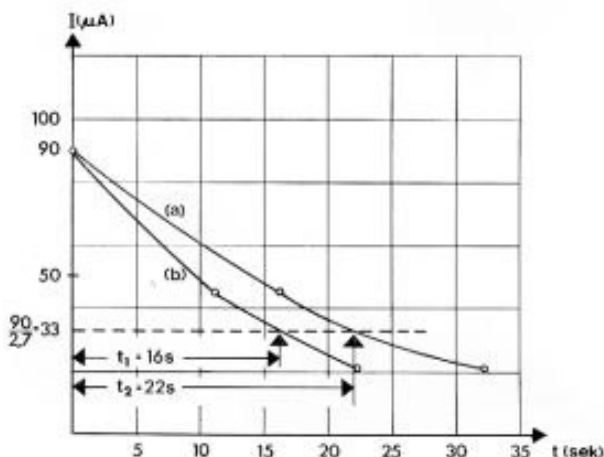
### 6.4 Parallelschaltung von Kondensatoren

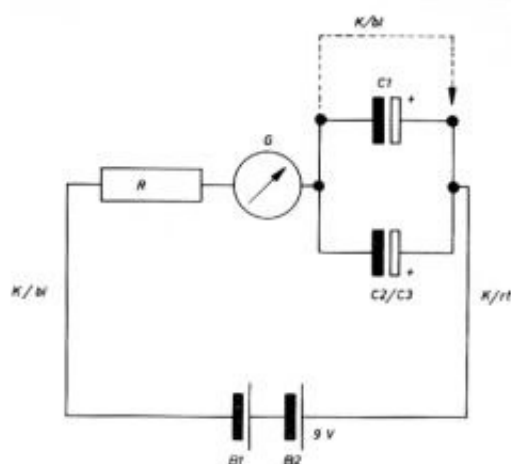
Schaltet man 2 Kondensatoren der Kapazität  $C_1$  und  $C_2$  parallel, so gilt für die Gesamtkapazität  $C_{ges}$ :

$$C_{ges} = C_1 + C_2$$

Der Kondensator der Kapazität  $C_{ges}$  ist den parallelgeschalteten Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  gleichwertig, wenn beide Anordnungen bei der Spannung  $U$  die gleiche Ladung aufnehmen, d. h.  $Q = Q_1 + Q_2$ , nun ist aber  $Q = C \cdot U$ ,  $Q_1 = C_1 \cdot U$ , also  $CU = C_1U + C_2U$  und

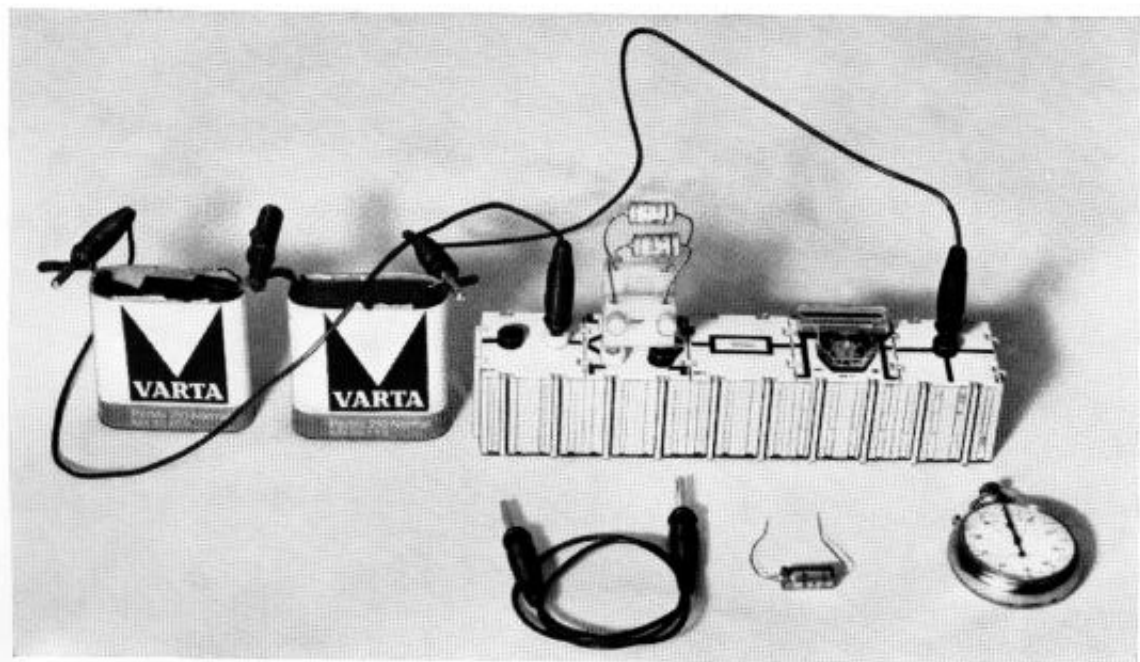
$$C = C_1 + C_2$$





Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Stoppuhr	x
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
R	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Anschlußbuchse	610 04
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Buchse, 4-fach	610 39
C1/C2	2	Elko, 100 $\mu$ F	923 7 2122 0
C3	1	Elko, 50 $\mu$ F	923 7 1960 0

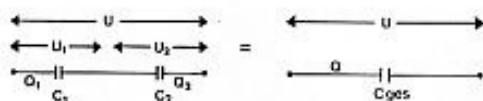
x Nicht im Baukasten enthalten



## 6.5 Reihenschaltung von Kondensatoren

Schaltet man zwei Kondensatoren mit den Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  in Reihe, so ist die Gesamtkapazität  $C_{ges}$  gegeben durch

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Beide Anordnungen sind gleichwertig, wenn bei derselben Spannung  $U$  beide Anordnungen mit den äußeren Platten die gleichen Ladungen aufnehmen, d. h.  $Q = Q_1 = Q_2$ . Nun ist:

$$U = U_1 + U_2. \text{ Mit } U = \frac{Q}{C_{ges}}, U_1 = \frac{Q}{C_1} \text{ u. } U_2 = \frac{Q}{C_2}$$

erhält man zunächst

$$\frac{Q}{C_{ges}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \text{ und da } Q = Q_1 = Q_2 \text{ ist, erhält man:}$$

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Die Gesamtkapazität ist kleiner als die kleinste Einzelkapazität. Man vergleiche damit die Formeln bei Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen.

## Versuch 34

Man bestimmt die Gesamtkapazität  $C_{ges}$

a) bei den in Reihe geschalteten Kapazitäten

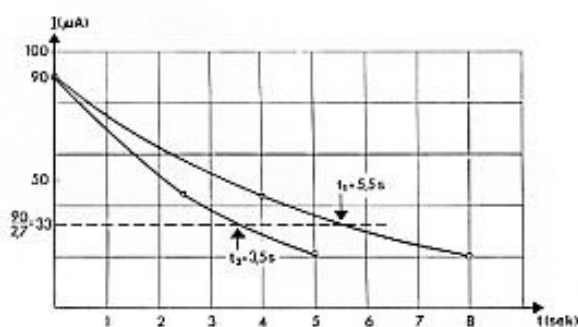
$$C_1 = 100 \mu\text{F} \text{ und } C_2 = 100 \mu\text{F}$$

b) bei den in Reihe geschalteten Kapazitäten

$$C_2 = 100 \mu\text{F} \text{ und } C_3 = 50 \mu\text{F}$$

nach derselben Methode wie in 6.4.

Es ergibt sich das folgende Diagramm:



Aus dem Schaubild entnimmt man:

Fall a)

$$t_1 = 5,5 \text{ s} \quad C_{ges} = \frac{5,5 \text{ s}}{0,1 \text{ M}\Omega} = 55 \mu\text{F}$$

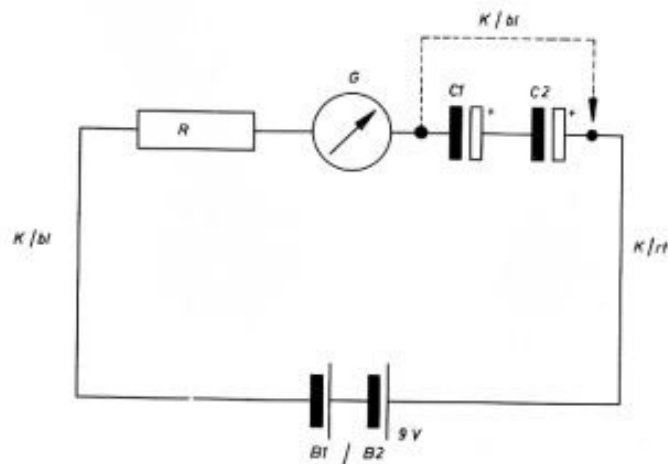
$$\text{d. h. } \frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Fall b)

$$t_2 = 3,5 \text{ s}, C_{ges} = \frac{3,5 \text{ s}}{0,1 \text{ M}\Omega} = 35 \mu\text{F} \text{ und}$$

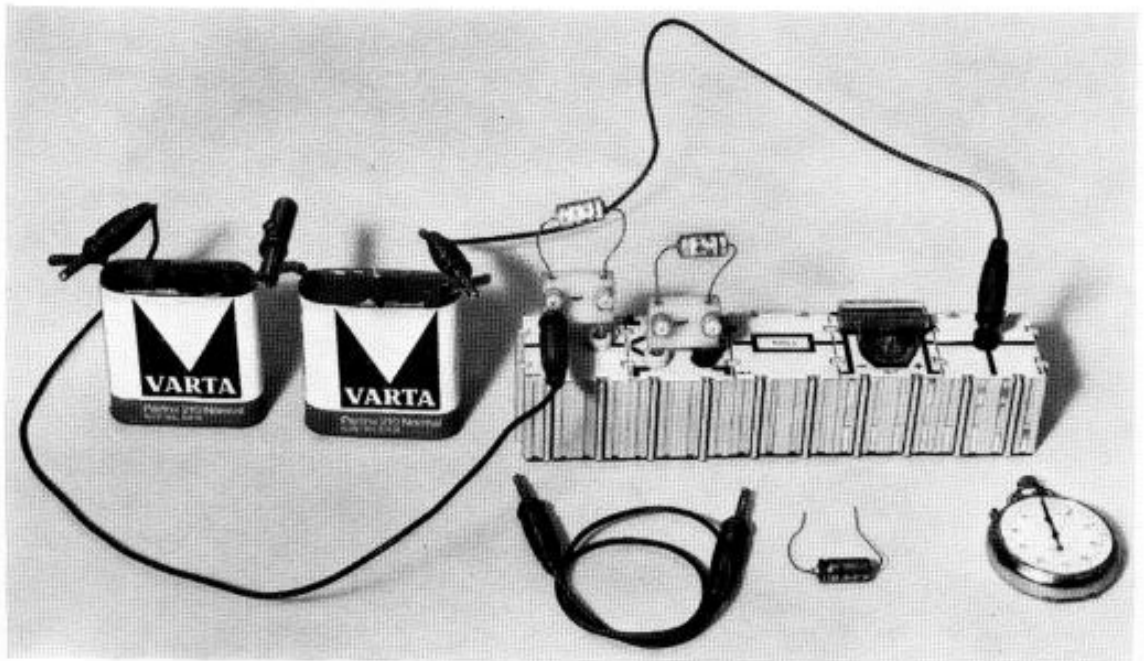
$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Die gemessenen Werte können abweichen, weil die mitgelieferten Kondensatoren Toleranzen bis 50 % haben können.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
R	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
G	1	Instrument	610 27
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	2	Stecker, 2-fach	610 40
C1/C2	2	Elko, 100 $\mu$ F	923 7 2122 0
C3	1	Elko, 50 $\mu$ F	923 7 1960 0

x Nicht im Baukasten enthalten



## 6.6 Energie des Kondensators

Ein Kondensator, der bei der Spannung  $U$  die Ladung  $Q = C \cdot U$  aufgenommen hat, besitzt die Energie

$$\frac{1}{2} \cdot QU = \frac{1}{2} CU^2$$

Herleitung:

Man nimmt an, der Ladestrom  $I = \frac{U_{\text{alt}} - U}{R}$  sei konstant. (Bei einer entsprechenden Änderung des Ladewiderstandes ist das möglich). Die Ladung  $Q = I \cdot t$  und damit  $U = Q/C$  nimmt jetzt gleichmäßig mit der Zeit zu. Eine Anwendung der Formel  $W = U \cdot I \cdot t$  (5.1) setzt konstanten Strom  $I$  und konstante Spannung  $U$  voraus. Wenn aber die Spannung  $U$  gleichmäßig zunimmt, kann man in der Formel  $U$  durch die mittlere Spannung  $U/2$  ersetzen. Man erhält.

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} U \cdot I \cdot t = \frac{1}{2} UQ = \frac{1}{2} CU^2$$

## Versuch 35

Die im Kondensator gespeicherte Energie ist in der Lage, ein Glühlämpchen kurz aufleuchten zu lassen, wenn der Kondensator über das Glühlämpchen entladen wird.

Man lädt einen Kondensator von  $100 \mu\text{F}$  auf, indem man das Kabel, das zur Glühlampe führt, mit dem Pluspol der 9 V-Batterie verbindet (das Lämpchen leuchtet kurz auf). Man entlädt den Kondensator, indem man mit diesem Kabel vom Pluspol der Batterie zum Minuspol des geladenen Kondensators geht und diesen berührt (das Lämpchen leuchtet gleich hell wie beim Aufladen auf). Beim Schalten der Kondensatoren ist unbedingt auf die Polung zu achten. Schaltet man einen zweiten Kondensator von  $100 \mu\text{F}$  parallel (Gesamtkapazität  $200 \mu\text{F}$ ), so leuchtet, wenn wieder 9 V Ladespannung gewählt werden, das Lämpchen kräftiger auf. Um wieder den alten Leuchteffekt zu erreichen, darf man die Spannung nicht auf 4,5 V (1 Batterie) absenken, sondern nur auf 6 V, da die Energie des Kondensators mit dem Quadrat der Spannung zunimmt, während sie der Kapazität direkt proportional ist.

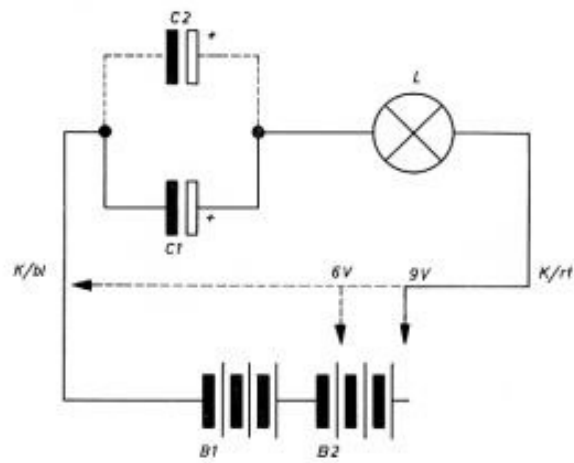
$$1. \text{ Fall: } W = \frac{100 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 9^2 \text{ V}^2}{2} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ Wattsec.} \\ (100 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F})$$

$$2. \text{ Fall: } W = \frac{200 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 6^2 \text{ V}^2}{2} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ Wattsec.}$$

Bei 4,5 V ist die Energie nur gleich

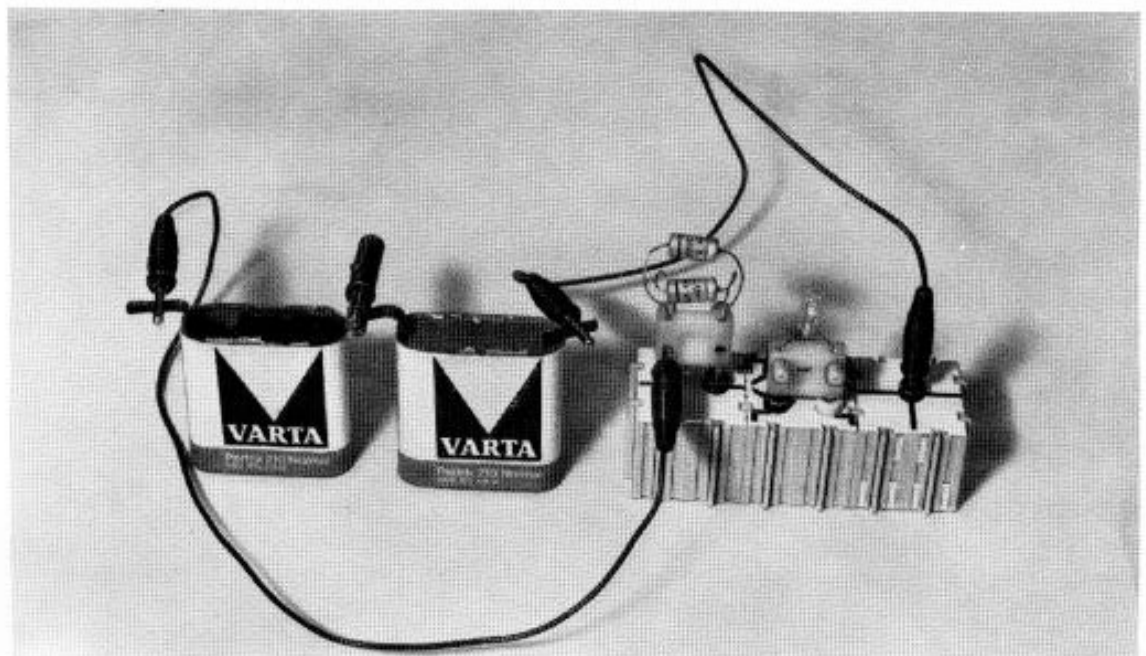
$$\frac{200 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 4,5^2 \text{ V}^2}{2} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ Wattsec.}$$

und das Lämpchen leuchtet nicht auf.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	2	Stecker, 2-fach	610 40
C1/C2	2	Elko, 100 $\mu$ F	923 7 2122 0
L	1	Lampe, 60/50 mA	610 2 3007 0

x Nicht im Baukasten enthalten



## 7.1 NTC-Widerstand oder Heißeiter

Bei Heißeitern oder NTC-Widerständen nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur ab (NTC bedeutet negat. Temperatur-Koeffizient). Bei Metallen (vgl. 4.11) nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur meist zu (pos. Temperatur-Koeffizient).

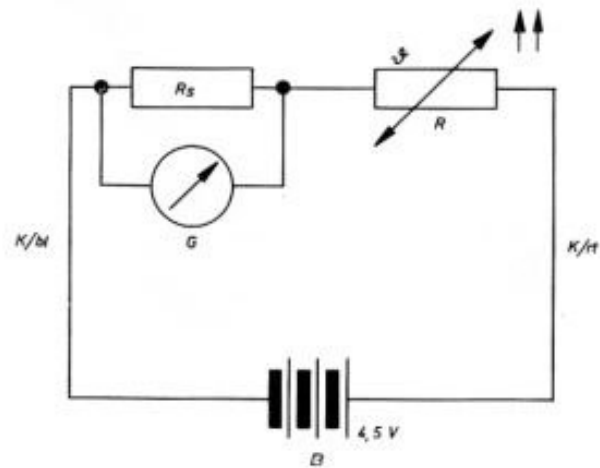
NTC-Widerstände sind Halbleiter. Wichtige Halbleiter sind die Elemente Germanium, Silizium, Selen. In Halbleitern wird der Elektrizitätstransport wie bei Metallen im wesentlichen von Elektronen getragen. Der Unterschied zu den Metallen besteht darin, daß die Atome des Metalls beim Aufbau des Metallgitters spontan etwa 1 Elektron pro Atom abgeben, die dann innerhalb des Metallgitters frei beweglich sind. Bei den Atomen der halbleitenden Elemente sind alle Elektronen gebunden. Die für die chemische Bindung wesentlichen sogenannten Valenzelektronen in der äußeren Hülle des Atoms sind allerdings so locker gebunden, daß sie durch geringe Energiezufuhren, d. h. durch Erwärmung und Lichteinstrahlung losgelöst und frei beweglich werden. Die Leitfähigkeit der Halbleiter steigt bei Temperaturanstieg und bei Lichteinstrahlung, weil die Zahl der frei beweglichen Ladungsträger zunimmt.

Im Unterschied zu Metallen, wo auf jedes Atom ein frei bewegliches Elektron entfällt, hat man bei Zimmertemperatur etwa auf 1 Million Atome 1 frei bewegliches Elektron (wesentlich geringere Leitfähigkeit als bei Metallen).

Bei Metallen ändert sich die Zahl der frei beweglichen Elektronen nicht mehr mit der Temperatur. Die Abnahme der Leitfähigkeit mit steigender Temperatur erklärt sich aus der zunehmenden Behinderung und Reibung in dem Metallgitter, dessen Teile bei steigender Temperatur eine immer stärker werdende Wärmebewegung annehmen.

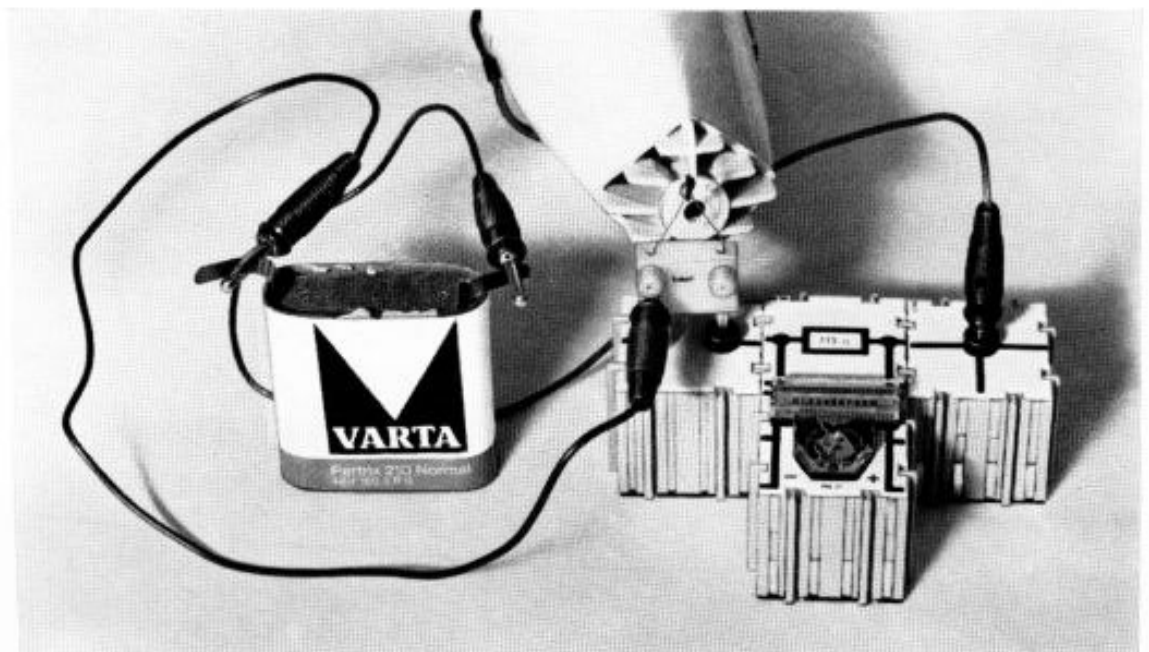
### Versuch 36

Man schaltet den NTC-Widerstand in Reihe mit einem Amperemeter ( $133 \Omega$  – Shunt, 1 mA-Meßbereich) und legt eine konstante Spannung  $U = 4,5 \text{ V}$  an. Es fließt ein Strom von etwa  $0,08 \text{ mA}$ , dem entspricht ein Widerstand  $R \approx 60 \text{ k}\Omega$ . Erwärmt man den NTC-Widerstand mit einem Föhn, so steigt bei konstant gehaltener Spannung der Strom an, d. h. der Widerstand nimmt ab. Er kann leicht bis auf ca.  $5 \text{ k}\Omega$  gebracht werden.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Föhn	x
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
Rs	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Stecker, 2-fach	610 40
R	1	NTC-Widerstand, 60 k $\Omega$	933 7 1943 0

x Nicht im Baukasten enthalten





in der Apotheke ein 20 cm<sup>3</sup>-Fläschchen mit Paraffinöl, bringt das Fläschchen nacheinander in eine Kältemischung (Salz und Eis), in schmelzendes Eis, in warmes Wasser, in heißes Wasser, mißt die Temperatur des Paraffinöls, taucht den Heißleiter ein und bestimmt den Widerstand, indem man die angelegte Spannung U und den Strom I mißt. Man erhält etwa die in der Tabelle zusammengestellten Meßwerte:

Temp.(°C)	-6,5	+3	+9	+17	+25
R (kΩ)	265	140	102	74	45
Temp.(°C)	+35	+45	+54	+70	+87
R (kΩ)	34	22	17	9,4	5,0

Damit man auch Zwischenwerte ablesen kann, trägt man die Meßwerte in ein Schaubild ein. Jetzt ist über die Widerstandsmessung jede Zwischentemperatur zu messen.

Man ersieht aus dem Schaubild, daß die Widerstandsänderung bei einer Temperaturzunahme von 10°C zu 10°C nicht wie bei Metallen konstant ist, sondern die Widerstandsabnahme ist auch proportional zur jeweiligen Größe des Widerstandes. In dem vorgelegten Beispiel beträgt die Abnahme 37%, bezogen auf den jeweiligen Widerstand, z. B.

$$\frac{R_0 - R_{10}}{R_0} = \frac{150 - 95}{150} = 0,37 \text{ oder } \frac{R_{20} - R_{30}}{R_{20}} = \frac{60 - 38}{60} = 0,37$$

Man schreibt: Temp.-Koeffizient TK =  $\frac{-37\%}{10^\circ\text{C}} = 3,7\%/^\circ\text{C}$ .

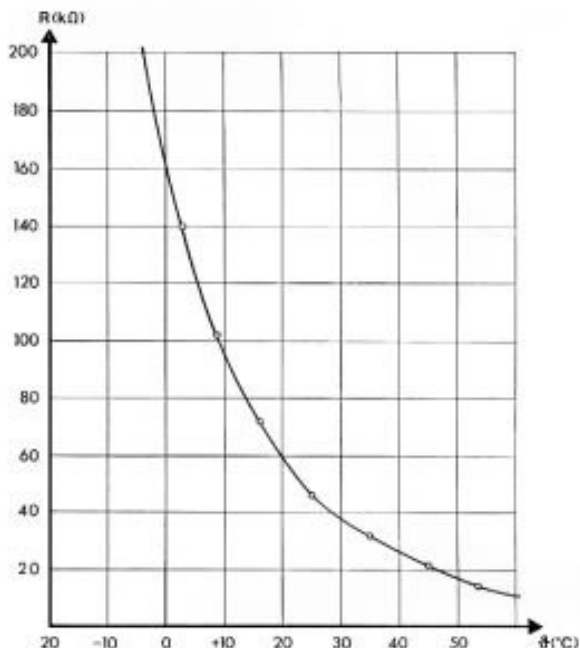
## 7.2 Temperaturmessung mit NTC-Widerstand

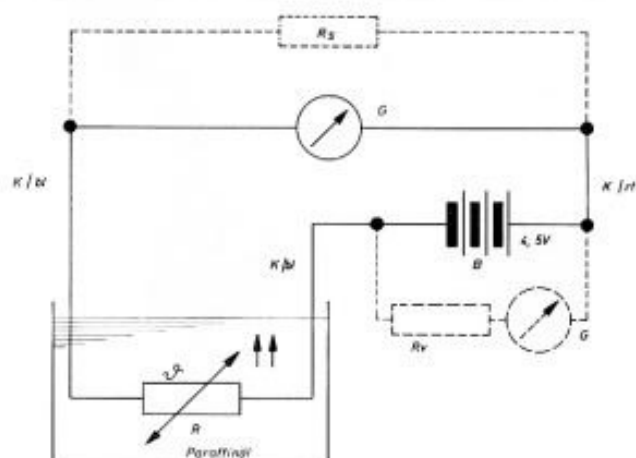
Die Temperaturabhängigkeit der Halbleiter hat eine ganze Anzahl wichtiger Anwendungen gefunden.

Man verwendet sie z. B. zur Herstellung empfindlicher Thermometer, man stellt durch Kombination mit Metallen von der Temperatur unabhängige Widerstände her, und man benutzt sie, um die Einschaltstromspitzen bei elektrischen Geräten zu unterdrücken.

### Versuch 37

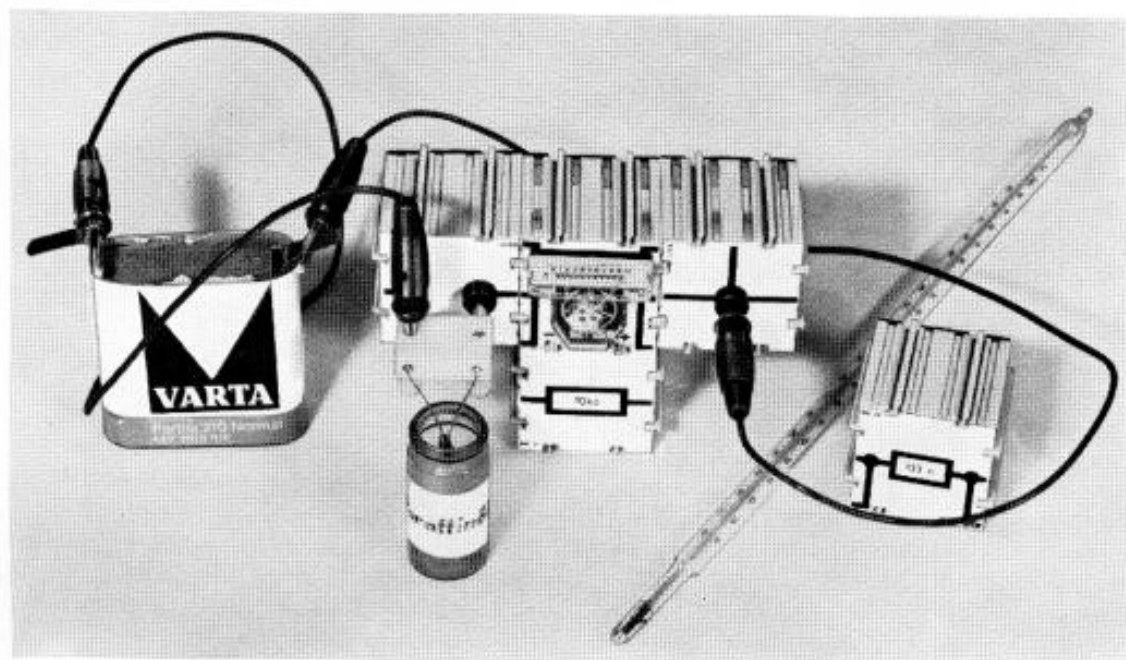
Im folgenden soll die Herstellung eines Thermometers beschrieben werden. Man bringt den NTC-Widerstand in ein Temperaturbad aus dest. Wasser, Glycerin oder Paraffinöl. Man kauft notfalls





Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Batterie, 4,5 V	x
	1	Thermometer	x
		Paraffinöl	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27
Rs	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
Rv	1	Widerstand, 100 k $\Omega$	610 13
	2	Klemme	970 7 2146 0
	1	Becher	980 7 1998 0

x Nicht im Baukasten enthalten



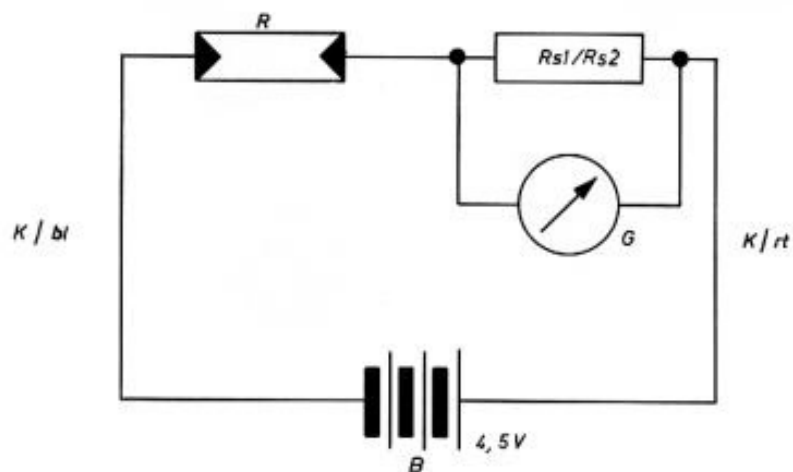
## 8.1 Photowiderstand

In 7.1 wurde dargestellt, daß die Zahl der frei beweglichen Elektronen und damit die Leitfähigkeit durch Lichteinstrahlung vergrößert werden kann. Die dortigen Ausführungen beziehen sich auf reinste Kristalle. In Wirklichkeit sind z. B. in einem Germaniumkristall auch Atome von anderen Elementen (Fremdatome) eingebaut. Diese Störstellen tragen nun auch zur Leitfähigkeit bei. Ist z. B. ein Arsenatom eingelagert, so entsteht schon bei ganz geringer Energiezufuhr (Erwärmung, Lichteinstrahlung) ein frei bewegliches Elektron, da das Arsenatom 5 Valenzelektronen in der äußeren Hülle besitzt und nur 4 für die chemische Bindung benötigt werden, das 5. dadurch ganz locker gebunden ist. Man spricht hier von n-Leitung (n-Leitung, weil die ladungstragenden Elektronen negative Ladung besitzen). Ist aber z. B. ein Indiumatom eingelagert, so fehlt für die chemische Bindung ein Elektron, da das Indiumatom in der äußeren Hülle nur 3 Valenzelektronen besitzt. Dieses fehlende Bindungselektron hinterläßt, wie man sagt, ein »Loch«. Dieses »Loch« oder Defektelektron verhält sich wie ein positiver Ladungsträger. Man spricht jetzt von p-Leitung (p-Leitung, da positive Ladungsträger zur Verfügung stehen). n-Leitung und p-Leitung nennt man nach der Entstehung auch Störleitung, die in 7.1 beschriebene Leitung bei reinsten Kristallen die Eigenleitung. Man kann durch gezieltes Einlagern von Fremdatomen p- und n-leitende Bereiche planmäßig herstellen.

Die Störleitung spielt speziell bei Photowiderständen eine besondere Rolle.

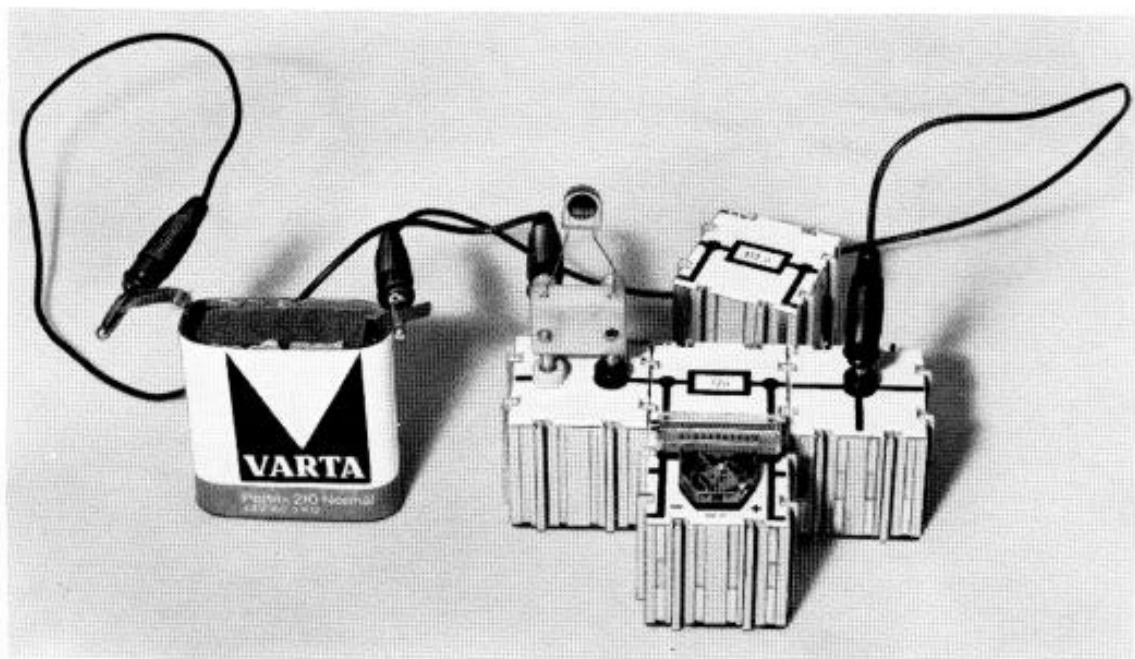
### Versuch 38

Man schaltet das Amperemeter (133  $\Omega$ -Shunt bzw. 12  $\Omega$ -Shunt, je nach Helligkeit) mit dem Photowiderstand in Reihe und legt die Batteriespannung  $U = 4,5 \text{ V}$  an. Man erhält einen Ausschlag, der beim Abdecken des Photowiderstandes stark zurückgeht. Der Widerstand ist offensichtlich bei geringer Beleuchtungsstärke größer.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
Rs2	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungssteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
Rs1	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Stecker, 2-fach	610 40
R	1	Fotowiderstand	901 7 2179 0

x Nicht im Baukasten enthalten



### Versuch 39

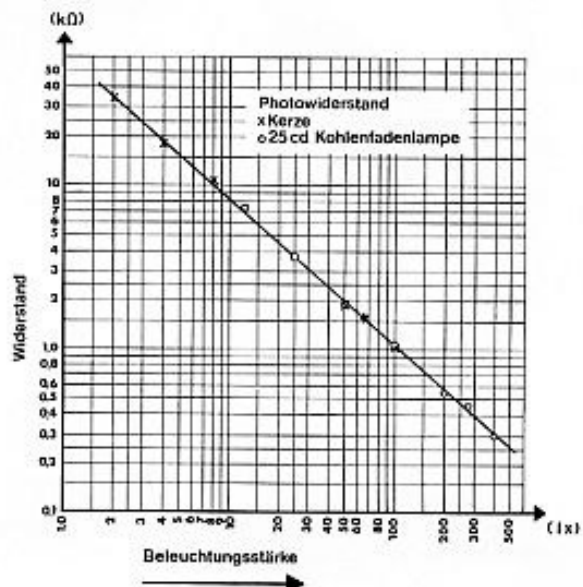
Eine genauere Eichung, vor allem im Bereich größerer Beleuchtungsstärke ist mit einer Kohlenfadenlampe möglich, bei der die Lichtstärke in cd meist angegeben ist. Man trägt die Meßwerte zweckmäßig in einem Diagramm mit doppelt logarithmischer Skala ein. Da sich dort eine Gerade ergibt, kann man nach größeren Beleuchtungsstärken extrapolieren.

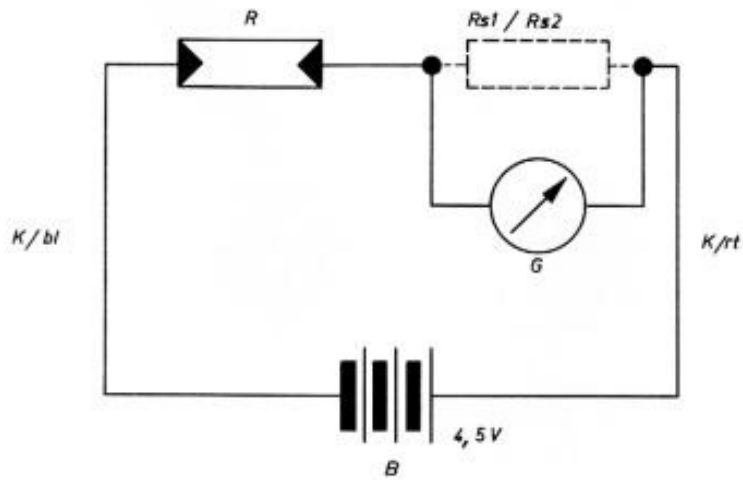
Entfg. der Kerze (cm)	Beleuchtungsst. (Lux)	U (V)	I (mA)	R (k $\Omega$ )
100	1	4,2	0,07	60
70	2	4,2	0,125	34
50	4	4,2	0,23	19
35	8	4,2	0,39	11
25	16	4,2	0,75	5,6
14	50	4,2	2,2	1,9
12,5	64	4,2	0,25	1,7
10	100	4,2	3,9	1,07

### 8.2 Herstellung eines Beleuchtungsmessers (Belichtungsmessers)

Wie bei der Herstellung des Thermometers muß man den Widerstand in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke untersuchen. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist 1 Lux (lx).

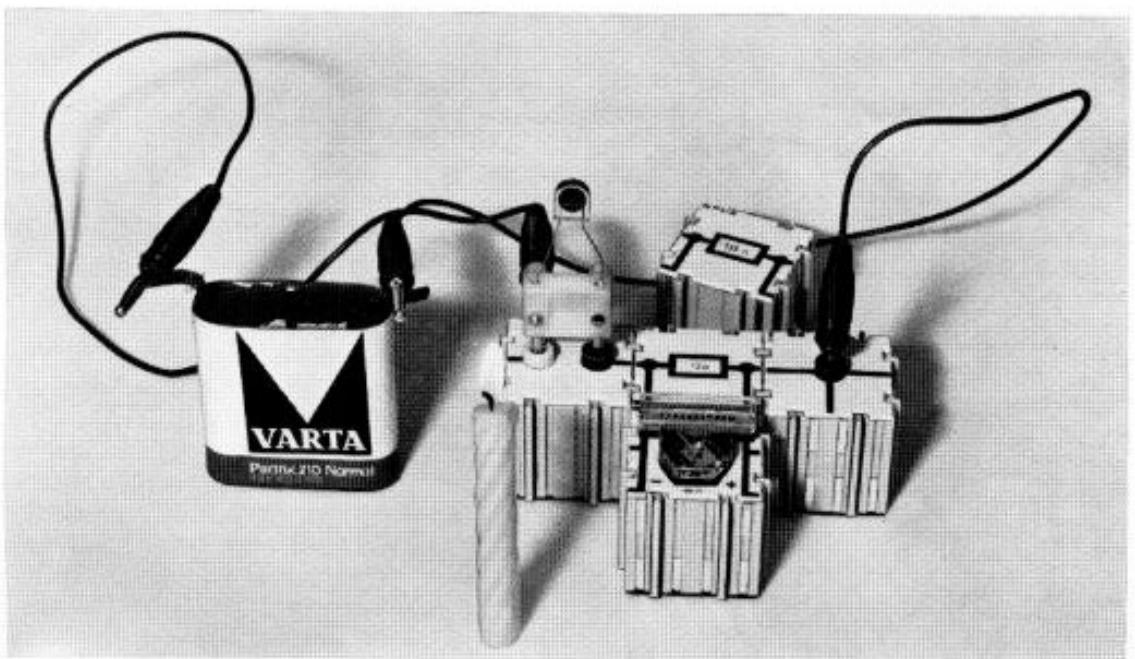
Die Beleuchtungsstärke 1 Lux entsteht im Abstand von 1 m von einer Lichtquelle mit der Lichtstärke 1 Candela (cd). Die Lichtstärke 1 cd entspricht praktisch der Lichtstärke einer Stearinkerze mit einer Flammenhöhe von etwa 5 cm. Aus geometrischen Gründen verteilt sich das Licht, das von einer Lichtquelle ausgeht, in doppelter Entfernung auf die 4-fache Fläche, in 3-facher Entfernung auf die 9-fache Fläche usw. Die Beleuchtungsstärke nimmt also mit dem Quadrat der Entfernung ab. Wir können deshalb eine angenäherte Eichung des Beleuchtungsmessers entsprechend der folgenden Tabelle durchführen. Die Meßwerte sind bei jedem Photowiderstand etwas verschieden.





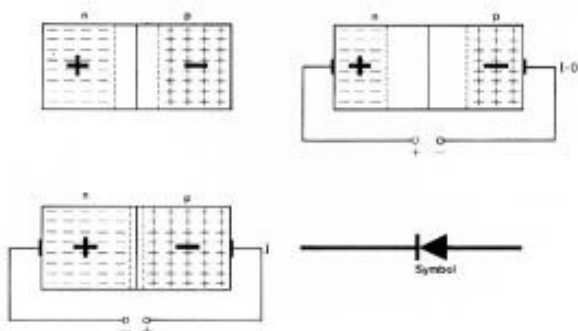
Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Kerze	x
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
Rs1	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
Rs2	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Stecker, 2-fach	610 40
R	1	Fotowiderstand	901 7 2179 0

x Nicht im Baukasten enthalten



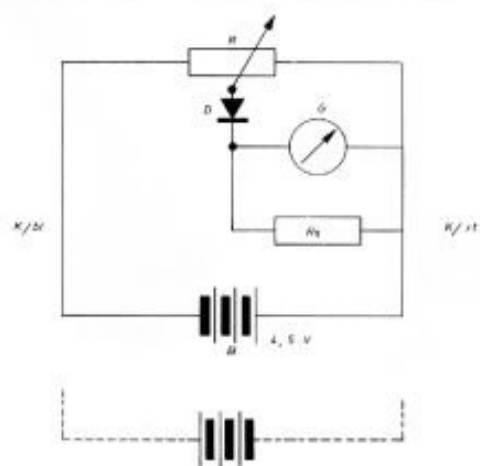
## 9.1 Diode

Durch planmäßiges Einbauen geeigneter Fremdatome innerhalb eines Halbleiterkristalles (meist Germanium) kann man erreichen, daß p- und n-leitende Gebiete unmittelbar aneinandergrenzen. In der Umgebung der Grenzfläche tritt dann ein Verarmungsbereich an Ladungsträger auf. Es werden zunächst so viel Elektronen aus dem n-leitenden in das p-leitende Gebiet hinüberwechseln (Diffusion), bis die sich dabei ausbildende Spannungsdifferenz einen weiteren Elektronenübergang verhindert. Entsprechendes gilt für das Hinüberwechseln von Defektelektronen vom p-leitenden in das n-leitende Gebiet. Die in die Grenzschicht eingedrungenen Ladungsträger rekombinieren größtenteils und führen zu einer Verarmung an Ladungsträgern. Der Verarmungsbereich ist ein Gebiet hohen Widerstandes. Dieser Verarmungsbereich kann durch an das Kristall außen angelegte Spannung beeinflusst werden. Wird z. B. das p-leitende Gebiet mit dem Minuspol der Spannungsquelle und das n-leitende Gebiet mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden, so werden Elektronen und Defektelektronen aus dem Verarmungsbereich herausgezogen, dieser Verarmungsbereich wird vergrößert, und der Widerstand steigt so an, daß kein Strom mehr fließt. Beim Umpolen der Spannung werden die Ladungsträger in den Verarmungsbereich hineingetrieben. Dieser Bereich wird kleiner, der Widerstand sinkt, und es fließt ein Strom. Beim Steigern der Spannung wird der Bereich kleiner und kleiner, und der Strom steigt an. Wenn der Widerstand in der besprochenen Weise von der Polung abhängt, spricht man von einer Diode.



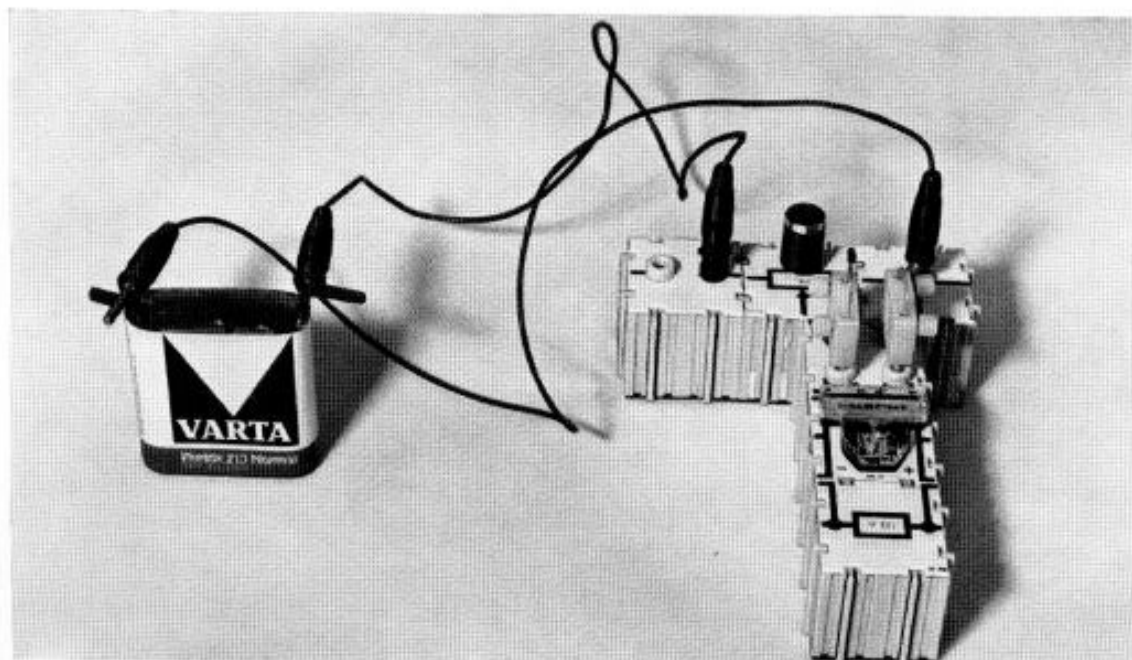
### Versuch 40

Bei der beigefügten Diode BA 130 ist die n-leitende Seite (Kathode) gekennzeichnet, z. B. durch einen Ring. Mit einem Potentiometer stellt man veränderliche Spannungen im Bereich von 0–4,5 V her. Wird die leitende Seite mit dem Pluspol verbunden, so erhält man beim Amperemeter keinen Ausschlag, auch wenn man auf jeden Shunt verzichtet (volle Empfindlichkeit 0,1 mA). Polt man um, erhält man einen mit der Spannung rasch ansteigenden Ausschlag (Vorsicht!).



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
R	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
	1	Buchse, 4-fach	610 39
G	1	Instrument	610 27
Rs	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
	1	Verbindungsteil	610 07
	2	Stecker, 2-fach	610 40
D	1	Diode, BA 130	901 7 2105 0
	1	Kurzschlußbügel	610 2 3006 0

x Nicht im Baukasten enthalten

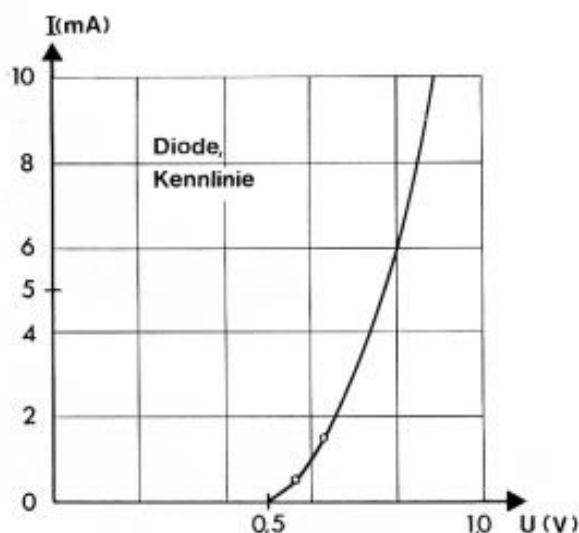




### Versuch 41

Die Diode wird so angeschlossen, daß der n-leitende Teil (weiße Ring-Markierung) mit dem Minuspol verbunden wird. Für die Aufnahme der Kennlinie wird mit dem Potentiometer die Spannung im Bereich 0–1,0 V variiert. Der Strom  $I$  schwankt dann zwischen 0 und 10 mA, d. h. man benötigt beim Voltmeter einen Vorwiderstand von 10 k $\Omega$  und beim Amperemeter den 12  $\Omega$ -Shunt.

Die Meßwerte werden in einer Tabelle zusammengestellt und in ein Schaubild eingetragen.



U (V)	0	0,57	0,67	0,73	0,76	0,9
I (mA)	0	0,5	1,5	3,5	5,7	11,5

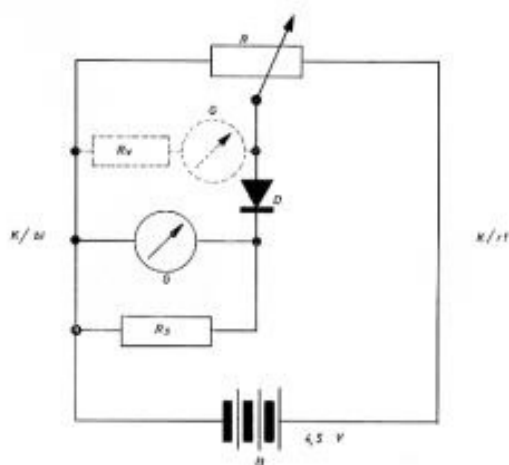
Aus der Tabelle und dem Schaubild ersieht man, daß – richtige Polung vorausgesetzt – der Strom erst bei einer Spannung von etwa 0,5 V einsetzt, dann aber mit steigender Spannung sehr stark anwächst. Bei umgekehrter Polung sperrt die Diode (Gleichrichterwirkung). Der Widerstand der vorliegenden Diode ist für Spannungen kleiner als 0,5 V unendlich groß und nimmt dann stark ab. Bei 0,6 V beträgt er  $0,6 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 0,6 \text{ k}\Omega = 600 \Omega$ , bei 0,9 V erhält man nur mehr  $0,9 \text{ V} / 10 \text{ mA} = 0,09 \text{ k}\Omega = 90 \Omega$ .

Da nur ein Meßinstrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich in Stellung I oder Stellung II zu bringen.

### 9.2 Kennlinie der Diode

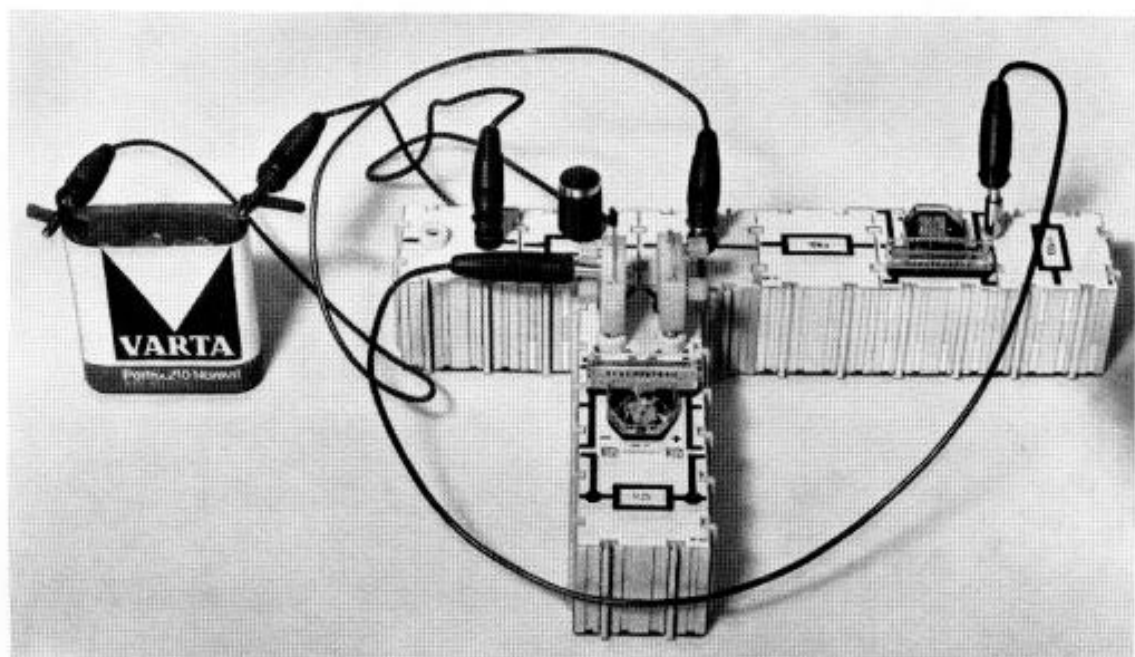
Unter einer Kennlinie versteht man allgemein die graphische Darstellung der Abhängigkeit einer physikalischen Größe von einer anderen (z. B. der Leistung von der Drehzahl).

Von besonderer Bedeutung sind in der Elektrotechnik diejenigen Kennlinien, die die Abhängigkeit des Stromes  $I$  von der Spannung  $U$  bei irgendeinem Bauelement, z. B. einer Glühlampe, einer Glimmlampe oder – und das soll uns im folgenden beschäftigen – bei einer Diode angeben.



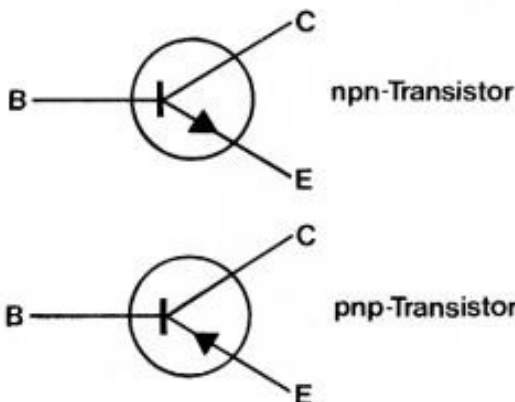
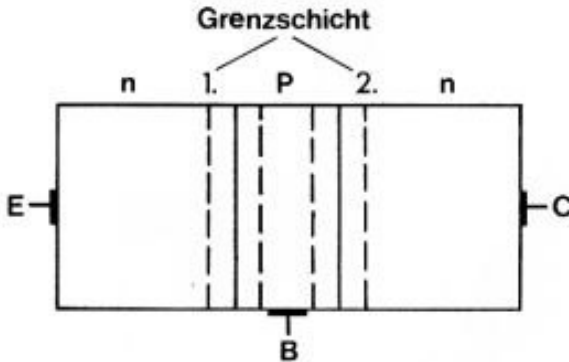
Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
R	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
	1	Buchse, 4-fach	610 39
G	1	Instrument	610 27
Rv	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
Rs	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
	1	Verbindungsteil	610 07
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	2	Baustein	610 ...
	1	Prüfspitze	610 2 2974 0
D	1	Diode, BA 130	901 7 2105 0

x Nicht im Baukasten enthalten



## 10.1 Transistoren Diodenstrecken

Der mitgelieferte Transistor 2 N 3704 ist ein  $n - p - n$ -Transistor. Man hat bei der Herstellung den Einbau von Fremdatomen in das Germanium- oder Siliziumkristall, — man sagt auch die Dotierung mit Fremdatomen — so gewählt, daß auf den  $n$ -leitenden ersten Abschnitt ein  $p$ -leitender zweiter Abschnitt und dann wieder ein  $n$ -leitender dritter Abschnitt folgt. Die Anordnung gleicht der Zusammensetzung von 2 gegengerichteten  $n - p$ -Dioden. Neben  $n - p - n$ - werden auch  $p - n - p$ -Transistoren gebaut. Es hat sich eingebürgert, die Elektrode, d. h. den Anschluß an den 1. Abschnitt mit Emitter E, die Elektrode an den mittleren mit Basis B und die an den 3. Abschnitt mit Kollektor C zu bezeichnen.



### Versuch 42

Es sollen zunächst die Diodenstrecken B, E und B, C untersucht und wie in 9.2 deren Kennlinie aufgenommen werden.

Über die Strecke EC darf bei keiner Polung ein merklicher Strom fließen, weil immer eine Diode sperrt.

Die Meßwerte werden wieder in Tabellen und U-I-Diagramme eingetragen.

Durch die Untersuchung dieser Strecken kann man bei jedem Transistor ohne Schaltplan feststellen, welcher Anschlußdraht Basis, Emitter, Kollektor ist und ob es sich um einen  $n - p - n$ - oder (sehr häufig) einen  $p - n - p$ -Transistor handelt.

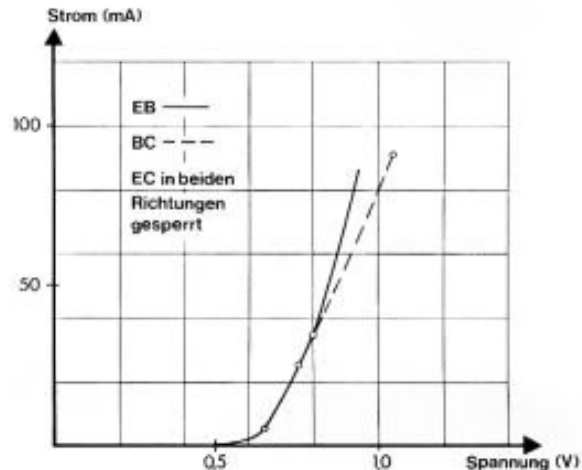
#### Diodenstrecke (B,E)

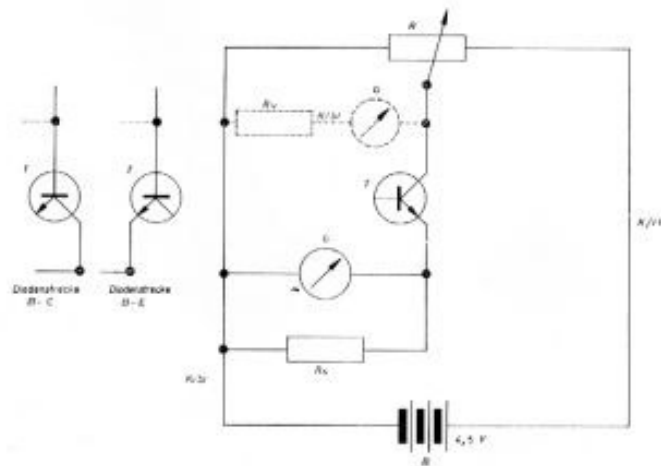
U (V)	0,3	0,65	0,75	0,9
I (mA)	0	6	28	77

#### Diodenstrecke (B,C)

U (V)	0	0,65	0,75	1,0
I (mA)	0	6	28	86

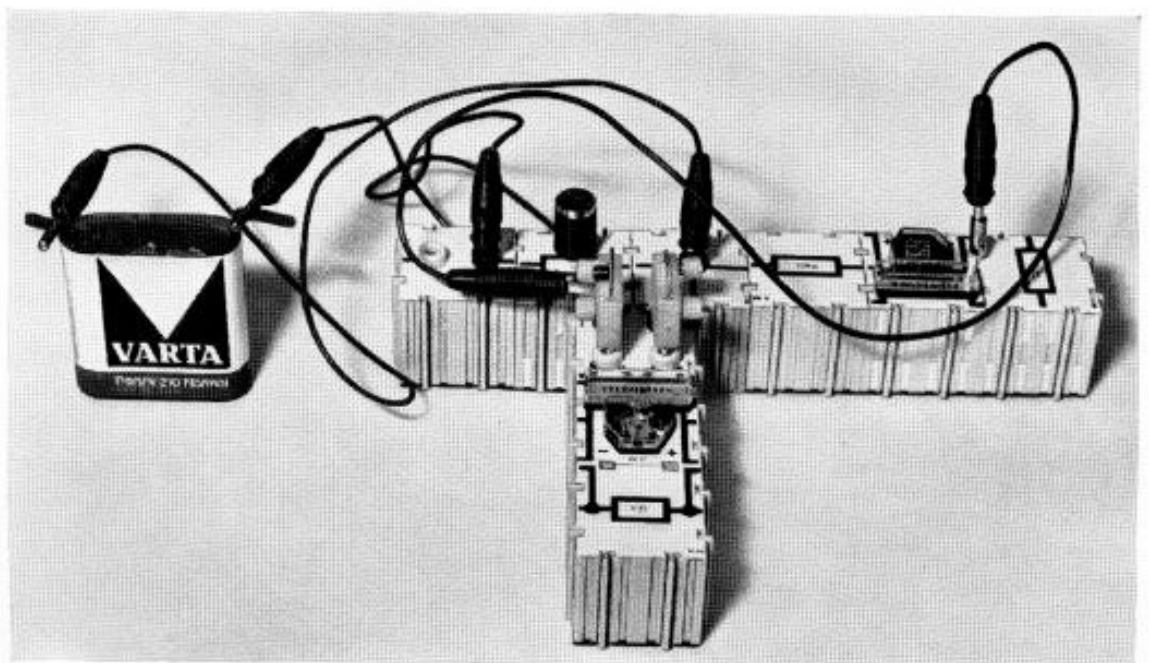
Da nur ein Meßinstrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich in Stellung I oder Stellung II zu bringen.





Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Anschlußbuchse	610 04
R	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
	1	Buchse, 4-fach	610 39
G	1	Instrument	610 27
Rv	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
Rs	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
	1	Verbindungsteil	610 07
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	2	Baustein	610 ...
	1	Prüfspitze	610 2 2974 0
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47

x Nicht im Baukasten enthalten



## 10.2 Transistor – Kennlinien

Wenn man nun den mittleren Bereich (Basis) so schmal herstellt (0,1 – 0,01 mm), daß die beiden Grenzflächen, an denen sich infolge Verarmung an Ladungsträgern Sperrschichten ausbilden, ganz eng aneinanderrücken, so besteht die Möglichkeit, daß Ladungsträger, die durch die 1. Sperrschicht von Abschnitt 1 nach Abschnitt 2 wandern, durch Diffusion auch in die 2. Grenzschicht zwischen Abschnitt 2 und Abschnitt 3 gelangen und die Leitfähigkeit dort beeinflussen. Wenn man der Emitter-Elektrode E eine negative, der Kollektor-Elektrode eine positive Spannung gegenüber der Basis B gibt, so wandern die Elektroden aus dem n-leitenden Emitterbereich durch die Grenzschicht in den Basisbereich und gelangen durch Diffusion in die 2. Grenzschicht, verringern dessen Verarmung an Ladungsträgern und beeinflussen so den Strom vom Emitter zum Kollektor. Der Kollektorstrom  $I_C$  wird also nicht nur von der Spannung zwischen E und C, sondern auch von dem Basisstrom  $I_B$  abhängen. Der Basisstrom  $I_B$  hängt natürlich von der Basisspannung  $U_{EB}$  ab.

### Versuch 43

Zur Aufnahme der Kennlinien eines Transistors untersucht man den Kollektorstrom  $I_C$  in Abhängigkeit von der Kollektorspannung  $U_{EC}$ . Man erhält für jeden Basisstromwert  $I_B$  eine neue Kennlinie. Man wählt zweckmäßigerweise  $I_B = 0,1; 0,2; 0,3$  mA.

Die verschiedenen Spannungen  $U_{CE} = 1,5; 3,0; 4,5; 6; 7,5; 9$  V greift man an den beiden in Reihe geschalteten Taschenlampenbatterien ab. Für jede Kollektorspannung  $U_{CE}$  ist  $I_C$  zu messen und dabei auch die Konstanz des eingestellten Basisstromes  $I_B$  zu prüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Da nur ein Meßinstrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich entweder in Stellung I (zum Messen von  $I_B$ ) oder in Stellung II (zum Mes-

sen von  $I_C$ ) zu bringen. Der quergestellte 10 k $\Omega$ -Widerstand dient nur dazu, die Prüfspitze für den Anschluß festzuhalten.

Der Basisstrom kann bei diesem Versuch nicht ohne Shunt gemessen werden, da bei Wegnahme des Meßinstruments dessen Widerstand von 1,2 k $\Omega$  nicht ersetzt werden kann.

$I_B = 0,1$	$U_{EC}$ (V)	1,5	4,5	9
	$I_{EC}$ (mA)	17	20	24
$I_B = 0,2$	$U_{EC}$ (V)	1,5	4,5	9
	$I_C$ (mA)	39	49	53
$I_B = 0,3$	$U_{EC}$ (V)	1,5	4,5	9
	$I_C$ (mA)	60	75	90

Die gefundenen Meßwerte trägt man in eine Werttabelle ein und zeichnet danach die Kennlinien auf.

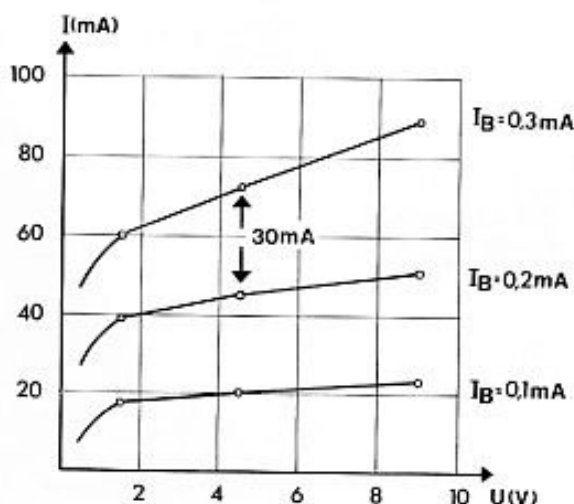


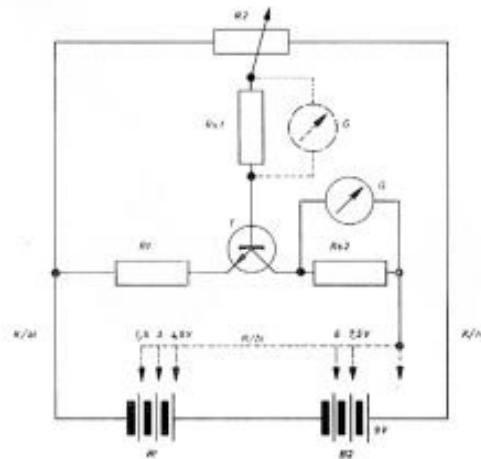
Tabelle und Schaubild ergeben, daß der Kollektorstrom  $I_C$  bei konstantem Basisstrom  $I_B$  von der Spannung  $U_{EC}$  nur wenig abhängt (geringes Ansteigen der Kennlinien).

Ein ähnliches Verhalten zeigen auch bestimmte Glühkathoden-Röhren, die sogenannten Pentoden. Man spricht daher von einem Pentodenverhalten der Transistoren. Bemerkenswert stark ist aber die Abhängigkeit des Kollektorstromes  $I_C$  von dem Basisstrom  $I_B$  bei konstanter Spannung  $U_{EC}$ . Für  $U_{EC} = 5$  V entspricht z. B. einer Änderung des Basisstromes  $I_B$  von 0,2 mA auf 0,3 mA, also für  $I_B = 0,1$  mA eine Änderung des Kollektorstromes  $\Delta I_C \approx 30$  mA.

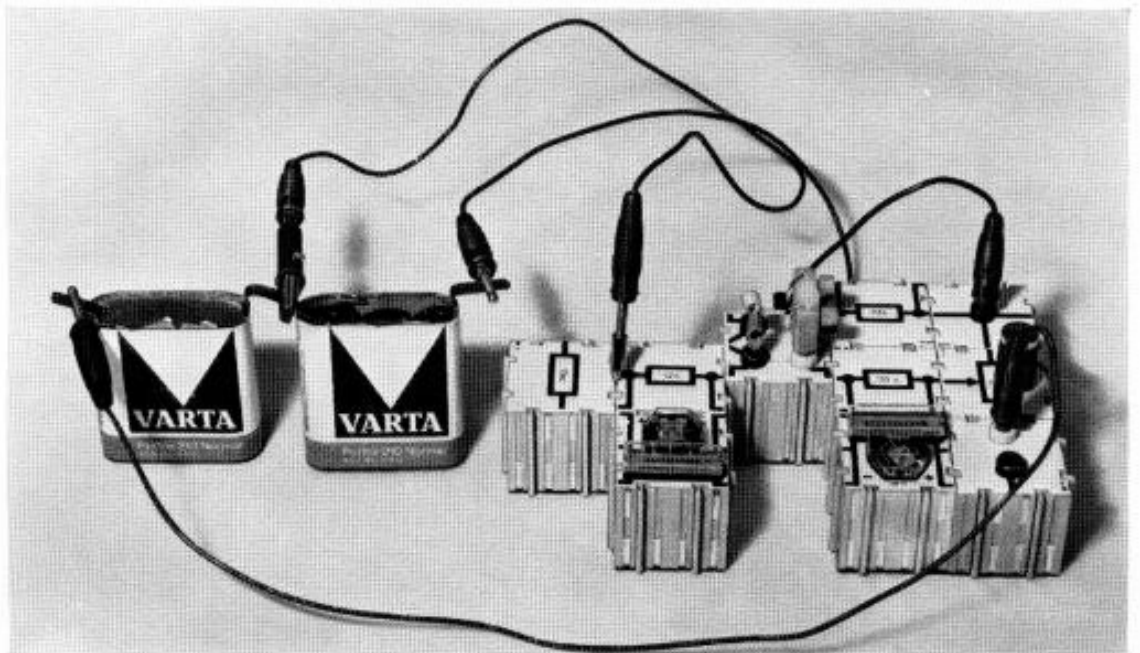
Das Verhältnis  $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$  nennt man die Verstärkung  $\beta$

In unserem Fall ergibt sich  $\beta = \frac{30 \text{ mA}}{0,1 \text{ mA}} = 300$ .

Da nur ein Meßinstrument zur Verfügung steht, ist das Instrument natürlich in Stellung I oder Stellung II zu bringen.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	1	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
R2	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27
Rs1	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
R1	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
Rs2	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Baustein	610 ...
	1	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43
	1	Prüfspitze	610 2 2974 0
	1	Klemme	970 7 2146 0
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47



### 10.3 Transistor-Verstärkung

Da beim Transistor eine kleine Änderung des Basisstroms  $\Delta I_B$  meist eine wesentlich größere Änderung des Kollektorstroms  $\Delta I_C$  entspricht, redet man von einer Verstärkung und schreibt für den Verstärkungsfaktor (vgl. 10.2)

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Aus den Kennlinien (10.2) ergeben sich für  $\beta$  Werte zwischen 200 und 500.

Die Änderung des Basisstroms kann auf zweierlei Weise erreicht werden. Entweder wird die Spannung geändert, indem man die Widerstandsverhältnisse am Potentiometer ändert – das geschieht im folgenden Versuch 44 – oder man ändert bei konstanter Spannung den Widerstand im Basis-Emitterkreis.

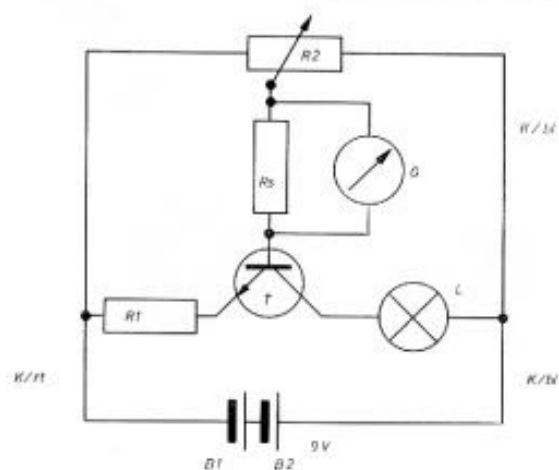
#### Versuch 44

Man ersetzt in Versuch 43 das Amperemeter für  $I_C$  durch ein Glühlämpchen. Das Glühlämpchen nimmt bei beginnender Rotglut 10 mA auf und bei voller Belastung ca. 50 mA.

Man kann nun untersuchen, welche Änderung des Basisstroms  $\Delta I_B$  die Änderung des Kollektorstroms  $\Delta I_C = 40$  mA bewirkt, und so die Verstärkung messen.

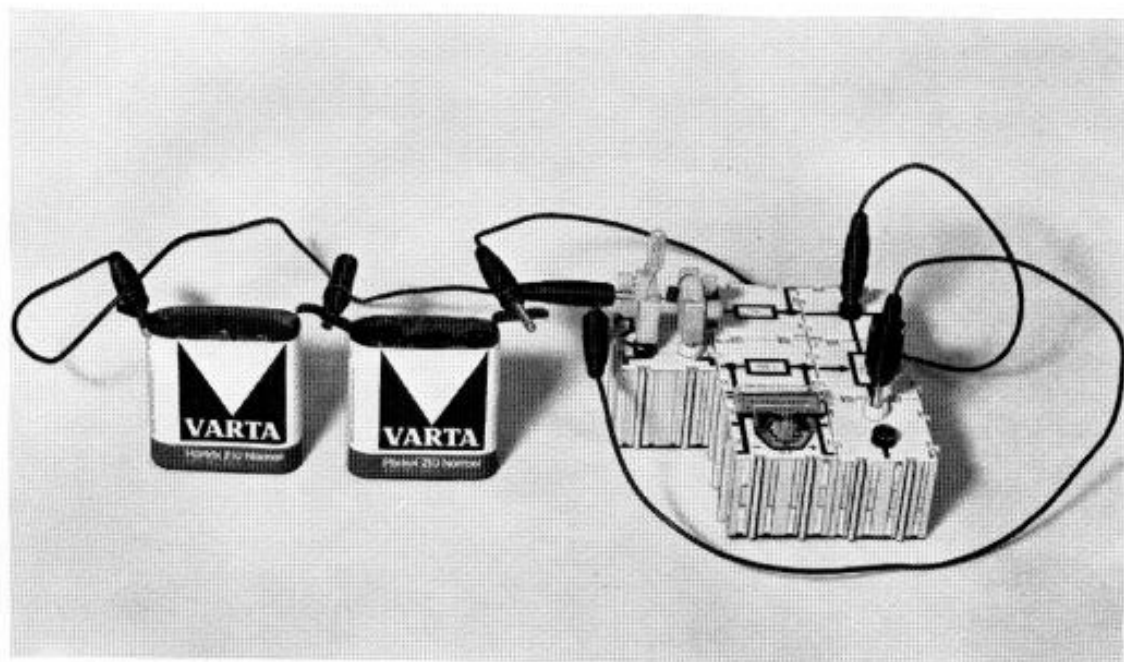
$$\text{Man erhält: } \beta = \frac{40 \text{ mA}}{0,1 \text{ mA}} = 400$$

d. h. daß der Kollektorstrom sich 400 mal so stark ändert wie der Basisstrom.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
R2	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
	1	Anschlußbuchse	610 04
G	1	Instrument	610 27
Rs	1	Widerstand, 133 $\Omega$	610 36
R1	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	2	Stecker, 2-fach	610 40
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0

x Nicht im Baukasten enthalten





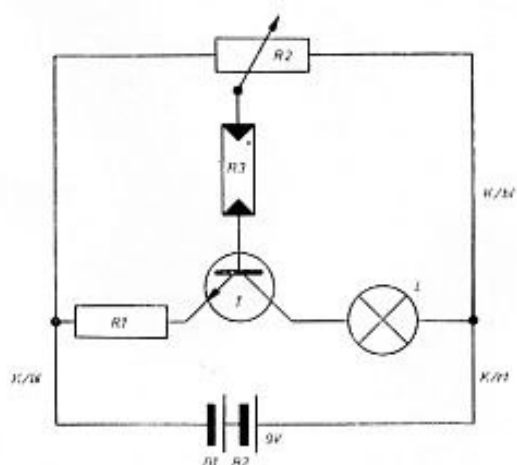
#### 10.4 Transistor als Schalter Lampe erlischt beim Dunkelwerden

Eine Änderung des Basisstromes  $I_B$  kann auch dadurch herbeigeführt werden, daß man bei konstanter Spannung  $U_{EB}$  den Widerstand im Basiskreis ändert. Dies wird im folgenden Versuch ausgenützt.

#### Versuch 45

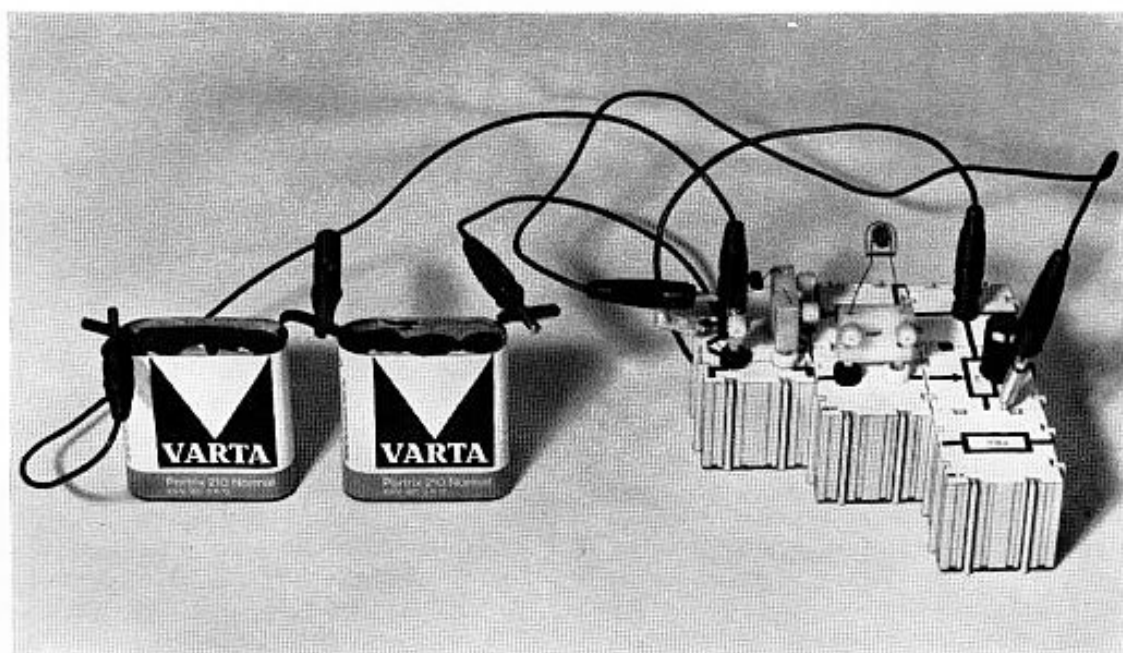
Bei der angegebenen Schaltung geht die Glühlampe aus, wenn der Photowiderstand mit der Hand abgedeckt wird. Beim Abdecken steigt der Photowiderstand (8.1), der Basisstrom  $I_B$  sinkt ab und bewirkt eine starke Schwächung des Kollektorstromes  $I_C$ , der über die Glühlampe fließt.

In der vorliegenden Schaltung ist die eine Zuleitung des Glühlämpchens zwischen Feder und Stift des Kabels zu klemmen, das zum Pluspol der Batterie führt. Der quergestellte  $10\text{ k}\Omega$ -Widerstand dient nur dazu, die Prüfspitze für den Anschluß festzuhalten.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungsteil	610 07
R2	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
R1	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Baustein	610 ...
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43
	1	Prüfspitze	610 2 2974 0
R3	1	Fotowiderstand	901 7 2179 0
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0

x Nicht im Baukasten enthalten



## 10.5 Transistor als Dämmerungsschalter

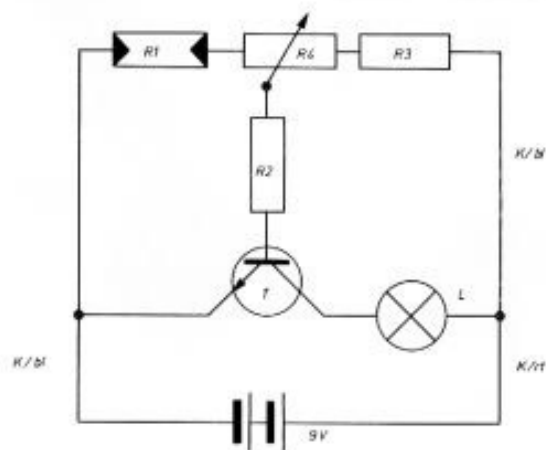
Unter einem Dämmerungsschalter versteht man eine Anlage, die bei Über- bzw. Unterschreiten einer bestimmten Beleuchtungsstärke eine Lampe aus- bzw. einschaltet. Eine solche Anlage kann für viele Zwecke Verwendung finden, z. B. zum selbständigen Ein- und Ausschalten des Parklichtes bei einem Auto, zum automatischen Ein- und Ausschalten einer Straßenbeleuchtung.

In der folgenden Versuchsanordnung sind die Verhältnisse dadurch besonders einfach gehalten, daß der Kollektorstrom direkt eine Glühlampe betreibt. In technischen Anlagen erfolgt das Ein- und Ausschalten einer Beleuchtung meist über ein im Kollektorkreis befindliches Schaltrelais.

## Versuch 46

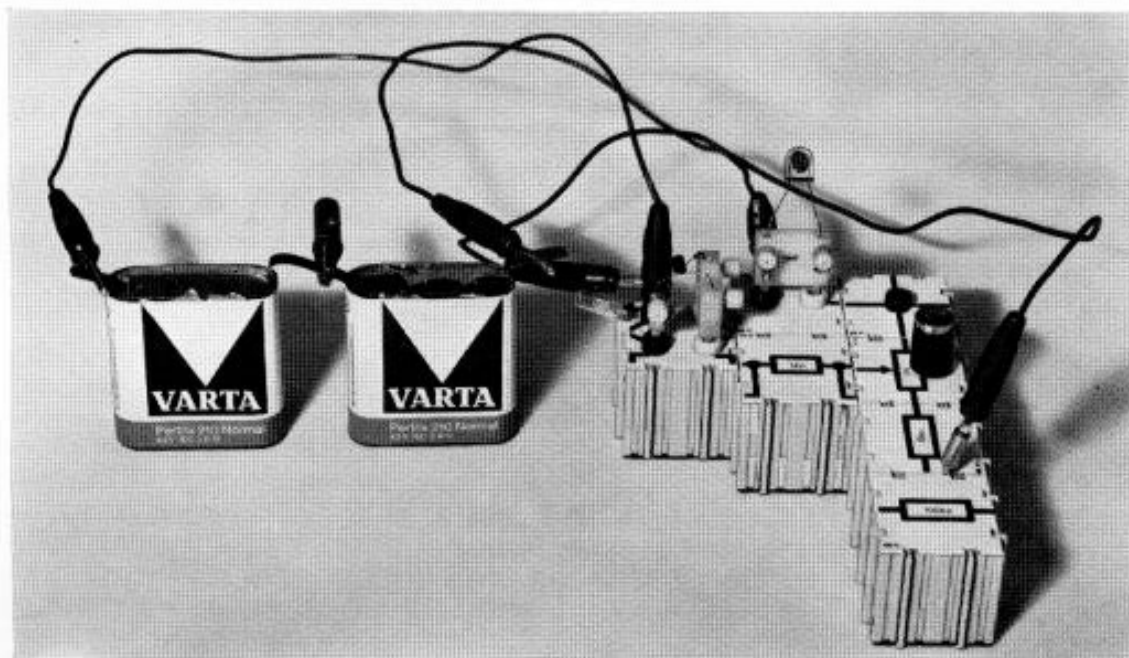
Wie in 10.4 werden bei dieser Schaltung die Widerstandsverhältnisse an der Spannungsteilungsschaltung beeinflußt. Zunächst ist das 1 k $\Omega$ -Potentiometer so einzustellen, daß bei der vorhandenen Beleuchtung des Photowiderstands das Lämpchen eben nicht mehr brennt. Wird jetzt der Photowiderstand abgedeckt, so steigt sein Widerstand, die Spannungsverhältnisse verschieben sich, die Spannung  $U_{E:B}$  steigt an und damit der Basisstrom  $I_B$ !

Die Änderung des Basisstromes  $\Delta I_B$  bewirkt ein verstärktes Ansteigen des Kollektorstromes  $I_C$ , das Lämpchen brennt. Auch in dieser Schaltung dient der quergestellte 100 k $\Omega$ -Widerstand nur zum Festhalten der Prüfspitze. Das eine Ende des Glühlämpchens wird zwischen Feder und Stift des Zuleitungskabels geklemmt.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Verbindungssteil	610 07
R4	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
R3	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
R2	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Baustein	610 ...
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43
R1	1	Fotowiderstand	901 7 2179 0
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47

x Nicht im Baukasten enthalten



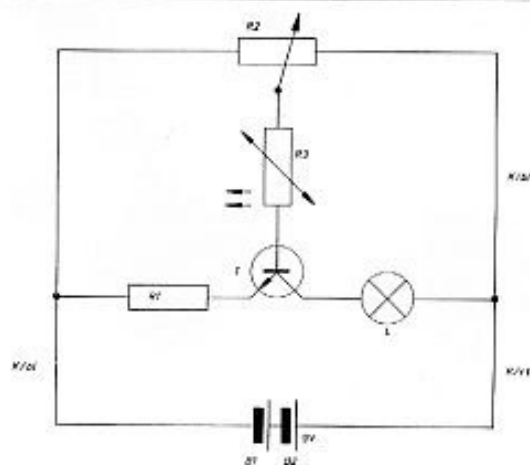
## 10.6 Elektronischer Temperaturwächter

Wenn die Temperatur des Heißleiters eine bestimmte Größe erreicht, soll ein Signal ausgelöst werden. In der folgenden Versuchsanordnung leuchtet ein Lämpchen auf. In technischen Anlagen ist das Signallämpchen im Kollektorkreis meist durch ein Relais ersetzt, das bei einer bestimmten Temperatur z. B. einen Heizofen ausschaltet und beim Absinken der Temperatur den Heizofen wieder einschaltet.

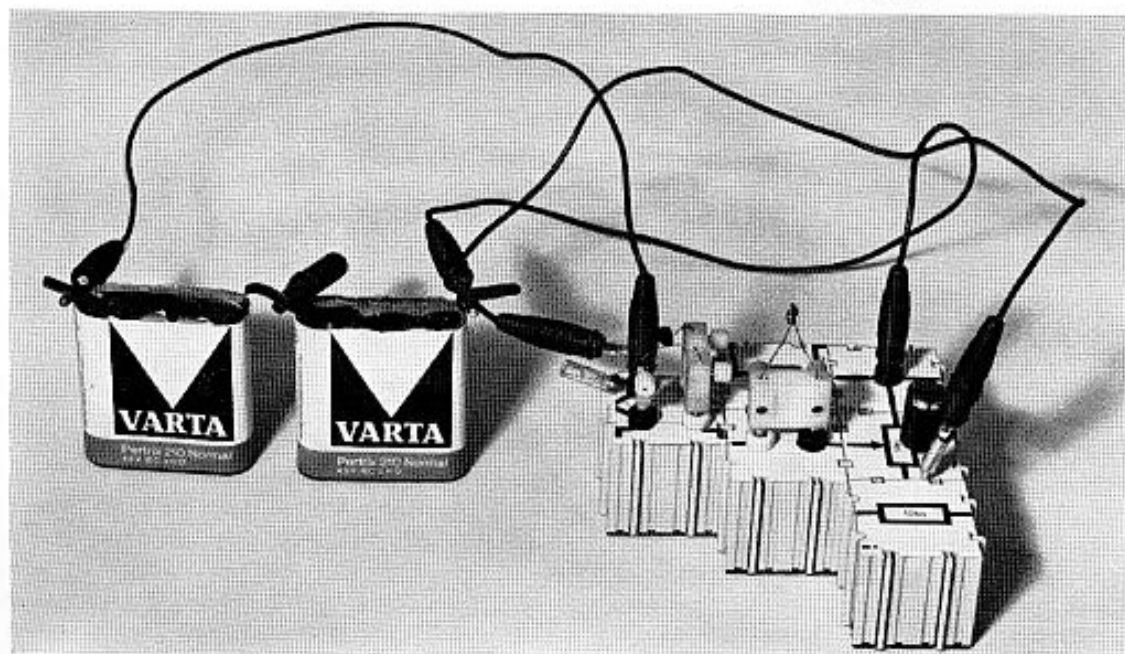
Aufleuchten des Lämpchens entspricht dem Anspringen des Schaltrelais, Erlöschen des Lämpchens dem Abfallen des Relais.

### Versuch 47

Der Heißleiter ist in den Basis-Emitter-Kreis geschaltet. Das Potentiometer ist so einzustellen, daß das Lämpchen gerade nicht mehr aufleuchtet. Erwärmt man den Heißleiter, indem man z. B. eine Zigarette in die Nähe bringt oder mit einem Föhn warme Luft zuführt, so leuchtet das Lämpchen auf, wenn eine bestimmte Temperaturzunahme erreicht ist, weil dann der Heißleiterwiderstand so klein geworden ist, daß der größer werdende Basisstrom  $I_B$  einen für den Betrieb der Lampe ausreichenden Kollektorstrom  $I_C$  bedingt.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B1/B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
R2	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
R1	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
	1	Baustein	610 ...
	1	Prüfspitze	610 2 2974 0
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43
R3	1	Heißleiter, 60 K	933 7 1943 0
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47
L	1	Lampe, 6 V/50 mA	610 2 3007 0
	1	Klemme	970 7 2146 0

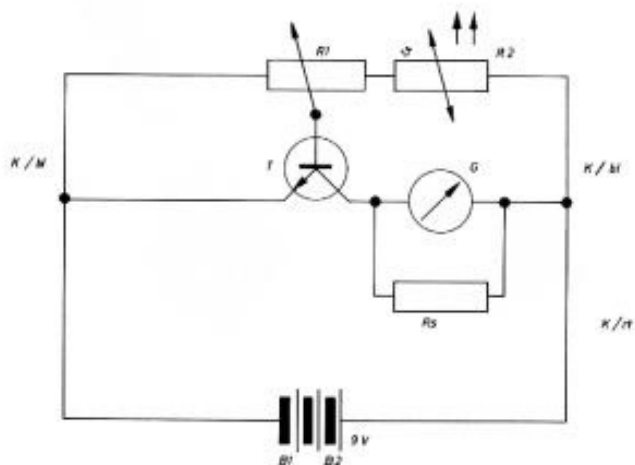


### 10.7 Temperaturüberwachung mit Meßinstrument

Bei dem folgenden Versuch soll die Einhaltung einer bestimmten Temperatur mit einem Strommeßinstrument, das dabei die Funktion eines Thermometers hat, überwacht werden. Ein Nachteil dieser Anordnung gegenüber 16.6 ist natürlich, daß dabei das die Temperatur erzeugende Heizgerät nicht automatisch gesteuert wird, sondern entsprechend der Anzeige des Strommeßinstrumentes bedient werden muß.

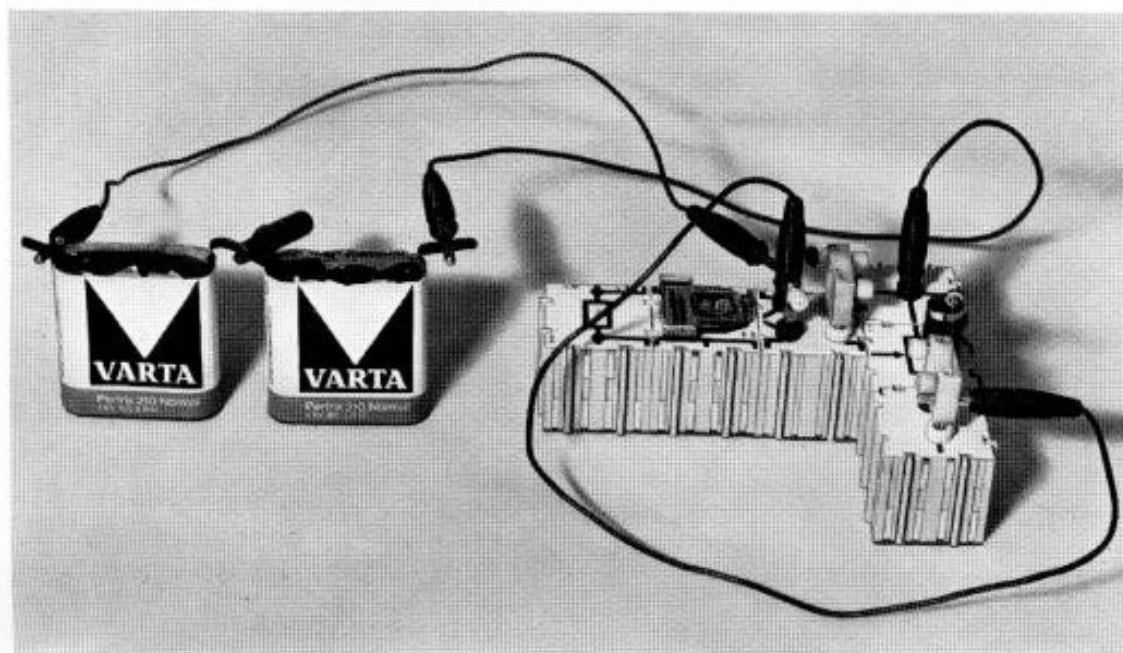
### Versuch 48

Der Halbleiter ist bei dieser Schaltung ein Teil der Spannungsteilung. Je höher die Temperatur ist, um so kleiner ist der Widerstand des Halbleiters, und um so größer ist die Spannung  $U_{BE}$  zwischen Basis und Emitter. Man stellt das Potentiometer so ein, daß bei der erwünschten Temperatur der Zeiger des Meßinstruments sich in der Mitte der Skala befindet. Sinkt die Temperatur etwas ab, geht der Ausschlag zurück und umgekehrt.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
B/1B2	2	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
G	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Instrument	610 27
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
Rs	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
R1	1	Pot. 1 k $\Omega$	610 16
	2	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43
	1	Klemme	970 7 2146 0
R2	1	Heißleiter, 60 K	933 7 1943 0
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47

x Nicht im Baukasten enthalten





## 10.8 Temperatureinfluß beim Transistor

Der Kollektorstrom  $I_C$  ist von der Temperatur des Transistors abhängig.  $I_C$  wird größer mit steigender Temperatur. Eine Erwärmung kann durch die Umgebungstemperatur oder bei größeren Strömen im Innern des Transistors erzeugt werden (siehe auch 7.1).

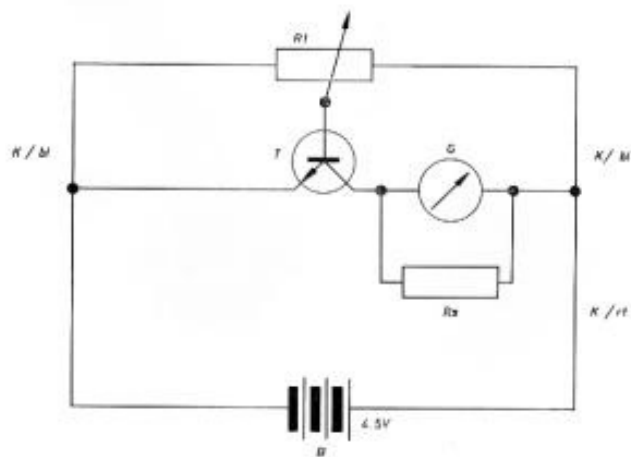
### Versuch 49

#### a) Wärmezufuhr von außen

Man stellt das Potentiometer so ein, daß  $I_C = 10 \text{ mA}$  ist. Erwärmt man den Transistor, indem man ihm z. B. mit einem Föhn warme Luft zuführt, so steigt der Kollektorstrom  $I_C$  auf  $50 \text{ mA}$  an und geht nach Entfernung des Föhns oder Umstellung auf Kaltluft bei der dann einsetzenden Abkühlung langsam auf seinen alten Wert zurück.

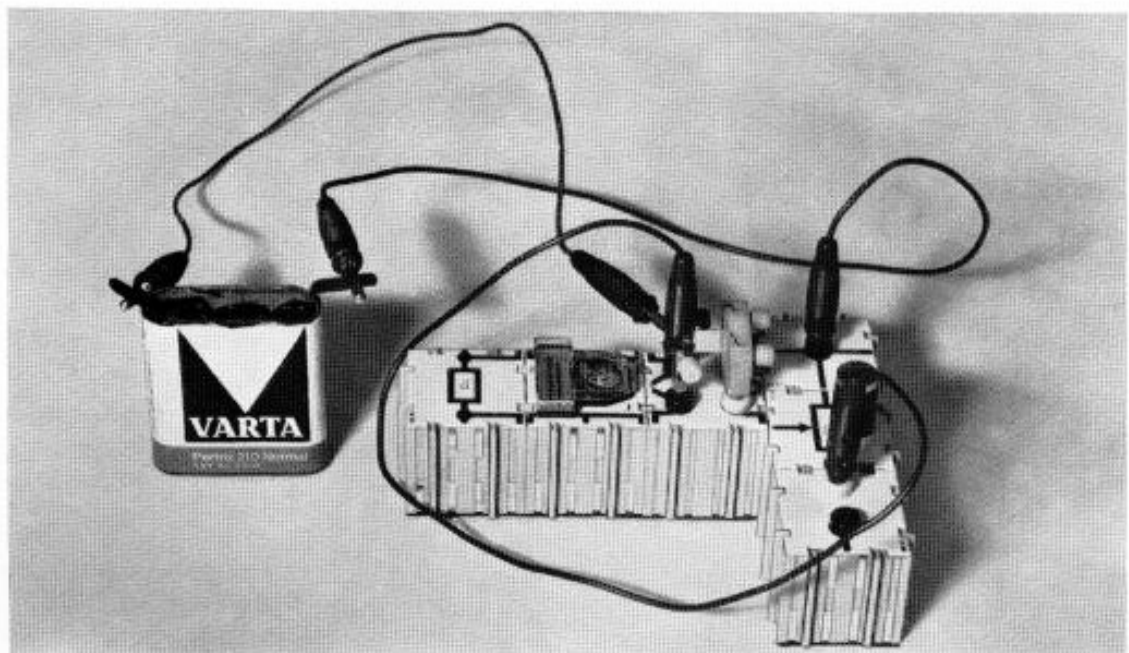
#### b) Wärme von innen

Man stellt das Potentiometer so ein, daß  $I_C = 90 \text{ mA}$  ist. Bei dieser starken Belastung erwärmt sich der Transistor von innen her, und man beobachtet, daß der Kollektorstrom  $I_C$  auf  $100 \text{ mA}$  und weiter ansteigt.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Föhn	x
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/rt	1	Kabel, rot	610 09
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
Rs	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
R1	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
	1	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47

x Nicht im Baukasten enthalten



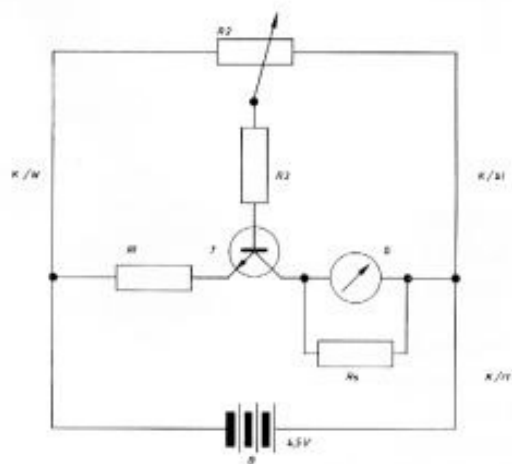
### 10.9 Verminderung des Temperatureinflusses bei Transistoren

Der Kollektorstrom  $I_C$  bleibt annähernd konstant, wenn man den Basisstrom  $I_B$  und den Emitterstrom durch Widerstände begrenzt (der am Emitterwiderstand entstehende Spannungsabfall verkleinert die Basis-Emitterspannung und wirkt somit einer Kollektorstromänderung entgegen – Gegenkopplung –).

### Versuch 50

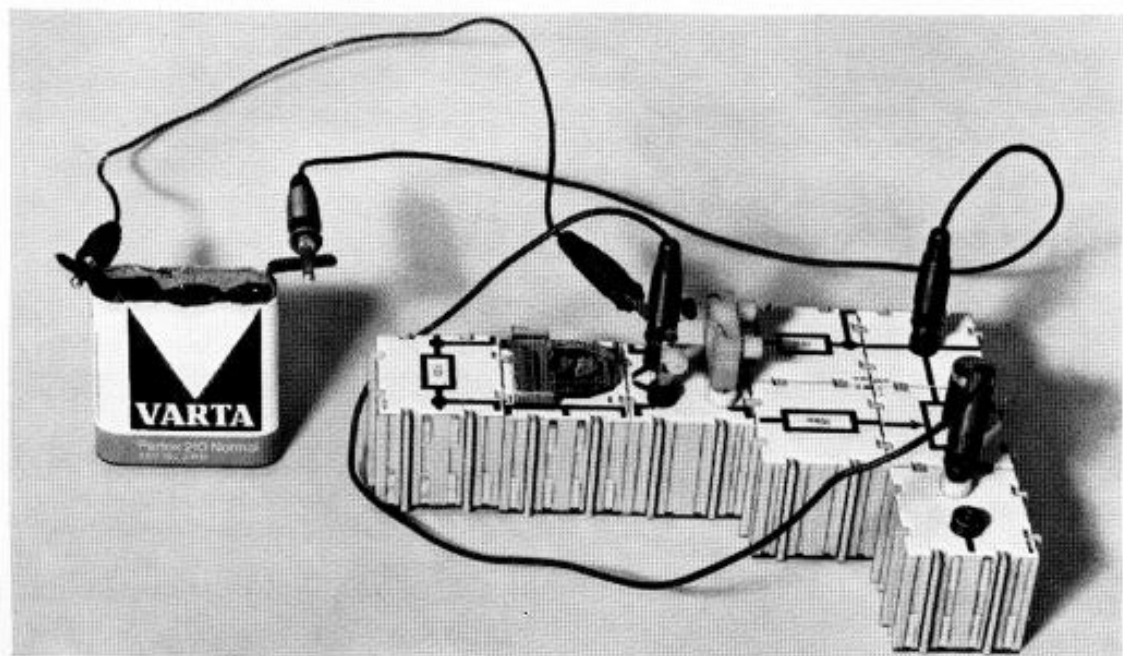
Man schaltet in den Emitter-Basiskreis einen  $10\text{ k}\Omega$ -Widerstand und stellt das Potentiometer so ein, daß der Kollektorstrom  $I_C$   $10\text{ mA}$  ist, und erwärmt von außen. Man erhält keine merkliche Zunahme von  $I_C$ .

Man stellt mit dem Potentiometer  $I_C = 80\text{ mA}$  ein und beobachtet das Verhalten des  $I_C$  bei dieser Belastung. Eine merkliche Zunahme ist nicht mehr festzustellen.



Pos.	Stückz.	Benennung	Best.-Nr.
	1	Föhn	x
B	1	Batterie, 4,5 V	x
K/bl	2	Kabel, blau	610 05
K/r	1	Kabel, rot	610 09
	1	Buchse, 4-fach	610 39
	1	Anschlußbuchse	610 04
	1	Verbindungsteil	610 07
G	1	Instrument	610 27
R3	1	Widerstand, 10 k $\Omega$	610 11
R2	1	Pot., 1 k $\Omega$	610 16
R1	1	Widerstand, 12 $\Omega$	610 35
Rs	1	Widerstand, 1,2 $\Omega$	610 33
	1	Stecker, 2-fach	610 40
	1	Stecker	610 43
T	1	Transistor, 2 N 3704	610 47

x Nicht im Baukasten enthalten



## 11. Größen, Einheiten, Dimensionen

### 11.1 Physikalische Größen

Physikalische Größen sind Merkmale, für die eine Maßeinheit und eine Meßvorschrift besteht.

Beispiel: Ein Tisch hat eine bestimmte Länge (Merkmal). Die Länge wird gemessen mit dem Meterstab (Maßeinheit), indem man den Meterstab an der Tischkante abträgt (Meßvorschrift).

Jeder physikalischen Größe wird ein Symbol oder Formelzeichen zugeordnet.

Beispiele:

Physik. Größe	Formelz. Symbol	Maßeinheit	lies
Länge	$l, d, r$	m	Meter
Fläche	$A = l^2$	m <sup>2</sup>	Quadratmeter
Volumen	$V = l^3$	m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Temperatur	$\vartheta$	°C	Grad Celsius
Zeit	t	s	Sekunde
Strom	I	A	Ampere
Spannung	U	V	Volt
Ladung	$Q = I \cdot t$	C = A · s	Coulomb
Widerstand	$R = U/I$	$\Omega = V/A$	Ohm
Leistung	$P = U \cdot I$	$W = V \cdot A$	Watt
Arbeit	$W = U \cdot I \cdot t$	$Ws = V \cdot A \cdot s$	Wattsekunde
Kapazität	$C = Q/U$	$F = As/V$	Farad
Lichtstärke	I	cd	Candela
Beleuchtungsstärke	$E = I/r^2$	$lx = cd/m^2$	Lux

Jede spezielle, d. h. auf einen bestimmten Gegenstand bezogene physik. Größe setzt sich aus einem Zahlenwert und einer Maßeinheit zusammen.

Physikalische Größe = Zahlenwert × Maßeinheit.  
Beispiele:

Spezielle phys. Größe	Zahlenwert	Maßeinheit
Länge des Tisches, an dem ich sitze	1,2	m
Spannung der Taschenlampenbatterie	4,5	V
Widerstand der Taschenlampenbatterie	1,2	$\Omega$

Man schreibt:  $l = 1,2 \text{ m}$ ;  $U = 4,5 \text{ V}$ ,  $R = 1,2 \Omega$ .

### 11.2 Größengleichungen

Physikalische Gesetze sind Gleichungen zwischen allgemeinen physikalischen Größen.

Beispiele:

Name des Gesetzes	Gleichung	mathemat. Operation
–	$Q = I \cdot t$	Multiplikation
1. Kirchhoffsches Gesetz	$I = I_1 + I_2$	Addition
2. Kirchhoffsches Gesetz	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$	Division
Ohmsches Gesetz	$R = \frac{U}{I}$	Division
Widerstand eines Leiters	$R = \rho \frac{l}{A}$	Multiplikation und Division
el. Leistung	$P = U \cdot I$	Multiplikation
el. Arbeit	$W = U \cdot I \cdot t$	Multiplikation
Beleuchtungsges.	$E = I/r^2$	Division, Multiplikation
Reihensch. v. Widerst.	$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$	Addition
Parallelsch. v. Widerst.	$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	Addition
Kondensatorformel	$Q = C \cdot U$	Multiplikation
Kapazität eines Plattenkondensators	$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$	Multiplikation und Division
Parallelschaltung von Kondensatoren	$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2$	Addition
Reihenschaltung von Kondensatoren	$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	Addition

Es ist nur die Addition von physikalischen Größen derselben Art und desselben Symbols möglich.

### 11.3 Spezielle Größengleichungen und das Rechnen mit speziellen Größengleichungen

Beim Rechnen mit speziellen Größengleichungen können die auftretenden Zahlenwerte, die Maßeinheiten und die Vorsilben der Maßeinheiten wie gewöhnliche Zahlen behandelt werden.

Für das Rechnen mit den Maßeinheiten ist zu beachten:

$V/A = \Omega$ ,  $V \cdot A = W$ ,  $V \cdot A \cdot s = Ws$ ,  $A \cdot s = C$  (vgl. Tab. 1)

Für das Rechnen mit den Vorsilben gilt:

$$\begin{aligned} \frac{1}{m} &= \frac{1}{0,001} = 1000 = k = 10^3, \\ \frac{1}{k} &= \frac{1}{1000} = 0,0001 = m = 10^{-3} \\ \frac{1}{\mu} &= \frac{1}{0,00001} = 1\,000\,000 = M = 10^6; \\ \frac{1}{M} &= \frac{1}{1\,000\,000} = 0,000\,001 = \mu = 10^{-6} \\ \frac{m}{k} &= \frac{0,001}{1000} = 0,000\,001 = \mu = 10^{-6} \\ \frac{k}{m} &= \frac{1000}{0,001} = 1\,000\,000 = M = 10^6 \\ m \cdot m &= 0,001 \cdot 0,001 = 0,000\,001 = \mu = 10^{-6} \\ k \cdot k &= 1000 \cdot 1000 = 1\,000\,000 = M = 10^6 \\ \frac{m}{\mu} &= \frac{0,001}{0,000\,001} = 1000 = k = 10^3 \text{ u. ä.} \end{aligned}$$

Beispiele:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 = 1,5 \text{ A} + 2,5 \text{ A} = 4 \text{ A} \\ Q &= I \cdot t = 10 \text{ A} \cdot 30 \text{ s} = 300 \text{ As} = 300 \text{ C} \\ Q &= 3 \text{ mA} \cdot 10 \text{ ms} = 30 \text{ mA} \cdot \text{ms} = 30 \mu\text{C} = 0,03 \text{ mC} \\ P &= U \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 660 \text{ VA} = 660 \text{ W} = 0,66 \text{ kW} \\ R &= \frac{U}{I} = \frac{2 \text{ V}}{0,5 \mu\text{A}} = 4 \frac{\text{V}}{\mu\text{A}} = 4 \text{ M}\Omega = 4 \cdot 10^6 \Omega \\ R &= \frac{10 \text{ kV}}{2 \text{ mA}} = 5 \frac{\text{kV}}{\text{mA}} \\ &= 5 \text{ M}\Omega = 5\,000\,000 \Omega = 5 \cdot 10^6 \Omega \\ R &= \varrho \frac{l}{A} = \frac{0,5 \Omega \text{ mm}^2 \cdot 100 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,25 \text{ mm}^2} = 200 \Omega \\ v &= 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{36\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{u. ä.} \end{aligned}$$

#### 11.4 Grundgrößen und abgeleitete Größen

Physikalische Größen, die nicht mehr auf andere physikalische Größen zurückgeführt werden können, sind **Grundgrößen**, alle anderen heißen **abgeleitete Größen**.

Beispiele:

Grundgrößen:	U (Spannung)
	I (Strom)
	t (Zeit)
	\theta (Temperatur)
abgeleitete Größen:	R = $\frac{U}{I}$ (Widerstand)
	P = U \cdot I (Leistung)
	Q = I \cdot t (Ladung)
	W = U \cdot I \cdot t (Arbeit)
	vgl. Tabelle 1.

#### 11.5 Einheiten und Einheitengleichungen

Eine allgemeine physikalische Größe, die in eine eckige Klammer gesetzt ist, bedeutet nicht diese Größe selbst, sondern ihre Einheit.

Aus dem hier gewählten Maßsystem ergeben sich folgende Beispiele:

[I] = A, [U] = V, [R] = \Omega, [W] = Ws  
Den Grundgrößen und abgeleiteten Größen entsprechen die Grundeinheiten und die abgeleiteten Einheiten.

Beispiele: Grundeinheiten:

[I] = A, [U] = V, [t] = s, [l] = m,  
abgeleitete Einheiten:

$$\begin{aligned} [R] &= \frac{[U]}{[I]} \text{ oder bei unserem Maßsystem } \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}} \\ [Q] &= [I] [t] \text{ oder bei unserem Maßsystem } \text{C} = \text{A} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Die Einheitengleichungen mit den eckigen Klammern sind unabhängig vom gewählten Maßsystem gültig.

#### 11.6 Dimensionen und Dimensionsgleichungen

Das Zeichen dim vor einer allgemeinen oder speziellen physikalischen Größe bedeutet, daß nicht die Größe selbst, sondern deren Größenart gemeint ist.

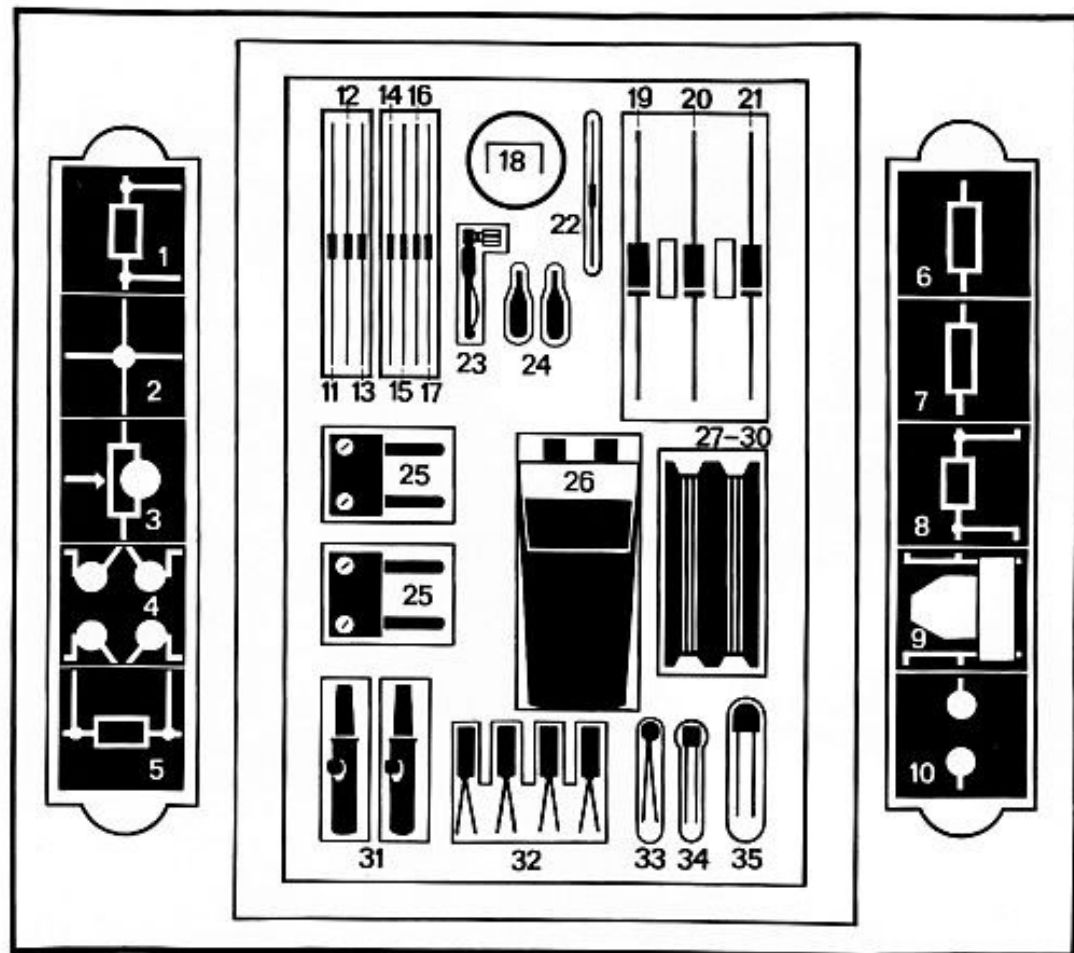
Die Dimensionen der Grundgrößen bezeichnet man mit großen fetten Buchstaben.

$$\begin{aligned} \dim I &= \mathbf{I} \text{ (Strom)} \\ \dim U &= \mathbf{U} \text{ (Spannung)} \\ \dim l &= \mathbf{L} \text{ (Länge)} \\ \dim t &= \mathbf{T} \text{ (Zeit)} \end{aligned}$$

Beispiele:

$$\begin{aligned} \dim 5 \text{ cm} &= \mathbf{L}, \dim d = \mathbf{L} \text{ (Abstand)} \\ \dim 20 \text{ m}^2 &= \mathbf{L}^2, \dim A = \mathbf{L}^2 \text{ (Fläche)} \\ \dim 3 \text{ A} &= \mathbf{I} \text{ (Strom)} \\ \dim Q &= \dim I \cdot \dim t = \mathbf{I} \cdot \mathbf{T} \\ \dim W &= \dim U \cdot \dim I \cdot \dim t = \mathbf{U} \mathbf{I} \mathbf{T} \\ \dim R &= \frac{\dim U}{\dim I} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{I}^{-1} \\ \dim 12 \Omega &= \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{I}^{-1} \end{aligned}$$

## 12. Verpackungsübersicht

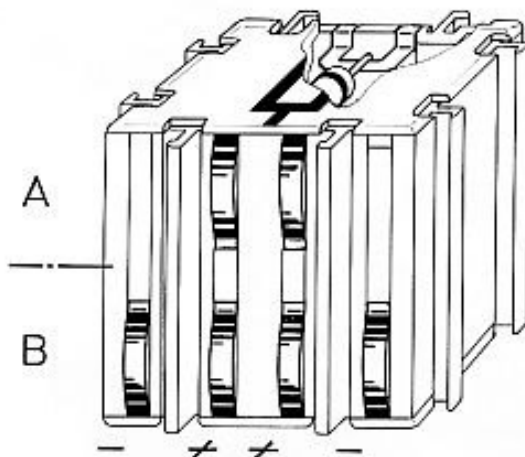


Inhaltsübersicht des biPOL-Lehrbaukastens 612 01

### Im Baukasten 612 01 enthaltene Teile

Lfd. Nr.	Stückz.	Benennung	Nummer
1	1	Widerstand 1,2 $\Omega$	610 33
2	1	Verbindungsteil	610 07
3	1	Potentiometer 1 k $\Omega$	610 16
4	1	Buchse 4-fach	610 39
5	1	Widerstand 12 $\Omega$	610 35
6	1	Widerstand 10 k $\Omega$	610 11
7	1	Widerstand 100 k $\Omega$	610 13
8	1	Widerstand 133 $\Omega$	610 36
9	1	Instrument	610 27
10	1	Anschlußbuchse	610 04

Lfd. Nr.	Stückz.	Benennung	Nummer	
11, 12, 13	3	Widerstand 100 k $\Omega$	930 7 1473 0	braun / schwarz / gelb
14	1	Widerstand 10 k $\Omega$	930 7 1961 0	braun / schwarz / orange
15	1	Widerstand 220 k $\Omega$	930 7 2129 0	rot / rot / gelb
16	1	Widerstand 51 k $\Omega$	930 7 2128 0	grün / braun / orange
17	1	Widerstand 5,1 k $\Omega$	930 7 1786 0	grün / braun / rot
18	1	Kurzschlußbügel	610 2 3006 0	
19, 20	2	Elko 100 $\mu$ F	923 7 2122 0	
21	1	Elko 50 $\mu$ F	923 7 1960 0	
22	1	Diode BA 130	901 7 2105 0	
23	1	Stecker 1-fach	610 43	
24	2	Prüfspitze	610 2 2974 0	
25	2	Stecker 2-fach	610 40	
26	1	Glasspitze	610 2 3017 0	
26	1	Stopfen	610 2 3016 0	
26	1	Becher	980 7 1998 0	
26	2	Kohlestift	610 2 3209 0	
27	1	Widerstandsdraht	610 45	
28	1	ZN-Streifen	610 2 3004 0	
29	2	PB-Streifen	610 2 3005 0	
30	1	CU-Streifen	610 2 3003 0	
31	2	Klemme	970 7 2146 0	
32	4	Lampe 6 V, 50 mA	610 2 3007 0	
33	1	Heißleiter 60 k $\Omega$	933 7 1943 0	
34	1	Transistor kpl.	610 47	
35	1	Fotowiderstand	901 7 2179 0	
	2	Verbindungskabel, blau	610 05	
	1	Verbindungskabel, rot	610 09	



biBL-Kontaktsystem

#### Erklärung zum Kontaktsystem

Die A-Ebene (oben) beinhaltet die Signalleitungen und ist identisch mit der Bedruckung des Bausteines. Die B-Ebene (unten) enthält die Stromversorgung, welche in Verbindung mit den Lehrbaukästen 612 02 und 612 03 sowie den Experimentierbausteinen benötigt wird.

Durch die 2-fache Kontaktierung der wesentlichen Verbindungen wird die Kontaktsicherheit um ein Vielfaches erhöht.



## 13. Überblick über den Lehrbaukasten 612 02 (Wechselstromkreis)

<b>1. Grundbegriffe des Wechselstroms</b>	
1.1 Scheitelwert und Momentanwert	V 1
1.2 Effektive Stromstärke	V 2
1.3 Effektive Spannung	V 3
1.4 Effektivwert und Scheitelwert	V 4
1.5 Galvanischer Mittelwert und Scheitelwert	V 5
<b>2. Gleichrichterschaltungen</b>	
2.1 Einweggleichrichtung (langsame Schwingungen 1 Hz)	V 6
2.2 Anwendung der Einweggleichrichtung in einem Wechselspannungsmesser (techn. Wechselstrom 50 Hz)	V 7
2.3 Zweiweggleichrichtung (50 Hz)	V 8
2.4 Graetzschaltung (1 Hz)	V 9
2.5 Anwendung beim Voltmeter (50 Hz)	V 10
2.6 Glättung mit Ladekondensator bei Einweggleichrichtung (1 Hz)	V 11
2.7 Glättung bei Einweggleichrichtung mit Siebkette (1 Hz)	V 12
2.8 Glättung mit Ladekondensator (50 Hz)	V 13
2.9 Glättung mit Ladekondensator (50 Hz) Nachweis akustisch	V 14
2.10 Gleichrichtung mit Spannungsverdopplung (nach Villard)	V 15
2.11 Gleichrichtung mit Glättung und Spannungsverdopplung (nach Greinacher)	V 16
2.12 Gleichrichtung mit Glättung und Spannungsvervielfachung (Kaskadenschaltung)	V 17
<b>3. Aufbau eines vielseitigen Wechselstrominstrumentes</b>	
3.1 Aufbau und Eichung eines Amperemeters für Wechselstrom, Meßbereich 36 mA	V 18
3.2 Aufbau und Eichung eines Amperemeters für Wechselstrom, Meßbereich 3,2 mA und 360 mA	V 19
3.3 Eichung der Meßbereiche des Voltmeters	V 20
<b>4. Kapazität (C) und Induktivität (L) im Wechselstromkreis</b>	
4.1 Informativer Vorversuch (Induktiver Widerstand $R_L$ )	V 21
4.2 Informativer Vorversuch (Kapazitiver Widerstand $R_C$ )	V 22 +
4.3 Glimmlampenversuch	V 23
4.4 »2-Lämpchen-Versuch« $R_L$ und Phasenverschiebung (1Hz)	V 24
4.5 $R_C$ und Phasenverschiebung (1 Hz)	V 25
4.6 $R_L$ (50 Hz)	V 26
4.7 $R_C$ (50 Hz)	V 27
4.8 »3-Lämpchen-Versuch« $R_C$ und $R_L$ parallel	V 28

4.9	$R_C$ und $R_L$ in Reihe (Resonanzkreis)	V 29
4.10	Resonanzkurve (I in Abhängigkeit von C)	V 30
<b>5.</b>	<b>Generatoren</b>	
5.1	Meißnerschaltung, Schwingkreis auf der Emittenseite (ca. 5 Hz)	V 31
5.2	Meißnerschaltung, Schwingkreis auf der Basisseite (ca. 5 Hz)	V 32
5.3	Meißnerschaltung, Schwingkreis auf der Kollektorseite (ca. 5 Hz)	V 33
5.4	Meißnerschaltung (Tonfrequenz) und Übergang zur Dreipunktschaltung	V 34
5.5	Dreipunktschaltung, Thomson-Formel (Oktave, Dreiklang)	V 35
5.6	$R_C$ in Abhängigkeit von der Frequenz f und C, $R_L$ in Abhängigkeit von f und L	V 36
5.7	$R_C$ und $R_L$ in Reihe – Resonanzkurve (I in Abhängigkeit von f)	V 37
5.8	Gleichspannungswandler	V 38
<b>6.</b>	<b>Impulsumformung</b>	
6.1	Dioden mit Vorspannung	V 39
6.2	Impulsdehnung	V 40
6.3	Rechteckimpulse	V 41
<b>7.</b>	<b>Transistor als Verstärker</b>	
7.1	Niederfrequenzverstärker (langsame Schwingungen)	V 42
7.2	Niederfrequenzverstärker (Tonfrequenz)	V 43
7.3	Gleichstromverstärker	V 44
<b>8.</b>	<b>Elektronischer Schalter</b>	
8.1	Schmitt-Trigger mit Potentiometer	V 45
8.2	Schmitt-Trigger als Zeitgeber	V 46
8.3	Astabiler Multivibrator 0,1 Hz Blinkschaltung	V 47
8.4	Astabiler Multivibrator 100 Hz Tonfrequenz	V 48
8.5	Monostabiler Multivibrator	V 49
8.6	Bistabiler Multivibrator	V 50
8.7	Flip-Flop	V 51
<b>9.</b>	<b>Logische Schaltungen</b>	
9.1	Und-Gatter	V 52
9.2	Oder-Gatter	V 53
9.3	Umkehrstufe	V 54
9.4	Umkehrstufe und Und-Gatter	V 55
9.5	Exklusiv-Oder-Gatter	V 56
9.6	Nor-Gatter	V 57
<b>10.</b>	<b>Herstellung eines einfachen Dioden- und Transistorprüfgerätes</b>	V 58



biPOL



**R + E Hopt KG 721 Rottweil W-Germany**

