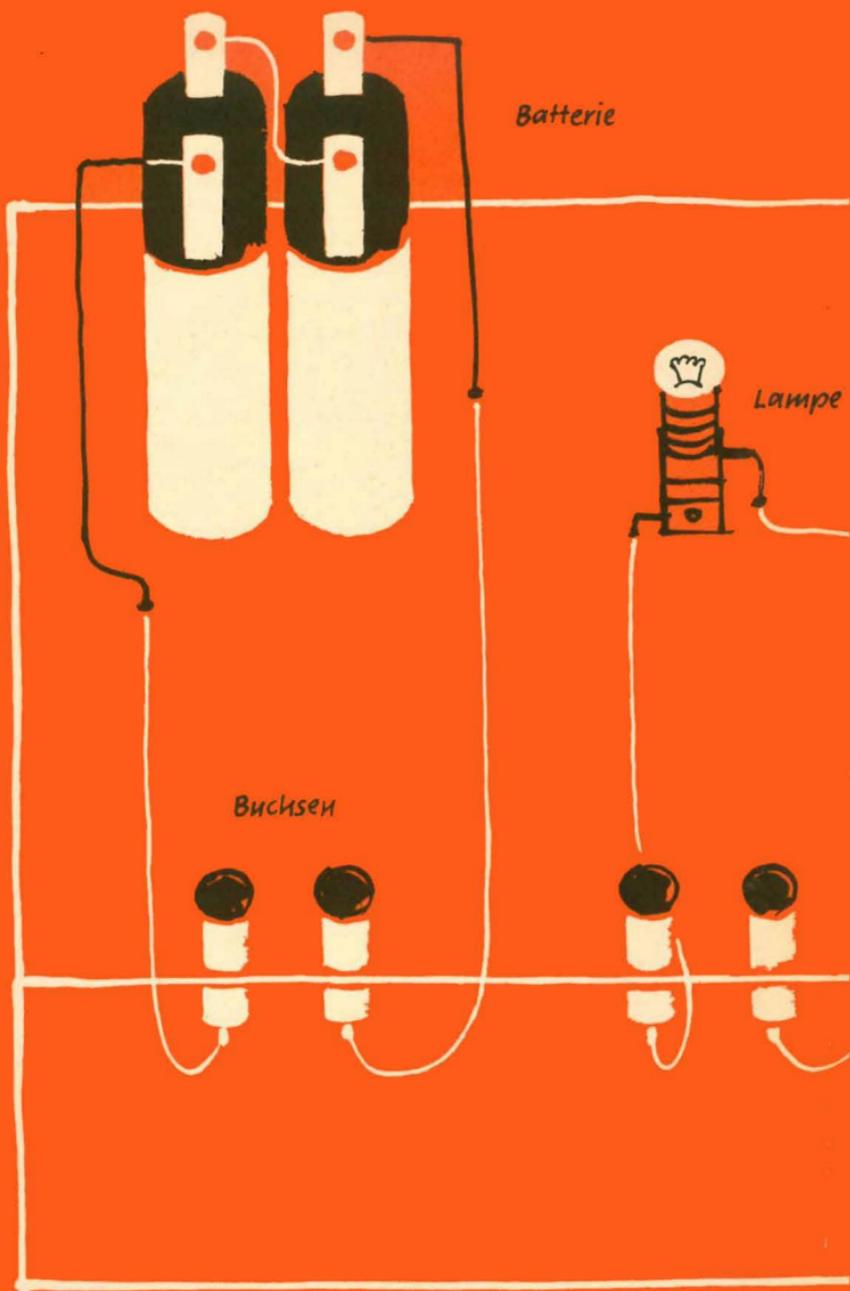


HEINZ GREIF

# Die Elektronen sparbüchse



EIN EXPERIMENTIER- UND BASTELBUCH



Schalter



Potentiometer



Plastbehälter





HEINZ GREIF · DIE ELEKTRONENSPARBÜCHSE



HEINZ GREIF

# Die Elektronensparbüchse

Ein Experimentier- und Bastelbuch

DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN

**Einband und Illustrationen von Heinz-Karl Bogdanski**

**Fotos vom Verfasser**

**Alle Rechte vorbehalten**

**Printed in the German Democratic Republic**

**Lizenz-Nr. 304-270/325/68-(20)**

**Satz und Druck: Karl-Marx-Werk Pößneck V 15/30 · 2. Auflage**

**ES 9 F · Preis 6,50**

**Für Leser von 13 Jahren an**

## EINE FRAGE:

Was glaubt ihr wohl, wie der Zucker, den ihr neulich gekauft habt, in die Tüte gekommen ist? Ihr meint, man kann ihn mit einer Waage abwägen, in die Tüte schütten und die Tüte zukleben. Ja, das ist möglich. Wie kommt aber genau ein viertel Liter Milch in jede der vielen tausend Flaschen, die täglich verkauft werden? Wer wickelt die Bonbons einzeln in Papier, zählt die Kekse in die Schachteln und verschließt die Fischkonserven? Oder wie kommt es, daß ein Schreibheft gerade 24 Seiten hat, niemals ein Blatt mehr oder weniger, und daß ein Schmelzkäse, so wie es auf der Verpackung angegeben ist, genau 125 g wiegt?

Wenn sich um alle diese Dinge die Menschen kümmern müßten, wäre die halbe Bevölkerung einer Stadt nötig, um allein die Lebensmittel und Gebrauchsgüter abzuwägen, zu zählen oder auszumessen und zu verpacken, die die andere Hälfte der Einwohner verbraucht. Und dabei müßten alle diese Gegenstände erst einmal hergestellt werden! Die

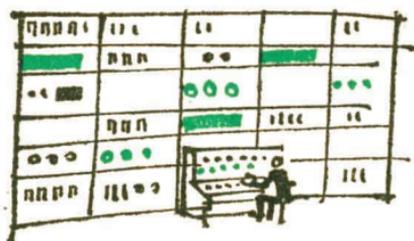
Menschen hätten nichts weiter zu tun, als die wichtigsten Gebrauchsgüter zu beschaffen und zu verpacken. Niemand hätte Zeit, Häuser zu bauen, Autos herzustellen oder gar ins Theater zu gehen.

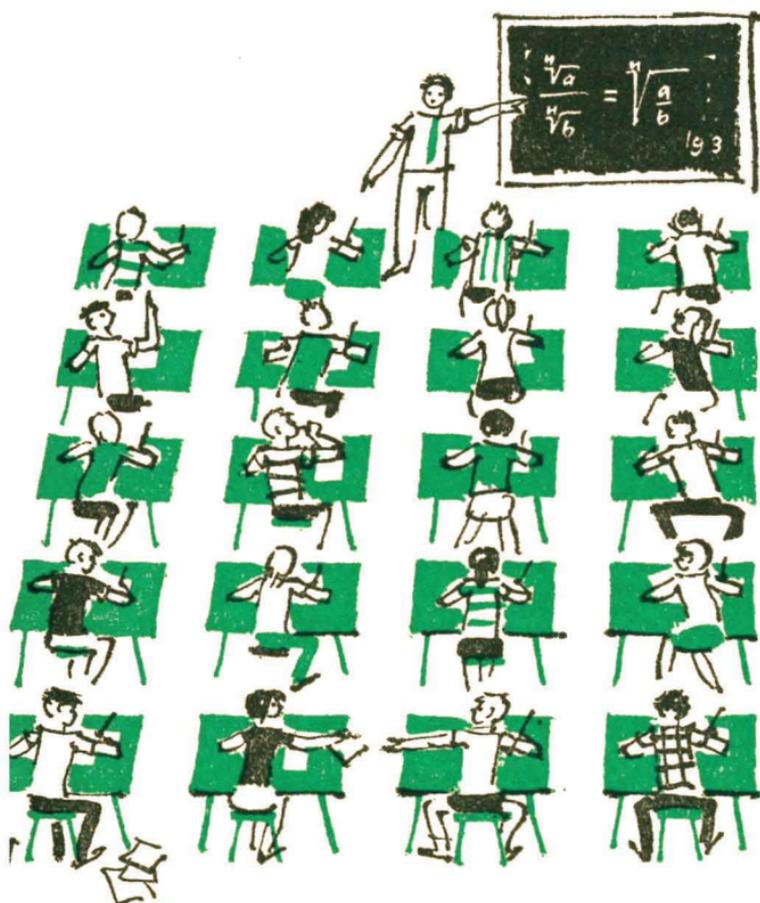
Nun wissen wir ja alle, daß es nicht so ist. Aber irgendwie müssen die Lebensmittel und Gebrauchsgüter wie auch viele andere Waren – zum Beispiel Zement, Pflanzenschutzmittel oder Streichhölzer – gewogen, gezählt oder anders abgemessen und in die Behälter gepackt werden. Menschen können sich im allgemeinen nicht damit befassen. Die dazu notwendigen Einrichtungen müssen also von allein, ohne besondere Bedienung arbeiten. Natürlich läßt sich leicht aussprechen, daß eine Maschine oder ein Gerät selbsttätig arbeiten soll. Zaubern kann man jedoch auch heute noch nicht, wenn auch die Arbeitsweise mancher Einrichtungen fast wie Zauberei wirkt. Tatsächlich haben sich viele Leute den Kopf zerbrechen müssen, um Verpackungsmaschinen oder Zählleinrichtungen zu entwerfen, und viele Menschen sind mit der Herstellung von Teilen beschäftigt, die zu diesen selbsttätigen Einrichtungen gehören. Was am Ende wie ein Wunder aussieht, ist also das Ergebnis der Bemühungen vieler Menschen. Alle die Tätigkeiten, die in den Fragen angedeutet wurden, werden heute durch Maschinen ausgeführt. Die Keksschachteln beispielsweise werden nicht nur durch Maschinen bedruckt, ausgestanzt und zusammengeklebt, sondern auch maschinell mit einer bestimmten Anzahl von Keksen gefüllt und verschlossen. Ebenso ist es mit den meisten anderen Lebensmitteln und Verbrauchsgütern sowie mit vielen technischen Artikeln. Natur-

lich werden Maschinen nicht nur zum Verpacken, sondern auch zur Herstellung und Prüfung der Erzeugnisse, zum Transport und in manchen Fällen sogar zum Verkauf (Verkaufsautomaten) verwendet. Heute werden überall so viele Maschinenteile gebraucht, daß es nicht mehr möglich ist, alle Teile von Menschen mit Hilfe der normalen Bearbeitungsmaschinen – zum Beispiel Bohrmaschinen, Drehmaschinen und so fort – oder gar von Hand herstellen zu lassen. Man verwendet dafür „programmgesteuerte“ Werkzeugmaschinen, das heißt Maschinen, bei denen die einzelnen Arbeitsgänge vom Menschen einmal festgelegt worden sind und nun immer wieder in gleicher Weise ablaufen. Diese Maschinen spannen das Werkstück ein, bearbeiten es in der vorgeschriebenen Art und prüfen oft sogar die Qualität der Bearbeitung selbst nach. Der Mensch braucht nur noch die richtige Arbeitsweise zu kontrollieren, bei Störungen einzugreifen und die Maschinen zu pflegen. Durch Automatisierung, also durch die Umstellung von Betrieben auf selbsttätig arbeitende Einrichtungen, wird der Arbeiter von eintöniger Tätigkeit befreit; er muß sich weiterbilden und seine Fähigkeiten an anderer Stelle einsetzen.

Es gibt unter den Maschinen aber nicht nur „Handarbeiter“, sondern auch „Kopfarbeiter“. In Technik und Wissenschaft sind beispielsweise viele Berechnungen nötig. Dafür gibt es seit einigen Jahren ebenfalls selbsttätige Einrichtungen. Die Bedienungsperson muß dem Gerät nur die Aufgabe stellen – etwa in Form einer Karte, die in das Gerät eingesteckt wird und in die nach einem festgelegten

Schema Löcher eingestanzt sind —, und in ganz kurzer Zeit erhält man das Ergebnis. Eine solche Rechenanlage kann Hunderte von geübten Rechnern ersetzen. Die Rechenaufgaben, die den Schülern aller Klassen einer großen Schule im Laufe eines ganzen Jahres gestellt werden, könnte die Rechenanlage in wenigen Minuten lösen. Natürlich ist eine solche Anlage verhältnismäßig kompliziert und auch teuer. Recheneinrichtungen setzt man deshalb dort ein, wo entweder immer wiederkehrende Berechnungen angestellt werden müssen, was den Menschen sehr belasten würde, oder wo eine große Anzahl von Werten in kurzer Zeit miteinander verglichen werden muß. Das trifft beispielsweise für die Flüge künstlicher Satelliten zu. Schon kurz nach dem Start wird maschinell errechnet, welche Kurskorrekturen nötig sind, um den Flugkörper auf die richtige Bahn zu bringen. Müßten Menschen die zahlreichen Meßwerte miteinander vergleichen, so würde der Satellit längst auf Nimmerwiedersehen im Raume verschwunden sein, ehe das Ergebnis bekannt wäre. In größeren Betrieben gibt es heute schon Recheneinrichtungen, die in kurzer Zeit die Löhne und Gehälter, den Gesamtwert





aller gelagerten Rohstoffe oder die für die nächste Zeit erforderlichen Materialbestellungen errechnen.

Der Zweig von Wissenschaft und Industrie, der sich mit der Planung, Herstellung und Instandhaltung selbsttätiger Einrichtungen befaßt, heißt „Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regeltechnik“. Man ver-

wendet dafür häufig die Abkürzung BMSR-Technik. Soweit es sich um elektrische Geräte handelt, spricht man von der „elektronischen“ Messung, Steuerung und Regelung. Außer elektrischen gibt es auch hydraulische, pneumatische und optische Meß- und Regeleinrichtungen, also Geräte, die durch Flüssigkeits- oder Gasdruck oder durch Lichtstrahlen betätigt werden.

Natürlich gehört zur Konstruktion, zum Bau und zur Bedienung größerer, selbsttätig arbeitender Einrichtungen oder Rechenanlagen ein umfangreiches Wissen. Aber auch die kompliziertesten Anlagen setzen sich aus verhältnismäßig einfachen Bauteilen zusammen. Die Wirkungsweise dieser Bauteile kann man leicht verstehen. Wir wollen uns deshalb in diesem Buch mit den Eigenschaften solcher Grundbestandteile elektronischer Anlagen befassen. Versteht man die Wirkung der Bauteile und der aus ihnen zusammengesetzten Baugruppen, so fällt es nicht schwer, auch die Arbeitsweise umfangreicher Einrichtungen zu erkennen. Man findet dann, daß sich die Wirkungen zusammengesetzter technischer Einrichtungen zur Messung, Steuerung und Regelung immer auf einige Grundfunktionen zurückführen lassen. Wir beschränken uns allerdings hier auf einfache Schaltungen, die man ohne großen Aufwand selbst aufbauen und untersuchen kann.

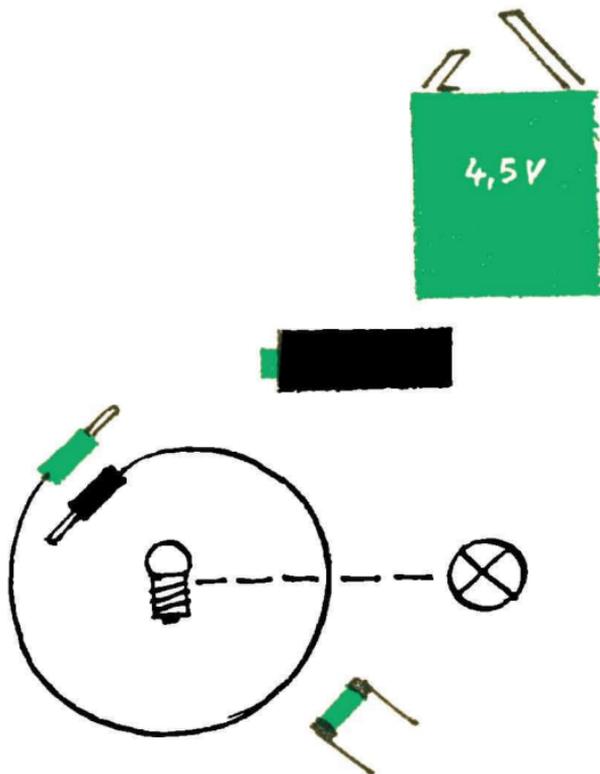
Wenn man sich mit Meß- und Regeleinrichtungen beschäftigen will, kann man nicht gleich mit ganzen Geräten beginnen. Besser ist es, man geht schrittweise vor und untersucht zuerst die einzelnen Bauteile mit Hilfe des Experiments. Erfahrungsgemäß

glaubt man vieles erst dann, wenn man es selber probiert hat. Das Verständnis für die Wirkung der Bauteile, das wir erwerben wollen, macht es auch möglich, die Bauanleitungen in Zeitungen und Zeitschriften besser zu verstehen. Durch die Versuche gewinnen wir schließlich Erkenntnisse, die uns später auf verschiedenen Gebieten nützlich sein können. Nachdem wir so einige Erfahrungen gesammelt haben, wollen wir Baugruppen und daraus Geräte herstellen. Die beschriebenen Geräte sollen als Anregungen dienen; es gibt viele Möglichkeiten, aus den gleichen Bauteilen und Baugruppen auch ganz andere Geräte aufzubauen.

Die Beschäftigung mit den Bauteilen und Baugruppen der BMSR-Technik kann uns demnach doppelten Gewinn bringen.

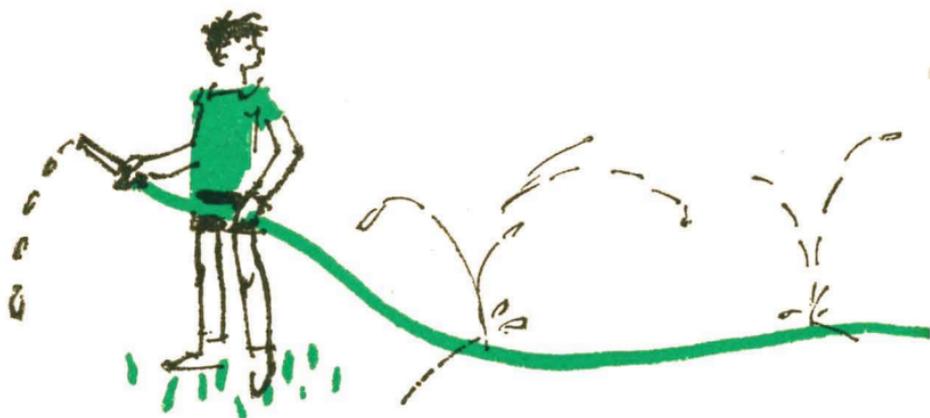


## Wir lernen die Bauteile kennen



Elektrische Ströme fließen stets in „Stromkreisen“, also in geschlossenen Systemen von Körpern aus Stoffen, die den Strom leiten können. Leitende Stoffe sind außer den Metallen, die eine besonders gute elektrische Leitfähigkeit haben, auch verschiedene Flüssigkeiten, beispielsweise Salzlösungen. Um den elektrischen Strom ausnutzen zu können, sind die Nichtleiter (Isolatoren) fast ebenso wichtig wie die

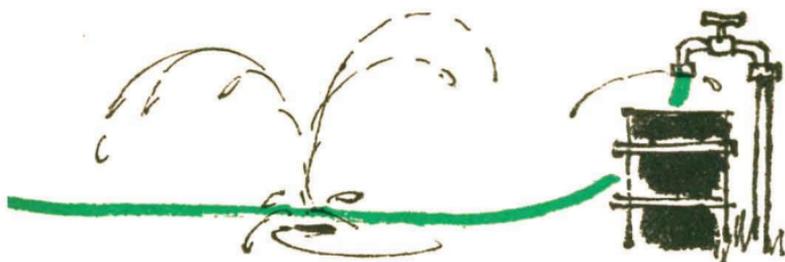
leitenden Stoffe selbst. Nur durch isolierende Schichten können die elektrischen Ströme so gelenkt werden, wie wir es wünschen. Isolatoren sind zum Beispiel Glas, Porzellan, viele Kunststoffe und die Luft. Man kann den elektrischen Stromkreis in mancher Beziehung mit einem Wasserkreislauf vergleichen. Damit in einem Wasserleitungsnetz ein Wasserstrom fließen kann, müssen die einzelnen Leitungsrohre sicher und dicht miteinander verbunden sein. Ebenso fließt ein elektrischer Strom nur durch Drähte, die zuverlässig in Verbindung stehen. Schlecht isolierte oder lose verbundene Drähte sind mit undichten Wasserleitungen zu vergleichen. Der elektrische Strom sucht sich dann selbst einen Weg, und wir können ihn nicht vollständig für unsere Zwecke ausnutzen. Statt der Wassertropfen in einem Wasserkreislauf bewegen sich in metallischen Leitern Elektrizitätsteilchen, die man Elektronen nennt. Daher kommt der Name „Elektronik“ für den Teil der Elek-



trotechnik, in dem schwache Ströme zur Nachrichtenübermittlung, zu Messungen und für ähnliche Zwecke benutzt werden. „Elektronische“ Bauelemente sind zum Beispiel Rundfunkröhren und Halbleiter.

Um den Strom erst einmal in Gang zu bringen, braucht man vor allem eine Pumpe – in der Elektrotechnik eine Stromquelle. Für die folgenden Versuche mit den Bauteilen und Baugruppen wollen wir uns mit drei Arten von Stromquellen befassen: mit galvanischen Elementen, Akkumulatoren (Akkus) und Transformatoren (Trafos). Eine Stromquelle erzeugt die Energie nicht, sondern wandelt nur andere Energiearten, zum Beispiel chemische Energie, in elektrische Energie um. Die elektrische Energie kann man nicht direkt wahrnehmen, man erkennt sie nur an ihren Wirkungen.

In *galvanischen Elementen* entsteht die elektrische Energie durch chemische Vorgänge im Inneren. Dadurch verzehren sie sich allmählich und werden



schließlich unbrauchbar. Anderen Stromquellen gegenüber haben sie den Vorzug, daß sie klein, leicht und billig sind. Einzelne galvanische Elemente heißen Monozellen. Mehrere Elemente sind in den „Trockenbatterien“ – oft einfach Batterien genannt – zusammengeschaltet.

In *Akkumulatoren* entsteht die Elektrizität ebenfalls auf chemischem Weg, also durch Zerlegung und Aufbau von Verbindungen, doch werden sie nicht von vornherein so gebaut, daß sie einen Strom abgeben können. Man muß einen Akku erst an eine andere Stromquelle anschließen, beispielsweise an einen „Ladegleichrichter“, der aus dem Starkstromnetz betrieben wird. Elektrische Energie wird dabei in chemische Energie umgewandelt und in dieser Form gespeichert. Später kann man die chemische Energie wieder als elektrische Energie entnehmen. Ein Vorteil dieses Umweges besteht darin, daß man den Akku transportieren kann und damit gewissermaßen die Elektrizität in Behältern wegträgt, während die eigentliche Stromquelle an Ort und Stelle bleibt. Ein Akku ist viele Jahre lang verwendbar, wenn er nach der Entladung jedesmal wieder aufgeladen und richtig behandelt wird.

*Transformatoren* übertragen elektrische Energie aus einem Stromkreis in den anderen; dabei ändern sie meist die Stromstärke und die Spannung. Trafos können keine elektrische Energie speichern.

Galvanische Elemente und Akkus geben Gleichstrom ab, Trafos liefern dagegen Wechselstrom. Wir brauchen für unsere Versuche meist Gleichstrom. Verwenden wir Trafos als Stromquellen, so müssen wir

durch besondere Einrichtungen den abgegebenen Wechselstrom in einen Gleichstrom umformen.

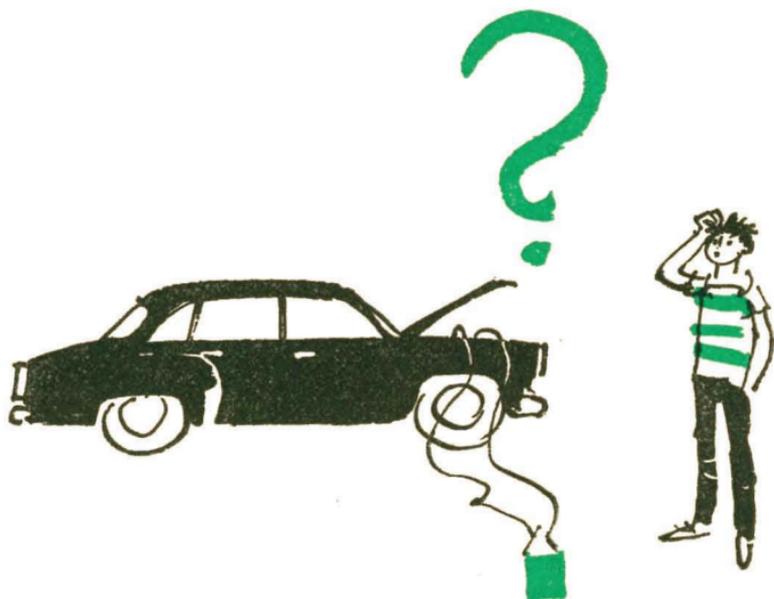
Eine wichtige Eigenschaft von Stromquellen ist neben der Stromart (Gleich- oder Wechselstrom) die Höhe der Spannung. Man kann die Spannung mit einem von der Pumpe erzeugten Druckunterschied in Wasserrohren vergleichen. Ohne eine Druckdifferenz kommt kein Wasserstrom zustande. Wenn der Druckunterschied groß ist, so fließt ein großer Wasserstrom. Ebenso ist der elektrische Strom von der Spannung der Stromquelle abhängig. Die Einheit der Spannung ist das Volt (V), benannt nach dem italienischen Physiker Volta. Die bekanntesten Stromquellen haben Spannungen von 1,5 V (Monozellen), 4,5 V (Flachbatterien) oder 9 V (Trockenbatterien für Transistorradios). Akkus haben meist Spannungen von 6 V oder 12 V, Trafos von 4 V, 6 V, 8 V oder 12 V.

Bild 1 des Fototeils zeigt drei galvanische Elemente (Monozellen) mit der gleichen Spannung von 1,5 V. Man erkennt an den verschiedenen Größen, daß zwischen ihnen noch irgendwelche Unterschiede bestehen müssen. Die Spannung genügt also nicht, um die Eigenschaften eines galvanischen Elements vollständig zu bezeichnen. Der zweite Kennwert ist die zulässige Stromstärke. Je größer eine Trockenbatterie, ein Akku oder ein Trafo bei der gleichen Spannung an den Klemmen ist, desto größer ist auch die Stromstärke, die man der jeweiligen Stromquelle entnehmen kann. Als Einheit der Stromstärke wird das Ampere (A) benutzt, das nach dem französischen Forscher Ampère benannt ist. Die Stromstärke läßt sich mit der Breite eines Flusses vergleichen. Je brei-

ter ein Fluß ist, desto mehr Wasser fließt in einer gewissen Zeit hinab und desto mehr „Verbraucher“, zum Beispiel Wasserräder, können damit versorgt werden. Ebenso ermöglicht ein großer elektrischer Strom, starke Stromverbraucher, etwa Bügeleisen oder Motore, zu betreiben. Mit gewöhnlichen Batterien kann man keinen großen Motor in Gang setzen, weil – selbst wenn die Spannung den nötigen Wert hat – die Stromstärke viel zu gering ist.

Wir werden meist nicht das Ampere (A), sondern den tausendsten Teil, das Milliampere (mA), verwenden, da die Stromstärken für Meß- und Schaltzwecke verhältnismäßig klein sind.

Stromquellen kann man hintereinander- und parallel schalten. Durch Hintereinanderschaltung erhöht



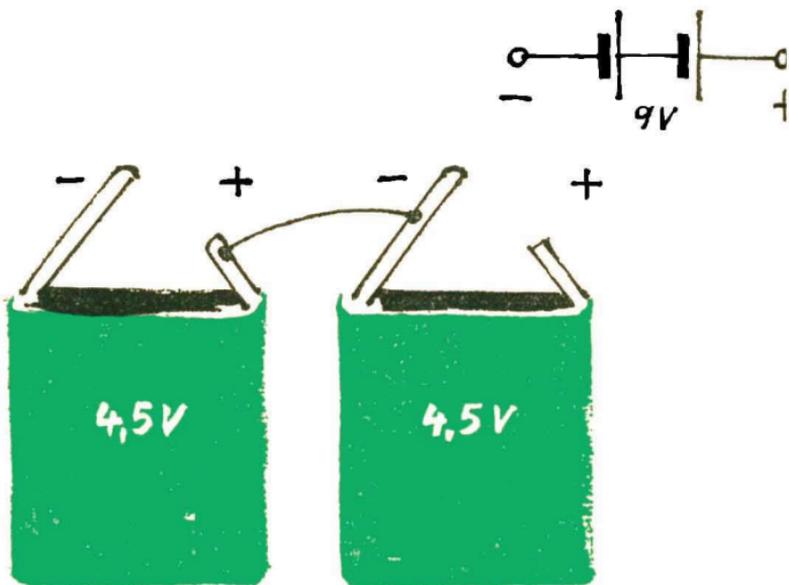
sich die Spannung. Trockenbatterien für Klemmenspannungen über 1,5 V sind immer aus einzelnen hintereinandergeschalteten 1,5-V-Elementen zusammengesetzt. Deshalb haben die Batterien auch merkwürdig „krumme“ Spannungswerte, zum Beispiel 4,5 V (das sind drei Elemente zu je 1,5 V) oder 9 V.

Bild 2 zeigt eine geöffnete 22,5-V-Batterie, die für Hörgeräte benutzt wird und deshalb auch „Hörbatterie“ heißt. Sie besteht aus 15 einzelnen, sehr kleinen Elementen.

Man soll nur gleichartige galvanische Elemente oder Akkus zusammenschalten, also Ausführungen mit gleicher Spannung, gleicher Größe und gleichem Abnutzungsgrad. Wenn nämlich eine neue und eine verbrauchte Batterie oder eine kräftige Monozelle und eine schwache Hörbatterie hintereinandergeschaltet werden, so begrenzt die Batterie, die nur einen schwachen Strom liefern kann, die Stromstärke der zusammengesetzten Stromquelle.

Aus parallelgeschalteten gleichartigen Batterien kann man höhere Stromstärken entnehmen, als die einzelne Stromquelle liefern kann. Trafos, die eine Wechselspannung abgeben, kann man nicht mit Batterien oder Akkus zusammenschalten.

Für die meisten unserer Zwecke eignen sich zwei Flachbatterien von 4,5 V Spannung, die man hintereinanderschaltet. (Der Pluspol – die kurze Messingfeder – der einen Batterie wird mit dem Minuspol – dem langen Anschluß – der anderen verbunden.) Diese Stromquelle hat also eine Spannung von 9 V. Damit kann man mehrere Monate lang Versuche anstellen, falls man nicht unnötig große Stromstärken



entnimmt und die Verbraucher nicht längere Zeit eingeschaltet läßt.

Man erkennt den Zustand einer Batterie, wenn man eine geeignete Glühlampe anschließt; für die 9-V-Batterie beispielsweise eine Skalenlampe 6,3 V 0,3 A oder eine Lampe 12 V 0,3 A. Dieser Wert ist auf dem Lampensockel aufgedruckt oder eingepreßt. Ist die Stromquelle noch genügend leistungsfähig, so brennt die Lampe hell. Leuchtet sie aber nur schwach oder gar nicht, so ist die Batterie verbraucht. Man kann abgenutzte Batterien noch längere Zeit für Schaltungen verwenden, bei denen nur Stromstärken von 1 mA bis 2 mA erforderlich sind.

Da es unvorteilhaft wäre, alle Teile einer Schaltung naturgetreu abzuzeichnen, hat man Schaltzeichen festgelegt. Diese Zeichen sind eine Art Abkürzung.

Mit der Gestalt der Bauteile haben sie nicht viel zu tun. Als Schaltzeichen für galvanische Elemente und Akkus verwendet man ein Bild mit einem kurzen dicken und einem langen dünnen Querstrich. Der lange Strich bedeutet den Pluspol. Man darf das nicht mit den Anschlüssen der Batterie selbst verwechseln. Dort ist, wie schon erwähnt, die lange Messingfeder der Minuspol. Bei mehreren hintereinandergeschalteten 1,5-V-Elementen oder Batterien genügt es, wenn man das Schaltzeichen eines Elements zeichnet und die Spannung dazuschreibt.

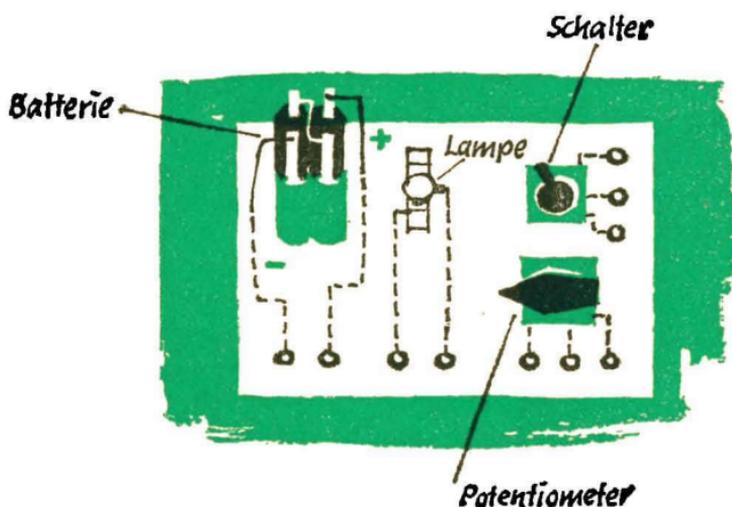
Bei den ersten Versuchen verbinden wir die Teile dadurch miteinander, daß wir die Anschlußdrähte der Bauteile und die abisolierten Enden der Verbindungsdrähte umeinanderwickeln oder mit sogenannten Krokodilklemmen (Abgriffklemmen) zusammenhalten. Wie dick der Verbindungsdraht ist, spielt keine große Rolle. Man verwendet am besten Kupferdraht, der sich noch ohne Mühe biegen läßt. Blanke Drähte (ohne Textil- oder Plastisolierung) sind meist mit einem Isolierlack bestrichen, der an der rotbraunen oder schwarzen Farbe zu erkennen ist. Eine leitende Verbindung entsteht nur dann, wenn man den Lack an den Verbindungsstellen entfernt. „Litzen“, das heißt Drähte, die aus vielen feinen Einzeldrähten zusammengedreht sind, benutzt man nur ausnahmsweise. Man hat damit nämlich beim Löten viel Mühe. Drähte oder Anschlüsse, die dauernd verbunden sein sollen, verlötet man stets, weil das eine zuverlässigere Verbindung als das Zusammendrehen ist.

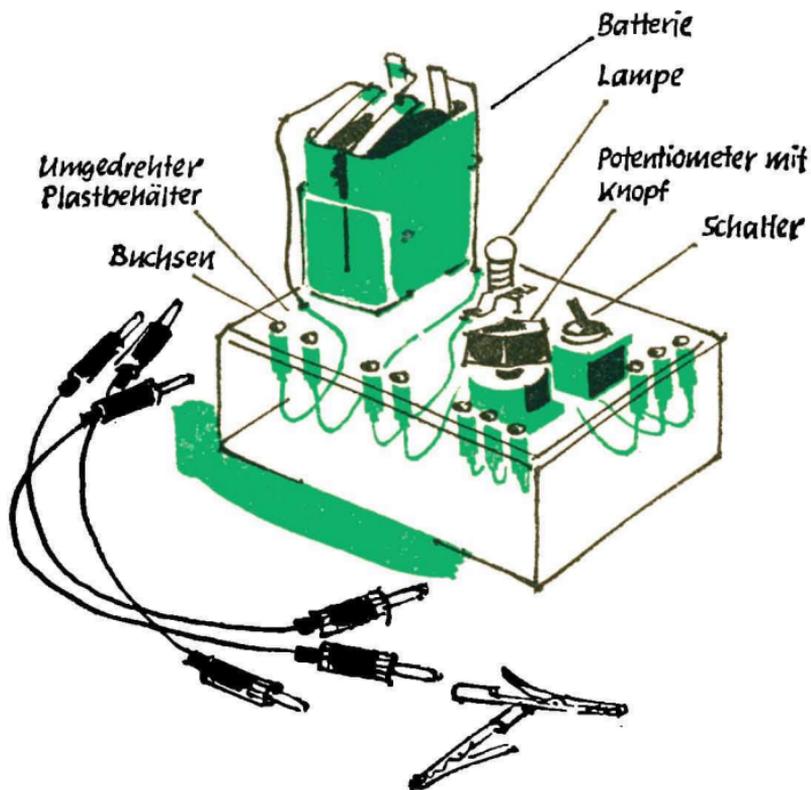
Für die Versuche ist es vorteilhaft, sich aus Holz, Pertinax oder Plast ein Teil anzufertigen, in dem eine



Reihe von Schwachstrombuchsen („Telefonbuchsen“) nebeneinander angeordnet sind. Man verwendet außerdem einige kurze Leitungen mit „Bananensteckern“ an beiden Enden und eine Anzahl von Krokodilklemmen. Am günstigsten befestigen wir auch die Batterie und einen veränderlichen Widerstand (Potentiometer) sowie einen Ein-Aus-Schalter auf dem Experimentierbrett. Außerdem sieht man die Fassung einer Zwerglampe vor, weil Glühlampen zur Kontrolle von Schaltungen immer wieder gebraucht werden. Mit dem Experimentierbrett und den Schaltschnüren kann man die meisten Versuche des ersten Teiles ausführen, ohne die Bauteile immer fest miteinander zu verbinden. Die einzelnen Bauteile lassen sich dann leicht auswechseln, wie es für Experimente zweckmäßig ist.

Ein sehr einfaches, doch wichtiges Bauelement in Stromkreisen ist der *Schalter*. Nach der Art, wie er





betätigt wird, kann man Drehschalter, Druckschalter, Kippschalter und so weiter unterscheiden. Wichtiger als diese Äußerlichkeit ist aber die Wirkungsweise. Zunächst kommt es darauf an, ob der Schalter nur so lange wirkt, wie man ihn betätigt, oder ob er dauernd in der neuen Stellung bleibt. Ein Beispiel für die erste Art, die Momentkontakte, ist ein Klingelknopf. Wenn wir ihn loslassen, geht er durch Federkraft wieder in die alte Stellung zurück. Manchmal bleibt allerdings ein Klingelknopf stecken und gibt nun dauernd Kontakt, so daß die Klingel immer weiter



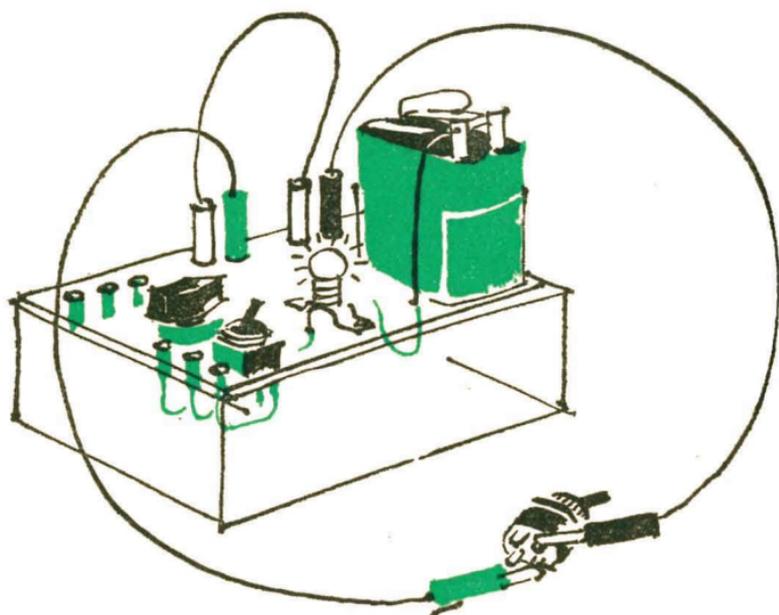
läutet. Unbeabsichtigt hat er sich in einen Dauerkontakt verwandelt. Richtige Dauerkontakte sind die meisten Starkstromschalter, also die Einschalter von elektrischen Haushaltgeräten und fast alle Lichtschalter. Lassen wir den Schalter nach der Betätigung los, so geht er nicht in die alte Lage zurück, sondern bleibt in der neuen Stellung stehen.

Die einfachste Art von Schaltern sind die Ein- und Ausschalter (Bild 3). Mit diesen Schaltern wird ein Stromkreis geschlossen und unterbrochen. Ein- und Ausschalter können sowohl Momentkontakte (Klingelknöpfe) als auch Dauerkontakte (Lichtschalter)

sein. Etwas komplizierter als der Einschalter ist der Umschalter. Er verbindet einen Anschluß (a) entweder mit der einen (b) oder der anderen (c) der beiden Leitungen. Der Strom fließt also entweder von a nach b oder von a nach c. Auch Umschalter können Moment- oder Dauerkontakte sein. Man kann natürlich einen Umschalter auch als Einschalter benutzen, indem man den einen Draht (zum Beispiel c) nicht anschließt. Deshalb ist es vorteilhaft, wenn man sich gleich Umschalter kauft, weil sie für beide Fälle zu verwenden sind.

Es gibt Ein- und Umschalter auch in der Ausführung, daß mit einem Handgriff mehrere Schalterkontakte zugleich betätigt werden. Diese Schalter heißen mehrpolige Schalter. Die bewegten Metallteile, die die Stromkreise öffnen oder schließen, sind durch nichtleitendes Material miteinander verbunden. Die Kontakte mehrpoliger Schalter können deshalb in ganz verschiedene Stromkreise eingefügt werden. Statt jedesmal zwei einpolige Schalter zu drücken, betätigt man einfach einen zweipoligen Schalter. Das ist nicht nur bequem, sondern verhindert auch, daß man die Betätigung des einen Schalters vergißt. Daß beide einpoligen Schalter gemeinsam betätigt werden, wird im Schaltbild durch einen unterbrochenen Strich angedeutet. Am häufigsten werden zweipolige Umschalter angeboten. Man kann sie – wenn die Größe nicht weiter stört – für fast alle Zwecke benutzen, also auch als einpolige Umschalter oder Einschalter.

Bei käuflichen mehrpoligen Schaltern weiß man oft nicht recht, welche Anschlüsse eigentlich zusammen-



gehören. Die Art der Kontaktgabe läßt sich jedoch ganz einfach feststellen. Man nimmt die beiden Flachbatterien und eine Zwerglampe. Die Spannung, für die die Lampe bestimmt ist, soll zwischen 6 V und 12 V liegen. Nach der Skizze stellt man mit biegsamen Leitungen aus den Batterien und der Lampe einen Stromkreis her. Man kann nun mit den beiden freien Anschlüssen nacheinander die Anschlüsse des Schalters berühren. Dabei erkennt man sofort, wie der Schalter wirkt. Brennt die Lampe, so sind die beiden Anschlüsse des Schalters, die man mit den Drähten gerade abtastet, im Inneren miteinander verbunden. Bringt man den Schalter in die andere Stellung, so erlischt die Lampe. Zwei Anschlüsse, bei denen man in keiner der beiden Stellungen des

Schalters „Durchgang“ (brennende Lampe) feststellt, gehören zu den voneinander getrennten Kreisen mehrpoliger Schalter.

Es gibt übrigens nicht nur Momentkontakte, die bei Betätigung einen Stromkreis schließen, sondern auch Momentkontakte, die den Kreis bei Betätigung des Schalters öffnen. Man nennt solche Schalter „Ruhestromschalter“, weil sie in Ruhe, also ohne daß man sie drückt, einen Strom durchlassen. Die normalen Momentkontakte heißen deshalb auch „Arbeitsstromkontakte“. Im Schaltbild werden die Schalter immer so dargestellt, wie sie ohne Bedienung wirken. Ein Momentkontakt, der im Schaltbild geöffnet ist (links), ist also ein Arbeitsstromschalter. Ist er geschlossen dargestellt (rechts), so handelt es sich um einen Ruhestromschalter.



Tastenschalter sind Ein- oder Umschalter, bei denen durch Drücken einer Taste eine ganze Anzahl von Kontakten verbunden oder getrennt werden. Es sind also mehrpolige Ein- oder Umschalter (Bild 4). Meist sind mehrere Tasten nebeneinander angeordnet, und die eine springt heraus, wenn man eine andere drückt. Tastenschalter sind beispielsweise in Rundfunkgeräte eingebaut und dienen zur Wahl des Bereiches (Mittelwelle, Kurzwelle und so weiter). Man braucht sie nur dann, wenn viele Kontakte gleich-

zeitig betätigt werden sollen. Tastenschalter mit mehreren Arbeits- und Ruhestromkontakten kann man aber auch zur Umschaltung verwenden.

Es gibt noch viele andere Ausführungsformen von Schaltern (Bild 5 und 6). Stufenschalter beispielsweise sind (ein- oder mehrpolige) Schalter, die viele Stellungen, also nicht nur zwei, einnehmen können. Für uns genügen meist einpolige Einschalter und ein- bis zweipolige Umschalter.

## Der Strom überwindet Widerstände

Wenn ein elektrischer Strom in einem Kreis von Leitern fließen soll, muß er den Widerstand des Stromkreises überwinden. Ganz ähnlich muß sich der Wasserstrom durch ein Rohr zwängen. Der Strom kann also nicht ungehindert fließen, sondern wird begrenzt. Ein Teil der elektrischen Energie wandelt sich dabei in Wärme um. Aus diesem Grunde ist meist der Widerstand von Leitern unerwünscht. Drähte, die sich beim Stromdurchgang möglichst wenig erwärmen sollen, werden deshalb aus Kupfer – also einem gut leitenden Stoff – hergestellt. Der Leitungswiderstand ist klein, wenn der Draht dick und kurz ist. Auch ein Rohr bietet, wie leicht einzusehen ist, dem Wasserstrom nur geringen Widerstand, wenn es möglichst kurz und weit ist.

In vielen Fällen wünscht man sich nicht, daß so viel Strom fließt, wie die Stromquelle überhaupt liefern kann. Man schaltet deshalb Bauteile in den Stromkreis ein, die absichtlich einen hohen Widerstand

haben. Solche Teile nennt man einfach *Widerstände*. Das Wort Widerstand hat also zweierlei Bedeutung. Es bezeichnet einesteiis die Eigenschaft aller stromleitenden Stoffe; auch die besten Leiter (Silber und Kupfer) haben einen gewissen Widerstand. Andererseits bedeutet es Bauteile mit meist hohem Widerstand, also absichtlich schlecht leitende Teile, deren Widerstand bekannt ist. Den Widerstand von Kupferdrähten braucht man nur ganz selten zu berücksichtigen, weil die Widerstands-Bauteile oft den tausend- oder zehntausendfachen Widerstand haben.

Widerstands-Bauteile mit hohem Widerstand stellt man dadurch her, daß auf nichtleitende Schichten ganz dünne leitende Schichten (beispielsweise Kohle) niedergeschlagen werden. Bauteile mit geringeren Widerstandswerten bestehen aus „Widerstandsdraht“, zum Beispiel einer Metallegierung aus Chrom und Nickel. Widerstands-Bauteile mit ganz geringen Widerständen werden auch aus dünnem Kupferdraht hergestellt.

Die Einheit des elektrischen Widerstands ist das Ohm, benannt nach dem deutschen Physiker Ohm, dessen Namen wir vom „Ohmschen Gesetz“ her kennen. Als Kurzzeichen benutzt man den griechischen Buchstaben Omega ( $\Omega$ ). Wir werden meist das Tausendfache davon, das Kiloohm ( $k\Omega$ ), verwenden, weil wir mit geringen Stromstärken auskommen und deshalb durch hohe Widerstandswerte verhindern wollen, daß sich die Stromquellen schnell erschöpfen. Der Zusammenhang zwischen der Spannung, für die man als Formelzeichen den Buchstaben U benutzt, dem Widerstand (R) und der Stromstärke (I) in einem

Stromkreis ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz, das man in folgender Form schreiben kann:

$$\text{Stromstärke } I \text{ (in mA)} = \frac{\text{Spannung } U \text{ (in V)}}{\text{Widerstand } R \text{ (in k}\Omega\text{)}}$$

Danach kann man zum Beispiel die Stromstärke im voraus errechnen, die sich in einem Stromkreis einstellen wird, wenn man Spannung und Widerstand kennt. Andererseits läßt sich durch Umstellung der Gleichung auch die Spannung  $U$  aus Stromstärke und Widerstand errechnen und der Widerstand  $R$  aus Spannung und Stromstärke.

$$U = I \cdot R \quad ; \quad R = \frac{U}{I}$$

Man muß aber darauf achten, daß man die Größen immer mit den richtigen Einheiten einsetzt, für unsere Versuche also den Widerstand stets in Kiloohm und die Stromstärke in Milliampere. Das wichtige am Ohmschen Gesetz ist, daß der Widerstand der Bauteile nicht von Spannung oder Stromstärke abhängt. (Allerdings gibt es einige Arten von Bauteilen, bei denen das nicht zutrifft. Man bezeichnet sie als Bauteile mit „nichtohmscher Kennlinie“. Wir wollen sie jedoch nicht weiter behandeln.)

Die wesentlichste Kenngröße der Widerstands-Bauteile ist der Betrag des Widerstandes. Aus dem Bild 7, das zwei Widerstände mit dem gleichen Wert von  $R = 200 \Omega$  zeigt, erkennt man aber, daß die Wertangabe die Eigenschaften von Widerständen nicht vollständig erfaßt. Der Unterschied zwischen den beiden Ausführungen, der sich in der verschiedenen

Größe zeigt, besteht in der zulässigen elektrischen Leistung. Man kann die elektrische Leistung mit der Wassermenge vergleichen, die in einer Sekunde durch ein Rohr fließt. Die Menge hängt vom Wasserdruck (der Spannung) und der Stärke des Wasserstromes (der Stromstärke) ab. Gleiche Leistungen, die eine bestimmte Zeit lang wirksam sind, rufen die gleichen Ergebnisse hervor, auch wenn Stromstärke und Spannung verschieden sind. Aus diesem Grunde werden bei elektrischen Geräten auch die Leistungen angegeben. Als Einheit für die elektrische Leistung benutzt man das Watt (W), nach dem englischen Techniker Watt benannt. Glühlampen haben beispielsweise Leistungen von 15 W, 25 W, 40 W oder 60 W, Tauchsieder von 500 W oder 1000 W. Mit einem Tauchsieder, der eine elektrische Leistung von 1000 W hat, kann man eine bestimmte Wassermenge wesentlich schneller erwärmen als mit einem Tauchsieder, der nur 500 W aufnimmt. Man errechnet die Leistung (Formelzeichen P) eines Verbrauchers, indem man die Spannung U mit der Stromstärke I multipliziert:

$$P = U \cdot I$$

Setzt man die Spannung U in V und die Stromstärke I in A ein, so erhält man die Leistung in W. Mit der Stromstärke in mA ergibt sich die Leistung in mW ( $1 \text{ mW} = \frac{1}{1000} \text{ W}$ ). Man muß bei dieser Rechnung beachten, daß für U die Spannung direkt an den Klemmen des Verbrauchers eingesetzt wird. Diese Spannung ist, wenn man zusätzlich Widerstände in den Stromkreis eingeschaltet hat, manchmal viel kleiner als die Batteriespannung. Auf Trafos wird statt der

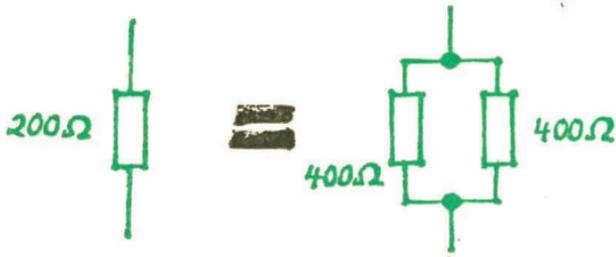
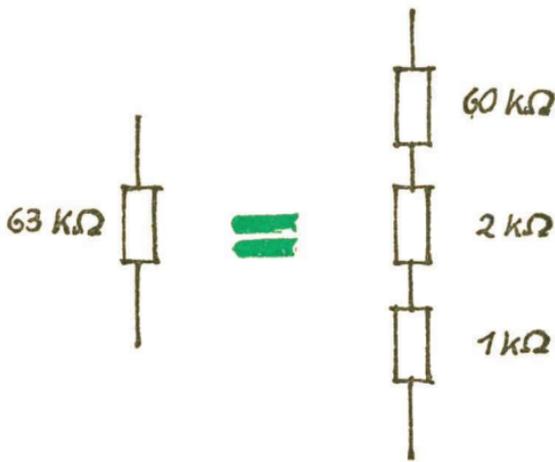


Einheit Watt (W) oft das Voltampere (VA) angegeben. Für unsere Zwecke kann man beide Einheiten gleichsetzen. Der Unterschied ist nur wichtig bei Verbrauchern, die sich bei Gleichspannung anders verhalten als bei Wechselspannung.

Jetzt kommen wir auf die unterschiedliche äußere Größe von Widerständen mit gleichen Werten zurück. Wie wir schon wissen, wandeln Widerstände einen Teil der elektrischen Energie in Wärme um. Die Wärmemenge, die in einem Widerstand entsteht, hängt von der elektrischen Leistung und der Zeit ab. Je mehr Strom durch den Widerstand fließt und je höher die Spannung ist, desto mehr erwärmt er sich

in einer bestimmten Zeit. Die Widerstände dürfen aber nicht bis zum Glühen erhitzt werden, weil sie dadurch zerstört würden. Miniaturwiderstände (im Bild 7 oben) sind für ganz geringe Dauerleistungen bestimmt, nämlich für  $\frac{1}{20}$  W oder  $\frac{1}{8}$  W. Große Drahtwiderstände kann man dagegen mit 4 W oder 8 W belasten, ohne daß sie sich zu stark erwärmen. Wir werden meist die kleinen Widerstände für  $\frac{1}{20}$  W bis  $\frac{1}{4}$  W benutzen. Ist nicht sicher, ob ein Widerstand für eine bestimmte Leistung geeignet ist, so faßt man ihn am besten beim Einschalten mit den Fingern an. Spürt man keine Wärmeentwicklung, so ist er auch brauchbar. Wird er aber schon nach einigen Sekunden warm oder gar heiß, muß er durch einen anderen mit gleichem Widerstandswert und größerer Leistung (das heißt größeren äußeren Abmessungen) ersetzt werden. Für ganz kurze Zeit darf ein Widerstand auch einmal überlastet, also mit höherer Leistung betrieben werden, weil er zur Erwärmung einige Sekunden braucht.

Man kann Widerstände ganz ähnlich wie galvanische Elemente hintereinander- und parallelschalten. Ebenso wie bei Stromquellen vergrößert man durch Hintereinanderschalten den Wert (die Spannung oder den Widerstand), während bei Parallelschaltung die Stromstärke, die aus der Batterie entnommen werden kann beziehungsweise durch die Widerstandskombination fließt, erhöht wird. Man erhält bei der Hintereinanderschaltung also den Gesamtwiderstand, indem man die Teilwiderstände zusammenzählt. Zum Beispiel kann man einen 63-k $\Omega$ -Widerstand, den man



nicht kaufen kann, aus einem  $60\text{-k}\Omega$ - und einem  $3\text{-k}\Omega$ -Widerstand oder aus Widerständen von  $60\text{ k}\Omega$ ,  $2\text{ k}\Omega$  und  $1\text{ k}\Omega$  zusammensetzen. Diese Möglichkeit benutzt man häufig; im Schaltbild wird das nicht besonders vermerkt. Die Rechnung für parallelgeschaltete Widerstände ist etwas kompliziert. Man kann sich aber leicht merken, daß zwei gleiche, parallelgeschaltete Widerstände gemeinsam den halben Widerstand haben und daher den doppelten Strom durchlassen. Wenn also zum Beispiel ein  $200\text{-}\Omega$ -Widerstand von  $\frac{1}{4}\text{ W}$  in einer Schaltung warm werden sollte und ein  $200\text{-}\Omega$ -Widerstand für  $\frac{1}{2}\text{ W}$  oder  $1\text{ W}$  gerade nicht

vorhanden ist, so ersetzt man ihn einfach durch zwei parallele  $400\text{-}\Omega$ -Widerstände zu je  $\frac{1}{4} W$ . Der Gesamtwiderstand ist  $200\ \Omega$ , und jeder einzelne Widerstand erhält nur die halbe Leistung, so daß er sich nicht zu stark erwärmt.

Wir haben bis jetzt nur von Widerständen mit festem Widerstandswert gesprochen. Außerdem gibt es veränderliche Widerstände verschiedener Art (Bild 8). Die unterschiedlichen Größen ergeben sich wieder aus den zulässigen Leistungen. Einmal einstellbare Widerstände im Inneren eines Gerätes, deren Wert sonst nicht mehr geändert werden muß, heißen Einstellregler. Im Schaltbild zeichnet man als Symbol des Widerstandes einen Querstrich mit senkrecht dazu stehendem Strich. Widerstände, die von außen betätigt werden müssen, um irgendeine Funktion des Gerätes oder der Baugruppe einzustellen, heißen Potentiometer und erhalten einen schrägen Pfeil. Kleinstpotentiometer werden an dem gerändelten Rand verstellt, größere Ausführungen haben eine Achse, auf die ein Drehknopf aufgesetzt werden kann. Beim Vergleich mit dem Wasserstrom, der uns viele Eigenschaften des elektrischen Stromkreises verständlich machen kann, ähneln die Festwiderstände dünnen Rohrstücken, die in dickere Leitungen (die gutleitenden Verbindungsdrähte mit niedrigen Widerstandswerten) eingesetzt sind. Veränderliche





Widerstände kann man mit Ventilen oder Wasserhähnen vergleichen, die je nach Bedarf mehr oder weniger geschlossen werden.

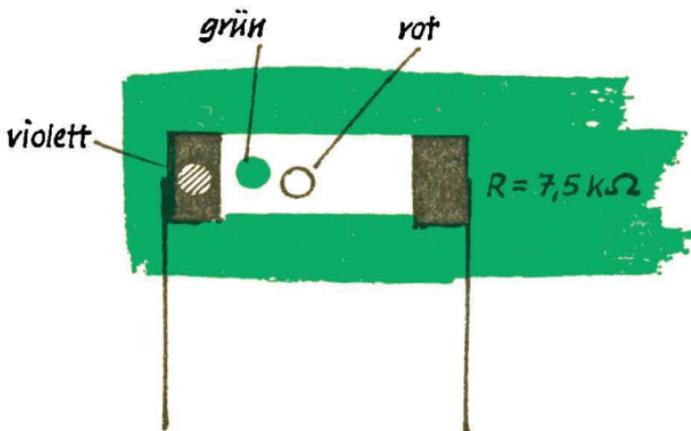
Der Widerstandswert von Festwiderständen, Einstellreglern und Potentiometern ist außen angegeben. Dabei wird oft das Zeichen  $\Omega$  weggelassen. 20 k bedeutet also einen Widerstand von 20 k $\Omega$ .

Kleinstwiderstände bezeichnet man zum Teil auch durch Farbpunkte. Der erste Punkt ist auf dem Rande angebracht, die anderen vom Rande aus zur Mitte hin. Die beiden ersten Punkte geben den Ziffernwert (1. und 2. Ziffer) an, der dritte Punkt bedeutet einen Faktor, mit dem dieser Ziffernwert zu multiplizieren ist. Manchmal ist auch noch ein vierter Punkt (oft golden oder silbern) zu erkennen. Für unsere Zwecke brauchen wir auf ihn nicht zu achten; er gibt den höchstzulässigen Unterschied zwischen dem

wirklichen Widerstandswert des Bauteiles und dem angegebenen Wert an, die sogenannte Toleranz. Die einzelnen Exemplare einer Sorte mit der gleichen Beschriftung können sich also etwas voneinander unterscheiden. Die Farbkennzeichnungen (die ersten drei Punkte) bedeuten:

	Erster und zweiter Punkt	Dritter Punkt
Schwarz	0	× 1
Braun	1	× 10
Rot	2	× 100
Orange	3	× 1000
Gelb	4	× 10000
Grün	5	× 100000
Blau	6	× 1000000
Violett	7	—
Grau	8	—
Weiß	9	—

Ein Kleinstwiderstand, der von außen nach innen einen braunen, einen roten und einen gelben Punkt zeigt, hat also  $12 \Omega \times 10000 = 120 \text{ k}\Omega$ . Ein Kleinstwiderstand mit violettem, grünem und rotem Punkt hat einen Widerstandswert von  $75 \Omega \times 100 = 7,5 \text{ k}\Omega$ .

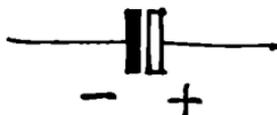


## Die Elektronensparbüchse

Wir kommen jetzt zu einem wichtigen Bauteil, zum Kondensator. *Kondensatoren* wirken für Gleichstrom ähnlich wie Akkumulatoren. Man kann sie an einer fremden Stromquelle aufladen und später wieder entladen. Der Unterschied zwischen Kondensatoren und Akkus besteht darin, daß in Kondensatoren nur kleine Elektrizitätsmengen für kurze Zeit (das heißt für Sekunden bis Minuten) gespeichert werden können. Für unsere Zwecke eignen sich die Elektrolytkondensatoren am besten. Sie haben ihren Namen von einer stromleitenden Flüssigkeit, mit der eine Papierschicht getränkt ist; diese Schicht bildet den einen Pol, eine Aluminiumfolie den anderen. Zwischen diesen beiden Elektroden befindet sich eine hauchdünne isolierende Schicht. Das Papier und die Folie sind zusammengewickelt und in einem Leichtmetallgehäuse untergebracht. Elektrolytkondensatoren haben ein hohes Fassungsvermögen für Elektrizitätsmengen. Dieses Fassungsvermögen, die Kapazität, wird in Farad gemessen (nach dem englischen Physiker Faraday). Das Farad ist eine sehr große Einheit. Wir verwenden deshalb den millionsten Teil, das Mikrofarad ( $\mu\text{F}$ ). Das Kurzzeichen ist aus dem kleinen griechischen Buchstaben my ( $\mu$ ) und dem Symbol für Farad (F) zusammengesetzt.

Elektrolytkondensatoren müssen stets mit der richtigen Polung in Schaltungen eingefügt werden. Minus kommt immer an Minus, Plus an Plus; eine falsche Polung kann den Kondensator unbrauchbar machen. Am Gehäuse liegt der Minuspol, der andere

Anschluß ist der Pluspol. Die Polung ist außerdem auf dem Gehäuse aufgedruckt. Die Abbildung zeigt das Schaltzeichen von Elektrolytkondensatoren. In Bild 9 sind einige Elektrolytkondensatoren dargestellt.

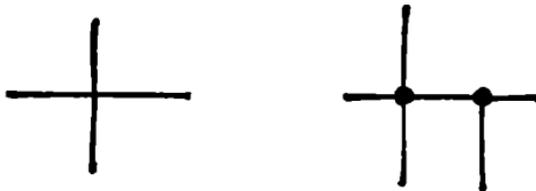


Außer durch die Kapazität wird die Eigenschaft von Kondensatoren durch die zulässige Spannung bezeichnet. Sie ist neben der Kapazität auf dem Gehäuse angegeben, zum Beispiel 12/15 V (das bedeutet, daß der Kondensator dauernd an 12 V Gleichspannung, kurze Zeit auch an 15 V Gleichspannung gelegt werden darf), 30/35 V (also dauernd für 30 V, kurzzeitig auch für 35 V) und so weiter. Eine höhere Spannung, als angegeben ist, darf dem Kondensator nicht zugeführt werden. Man sollte andererseits nur im Notfall Kondensatoren für 30 V benutzen, wenn die Batteriespannung 9 V beträgt. Je höher nämlich die zulässige Spannung ist, desto größer ist der Kondensator bei der gleichen Kapazität. Vor allem für große Kapazitäten (von 100  $\mu\text{F}$  an) ist der Unterschied sehr deutlich. Ein 500- $\mu\text{F}$ -Kondensator für 30 V hat ungefähr das doppelte Volumen eines 500- $\mu\text{F}$ -Kondensators für 12 V. Unsere Baugruppen werden deshalb mit Kondensatoren unnötig hoher Spannung verhältnismäßig groß und schwer. Besonders muß man darauf achten, daß man nicht etwa Kondensatoren für Netzspannungen (zum Beispiel mit dem Aufdruck 220 V, 380 V oder 500 V) kauft. Diese Kon-



densatorenn sind wegen der hohen Spannung, die sie aushalten sollen, sehr groß und unhandlich.

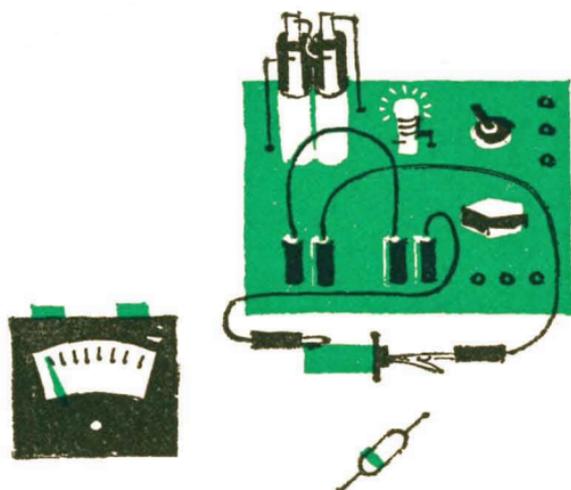
Wir werden von jetzt an häufig mit Schaltbildern zu tun haben. Ein Schaltbild ist eine vereinfachte Darstellung eines elektrischen Stromkreises. Das Schaltbild zeigt also nicht jede Einzelheit (beispielsweise nicht, welche Teile direkt nebeneinanderliegen), sondern nur die elektrischen Verbindungen zwischen den Bauteilen. Schaltbilder werden immer so gezeichnet, daß die Verbindungslinien senkrecht oder waagrecht laufen. Alle Leitungen sollen sich demnach rechtwinklig kreuzen. Die Kreuzung von Leitungen ohne elektrische Verbindung und die leitende elektrische Verbindung unterscheiden sich dadurch, daß man an Stellen, die leitend verbunden sind, einen dicken Punkt zeichnet.



Da bei späteren Experimenten wiederholt auf die folgenden Grundversuche verwiesen wird, ist es ratsam, von nun an jedes Schaltbild auf ein einzelnes Blatt zu zeichnen und in einem Ordner abzulegen. Wenn dabei jedes Blatt mit der Nummer des Versuches oder mit der Seitenzahl des Buches beschriftet wird, kann das für den Vergleich notwendige Schaltbild schnell gefunden werden.

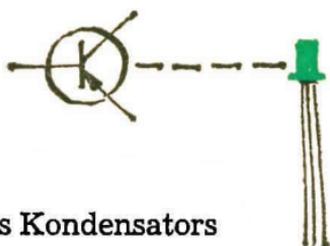


## Wir experimentieren mit den Bauteilen



### Erster Versuch

#### Ladung und Entladung eines Kondensators (Schätzung)

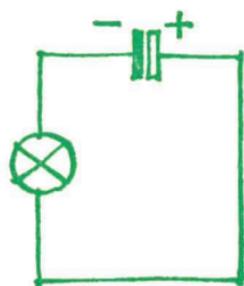
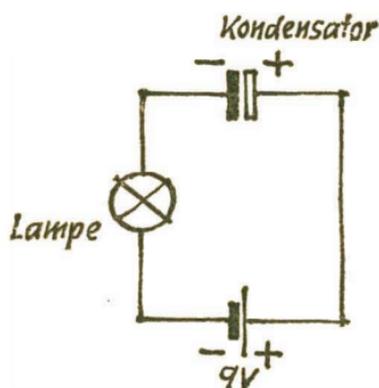


In unserem ersten Versuch wollen wir die Ladung und Entladung eines Elektrolytkondensators verfolgen. Da wir vorläufig noch nicht von den Meßgeräten gesprochen haben, benutzen wir als Stromanzeiger eine Glühlampe. Vorteilhaft sind vor allem die Zwerglampen 3,8 V 0,07 A, die man mit einem nor-

malen, kugelförmigen Glaskolben und auch als „Lin-  
senlampen“ für kleine Akku-Taschenleuchten erhält.  
Diese Glühlampen brauchen wir für verschiedene  
Zwecke immer wieder. Notfalls kann man auch an-  
dere Lampen mit geringen Stromstärken benutzen,  
zum Beispiel Lampen 6 V 0,05 A (Fahrrad-Rück-  
strahlerlampen). Andere Fahrradlampen oder Ska-  
lenlampen (6 V 2,1 W oder 3,5 V 0,2 A) sind für diesen  
Versuch nicht brauchbar.

Als Kondensator verwenden wir eine Ausführung  
für mindestens 12 V mit einer Kapazität von 200  $\mu\text{F}$ ,  
besser noch 500  $\mu\text{F}$  oder 1000  $\mu\text{F}$ .

Der Versuch wird am Experimentierbrett durchge-  
führt. An den Pluspol der Batterie schließen wir den  
Pluspol des Kondensators an. Der Minuspol (das Ge-  
häuse) wird über die Glühlampe mit dem Minuspol  
der Batterie verbunden. Wenn der Stromkreis ge-  
schlossen wird, stellen wir ein kurzes Aufleuchten  
der Lampe fest – der Kondensator hat sich aufgeladen.  
Trennen wir nun den Kondensator von der  
Stromquelle und schließen die Glühlampe an den





Kondensator an, so blitzt die Lampe wieder auf. Die Ladung, die im Kondensator gespeichert war, hat sich in Licht und Wärme umgewandelt.

Wenn wir den Kondensator aufladen und vor der Entladung einige Minuten liegenlassen, so stellen wir durch das schwächere Aufleuchten eine Verminderung der Ladung fest. Ein Teil der Elektrizitätsmenge hat sich nämlich im Inneren des Kondensators ausgeglichen. Lassen wir ihn 5 bis 30 Minuten in

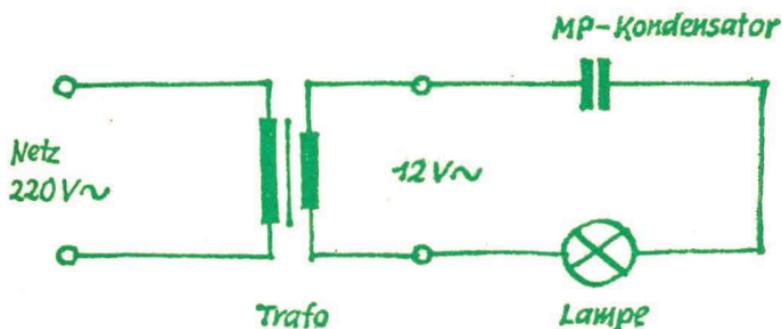
geladenem Zustande liegen, so bemerken wir beim Entladen keine Lichterscheinung mehr. Der Kondensator hat sich von selbst entladen, das heißt, die Ladung hat sich im Inneren in Wärme umgewandelt. Wie man sieht, eignet sich der Kondensator nicht zur Speicherung von elektrischen Ladungen für längere Zeit.

Ein Elektrolytkondensator darf direkt (also ohne zwischengeschalteten Widerstand) an Trockenbatterien oder Akkus angeschlossen werden, aber niemals durch Kurzschluß — das heißt durch Verbindung der beiden Pole mit einem dicken Draht — entladen werden. Versucht man das doch einmal, so sieht man an der Verbindungsstelle einen kleinen Funken. Er zeigt uns, daß beim Entladen des Kondensators ohne Widerstand oder Glühlampe ein ziemlich starker Strom fließen kann. Entlädt man den Kondensator mehrmals in dieser Weise, so zerstört der Stromstoß die isolierende Schicht zwischen beiden Polen im Inneren, und der Kondensator ist unbrauchbar. Man entlädt deshalb einen Kondensator durch Überbrücken der beiden Anschlüsse mit einem Widerstand von  $100\ \Omega$  bis  $1\ \text{k}\Omega$ . Die Entladung großer Elektrolytkondensatoren (mit Kapazitäten von  $500\ \mu\text{F}$  und mehr) dauert eine bis zwei Minuten.

Wir sprachen bisher nur über Kondensatoren an Gleichspannung. Wie sich Elektrolytkondensatoren an Wechselspannung verhalten, kann man nicht praktisch nachprüfen, weil die Elektrolytkondensatoren eine bestimmte Polung erfordern und die Wechselspannung ständig die Polarität ändert. Es gibt aber andere Kondensatorarten, die sich auch für

Wechselspannung eignen. Das sind beispielsweise die „Metallpapierkondensatoren“ (MP-Kondensatoren), verhältnismäßig große kastenförmige Bauteile, die meist für höhere Spannungen (250 V oder 380 V) bestimmt sind. Die beiden Beläge werden durch Metallfolien gebildet, die durch Papierschichten getrennt sind. Plus- und Minuspol sind nicht unterschieden. Man kann MP-Kondensatoren also wie andere ungepolte Bauteile (Glühlampen, Widerstände) in beliebiger Weise in Stromkreise einschalten. Das Schaltbild für ungepolte Kondensatoren zeigt zwei gleichartige Platten.

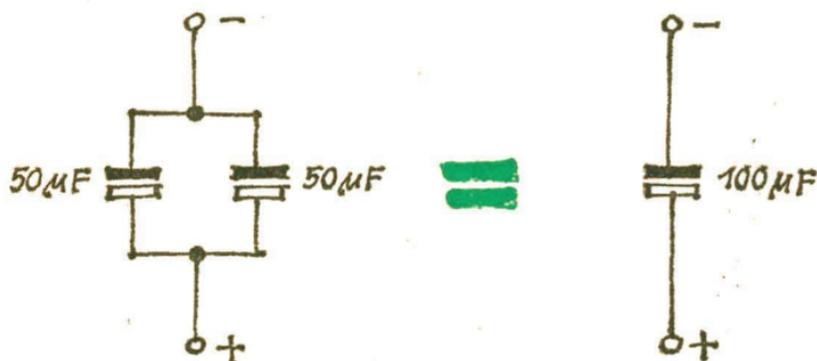
Mit einem solchen Kondensator, der mindestens eine Kapazität von  $10 \mu\text{F}$  haben soll, können wir den vorigen Versuch mit dem gleichen Ergebnis wiederholen: Beim Aufladen blitzt die Lampe wieder auf. Bilden wir jetzt aber einen Stromkreis aus der Zwerglampe 3,8 V 0,07 A (oder 6 V 0,05 A), dem Kondensator und einem Trafo mit einer Spannung von mindestens 12 V, so sehen wir die Lampe dauernd schwach leuchten. Der Kondensator wirkt also wie ein Widerstand; anscheinend läßt er den Wechselstrom durch. Tat-



sächlich sind die beiden Schichten des Kondensators, die sich im Inneren gegenüberstehen, sehr gut voneinander isoliert, so daß kaum ein Strom fließen kann. Den Stromfluß, den wir bei Wechselspannung erkennen, muß man anders erklären. Der Kondensator lädt und entlädt sich nämlich schnell hintereinander, und da die Glühlampe solche Lade- und Entladeströme wie andere Ströme anzeigt, scheint es so, als ließe der Kondensator den Strom durch.

Ungepolte Kondensatoren kann man dazu verwenden, um Gleich- und Wechselspannungen voneinander zu trennen; für Gleichspannung sperrt der Kondensator vollständig, und für Wechselspannung wirkt er wie ein verhältnismäßig niedriger Widerstand.

Kondensatoren schaltet man anders zusammen als Widerstände. Man muß sie parallel anordnen, damit sich die Kapazitäten addieren. Man kann beispielsweise aus zwei  $50\text{-}\mu\text{F}$ -Kondensatoren einen  $100\text{-}\mu\text{F}$ -Kondensator gewinnen.

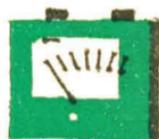


## Wir wollen es genau wissen

Um die Kondensatoren und andere Bauteile besser untersuchen zu können, brauchen wir jetzt erst einmal ein Meßgerät. Experimentieren bedeutet auch immer messen! Mit einem Stromanzeiger wie der Glühlampe im ersten Versuch kann man nicht viel anfangen. Oft wollen wir viel geringere Stromstärken nachweisen, als eine Glühlampe braucht, und meist genügt es nicht, zu wissen, daß überhaupt ein Strom fließt, sondern wir möchten erfahren, wie groß die Stromstärke ist.

In den Rundfunkfachgeschäften und Bastlerläden gibt es verschiedene Arten von Vielfachmeßgeräten zu kaufen, von Geräten, die man auf verschiedene Strom- und Spannungsbereiche umschalten oder umstecken kann (Bild 10). Natürlich ist es sehr vorteilhaft, wenn man ein solches Gerät hat. (Man kann es sich zu einer besonderen Gelegenheit schenken lassen.) Im allgemeinen sind diese Vielfachmesser aber für den einzelnen viel zu teuer. Wir brauchen auch nur ganz wenige von den vorgesehenen Meßbereichen. Deshalb wollen wir einen anderen Weg wählen, um zu einem brauchbaren Meßgerät zu kommen.

Zunächst besorgt man sich in einem Bastlergeschäft ein kleines Drehspulgerät, entweder einen Strommesser mit einem Endausschlag (das ist die Skalenangabe beim größten Ausschlag des Zeigers) von 0,2 mA bis ungefähr 2 mA oder einen Spannungsmesser mit dem Endausschlag 0,1 V bis 1 V. Solche Geräte erhält man in verschiedenen Ausführungen und zu verhältnismäßig niedrigen Preisen. Die Po-



lung ist meist auf der Rückseite angegeben; das Gerät soll den Nullpunkt links (nicht in der Mitte) haben. Je empfindlicher das Gerät ist, desto besser ist es. Strommesser zeigen auf der Skale häufig das Zeichen  $\mu\text{A}$  (Bild 11).  $1 \mu\text{A}$  ist der tausendste Teil eines Milliamperes, demnach sind  $100 \mu\text{A} = 0,1 \text{ mA}$ ,  $600 \mu\text{A} = 0,6 \text{ mA}$ . Am günstigsten ist ein Strommesser mit einem so niedrigen Bereich.

Wir haben also zunächst einen Strom- oder Spannungsmesser für sehr niedrige Werte. Große Unterschiede bestehen zwischen Strom- und Spannungsmessern dieser Bereiche nicht. Das Gerät können wir in ein Vielfachmeßgerät für Stromstärke- und Spannungsmessungen verwandeln, indem wir bestimmte Vor- und Nebenwiderstände hinzuschalten. Die Größe dieser Widerstände kann man zwar errechnen, wir wollen die Widerstandswerte aber durch Versuche ermitteln. Dazu besorgen wir uns eine Anzahl von  $\frac{1}{4}$ -W-Widerständen und einige veränderliche Kleinstwiderstände (Einstellregler). Man kauft am besten gleich eine größere Anzahl der sehr billigen Festwiderstände in Abstufungen von 2:1, beispielsweise

weise	100 $\Omega$	200 $\Omega$	500 $\Omega$
	1 k $\Omega$	2 k $\Omega$	5 k $\Omega$
	10 k $\Omega$	20 k $\Omega$	50 k $\Omega$
	100 k $\Omega$	200 k $\Omega$	500 k $\Omega$

Es brauchen nicht unbedingt diese glatten Werte zu sein. Widerstände von 120  $\Omega$ , 250  $\Omega$  und so weiter sind ebensogut brauchbar. Festwiderstände verwendet man in jeder Schaltung; was wir nicht gleich brauchen, können wir später sicher für einen anderen Zweck benutzen.

Die Einstellregler können Endwerte von  $100 \Omega$ ,  $500 \Omega$ ,  $2 \text{ k}\Omega$ ,  $5 \text{ k}\Omega$ ,  $10 \text{ k}\Omega$  und  $50 \text{ k}\Omega$  haben. Einen Einstellregler mit der Beschriftung  $500 \Omega$  kann man auf Werte zwischen etwa  $100 \Omega$  und  $500 \Omega$  einstellen. Wichtig ist, von den drei Anschlüssen die beiden richtigen zu benutzen. Wir verwenden immer den Anschluß, der zum bewegten Schleifer führt, und einen der beiden anderen. Zwischen den beiden Anschlüssen, die mit den Enden der leitenden Schicht verbunden sind, liegt nämlich bei jeder Stellung des Schleifers der volle Widerstand, zum Beispiel  $500 \Omega$ . Man könnte bei dieser Anschlußart also den Widerstand nicht einstellen. Bei größeren Einstellreglern führt der mittlere Lötanschluß meist zum Schleifer.

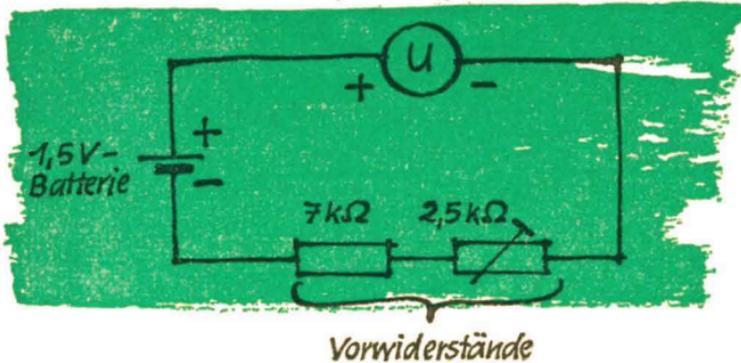
Zuerst wollen wir unser Gerät als Spannungsmesser einrichten. Am einfachsten ist es natürlich, wenn wir uns einen Spannungsmesser leihen können und die Anzeige unseres Gerätes mit der Anzeige dieses Instrumentes vergleichen. Andernfalls müssen wir Möglichkeiten finden, um der Schaltung bekannte Spannungen zuzuführen. Es soll ja erreicht werden, daß das Meßgerät wirklich  $5 \text{ V}$  anzeigt, wenn eine Spannung von  $5 \text{ V}$  angeschlossen wird, und nicht  $2 \text{ V}$  oder  $10 \text{ V}$ .

Bei einem Spannungsmesser muß man verschieden große Widerstände vorschalten, um höhere Spannungen messen zu können. Damit verhindert man, daß durch das Meßgerät ein zu großer Strom fließt. Würde man ein Gerät mit dem Endausschlag  $200 \mu\text{A}$  oder  $600 \mu\text{A}$  direkt an eine  $4,5\text{-V}$ -Batterie anschließen, so würde es beschädigt werden, weil viel stärkere Ströme als  $200 \mu\text{A}$  oder  $600 \mu\text{A}$  durchfließen.

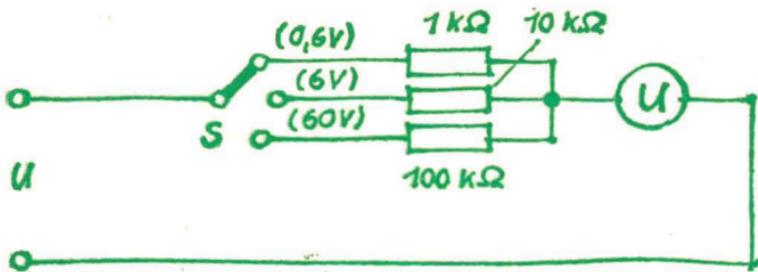
Vorteilhaft ist, die „Meßbereichserweiterung“ durch Vorwiderstände im Verhältnis 10:1 vorzunehmen. Das bedeutet, daß wir ein Meßgerät mit dem Endausschlag von 0,5 mA oder 0,5 V so einrichten, daß der neue Endausschlag nun 5 V oder 50 V ist. Man braucht die angezeigten Zahlenwerte dann nur mit 10 oder 100 zu multiplizieren. Entsprechend werden wir ein Meßgerät mit 200  $\mu$ A oder 0,2 V Endausschlag so einrichten, daß neue Endausschläge von 2 V und 20 V abzulesen sind und so weiter.

Wir nehmen eine frische Monozelle und zwei Flachbatterien. Ohne große Fehler zu machen, kann man annehmen, daß die Monozelle 1,5 V, die beiden Flachbatterien zusammen 9,0 V Spannung haben. Zuerst prüft man, ob der Zeiger des Meßgerätes auf Null steht; ist das nicht der Fall, so kann man ihn mit einem Schraubenzieher an der kleinen Schraube in der Mitte des Meßgerätes nachstellen. Nun schließt man die Monozelle probeweise über einen Widerstand von etwa 10 k $\Omega$  an das Meßgerät an. Wahrscheinlich zeigt das Gerät einen kleinen Ausschlag. Schlägt der Zeiger „falsch herum“, also nach links aus, so müssen wir die Pole am Meßgerät vertauschen. Man kann den 10-k $\Omega$ -Widerstand nun durch Widerstände mit größeren oder kleineren Werten ersetzen, bis der Ausschlag den Skalenwert 1,5 erreicht. Bequemer ist es allerdings, wenn man den genauen Widerstandswert dadurch wählt, daß man einen Festwiderstand und einen Einstellregler mit verhältnismäßig geringem Widerstand hintereinanderschaltet. Hat man zum Beispiel festgestellt, daß ein Widerstand von ungefähr 8,5 k $\Omega$  der richtige sein

Meßgerät  
(Spannungsmesser)



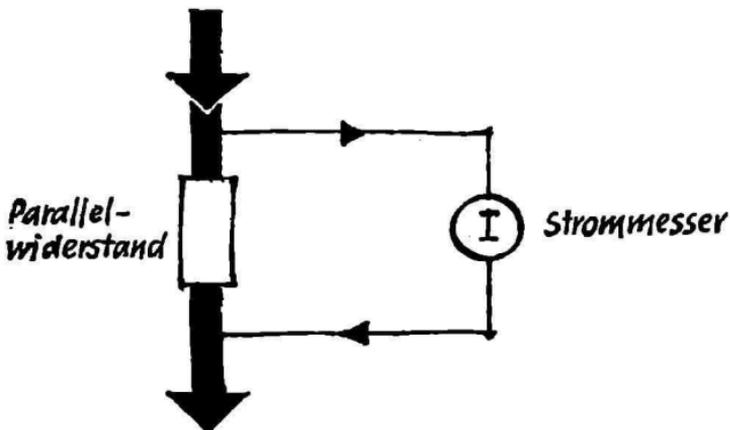
würde, so schaltet man einen Festwiderstand von  $7\text{ k}\Omega$  oder  $8\text{ k}\Omega$  und einen Einstellregler von  $2,5\text{ k}\Omega$  hintereinander und stellt am Regler den Widerstand so ein, daß der Zeiger genau auf 1,5 steht. Wir haben dadurch den Vorwiderstand für den Spannungsbereich  $0\text{ V}$  bis  $5\text{ V}$  oder (je nach der Beschriftung der Skale)  $0\text{ V}$  bis  $2\text{ V}$ ,  $0\text{ V}$  bis  $1,5\text{ V}$  und so weiter ermittelt. Den Meßbereich  $0\text{ V}$  bis  $10\text{ V}$ ,  $0\text{ V}$  bis  $20\text{ V}$  oder ähnlich gleicht man mit den beiden  $4,5\text{-V}$ -Batterien ab, die hintereinandergeschaltet  $9\text{ V}$  Spannung ergeben. Der Vorwiderstand muß jetzt ungefähr den zehnfachen Wert haben. Den Vorwiderstand für den Meßbereich  $0\text{ V}$  bis  $50\text{ V}$  oder  $0\text{ V}$  bis  $100\text{ V}$  kann man schließlich dadurch bestimmen, daß man als Spannungsquelle vier hintereinandergeschaltete Flachbatterien ( $18\text{ V}$ ) oder eine „Hörbatterie“ ( $22,5\text{ V}$ ) benutzt. Dieser Vorwiderstand hat ungefähr den hundertfachen Wert des Widerstands für den Bereich  $0\text{ V}$  bis  $0,5\text{ V}$  oder  $0\text{ V}$  bis  $1\text{ V}$ . Es genügt, für jeden Meßbereich einen oder zwei Werte, die bekannt sind, aus-



zumessen. Hat man den richtigen Vorwiderstand herausgesucht beziehungsweise eingestellt, so stimmen die Zwischenwerte auf der Skale auch.

Die Abbildung zeigt die Schaltung des Meßgerätes als Spannungsmesser mit drei Bereichen; die angegebenen Widerstandswerte sind natürlich für die unterschiedlichen Meßgeräte auch verschieden. Sie sollen nur einen Anhalt geben. Durch den Stufenschalter S werden die verschiedenen Bereiche gewählt.

Um das Meßgerät auch als Strommesser benutzen zu können, schaltet man zu den Klemmen des Gerätes Widerstände parallel. Der größte Teil des Stromes fließt dann durch die Parallelwiderstände am Meßgerät vorbei; dadurch wird wieder verhindert, daß das Gerät beschädigt wird. Diese Widerstände haben im Gegensatz zu den Vorwiderständen ganz niedrige



Werte. Je größere Stromstärken gemessen werden sollen, desto niedriger muß der Wert des Parallelwiderstandes sein.

Um den Strommesser abzugleichen, verwenden wir die beiden Flachbatterien ( $U = 9 \text{ V}$ ). In einem Stromkreis ist nach dem Ohmschen Gesetz die

$$\text{Stromstärke } I \text{ (in mA)} = \frac{\text{Spannung } U \text{ (in V)}}{\text{Widerstand } R \text{ (in k}\Omega\text{)}}$$

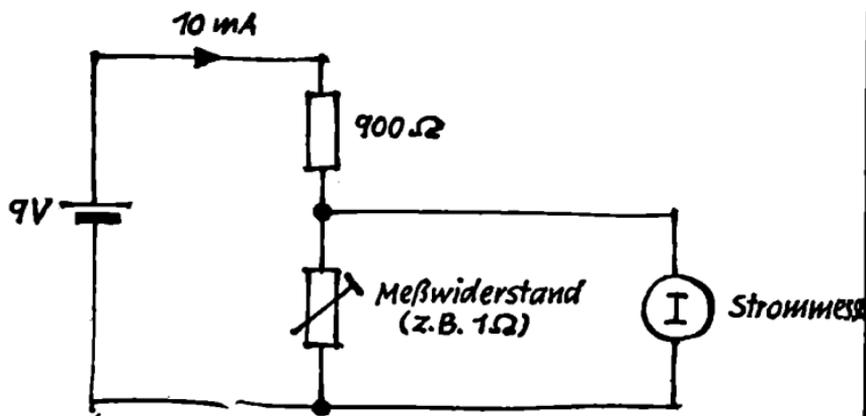
Bei der Spannung  $U = 9 \text{ V}$  fließen also für

$$R = 9 \text{ k}\Omega \quad I = 1 \text{ mA}$$

$$R = 0,9 \text{ k}\Omega \quad I = 10 \text{ mA}$$

$$R = 0,09 \text{ k}\Omega \quad I = 100 \text{ mA} \text{ und so weiter.}$$

Auf diese Art können wir rechnerisch bestimmen, wie groß die Stromstärke in einem Stromkreis mit bekanntem Widerstand ist. Das Ergebnis verwenden wir, um einen Strom bekannter Stärke fließen zu lassen. Schalten wir in diesen Stromkreis noch einen Widerstand mit ganz niedrigem Widerstandswert ein, so ändern wir die Stromstärke kaum. Parallel zu diesem zweiten Widerstand, dem Meßwiderstand, schalten wir das Meßgerät. Der größte Teil des Stromes fließt am Meßgerät vorbei. Welcher Bruchteil des Stromes durch das Gerät fließt, hängt davon ab, wie groß der Meßwiderstand ist. Verändern wir ihn, so ändert sich auch (bei gleicher Stromstärke) die Anzeige des Gerätes. Man kann diesen Parallelwiderstand nun so einstellen, daß das Meßgerät ohne besondere Umrechnungen die Stromstärke anzeigt. Für einen Endausschlag von  $0,6 \text{ mA}$  wollen wir beispielsweise erreichen, daß an der gleichen Stelle der Skale  $6 \text{ mA}$  und mit anderen Parallelwiderständen  $60 \text{ mA}$ ,  $600 \text{ mA}$  und so weiter angezeigt werden.



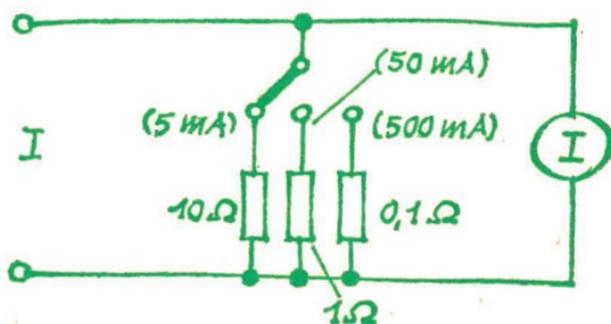
Die Parallelwiderstände haben Widerstandswerte zwischen  $10 \Omega$  und  $0,1 \Omega$ . Widerstände mit so niedrigen Werten ergeben sich durch Einstellen eines veränderlichen Widerstandes von  $50 \Omega$  bis  $10 \Omega$  Gesamt-widerstand, durch Verwendung eines Stückes Widerstandsdraht, den man vorsichtig von einem Drahtwiderstand entfernt und auf Pappe gewickelt hat, oder durch Benutzung dünner, auf isolierende Unterlage gewickelter Kupferdrähte. Solch ein Parallelwiderstand muß natürlich die Stromstärke auch aushalten und darf sich nicht übermäßig erwärmen. Miniaturwiderstände sind dafür nicht geeignet.

Zum Abgleich des Meßbereiches  $0 \text{ A}$  bis  $5 \text{ A}$  oder  $0 \text{ A}$  bis  $10 \text{ A}$  schaltet man mehrere Flachbatterien parallel, damit auch ein so großer Strom wirklich fließt. Zum Einstellen der bekannten Stromstärke benutzt man käufliche Drahtwiderstände mit Werten zwischen  $0,2 \Omega$  und  $1 \Omega$ . Der Parallelwiderstand ist in diesem Falle einfach ein Stück starker Kupferdraht,

dessen Länge man durch einen Versuch ermittelt. Die Werte der Parallelwiderstände verhalten sich wieder wie  $100 : 10 : 1$ . Zum Beispiel verwendet man für den Meßbereich  $0 \text{ mA}$  bis  $5 \text{ mA}$  einen Parallelwiderstand von  $10 \Omega$ , für  $0 \text{ mA}$  bis  $50 \text{ mA}$  beträgt er  $1 \Omega$ , für  $0 \text{ mA}$  bis  $500 \text{ mA}$  hat er den Wert  $0,1 \Omega$  und so weiter.

Die Abbildung zeigt das Meßgerät als Strommesser mit verschiedenen Bereichen. Die angegebenen Widerstandswerte sind ebenfalls nur ein Anhalt.

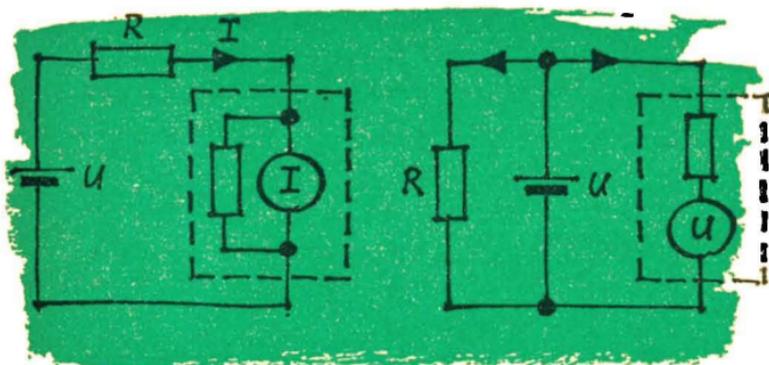
Den Strombereich  $0 \text{ A}$  bis  $5 \text{ A}$  oder  $0 \text{ A}$  bis  $10 \text{ A}$  brauchen wir, um den Zustand von Batterien festzustellen. Die „Alterung“ einer Batterie durch starken Stromverbrauch oder zu lange Lagerung zeigt sich nicht darin, daß die Batteriespannung abnimmt. Wir können fast bis zum Ende die volle Spannung messen. Vielmehr steigt der sogenannte Innenwiderstand der Batterien an. Eine Batterie hat auch einen inneren Widerstand; man merkt das nur im allgemeinen nicht, weil der Widerstand im äußeren Kreis viel größer ist. Frische Monozellen oder Flachbatterien haben Innenwiderstände von ungefähr  $0,3 \Omega$  bis  $1 \Omega$ , so daß wir bei Kurzschluß Ströme von  $3 \text{ A}$  bis  $5 \text{ A}$



erhalten. Es überrascht immer wieder, daß eine gewöhnliche Batterie Stromstärken bis zu 5 A abgeben kann. Selbstverständlich läßt man einen solchen Strom nur ganz kurz fließen, weil sich sonst die Batterie in wenigen Minuten verbraucht. Bei abgenutzten Batterien steigt der Innenwiderstand auf 10  $\Omega$  bis 100  $\Omega$  an. Dementsprechend mißt man bei Kurzschluß nur Ströme von 0,1 A bis 0,5 A. Solche Messungen helfen uns also, frische und verbrauchte Batterien auseinanderzuhalten. Wie wir schon besprochen, soll man ja nicht neue und abgenutzte Batterien zusammenschalten.

Wir haben jetzt durch Versuche die Widerstände bestimmt, die wir als Vor- oder Parallelwiderstände zum Meßgerät schalten müssen, um damit unterschiedliche Stromstärken und Spannungen messen zu können. Am besten ist es, wenn wir das Meßgerät mit den Widerständen in ein kleines Gehäuse einbauen und die verschiedenen Bereiche durch Kipp-, Stufen- oder Drucktastenschalter wählen.

Strommesser werden immer in den Hauptstromkreis direkt eingefügt. Sie sind mit dem Stromverbraucher hintereinandergeschaltet. Der Innenwiderstand eines Strommessers ist verhältnismäßig niedrig. Spannungsmesser werden parallel zur Batterie oder zum Widerstand, dessen Spannungsdifferenz an den Anschlüssen festgestellt werden soll, geschaltet. Spannungsmesser haben hohe Innenwiderstände. Bei Bereichsänderungen des Strommessers soll man vorher die Klemmen kurzschließen. Im Augenblick, wo sich der Umschalter zwischen den beiden Kontakten befindet, kann nämlich der ganze Strom durch das

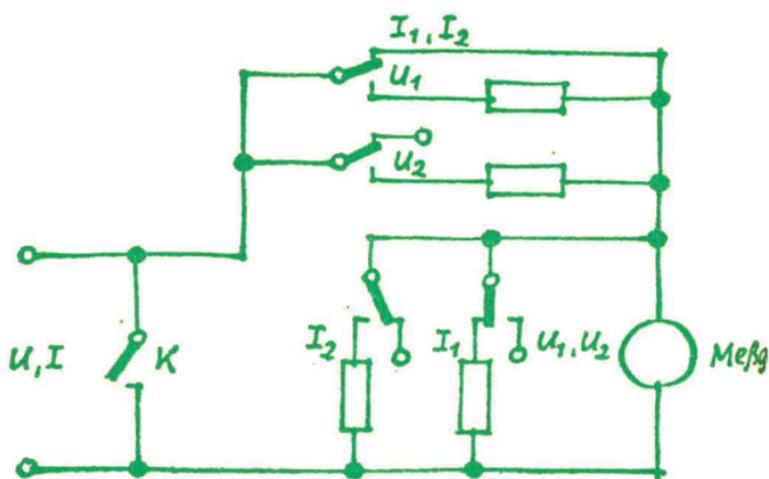
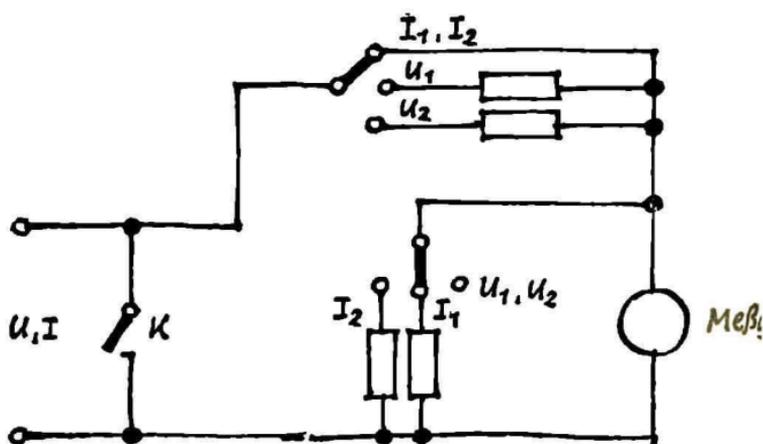


Meßwerk fließen, was zur Beschädigung des Gerätes führen kann.

Wir haben auf diese Weise ein sehr preiswertes Vielfachmeßgerät erhalten. Es ist für alle Strom- und Spannungsmessungen geeignet, die bei den Versuchen mit Gleichstrom vorkommen. Die Ungenauigkeit der Anzeige ist zwar größer als bei den käuflichen Vielfachmessern, das ist aber für unsere Zwecke ohne Bedeutung.

Bei der Messung wählt man zur Vorsicht immer erst einen unempfindlichen Bereich (zum Beispiel 10 V oder 0,1 A) und schaltet dann – wenn die Anzeige zu gering ist – auf die empfindlichen Bereiche. Die Abbildung zeigt Schaltungsmöglichkeiten mit Stufenschaltern (oben) und mit einpoligen Umschaltern (unten). K dient zum Kurzschließen beim Umschalten von einem Strommeßbereich auf den anderen. Die beiden Stufenschalter oder Umschalter müssen immer gleichzeitig die richtige Stellung einnehmen. Mit Tastenschaltern kann man die Gefahr vermei-

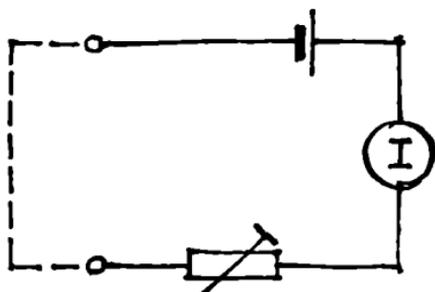
den, daß einer der Schalter in einer falschen Lage bleibt, doch sind die Tastenschalter meist verhältnismäßig groß. Es ist deshalb günstiger, mit den kleineren Stufen- oder Kippschaltern zu arbeiten.



$I_1$  und  $I_2$  bedeuten Strommeßbereiche,  $U_1$  und  $U_2$  Spannungsmeßbereiche. Gezeichnet ist die Stellung  $I_1$ . Man gibt im Schaltbild die Vor- und Parallelwiderstände nicht besonders an. Die Art des Meßgerätes wird oft durch den Buchstaben I (Strommesser) oder U (Spannungsmesser) bezeichnet. Man kann auch den Meßbereichsendwert angeben, woraus sich die Art des Meßgerätes ergibt. Ist in einem Schaltbild keine besondere Angabe über das Meßgerät enthalten, so kann man aus der Schaltung erkennen, ob es ein Strom- oder Spannungsmesser ist, weil Strommesser immer mit dem Stromverbraucher (Widerstand, Glühlampe) hintereinander-, Spannungsmesser dazu parallelgeschaltet sind.

Schaltet man irrtümlich einen Spannungsmesser wie einen Strommesser ein, so fließt fast kein Strom, und wir lesen nur einen geringen Wert ab. Dagegen führt ein Strommesser, der wie ein Spannungsmesser parallel zum Verbraucher geschaltet wird, zum Kurzschluß, weil sein innerer Widerstand sehr niedrig ist und der Strom nun nicht mehr durch den Widerstand oder die Lampe, sondern durch den Meßwiderstand des Strommessers fließt.

Man kann sich in das Gerät zusätzlich eine Prüfeinrichtung für kurzgeschlossene Leitungen einbauen. Oft ist man nicht sicher, ob eine Verbindung zuverlässig leitet oder einen „Wackelkontakt“ hat, also manchmal leitet und manchmal nicht. Man prüft die Verbindung dann mit einem sogenannten Durchgangsprüfer. Ein solcher Durchgangsprüfer besteht aus einem Anzeigegerät, einer im Meßgerät selbst eingebauten Stromquelle und einem einstellbaren



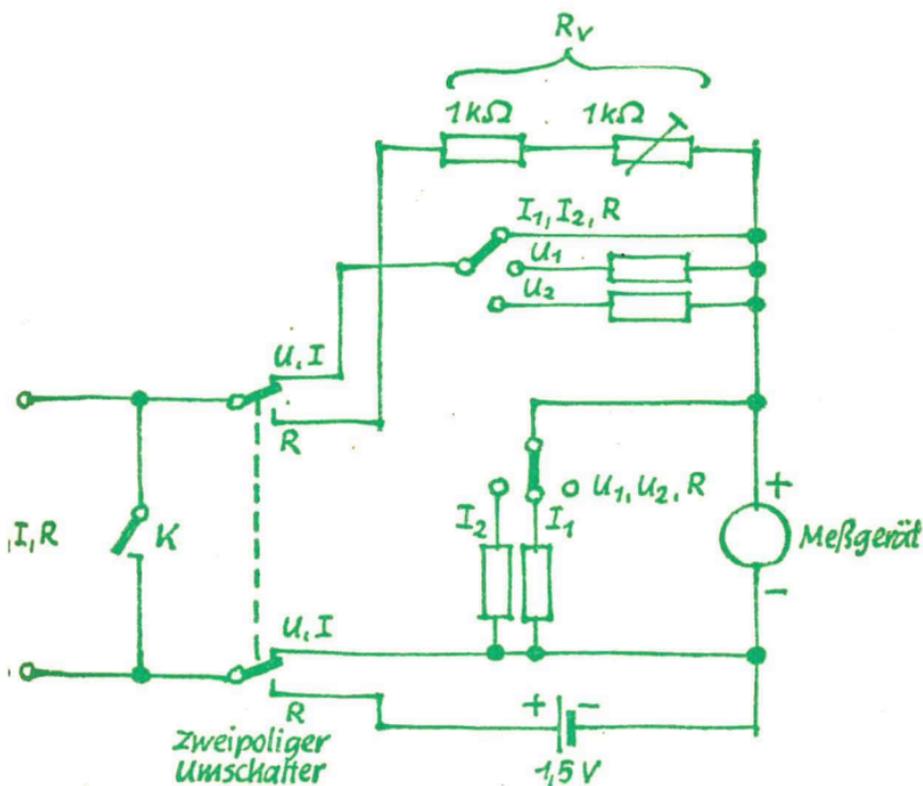
Widerstand. Den Widerstand stellt man so ein, daß das Gerät bei kurzgeschlossenen Klemmen irgendeinen runden Wert anzeigt. Man kontrolliert nun, ob sich dieser gleiche Wert auch dann einstellt, wenn man die fragliche Verbindung mit zwei Leitungen berührt. Zeigt sich überhaupt kein Ausschlag, so ist die Verbindung unterbrochen. Ein häufiger Grund zum Versagen von Schaltungen ist beispielsweise, daß der Leiter in einem isolierten Draht gebrochen ist; die beiden Teile berühren sich nicht mehr zuverlässig, sondern werden nur noch vom isolierenden Mantel zusammengehalten. Schwankt der Zeiger beim Berühren der Verbindung hin und her, so ist die Verbindung unsicher und muß überprüft werden. Bei Durchgangsmessungen muß der Stromkreis des Gerätes, dessen Teile geprüft werden sollen, geöffnet sein. Die Bauteile dürfen also nicht selbst Spannung führen.

Die Schaltung zeigt, wie man den Durchgangsprüfer mit dem Strom- und Spannungsmesser vereinigen kann. Die Schalterstellungen für Durchgangsprüfungen sind mit R bezeichnet. Die Taste K, die beim Umschalten der Strombereiche gedrückt werden soll,

kann gleichzeitig zum Einstellen des veränderlichen Widerstandes  $R_v$  dienen. Drückt man sie, ist Kurzschluß zwischen den Klemmen hergestellt.

Als Stromquelle läßt sich ein 1,5-V-Element aus 3-V-Stabbatterien verwenden. Der Stromverbrauch ist so gering, daß die Monozelle mindestens ein Jahr reicht. Bild 12 zeigt ein Mustergerät mit eingebautem Durchgangsprüfer.

Mit unserem Meßgerät können wir jetzt die Ladung und Entladung eines Elektrolytkondensators besser verfolgen.



## Zweiter Versuch

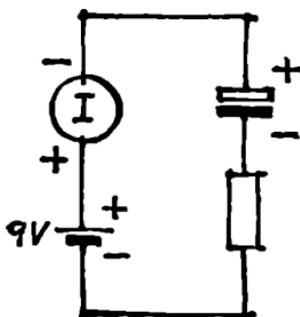
### Ladung und Entladung eines Kondensators

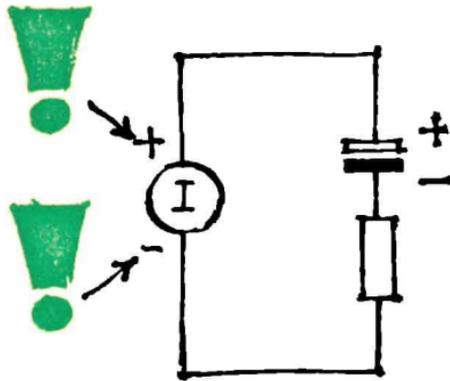
(Messung)

Die Versuchsanordnung wird wieder am Experimentierbrett aufgebaut. Wir bilden aus der 9-V-Batterie, einem Kondensator von  $100\ \mu\text{F}$  bis  $500\ \mu\text{F}$  und dem Strommesser (Bereich etwa  $10\ \text{mA}$ ) sowie einem Widerstand von ungefähr  $1\ \text{k}\Omega$  einen Stromkreis.

Die im Schaltbild eingezeichnete Polung erscheint zunächst etwas merkwürdig. Beim Meßgerät ist der Pluspol an den Pluspol der Batterie angeschlossen, der Minuspol aber an den Pluspol des Kondensators. Vom Kondensator aus gesehen, wirkt das Meßgerät nur wie ein Widerstand, der Pluspol des Kondensators liegt also am Pluspol der Batterie. Andererseits ist für das Meßgerät der Kondensator als Widerstand wirksam. Der Minuspol des Meßgerätes liegt also richtig am Minuspol der Batterie.

Wenn der Stromkreis geschlossen ist, bemerkt man am Meßgerät einen Stromstoß; die Stromstärke geht

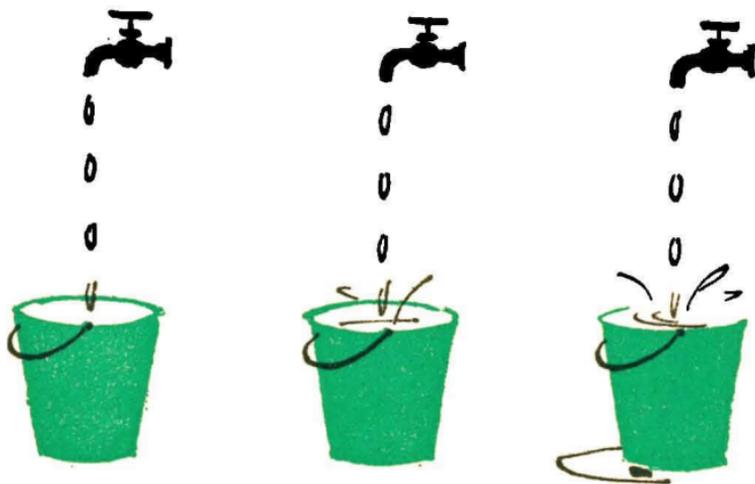




dann je nach der Kapazität des Kondensators schnell (bei kleinen Kapazitäten) oder langsam (bei großen Kapazitäten) auf Null zurück. Zuerst ändert sich die Stromstärke schnell, allmählich werden aber die Stromstärkeänderungen immer geringer, so daß man sie am Meßgerät kaum noch verfolgen kann.

Zum Entladen bildet man einfach aus dem geladenen Kondensator, dem Widerstand und dem Strommesser einen Kreis. Dabei muß die geänderte Polung des Meßgerätes beachtet werden. Jetzt wirkt ja der Kondensator als Stromquelle, so daß am Pluspol des Kondensators auch der Pluspol des Meßgerätes und Minuspol an Minuspol liegen muß. Auch die Entladung geht erst schnell, dann immer langsamer vor sich. Wir können uns durch weitere Versuche davon überzeugen, daß Ladung und Entladung bei größeren Kapazitäten und bei größeren Widerständen länger dauern. Zum Beispiel ist ein  $500\text{-}\mu\text{F}$ -Kondensator bei einem Widerstand von  $R = 10\text{ k}\Omega$  (Meßbereich des Strommessers etwa  $1\text{ mA}$ ) erst nach  $10\text{ s}$  nahezu entladen.

An der Art der Kondensatoraufladung erkennt man, daß sich der Kondensator mit einem veränderlichen Widerstand vergleichen läßt, der so verstellt wird, daß erst schnelle, dann immer langsamere Änderungen auftreten. Sein scheinbarer Widerstand hängt vom Zeitpunkt ab. Gleich nach dem Einschalten ist dieser scheinbare Widerstand gering – es fließt ein großer Strom. Dann nimmt der Widerstand schnell zu, so daß die Stromstärke abnimmt. Das bedeutet nun aber nicht, daß im Kondensator von einem Pol zum anderen wirklich ein Strom fließt. Beim Einschalten hat der Kondensator nur die Wirkung eines niedrigen Widerstandes. Wir haben diesen veränderlichen Widerstand deshalb scheinbaren Widerstand genannt. Bei Entladung verhält sich der Kondensator wie eine Batterie, deren Spannung absinkt.



## Dritter Versuch

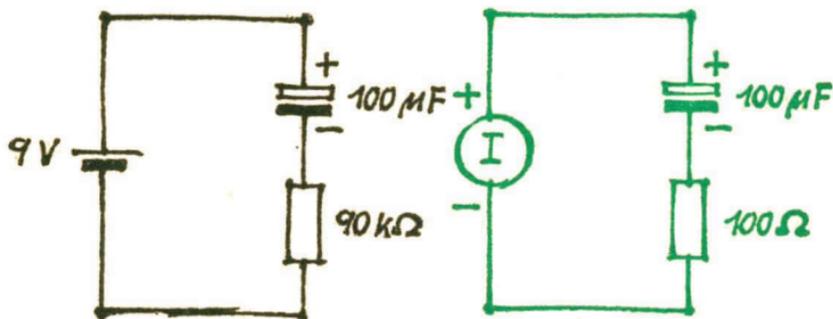
### Der Kondensator als Speicher

Wir wollen nun die Speicherwirkung eines Kondensators beobachten. Der Kondensator wirkt ähnlich wie ein Wassereimer, den man unter einen tropfenden Wasserhahn stellt. Nach einer gewissen Zeit, die vom Wasserzufluß (der Ladestromstärke) und der Eimergröße (Kapazität) abhängt, ist der Eimer (Speicher) gefüllt, und wir können das Wasser auf einmal ausgießen. Wir erhalten dadurch einen kurzen, kräftigen Wasserstrom. Die Wassermenge ist dadurch natürlich nicht größer geworden. Mit den Begriffen der Elektrotechnik gesagt: Im Kondensator können wir geringe Elektrizitätsmengen sammeln und auf



einmal entnehmen. Dadurch kann die Stromstärke im ersten Augenblick viel größer als die Ladestromstärke sein. Die elektrische Energie können wir aber auf diese Weise nicht vergrößern. Eigentlich ist das selbstverständlich: Was in den Speicher nicht „hingelaufen“ ist, kann auch nicht „herauslaufen“.

Für den praktischen Versuch müssen wir uns erst eine Stromquelle beschaffen, aus der der Strom wirklich nur „tropft“. Eine normale Flachbatterie ist dafür viel zu stark. Schalten wir aber einen verhältnismäßig großen Widerstand zwischen Batterie und Kondensator, so kann nur ein ganz schwacher Strom fließen. Bei 9 V Batteriespannung und einem Widerstand von  $90\text{ k}\Omega$  fließen nach dem Ohmschen Gesetz beispielsweise nur  $0,1\text{ mA}$ . Natürlich dauert die Aufladung des Kondensators jetzt verhältnismäßig lange. Zur Vorsicht warten wir einige Minuten; „überlaufen“ kann der Kondensator ja nicht. Ist der Kondensator geladen, so nimmt sein Widerstand immer mehr zu, und zuletzt fließt überhaupt kein Strom mehr.



Den geladenen Kondensator setzen wir nun vorsichtig in einen Stromkreis aus einem 100- $\Omega$ -Widerstand und dem Strommesser ein (Bereich etwa 100 mA). Da die Spannung des Kondensators annähernd gleich der Batteriespannung von 9 V ist, kann im Moment des Einschaltens ein Strom von rund 100 mA ( $9 \text{ V} : 0,1 \text{ k}\Omega = 90 \text{ mA}$ ) fließen. Das ist etwa das Tausendfache der Ladestromstärke! Allerdings geht die Stromstärke sofort wieder auf kleinere Werte zurück, und das Meßgerät kann den Stromstärkeänderungen meist nicht so schnell folgen. Man kann daher die Stromstärke beim Einschalten nur ungefähr abschätzen. Daß diese Stromstärke aber viel größer als die Ladestromstärke ist, erkennt man ohne weiteres.

#### Vierter Versuch

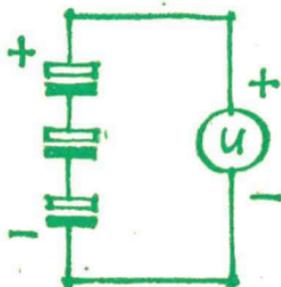
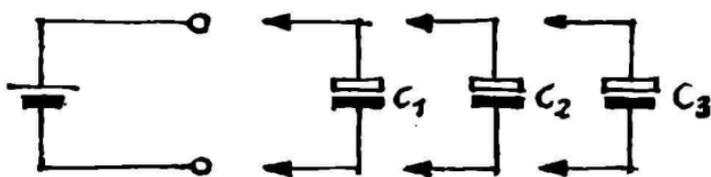
#### Spannungsvervielfachung mit Kondensatoren

Kondensatoren wirken beim Entladen wie Batterien – das hatten wir eben festgestellt. Man kann diese „Stromquellen“ deshalb auch wie Batterien hintereinanderschalten. Da sich die Kondensatoren einzeln an einer Stromquelle aufladen und im geladenen Zustand hintereinanderschalten lassen, kann man kurzzeitig die Spannung der ursprünglichen Batterie vergrößern.

Um das zu prüfen, laden wir drei gleiche Kondensatoren (200  $\mu\text{F}$  bis 1000  $\mu\text{F}$ ) einzeln an den beiden

Flachbatterien auf, ohne einen Widerstand zwischenzuschalten, und fügen sie im geladenen Zustand so zusammen, daß der eine Pluspol immer mit dem nächsten Minuspol verbunden ist. Man muß beim Hantieren mit geladenen Kondensatoren vorsichtig vorgehen, um nicht versehentlich einen Kurzschluß herzustellen und den Kondensator dadurch plötzlich zu entladen. Wie wir bereits wissen, kann der Kondensator durch diesen starken Stromstoß beschädigt werden.

Unser Spannungsmesser wird bei der Entladung kurz auf ungefähr 25 V, also rund das Dreifache der Batteriespannung, ausschlagen. Natürlich kann man auch dadurch die elektrische Energie nicht vergrößern.



Man verwendet solche Schaltungen zur Erzeugung besonders hoher Spannungen aus verhältnismäßig niedrigen Spannungen. Allerdings darf man nicht vergessen, daß die volle Spannung immer nur im ersten Augenblick vorhanden ist und bei Stromfluß schnell abnimmt. Für manche Zwecke genügt aber ein solcher kurzer Stromstoß, zum Beispiel zur Erzeugung von Funken.

## Fünfter Versuch

### Der Isolationswiderstand eines Kondensators

Wir wollen nun noch eine Kenngröße von Kondensatoren kennenlernen, die wir später beim Aufbau einiger Schaltungen berücksichtigen müssen.

Dazu legen wir einen Kondensator mittlerer Größe ( $10 \mu\text{F}$  bis  $100 \mu\text{F}$ ) einige Sekunden an eine Batterie. Der Kondensator ist nun vollständig aufgeladen. Schalten wir in den gleichen Stromkreis einen empfindlichen Strommesser ein, so müßte man eigentlich Null ablesen. Man erkennt aber, daß noch ein kleiner Strom fließt, meist zwischen  $0,01 \text{ mA}$  und  $0,1 \text{ mA}$ . Auch nach Stunden fließt dieser Strom noch. Es kann also nicht daran liegen, daß der Kondensator noch nicht ganz aufgeladen ist.

Der Kondensator wirkt, nachdem er geladen ist, wie ein Widerstand mit hohem Widerstandswert (zwischen  $100 \text{ k}\Omega$  und  $1000 \text{ k}\Omega$ ). Der Grund für den

Stromfluß ist, daß die beiden Schichten des Kondensators im Inneren nicht vollständig voneinander isoliert sind.

Wir hatten den Kondensator vorhin mit einem Wassereimer verglichen – jetzt sehen wir, daß unser Speicher ein kleines Loch hat, aus dem allmählich ein Teil des Inhalts wieder ausläuft. Aus diesem Grunde entlädt sich ein Elektrolytkondensator im Laufe einiger Minuten von selbst. Daher eignet er sich nicht, um Elektrizitätsmengen für längere Zeit, also beispielsweise für Stunden oder Tage, zu speichern.



Andere Kondensatorsorten, zum Beispiel die MP-Kondensatoren, die wir für den Wechselspannungsversuch benutzt hatten, haben viel größere „Isolationswiderstände“; sie entladen sich also bedeutend langsamer. Dafür haben sie aber den Nachteil, daß sie viel größer sind. Für uns ist es in den meisten Fällen zu unbequem, mit ihnen zu arbeiten. So große Kapazitäten, wie wir sie brauchen, kann man nur mit Elektrolytkondensatoren darstellen.

Den wirklich vorhandenen Isolationswiderstand, der tatsächlich einen Stromfluß im Inneren des Kondensators bewirkt, darf man nicht mit dem scheinbaren Widerstand verwechseln, den man aus der Ladestromstärke errechnen kann. Der Ladestrom entsteht dadurch, daß die elektrischen Ladungen in den beiden Schichten des Kondensators gespeichert werden. Wie wir schon erwähnten, fließen auch bei Wechselstrom (und MP-Kondensatoren) nur Ladeströme.

Wenn man einen Elektrolytkondensator einen Tag lang mit der Batterie verbindet (Plus an Plus, Minus an Minus), so steigt der Isolationswiderstand meist an. Der Stromverbrauch ist so gering, daß die Batterie dadurch nicht geschädigt wird. Für manche Zwecke, wo ein niedriger Stromdurchgang, also ein hoher Isolationswiderstand, erwünscht ist, kann man sich so geeignete Kondensatoren herstellen.

Vor dem Einbau muß man den geladenen Kondensator erst entladen, damit nicht durch eine ungewollte Entladung Schaden entstehen kann. Man überbrückt die beiden Anschlüsse mindestens 10 s lang mit einem Widerstand von ungefähr 100  $\Omega$ .

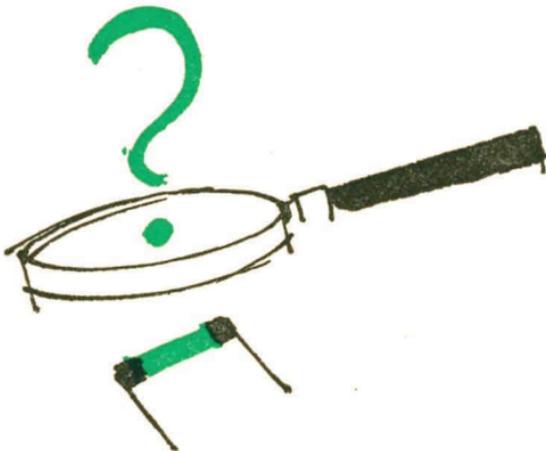
## Sechster Versuch

### Messung von Widerständen und Kapazitäten

Wir werden beim Basteln oft vor der Aufgabe stehen, den Zahlenwert eines Widerstandes zu bestimmen. Das kann daran liegen, daß die Farbkennzeichnung oder der Wertaufdruck undeutlich ist. Oft will man auch den gerade eingestellten Widerstand eines Potentiometers wissen.

Zu Versuchszwecken ist es immer ratsam, statt der Festwiderstände zunächst Einstellregler oder Potentiometer zu benutzen. Den Zahlenwert wählt man etwas größer als den angegebenen Wert und stellt die veränderlichen Widerstände vor dem Einschalten in eine mittlere Lage, um nicht einen Kurzschluß herbeizuführen, falls der bewegte Schleifer an einem Ende anliegt.

Hat man nun den Widerstand so eingestellt, daß die Schaltung zufriedenstellend arbeitet, wird der Ein-



stellregler oder das Potentiometer durch einen Festwiderstand mit dem gleichen Widerstandswert ersetzt. Er ist viel billiger und kleiner als der veränderliche Widerstand und ergibt die gleiche Wirkung. Man entfernt das Potentiometer beziehungsweise den Einstellregler vorsichtig aus der Schaltung (ohne den Wert zu verstellen) und mißt den Widerstand zwischen den Klemmen, die man benutzt hat.

Es gibt viele Möglichkeiten, den Zahlenwert eines Widerstandes zu bestimmen. Am einfachsten ist es, man vergleicht den unbekanntem Widerstand mit einigen Widerständen, deren Werte man kennt. Man bildet also einfach einen Stromkreis aus einer Batterie, dem Strommesser (zunächst mit dem Bereich 100 mA oder mehr) und dem unbekanntem Widerstand und stellt den Ausschlag des Meßgerätes fest. Wird nun statt des unbekanntem Widerstandes ein bekannter Widerstand eingefügt, ohne sonst etwas zu verändern, so ergibt sich ein anderer Ausschlag. Man kann nun die bekannten Widerstände so lange austauschen, bis man ungefähr den gleichen Ausschlag erreicht. Dadurch ist der unbekanntem Widerstand bestimmt: Er ist gleich dem Widerstand, der zum gleichen Ausschlag am Gerät geführt hat.

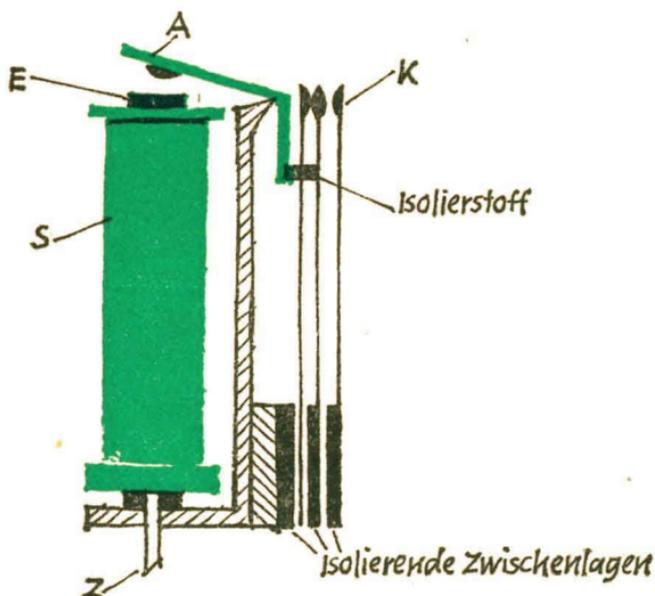
Auf diese Weise mißt man nur den Widerstand, nicht die Belastbarkeit. Die Belastbarkeit von Widerständen ergibt sich – wie wir bereits wissen – aus ihrer äußeren Größe.

Haben wir einmal einen Kondensator, dessen Kapazität nicht abzulesen ist, so kann man diese nach der Größe bestimmen, indem man den Kondensator mit anderen vergleicht. Wie wir im zweiten Versuch

(Seite 64) festgestellt haben, kann man die Kapazität eines Kondensators auch aus der Geschwindigkeit des Lade- und Entladevorganges unter gleichen Bedingungen ermitteln. Der dabei mögliche Fehler ist für unsere Zwecke ohne Bedeutung. Große Änderungen in den Schaltungen erhalten wir sowieso nur, wenn die Kapazität ungefähr verdoppelt oder halbiert wird.

### Der erste Verstärker — das Relais

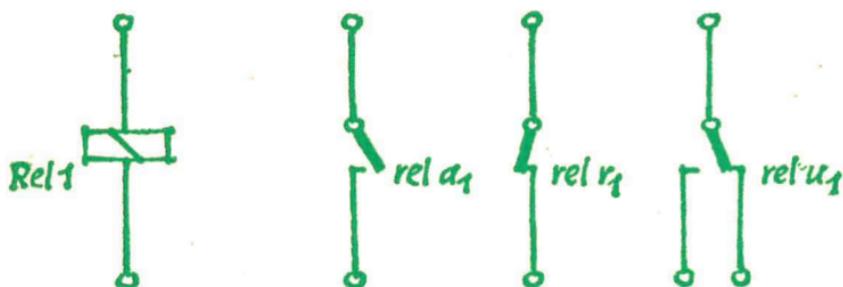
Nachdem wir bisher verhältnismäßig einfache Bauteile besprochen haben, wollen wir jetzt ein etwas komplizierteres Bauteil kennenlernen: das elektromechanische Relais. *Relais* sind Schalter, die nicht



von Hand betätigt, sondern durch einen elektrischen Strom ausgelöst werden. Sie bestehen aus einer Spule S mit den beiden Anschlüssen Z sowie einem beweglichen Anker A, der vom Eisenkern E der Spule angezogen wird und dabei die Kontakte K öffnet oder schließt. Die Zahl der Kontakte kann ganz verschieden sein. Meist sind mehrere voneinander isolierte Umschalter vorgesehen.

Relais unterscheiden sich durch die Anzahl der Windungen und den Widerstand des Drahtes. Aus beiden Werten ergeben sich die Spannung, die zum Anziehen des Ankers nötig ist, und die dazu gehörende Stromstärke. Je größer die Windungszahl ist, desto geringer ist die erforderliche Stromstärke. Allerdings muß dann die Spannung höher sein. Für uns sind Relais geeignet, die für 6 V bis 12 V bestimmt sind und bei Stromstärken von 10 mA bis 50 mA anziehen. Bild 13 zeigt drei Ausführungsformen von Relais. Kleinrelais mit Plastikgehäusen sind für uns besonders günstig.

Relais sind die einfachsten Verstärker. Ein Strom, dessen Stärke zwischen 10 mA und 50 mA — je nach der Relaisausführung — liegt, betätigt die Kontakte und schaltet dadurch in einem zweiten Stromkreis Ströme bis zu 1 A ein oder aus. Mit einem schwachen Strom schaltet man also einen starken Strom ein. Diese Verstärkereigenschaft wird technisch häufig genutzt. Relais findet man in vielen Schalteinrichtungen für Schwach- und Starkstrom. In neuerer Zeit geht allerdings die Anwendung zurück. In vielen Fällen kann man die Relais nämlich durch Halbleiter-Bauelemente ersetzen. Die meisten einfachen Relais



sind nur zur Auslösung durch Gleichstrom geeignet. Bei Wechselstrom ziehen sie schnell nacheinander an und lassen den Anker wieder los; die Kontakte werden dadurch stark abgenutzt. Mit den Kontakten selbst kann man Gleich- oder Wechselströme (je nach Ausführung bis zu 1 A) ein- oder ausschalten.

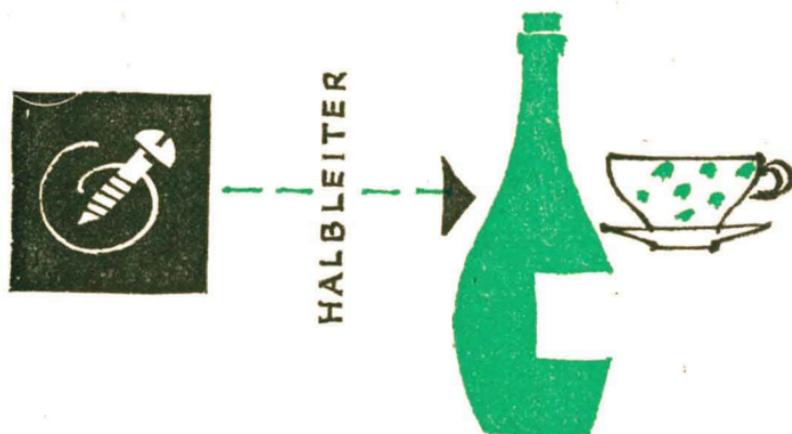
Die Abbildung gibt das Schaltzeichen für Relais wieder. Die Zahl der Kontakte kann zwischen einem Ein- oder Ausschalter und sechs Umschaltern liegen. Man zeichnet immer den stromlosen Zustand. Die Relais werden durch Rel, die Kontakte durch rel bezeichnet. Falls mehrere Relais benutzt werden, erhalten sie laufende Nummern (Rel 1, Rel 2 und rel 1, rel 2). Der Kontakt rel 1 gehört zu Rel 1 und so fort. Schaltet ein Relais mehrere Kontakte, so werden sie durch Buchstaben auseinandergehalten.

Der Kontakt rel a<sub>1</sub> ist ein Arbeitsstromkontakt, er wird geschlossen, wenn das Relais anzieht, rel r<sub>1</sub> ist ein Ruhestromkontakt. Er ist in stromlosem Zustand geschlossen und wird bei Stromdurchgang durch die Relaispule geöffnet. Der Kontakt rel u<sub>1</sub> ist ein Umschaltkontakt. Man kann einen Umschalter auch aus

einem Arbeits- und einem Ruhestromkontakt zusammensetzen. In Schaltungen kann man die Relaispule und die Kontakte, die dadurch betätigt werden, an ganz verschiedene Stellen zeichnen.

## Weder Leiter noch Isolatoren

Nun wollen wir uns mit den interessantesten Bauteilen beschäftigen, den Halbleiter-Bauelementen. *Halbleiter* nennt man Stoffe, die den elektrischen Strom weder gut leiten (wie Metalle) noch vollständig isolieren (wie beispielsweise Porzellan oder Glas). Halbleiter sind unter anderem die chemischen Elemente Selen, Germanium und Silizium. Aus solchen Elementen, vor allem aus Germanium, stellt man in einem sehr mühevollen Prozeß die Halbleiter-Bauelemente her. Wir wollen nur die wichtigsten Eigenschaften von Dioden und Transistoren besprechen. Es gibt außer diesen Halbleitern noch verschiedene andere, wie zum Beispiel Varistoren, Vierschicht- und Tunnelioden und so weiter.



Der Begriff „Transistor“ wurde in den letzten Jahren hauptsächlich im Zusammenhang mit Kofferradios und Radiobasteleien bekannt, und auf diesem Gebiete haben Halbleiter umfassend Anwendung gefunden. Oft glaubt man deshalb, daß sich diese Bauteile nur zum Radiobasteln eignen. Das ist aber nicht richtig. Die Vorzüge von Halbleitern gegenüber den älteren Bauteilen (zum Beispiel Elektronenröhren), nämlich ihre winzige Größe, die Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen, der geringe Stromverbrauch und die hohe Lebensdauer, kommen ebenso in Schaltungen der BMSR-Technik zur Geltung.

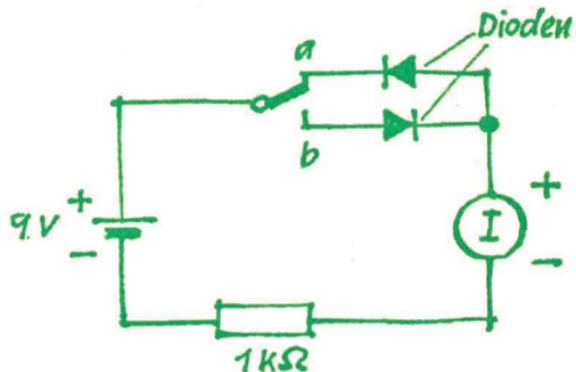
Zunächst befassen wir uns mit den Dioden (Bild 14). Wir werden zwei Arten von Dioden benutzen, die gewöhnlichen Dioden für Gleichrichterzwecke und die sogenannten Zenerdioden (nach dem amerikanischen Entdecker Zener). Dioden sind Bauteile mit zwei Anschlüssen, die bei verschiedener Polung ganz unterschiedliche Eigenschaften haben. Als Gleichrichterdioden können wir alle erhältlichen Typen benutzen. Die älteren Bezeichnungen sind OA 625, OA 645, OA 665, OA 685, OA 705, OA 720 und andere.

Neuerdings werden Dioden mit den Buchstaben GA und einer Zahl bezeichnet. Wie gesagt, können wir alle Typen verwenden. Zwischen den verschiedenen Sorten bestehen erhebliche Preisunterschiede. Wenn wir die Wahl haben, nehmen wir natürlich die billigsten Typen. Irgendwelche Nachteile haben sie in unseren Schaltungen nicht. Diese Dioden sind rund gerechnet für Spannungen bis 20 V und Stromstärken bis zu 10 mA gedacht.

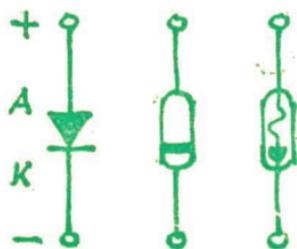
## Siebenter Versuch

### Die Richtwirkung einer Diode

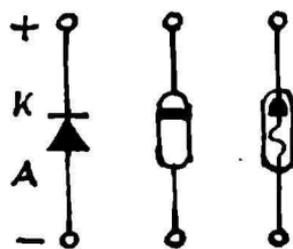
Wir nehmen wieder unser Experimentierbrett und schalten zwei Dioden, einen 1-k $\Omega$ -Widerstand, einen Umschalter und den Strommesser (Bereich etwa 10 mA) in der im Schaltbild dargestellten Weise mit der 9-V-Batterie zusammen. Das Bauelement, bei dem auf dem Schaltbild ein Dreieck einem Strich gegenübersteht, ist die Diode. Wir stellen bei unterschiedlichen Schalterstellungen fest, daß in der einen Richtung (Schalter auf a) fast kein Strom fließt – die Diode sperrt. In der anderen Richtung (Schalterstellung b) fließen fast 10 mA – die Diode läßt den Strom also fast ungeschwächt hindurch. Dioden wirken bei der einen Polung wie ein sehr großer, bei der anderen Polung wie ein sehr kleiner Widerstand. Der sogenannte Sperrwiderstand liegt ungefähr bei 50 k $\Omega$  bis 500 k $\Omega$ , der Durchlaßwiderstand bei 10  $\Omega$  bis 1000  $\Omega$ . Eine Glasdiode läßt den Strom durch, wenn man an die Seite, die durch einen Farbring gekenn-



zeichnet ist und im Inneren eine Art Nöpfchen hat, den Minuspol der Batterie anlegt. Liegt an dieser Seite der Pluspol an, so sperrt sie. Die durch einen Farbring gekennzeichnete Seite (Platte im Schaltbild) heißt Katode K, der andere Pol (Dreieck im Schaltbild) die Anode A. Eine Diode läßt also Strom durch, wenn man an die Katode den Minuspol anlegt. In Schaltungen werden Dioden in Durchlaßrichtung und in Sperrichtung verwendet.



Durchlaßrichtung



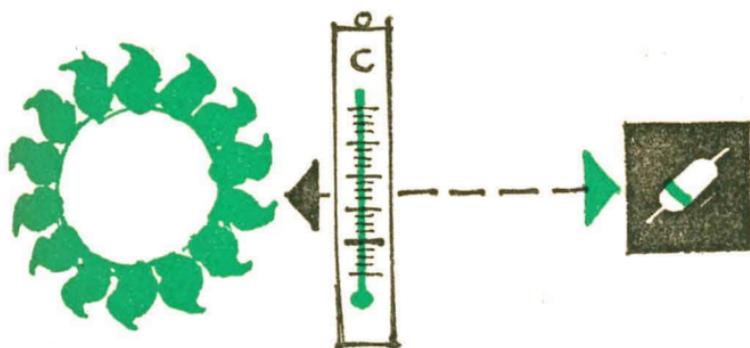
Sperr-Richtung

## Achter Versuch

### Abhängigkeit der Diodeneigenschaften von der Temperatur

Fügen wir eine Glasdiode in Sperrichtung (also mit dem Pluspol der Batterie an der gekennzeichneten Seite) in einen Stromkreis mit einer 9-V-Batterie und einem empfindlichen Strommesser ein, so messen wir eine Stromstärke von etwa 0,02 mA bis 0,1 mA. Fas-

sen wir nun die Diode mit den Fingern an – ohne dabei die Anschlußdrähte zu berühren – und erwärmen sie dadurch, so steigt der „Sperrstrom“ schnell an. Die Größe des Sperrstromes hängt also von der Temperatur ab. Die Abhängigkeit des „Durchlaßstromes“ von der Temperatur läßt sich nicht so deutlich feststellen, aber ein gewisser Einfluß tritt auch hier auf. Alle Halbleiter haben die Eigenschaft, stärker als andere Bauteile (zum Beispiel Widerstände oder Kondensatoren) von der Temperatur abhängig zu sein. Ändert sich die Temperatur der Umgebung, so ändern sich auch die Halbleitereigenschaften, so daß in ungünstigen Fällen die Schaltung nicht mehr zufriedenstellend arbeitet. Aus diesem Grunde läßt man die Bauteile nicht in der Sonne oder in der Nähe von Heizkörpern liegen und setzt fertige Schaltungen nicht unnötig längerer Erwärmung aus. Beim Messen soll man die Halbleiter-Bauelemente auf den Tisch legen oder mit Klemmen befestigen, aber nicht zwischen den Fingern halten, weil dabei



das Bauteil schnell auf  $36^{\circ}\text{C}$  (Körpertemperatur) erwärmt wird. Meist soll es aber bei Zimmertemperatur – also bei etwa  $20^{\circ}\text{C}$  – arbeiten, und bei dieser Temperatur hat es vielleicht wesentlich andere Eigenschaften.

Zenerdioden sind Dioden mit besonderen Eigenschaften. Sie verhalten sich in gewissen Spannungsgrenzen wie normale Dioden, sie haben ebenfalls eine Durchlaß- und eine Sperrichtung. Von einer gewissen Spannung an, der „Zenerspannung“, haben sie in Sperrichtung plötzlich andere Eigenschaften. Liegt die Zenerspannung bei 6 V, so sperrt die Diode bei 3 V, 4 V und 5 V in Sperrichtung fast vollständig, bei 6 V aber läßt sie den Strom beinahe ungeschwächt durch. Dieses eigenartige Verhalten kann man für viele Zwecke ausnutzen. Einige der Anwendungen werden wir später kennenlernen. In *Durchlaßrichtung* werden Zenerdioden nicht benutzt.

Es gibt Zenerdioden für niedrige und hohe Leistungen. An sich genügen für unsere Zwecke die Zenerdioden niedriger Leistung, die äußerlich ganz ähnlich wie Glasdioden für Gleichrichterzwecke aussehen, doch kann es vorkommen, daß man nur die zweite Sorte erhält. Diese Leistungs-Zenerdioden sind in Metallgehäuse eingebaut. Der eine Pol liegt am Gehäuse (mit Gewinde), der andere ist der Anschlußdraht. Außer dem etwas größeren Volumen und der größeren Masse haben die Leistungsdioden keine Nachteile, so daß wir beide Sorten benutzen können. Es gibt beide Typen für verschiedene Zenerspannungen. Die Bezeichnungen der Zenerdioden für 0,25 W (ZA ...) und 1 W (ZL ... und SZ ...) sind:

Zener- spannung in V	Bezeich- nung	Zener- spannung in V	ältere Bezeich- nung	neue Bezeich- nung
etwa 5	ZA 250/5	etwa 6	ZL 910/6	SZ 506
etwa 6	ZA 250/6	etwa 8	ZL 910/8	SZ 508
etwa 7	ZA 250/7	etwa 10	ZL 910/10	SZ 510
und so weiter		und so weiter.		

Für 9 V Batteriespannung soll man möglichst eine Zenerdiode für 7 V bis 8 V kaufen, für 8-V-Trafos ist eine Zenerspannung von ungefähr 7 V zweckmäßig.



Nun wollen wir aber von den Transistoren sprechen. Unter einem Transistor versteht man ein Bauteil, das Verstärkereigenschaften hat. Man darf allerdings nicht glauben, daß das Bauteil direkt aus einem kleinen Strom einen großen Strom erzeugt. Ein ankommender kleiner Strom steuert nur – ganz ähnlich wie bei einem Relais – über den Transistor einen zweiten Stromkreis, in dem ein starker Strom fließen kann.

Es gibt zur Zeit ungefähr 60 Sorten Transistoren, die vor allem für den Rundfunkempfang benötigt werden. Dabei sind allerdings die älteren, jetzt nicht mehr gefertigten Typen mitgezählt. Anfangs hat man erfahrungsgemäß einige Mühe, die vielen Sorten auseinanderzuhalten. Dazu kommt, daß sich in den letzten drei Jahren die äußeren Formen der Transistoren, die Art der Anschlußbezeichnungen und die „Namen“ der einzelnen Transistoren geändert haben. Wir wollen nun versuchen, etwas Klarheit in die Sache zu bringen. Da sich viele der Transistortypen für unsere Zwecke nur in Kleinig-

keiten unterscheiden, können wir sie erst einmal in drei Sorten einteilen. In der gleichen Sorte sind Transistoren zusammengefaßt, die sich für dieselbe Stromstärke eignen.

	höchste Span- Sorte nung	höchste Strom- stärke	ältere Bezeichnung	neue Bezeichnung
I	10 V	15 mA	<u>LA 25 LA 30</u> <u>LA 50</u> (OC 810 bis OC 818)	<u>LC 810 LC 815</u> <u>LC 820 LF 871</u> (GC 100, GC 101, GS 100)
II	20 V	150 mA	<u>LA 100</u> (OC 820 bis OC 829)	LC 824 (GC 111 bis GC 123, GS 109 bis GS 112)
III	20 V	1 A	<u>LA 1</u> (OC 830 bis OC 833)	<u>LD 830</u> (GD 100 bis GD 130)

Eine vierte Sorte, die sich für Ströme bis zu 3 A eignet, kommt für uns kaum in Frage, so daß wir sie hier nicht besonders aufführen wollen.

Die meisten Transistoren der Sorte I und II unterscheiden sich äußerlich nicht voneinander. Die Bezeichnungen sind auf den Gehäusen angebracht (Vergleiche Bild 14).



Bei unserer Sorteneinteilung sind einige Typen besonders hervorgehoben und andere eingeklammert. Man sollte hauptsächlich die zuerst genannten Ausführungen wählen und nur im Notfall die anderen, in Klammern genannten Typen benutzen. Die ersten Ausführungen sind nämlich viel billiger. Das liegt aber nicht daran, daß sie schlechtere Eigenschaften hätten; sie sind also nicht etwa „zweite Wahl“. Ihre

Eigenschaften unterscheiden sich nur von denen der Sorten, die in fabrikmäßig hergestellte Geräte eingebaut werden. Wollte man sie zum Beispiel in Rundfunkempfängern verwenden, so müßten die Widerstände bei jedem Gerät besonders eingestellt werden, um die Schwankungen der Transistoreigenschaften auszugleichen. Das würde sehr viel Zeit erfordern. Uns stört das überhaupt nicht, weil wir die Schaltungen sowieso ausprobieren. Unsere Baugruppen arbeiten also in keiner Weise besser, wenn wir die teuren Typen benutzen! Innerhalb der Gruppe I (LC 810 bis LF 871) bestehen außerdem Preisunterschiede. Soweit wir die Wahl haben, verwenden wir die billigsten Ausführungen.

Die Transistortype (zum Beispiel II) ist in den folgenden Schaltungen immer in Klammern aufgeführt.

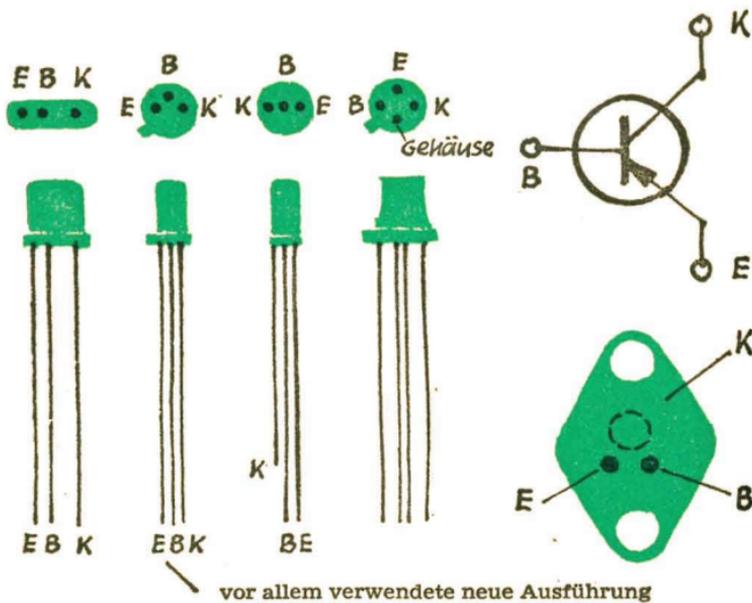
Die Einteilung aller erhältlichen Transistoren in drei Klassen ist eine etwas gewaltsame Angelegenheit. Wir haben dabei gewisse Unterschiede weggelassen; im einzelnen kommen wir noch darauf. Man darf daher nicht annehmen, daß die Eigenschaften aller Transistoren, die innerhalb einer Gruppe aufgezählt worden sind, völlig gleich wären. Aus einer fertigen Schaltung kann man beispielsweise nicht einfach einen Transistor LA 25 entfernen und durch einen LA 30 ersetzen. Meist sind dann auch kleine Änderungen der Schaltung nötig, zum Beispiel die Vergrößerung oder Verkleinerung eines Widerstandes. Abgesehen von diesen Unterschieden innerhalb der gleichen Sorte, unterscheiden sich auch die Eigenschaften von Transistoren mit derselben Bezeichnung

voneinander. Es ist daher auch nicht das gleiche Ergebnis zu erwarten, wenn man einen Transistor LA 25 durch einen anderen LA 25 ersetzt. Im allgemeinen ist jedoch ein Auswechseln der Transistoren nicht nötig, weil sie – wenn man sie richtig behandelt – eine fast unbegrenzte Lebensdauer haben.

Da die Transistoreigenschaften von Exemplaren derselben Sorte nie völlig gleich sind, kann man sich vorstellen, daß vor allen Zahlenangaben in den folgenden Schaltungen (also vor den Widerstands- und Kapazitätswerten) das Wort „etwa“ steht. Es kann manchmal günstiger sein, statt eines 10-k $\Omega$ -Widerstandes, der hier eingezeichnet ist, einen 5-k $\Omega$ -Widerstand oder auch einen 15-k $\Omega$ -Widerstand zu verwenden. Ängstlich braucht man dabei nicht zu sein; das Ergebnis zeigt sich immer in der Arbeitsweise des fertigen Gerätes. Natürlich soll man nicht einen 10- $\Omega$ -Widerstand verwenden, wenn ein 10-k $\Omega$ -Widerstand eingezeichnet ist. Die „Größenordnung“ muß also stimmen.

Die meisten Transistoren haben drei Anschlüsse. Man nennt sie den Emitter („Aussender“), den Kollektor („Sammler“) und die Basis. Bei Transistoren mit zwei Anschlüssen (Sorte III) liegt der dritte Pol am Metallgehäuse. Sind vier Anschlüsse vorhanden, so ist einer mit dem Metallgehäuse verbunden. Wir benutzen ihn nicht, sondern kürzen ihn gleich auf die halbe Länge, um Verwechslungen zu vermeiden. Welcher Pol mit dem Gehäuse verbunden ist, kann man mit dem Durchgangsprüfer leicht feststellen.

Die Abbildung gibt die Anordnung der Pole bei den wichtigsten Typen wieder. E bedeutet den Emitter,



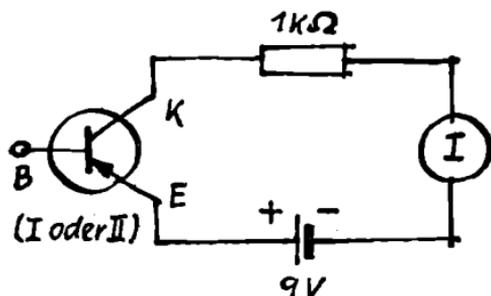
K den Kollektor und B die Basis. Man muß sich die Lage der Anschlüsse gut merken. Eine falsche Verbindung kann zur Zerstörung des Bauteiles führen.

## Neunter Versuch

### Grundeigenschaften eines Transistors

Wir wollen nun einige Eigenschaften von Transistoren kennenlernen.

Zur besseren Übersicht verwenden wir bei diesem Versuch wieder das Experimentierbrett, auf dem wir aus der 9-V-Batterie, einem Widerstand von etwa 1 k $\Omega$ , einem Transistor der Sorte I oder II und dem



Strommesser (Bereich ungefähr 10 mA) den Hauptstromkreis bilden. Vom Transistor werden zunächst nur der Emitter und der Kollektor angeschlossen. Von Anfang an wollen wir festlegen, daß der Emitter (im Schaltbild mit Pfeil) stets an den Pluspol der Batterie angeschlossen wird. Der Kollektor wird über Widerstände oder Relaispulen mit dem Minuspol verbunden.

Bei dieser Versuchsanordnung lassen wir die Basis (das ist meist der mittlere Anschluß) frei und schließen den Stromkreis. Der Strommesser zeigt fast keine Stromstärke an. Mit dem empfindlichsten Bereich können wir schätzen, daß ungefähr 0,05 mA bis 0,2 mA fließen. Man nennt diesen Strom den Reststrom. Ein Transistor trennt also einen Stromkreis nicht vollständig.

Nach dem Ohmschen Gesetz hat der Transistor bei einem Reststrom von 0,1 mA einen Widerstand von  $90\text{ k}\Omega$ . Der Widerstand bei freier Basis ist der größte Widerstand, mit dem wir rechnen können. Er steigt nicht über  $100\text{ k}\Omega$ . Bei einem geöffneten Schalter ist der Widerstand dagegen unmeßbar groß (er beträgt mindestens  $10\text{ M}\Omega = 10\,000\text{ k}\Omega$ ). Das ist ein gewisser Nachteil eines Transistors, der zum Ein- und Aus-

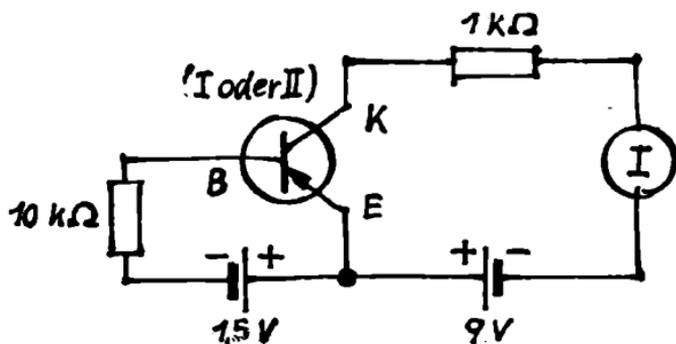
schalten eines Stromkreises benutzt werden soll. „Aus“ bedeutet nicht den stromlosen Zustand, sondern einen Strom von ungefähr 0,1 mA.

Wir schalten nun den Strommesser wieder auf den Bereich 10 mA (oder 5 mA und so fort, je nach der Art des Meßgerätes) und schließen eine Monozelle über einen Widerstand von ungefähr 10 k $\Omega$  an Basis und Emmitter so an, daß an der Basis der Minuspol der Monozelle (das heißt der Zinkbecher) liegt. B-E bildet mit der Monozelle und dem Widerstand den Steuerkreis.

Wir stellen eine Stromstärke von 5 mA bis 10 mA fest. Der Widerstand zwischen dem Emmitter E und dem Kollektor K ist demnach auf 0,2 k $\Omega$  bis 0,1 k $\Omega$  gesunken.

Vertauschen wir die Anschlüsse der Monozelle, legen wir also den Pluspol (den Kohlestab) an die Basis, so erhöht sich die Stromstärke nicht. Im Gegenteil, mit einem sehr empfindlichen Meßgerät könnte man feststellen, daß die Stromstärke noch unter die Reststromstärke sinkt.

Der Transistor läßt sich also dadurch steuern, daß man an die Basis eine negative Spannung anlegt. Ist

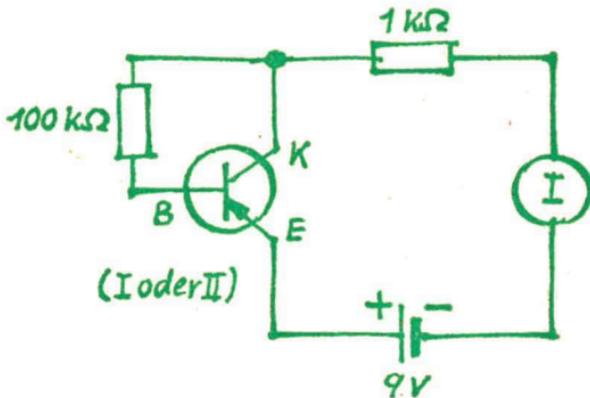


diese Spannung groß genug, so sinkt der Widerstand zwischen E und K auf geringe Werte. Im Stromkreis E—B fließen viel kleinere Ströme als im Stromkreis E—K. Dadurch kommt die Verstärkung zustande: Ein schwacher Strom löst einen stärkeren Strom aus.

### Zehnter Versuch

#### Eigenschaften des Transistors als Verstärker

Wir wollen jetzt prüfen, ob man eine der beiden Stromquellen, die wir im vorigen Versuch benutzt haben, nicht weglassen kann. Wenn es nur darauf ankommt, der Basis eine negative Spannung zuzuführen, so kann man sie schließlich auch vom Minuspol der 9-V-Batterie abgreifen. Die volle negative Spannung wäre aber viel zu hoch; der Strom durch die Basis würde den Transistor unbrauchbar machen. Man muß deshalb einen Widerstand mit hohem



Widerstandswert vorschalten, wie es das Schaltbild zeigt.

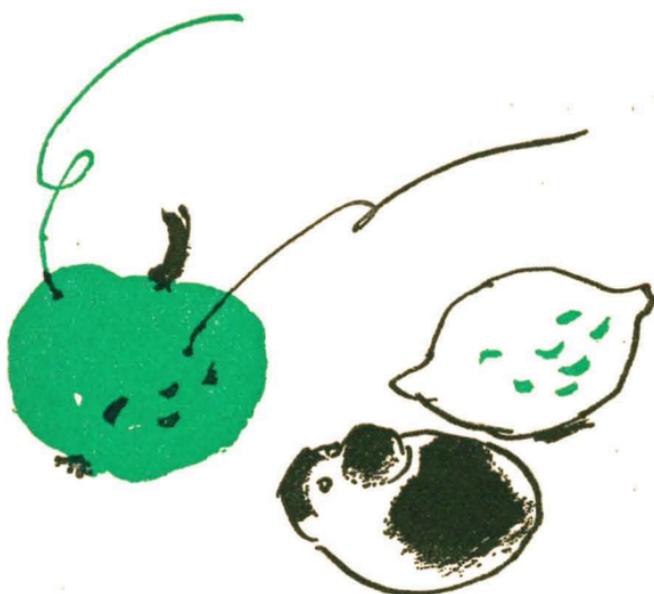
Den 100-k $\Omega$ -Widerstand können wir durch andere Widerstände zwischen 1 M $\Omega$  (1000 k $\Omega$ ) und 10 k $\Omega$  ersetzen. Der Strom im Hauptstromkreis wird um so größer, je niedriger dieser Widerstand ist, das heißt, je größer der Strom im „Steuerstromkreis“ (Basis und Emitter) ist. Nach dem Ohmschen Gesetz ergibt sich, daß im Steuerstromkreis nur ungefähr  $\frac{1}{20}$  bis  $\frac{1}{50}$  des Stromes im Hauptkreis (vom Emitter des Transistors zum Kollektor) fließt.

Wenn wir eine kleine Spannung so zwischen Basis und Emitter legen, daß an der Basis der Minuspol anliegt, so können wir zwischen Emitter und Kollektor verhältnismäßig starke Widerstandsänderungen feststellen, die man als Spannungsänderungen am 1-k $\Omega$ -Widerstand oder als Stromänderungen nach dem vorigen Schaltbild messen kann. Diese Eigenschaft wollen wir im nächsten Versuch gleich einmal benutzen, um eine niedrige Spannung „zu verstärken“.

## Elfter Versuch

### Der Transistor als Spannungsverstärker

Wir stechen in einen Apfel einen Kupfer- und einen Eisendraht ein. Zusammen mit der Fruchtsäure des Apfels ergibt das ein galvanisches Element. Die



Spannung und die erreichbare Stromstärke dieses Elements sind allerdings so gering, daß wir sie kaum messen können. Schließen wir den Eisendraht (den Minuspol dieses Elements) an die Basis eines Transistors und den Kupferdraht (den Pluspol) an den Emitter an, so lassen sich im Hauptstromkreis immerhin Stromstärkeänderungen von ungefähr 0,1 mA feststellen. Man kann den Versuch auch mit einer Zitrone, einer Kartoffel oder einer Zwiebel anstellen. Daß die Stromstärkeänderung nicht etwa durch die Leitfähigkeit der Frucht hervorgerufen wird, erkennt man daran, daß sich die Stromstärke überhaupt erhöht. Bei einer Verbindung zwischen Basis und Emitter fällt sie dagegen ab, weil eine positive Spannung den Hauptstromkreis sperrt.

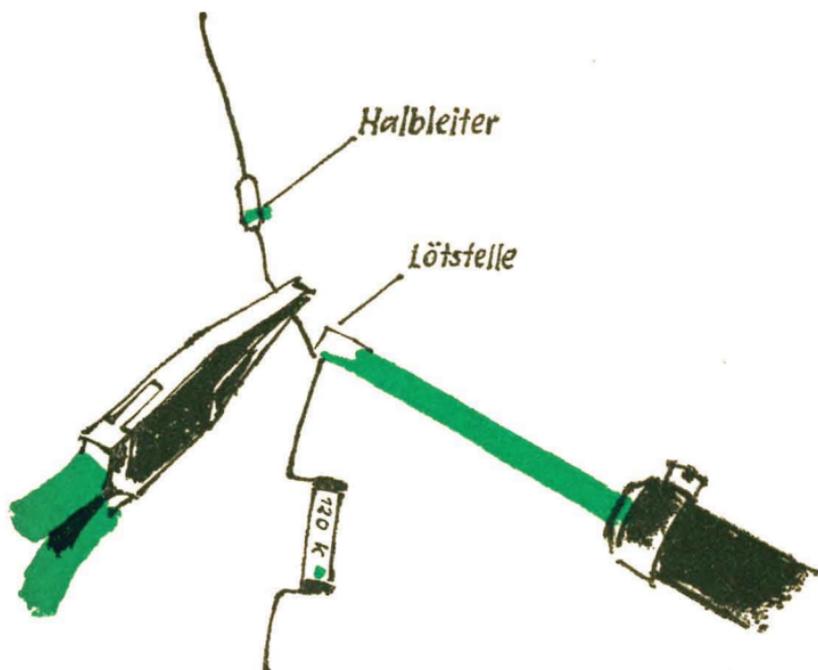
Man soll in den Emitter-Kollektorkreis eines Transistors immer einen passenden Widerstand einschalten.

ten. Bei den Transistoren der Sorte I soll er nicht unter  $1\text{ k}\Omega$ , bei der Sorte II nicht unter  $100\ \Omega$  liegen. Wird nur ein Strommesser ohne zusätzlichen Widerstand eingefügt, so beobachtet man oft ein langsames Ansteigen der Stromstärke bei konstantem Basiswiderstand. Der Transistor erwärmt sich nämlich durch den Stromfluß und läßt damit mehr Strom durch. Infolgedessen erwärmt er sich noch stärker und so weiter. Im ungünstigsten Falle brennt er durch. Wie wir uns erinnern, sind ja die Widerstände des Strommessers ganz niedrig; die Stromstärke wird also nicht durch diese Widerstände, sondern hauptsächlich durch den Innenwiderstand des Transistors (E–K) bestimmt.

Vor dem nächsten Versuch müssen wir noch über das Löten der Halbleiter sprechen. Wie schon erwähnt wurde, sind die Halbleiter temperaturempfindlich. Die Temperatur des flüssigen Zinnes kann dazu führen, daß sie beschädigt werden. Man muß deshalb alles tun, um sie beim Löten nicht zu sehr zu erwärmen.

Damit man beim Löten nicht zu nahe an den empfindlichen Kristall im Inneren des Halbleiters herankommt, werden die Anschlußdrähte nicht gekürzt. Man kann sie aber, um innerhalb einer Baugruppe Platz zu sparen, vorsichtig umbiegen oder als Wellenlinie anordnen. Die Drähte dürfen aber nicht unmittelbar an der Austrittsstelle umgebogen werden, sondern erst einige Millimeter dahinter.

Man soll die Drähte möglichst schnell (aber nicht überhastet) mit einem kleinen Zinntropfen löten.



Dazu faßt man den Draht zwischen der Lötstelle und dem Transistor mit einer Flachzange. Dadurch wird die Lötwärme zum größten Teil abgeleitet.

An Schaltungen, die mit einer Batterie verbunden sind, soll man nicht löten, bevor der Batterieanschluß unterbrochen ist.

LötKolben für Netzspannung sollte man während des Lötvorganges kurz abschalten. Oft fließen geringe Ströme durch die äußeren Teile des LötKolbens und durch unseren Körper zur Erde. Wir spüren das nicht, und es ist auch nicht weiter gefährlich. Für den Transistor kann aber auch der kleinste Strom sofort zur Beschädigung führen, wenn die Spannung zu hoch ist. Bei „Lötpistolen“ und den LötKolben für niedrige Spannungen – zum Beispiel 6 V – ist diese Vorsichtsmaßnahme nicht erforderlich.

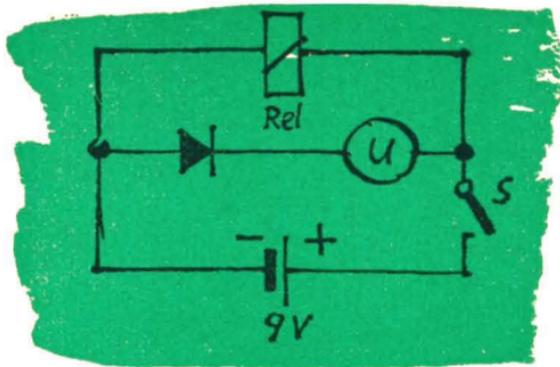
Jetzt kommen wir noch einmal auf die Eigenschaften der Relais zurück. Eine Besonderheit muß man nämlich beachten, wenn Relais mit Transistoren zusammenarbeiten sollen, wie es häufig der Fall ist.

## Zwölfter Versuch

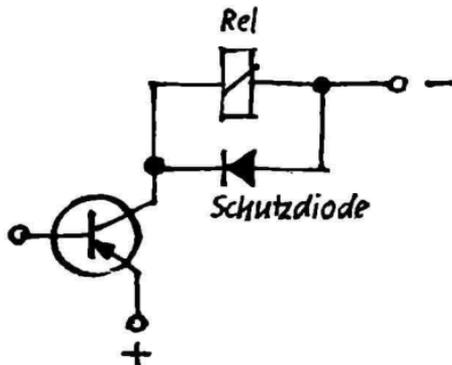
### Abschaltspannung eines Relais

Wir bilden zunächst den gezeichneten Stromkreis. Der Spannungsmesser liegt an den Relaisklemmen über einer Diode, die in Sperrrichtung geschaltet ist. Beim Einschalten zeigt der Spannungsmesser nur eine ganz geringe Spannung an. Öffnen wir aber den Schalter S wieder, so schlägt der Zeiger kurz aus. Im Augenblick der Abschaltung entsteht also in der Spule des Relais eine Spannung. Sie ist gegenüber der Batteriespannung umgekehrt gepolt; folglich wirkt die Diode für die „Abschaltspannung“ in Durchlaßrichtung.

Der Spannungsstoß kann Werte erreichen, die weit über der Batteriespannung liegen. Am größten ist die Gefahr bei Relais mit vielen Windungen aus dünnem Draht. Wenn wir das Relais durch einen Transistor betätigen lassen, der nur Spannungen von 20 V verträgt, so kann der Transistor durch den Spannungsstoß beim Abschalten zerstört werden. Ausfälle von Schalttransistoren nach einer gewissen Anzahl von Schaltungen werden so verständlich.

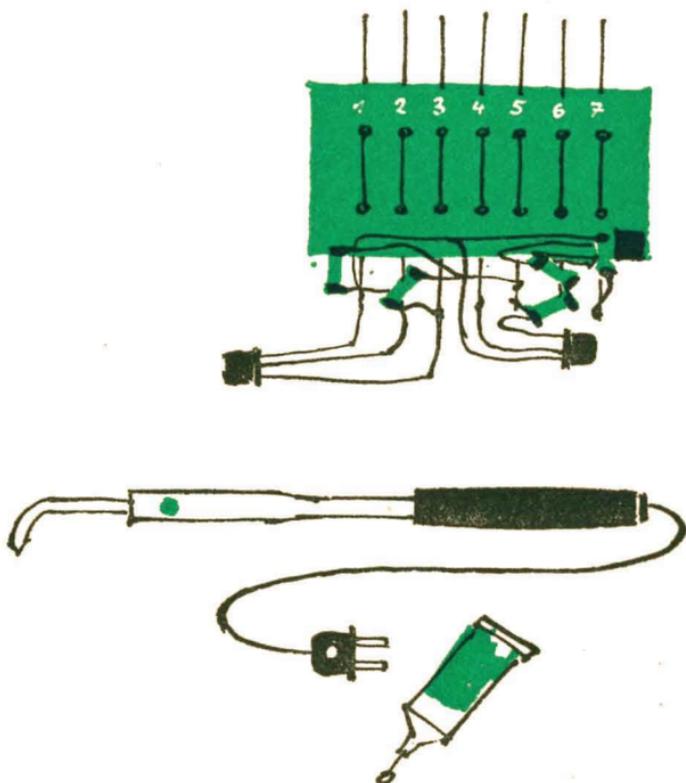


Um das zu verhindern, müssen wir den Abschaltstromstoß des Relais unschädlich machen. Man erreicht das, indem – wie in dem eben durchgeführten Versuch – parallel zu den Anschlüssen des Relais eine Diode geschaltet wird. Für die Batteriespannung sperrt sie. Tritt aber beim Abschalten eine umgekehrt gepolte Spannung auf, so läßt sie den Stromstoß durchfließen und hält ihn durch diesen Kurzschluß vom Transistor fern. Als Diode kann man jede beliebige Type verwenden. Man muß natürlich darauf achten, daß die Diode gegenüber der Batterie wirklich in Sperrichtung geschaltet wird und nicht in Durchlaßrichtung. Andernfalls würde die Diode beim Einschalten des Relais durchbrennen, weil der starke Durchlaßstrom das Innere der Diode schnell erwärmt.





## Aus Bauteilen werden Baugruppen



Im ersten Kapitel haben wir von den Bauteilen gesprochen und durch Experimente die Eigenschaften der Stromquellen, der Widerstände, Kondensatoren, Dioden und Transistoren kennengelernt und auch die Wirkung von Relais erprobt. Die Grundversuche sollten dazu beitragen, die Funktion von Baugruppen, die wir nun aus den Bauteilen zusammenfügen

wollen, besser zu verstehen. Ebenso wie bei den Bauteilen wollen wir auch alle geschilderten Versuche mit den Baugruppen durchführen, denn ohne Erfahrung mit den Baugruppen wird uns später die Arbeitsweise kompletter Geräte ebenfalls nur schwer verständlich sein.

Baugruppen sind selbständig wirkende Einheiten mit einer bestimmten Funktion. Ganze Geräte bestehen meist aus mehreren Baugruppen. Die Aufgliederung der Bestandteile eines Gerätes auf Baugruppen dient der besseren Übersicht und leichteren Prüfung des Gerätes. Aus einer kleinen Anzahl von Baugruppen kann man die verschiedensten Geräte aufbauen.

Ehe wir mit der Zusammenstellung von Bauteilen zu Baugruppen beginnen und schwierigere Versuche anstellen, wollen wir noch ein paar allgemeine Dinge klären. Da ist zunächst die Frage, woher wir die Bauteile erhalten. Die meisten Bauteile kann man in Rundfunk-Fachgeschäften kaufen. In größeren Städten gibt es besondere Läden für Bauteile oder Bastlerbedarf. Vieles findet man auch in Modelleisenbahn-Geschäften. Bei der Beschaffung der Bauteile ist darauf zu achten, daß immer zwei Angaben nötig sind: bei Widerständen der Widerstandswert und die Leistung, bei Kondensatoren die Kapazität und die Spannung. Es ist günstig, wenn wir uns gleich einen gewissen Vorrat an Bauteilen (vor allem an Widerständen und kleineren Kondensatoren) anlegen. Man kann diese Teile immer wieder gebrauchen, und es ist ärgerlich, wenn man eine Schaltung wegen eines fehlenden Widerstandes nicht fertigen kann. Man muß dabei nicht unbedingt runde Widerstandswerte

(50 k $\Omega$ , 100 k $\Omega$  und so weiter) verwenden. Annähernde Werte, beispielsweise 44 k $\Omega$  oder 56 k $\Omega$ , 90 k $\Omega$  oder 105 k $\Omega$ , erfüllen den gleichen Zweck.

Wir müssen uns auch überlegen, wie die Baugruppen aussehen sollen. Die Baugruppen serienmäßig hergestellter Geräte werden oft so flach wie möglich auf Platten aus Isolierstoff angeordnet. Die Platten haben viele Bohrungen, durch die man die Anschlüsse steckt. Die Bauteile selbst liegen also auf der einen Seite der Platte, die Drähte und Verbindungen auf der anderen.

In vielen Fällen ist diese Art der Anordnung auch für uns günstig. Die Teile sind dadurch sehr übersichtlich angebracht, und einzelne Bauteile können leicht ausgewechselt werden. Als Trägermaterial kann man dünne Pappe verwenden. Die Löcher für die Anschlüsse werden mit einer Nadel eingestochen. Dabei können die einzelnen Teile ganz dicht nebeneinander angebracht werden, natürlich so, daß sie sich nicht berühren. Verbindungsdraht sollte man so wenig wie möglich benutzen. Meist kann bei geschickter Anordnung der Bauteile zueinander der Anschluß eines Widerstandes direkt mit der Zuleitung eines Transistors oder einer Diode verbunden werden. Blanke Teile, die sich berühren könnten, bestreicht man mit Alleskleber (Kittifix, Duosan usw.). Relais kann man mit Blechwinkeln auf den Platten befestigen. Hoch belastete Leistungstransistoren müssen auf Metallflächen angebracht werden, um die Wärme abzuführen. In der Regel ist es dabei nötig, die einzelnen Flächen voneinander zu isolieren, weil die Außenplatte der Leistungstransistoren gleich-

zeitig Stromzuführung ist und sich die Kollektoren nicht berühren sollen.

Ein gewisser Nachteil der Platten ist allerdings ihre Größe. Wenn es auf geringsten Raumbedarf ankommt, baut man die Teile besser ganz dicht zusammen, so daß die Baugruppe würfelförmig wird. Einige Baugruppen lassen sich in genau der gleichen Art für verschiedene Geräte benutzen. Man nimmt die Gruppen deshalb nicht wieder auseinander, sondern verbindet die Teile zu einem Block, der komplett in das entsprechende Gerät eingesetzt wird. Nachdem man sich davon überzeugt hat, daß alles ordnungsgemäß arbeitet, bestreicht man beide Seiten einer plattenförmigen Baugruppe mit Alleskleber; nach dem Erhärten halten die Teile gut zusammen.

Würfelförmige Baugruppen können ebenfalls dicht zusammengedrückt und mit flüssigem Kerzenwachs ausgegossen werden, nachdem man vorher alle blanken Teile (auch die Außenseite von Kondensatoren und Widerständen!) sorgfältig mit Alleskleber bestrichen und sie dadurch elektrisch isoliert hat. Bei geringem Stromverbrauch kann man die Batterie und den Schalter mit eingießen. Um das Wachs, solange es noch flüssig ist, zusammenzuhalten, genügt ein Becher, der aus Papier zusammengeklebt ist.

Normale Relais (ohne Plastkappe) kann man natürlich nicht vollständig eingießen, weil sie sich dann nicht mehr bewegen könnten. Man läßt sie mit dem Teil, das den bewegten Anker und die Kontakte trägt, zur Hälfte aus dem Wachsblock herausragen. Geschickte Bastler können für die Relais kleine Gehäuse aus Pappe herstellen, die mit Duosan gegen





das Eindringen von Wachs abgedichtet werden. Das Relais kann in diesem Fall in die Mitte des Wachsblockes eingegossen werden, wo es am besten geschützt ist.

Durch das Bestreichen der Platten mit Duosan oder das Ausgießen mit Wachs erhalten die Baugruppen eine große Widerstandsfähigkeit gegen Fall oder Stoß. In Wachs eingegossene Bauteile dürfen sich nicht über  $40^{\circ}\text{C}$  erwärmen, weil das Wachs dadurch weich wird und schließlich auseinanderläuft.

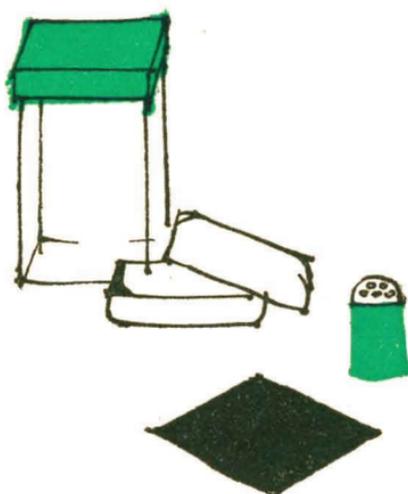
Im Notfall kann man die hergestellten Baugruppen auch wieder zerlegen. Alleskleber löst sich in Azeton, das man in Drogerien erhält; Wachs kann in heißem Wasser geschmolzen werden. Die Temperatur soll dabei nicht über  $60^{\circ}\text{C}$  steigen.

Obwohl wir jetzt noch nicht über den Bau von Geräten sprechen, soll doch schon auf einige Möglichkeiten zur Anfertigung von Gehäusen hingewiesen werden, weil diese zum Teil auch beim Zusammenetzen der Baugruppen anwendbar sind.

Als Material für ein Gehäuse kann man Eisen- oder Aluminiumblech, Sperrholz und andere Stoffe verwenden. Besonders vorteilhaft sind die Behälter, die

als Zucker- und Campingdosen, Kühlschranksätze, Seifenbehälter und Salzstreuer in unterschiedlichen Größen angeboten werden. Fast alle dieser käuflichen Behälter sind aus Thermoplasten, das heißt aus einem Material, das durch Wärme erweicht und geschmolzen werden kann. Zur Bearbeitung braucht man deshalb weder Säge noch Bohrer. Mit einem warmen (nicht heißen!) LötKolben kann man beispielsweise größere Öffnungen für Schalter herstellen. Befestigt man an der LötKolbenspitze mit Draht eine Stopfnadel, so kann man in das Material leicht Löcher für die Anschlußdrähte einstechen. Außerdem lassen sich die Plasterzeugnisse auch bohren, wenn man vorsichtig genug vorgeht. Gewalt darf man dabei jedoch nicht anwenden, weil die Teile leicht reißen oder brechen.

Ganz besonders günstig ist, daß bei Kühlschranksätzen meist mehrere kleine Behälter genau in

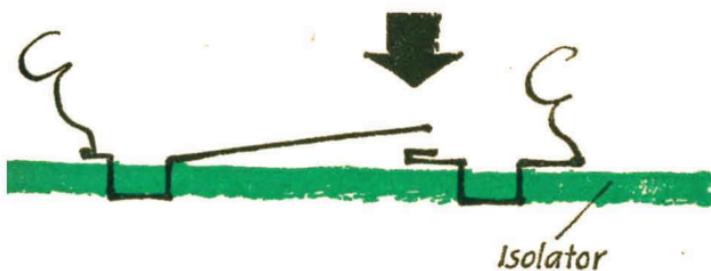


einen größeren passen. Bei einem Gerät mit mehreren Baugruppen könnte man einen solchen Einsatz verwenden und in jedem der kleinen Behälter eine Baugruppe unterbringen. Beim Einbau lichtempfindlicher Bauteile hat man bei der Verwendung solcher Plastbehälter noch den Vorzug, daß das Licht beim Durchtritt nur wenig geschwächt wird. Mit Wachs ausgegossene Plastbehälter sind außerordentlich widerstandsfähig. Bei einem Stoß können sie zwar einen Sprung bekommen, doch brechen sie nur selten auseinander.

Plaste isolieren besonders gut. Man kann deshalb die Bauteile auch auf Platten anbringen, die man sich mit dem LötKolben aus größeren Behältern „herausgeschnitten“ hat.

Man sollte diese großen Vorzüge der Plaste viel häufiger nutzen, um ohne große Mühe Gehäuse für Baugruppen und Geräte herzustellen.

Die meisten Bauteile erlauben es, sehr kleine Baugruppen und Geräte herzustellen; man sollte immer bestrebt sein, möglichst platzsparend zu bauen. Im Gegensatz zu den Transistoren, Widerständen, Kleinstpotentiometern und so weiter sind die Schalter jedoch meist übermäßig groß. Das liegt zum Teil daran, daß sie oft für Netzspannung, große Stromstärken und eine große Schalthäufigkeit bestimmt sind. Bei unseren Geräten brauchen wir dagegen kleine Stromstärken, und es wird verhältnismäßig selten ein- und ausgeschaltet. Dabei sind auch die Spannungen so gering, daß man blanke Teile ohne Schaden berühren kann. Wir können uns deshalb für unsere Zwecke die verschiedensten Kleinschalter zum Teil



selbst herstellen. Wesentlich dabei ist, daß die Teile, die den Strom übertragen sollen, mit einem gewissen Druck aufeinander liegen. Am einfachsten sind Momentkontakte herzustellen. Oft genügen schon zwei Drahtstücke, die sich in geringem Abstand gegenüberstehen und etwas federn. Man kann dazu zum Beispiel die Messingfedern verbrauchter Flachbatterien benutzen. Auch eine kleine Spiralfeder als kontaktgebendes Element ist brauchbar. Kontakte dieser Art sind sehr klein und billig und erfüllen durchaus ihren Zweck. Als Trägerplatte für diese Schalter lassen sich wiederum Plaste oder andere Isolierstoffe benutzen.

Beim Aufbau einer Schaltung muß man mit System vorgehen, um nicht Teile zu vergessen oder falsche Verbindungen herzustellen. Man zeichnet zuerst die Schaltung ab, stellt nach dem Schaltbild eine Stückliste auf und besorgt sich die Einzelteile. Aus der Größe der Bauteile und ihrem Verwendungszweck ergibt sich die Anordnung innerhalb der Schaltung. Elektrisch zusammengehörige Teile – zum Beispiel ein Transistor und der dazugehörige Basisvorwiderstand – sollen dicht nebeneinanderliegen, damit nicht lange Verbindungen nötig werden.



Man fängt nun an einer Stelle der Schaltung an, die Teile miteinander zu verlöten, und versucht immer, geschlossene Kreise hintereinander fertigzustellen. Die Verbindungen, die hergestellt worden sind, kreuzt man im Schaltbild an. Die Batterie wird erst am Schluß eingefügt.

Jede Schaltung sollte man zuerst behelfsmäßig auf dem Tisch zusammenfügen und die Teile – vor allem Transistoren und Widerstände – so auswählen, daß die gewünschte Wirkung auftritt. Nützlich ist hierzu eine Platte aus Pertinax, auf die man mehrere Lötösenleisten aufklebt. Die zu erprobende Schaltung wird nicht allzu gedrängt eingelötet. Die Teile sind dadurch zuverlässig verbunden und doch leicht auswechselbar. Bei der ersten Inbetriebnahme fügt man in die Batterie-zuleitung einen Strommesser ein. Eine Schaltung aus drei Transistoren der

Sorte I darf etwa 30 mA Strom aufnehmen. Bedeutend größere Stromstärken weisen auf Fehler hin. Man unterbricht dann die Zuleitung sofort. Die richtig arbeitende Gruppe wird danach zerlegt und aus denselben Teilen endgültig zusammengebaut. Mehrere, äußerlich nicht unterschiedliche Transistoren, Widerstände und Kondensatoren sollen vor dem Auseinandernehmen gekennzeichnet werden, damit man dieselben Teile an bestimmter Stelle der Schaltung verwendet und sie nicht vertauscht. Arbeitet eine Baugruppe nach dem Zusammenfügen überhaupt nicht, so liegen meist grobe Fehler vor wie falscher Batterieanschluß, vergessene Verbindungen usw. Kann man keinen Fehler finden, so zerlegt man die Gruppe am besten wieder und prüft jedes Bauteil für sich.



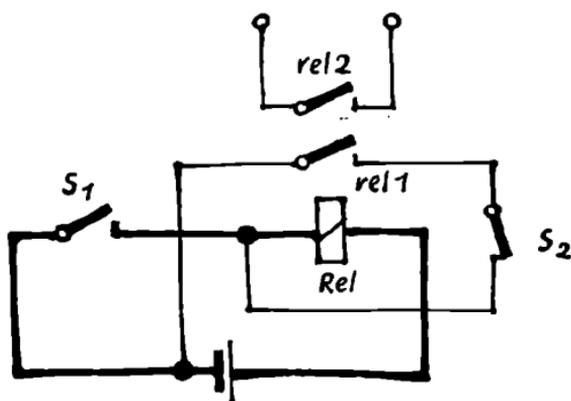
## Schaltungen mit Relais

Bevor wir zu den eigentlichen Baugruppen kommen, wollen wir noch einige Versuche mit Relais anstellen. Relaisschaltungen haben den Vorzug, daß man die Wirkung von Schaltungsänderungen sofort erkennt und leicht verstehen kann. Wir brauchen dazu zwei Relais mit mindestens zwei Umschaltern, die bei ungefähr 6 V anziehen.

Daß das Relais eine verstärkende Wirkung hat, sahen wir schon. Mit einem schwachen Strom von 15 mA bis 50 mA können Ströme bis zu 1 A eingeschaltet werden. Ebenso ist es möglich, mit einem schwachen Gleichstrom einen kräftigen Wechselstrom einzuschalten. Die verschiedenen Stromkreise werden durch die Relais getrennt, da die Spulenwicklung der Relais elektrisch nicht mit den Kontakten verbunden ist. Je nach der Anzahl der vorgesehenen Kontakte können mit einem Strom durch die Spule mehrere verschiedene Stromkreise beeinflußt werden.

Relais haben jedoch einen gewissen Nachteil. Sie ziehen nur so lange an, wie Strom durch die Relaispule fließt. Häufig möchte man aber erreichen, daß durch einen kurzen Stromstoß (etwa eine Kondensator-

entladung) ein Relais dauernd angezogen bleibt. Solch einen Dauerkontakt erreichen wir durch die sogenannte Selbsthalteschaltung. Eine Selbsthalteschaltung kann mit Relais verwirklicht werden, die mindestens zwei getrennte Kontakte schließen. Einen Arbeitsstromkontakt brauchen wir nämlich für diese Schaltung. Er kann also nicht dazu benutzt werden, Glühlampen oder andere Verbraucher einzuschalten. Der Grundgedanke ist, durch den Stromstoß und das kurze Anziehen einen besonderen Kreis schließen zu lassen, durch den dauernd Strom fließt. Dadurch zieht die Relaispule auch noch an, wenn der Stromstoß schon zu Ende ist. In der Abbildung ist ein Relais dargestellt, das über einen Momentkontakt  $S_1$  an eine Batterie angeschlossen ist (stark gezeichnete Linien). Schließt man  $S_1$ , so zieht das Relais an, öffnet man den Schalter, so kehrt es in die Ruhelage zurück. Man kann nun einen zweiten Stromkreis bilden. Er schließt die Relaiswicklung ebenfalls an die Batterie an, der Einschalter ( $rel\ 1$ ) ist aber ein Relaiskontakt



selbst. Im Ruhezustand ist rel 1 geöffnet, und der Zusatzkreis hat keine Wirkung. Zieht aber das Relais auch nur kurz an, so wird rel 1 geschlossen und verbindet die Wicklung dauernd mit der Batterie. Der erste Schalter ( $S_1$ ) kann also wieder geöffnet werden, und das Relais bleibt trotzdem angezogen. Es kehrt erst wieder in den Ausgangszustand zurück, wenn man den Schalter  $S_2$  öffnet und dadurch den Haltestromkreis unterbricht.

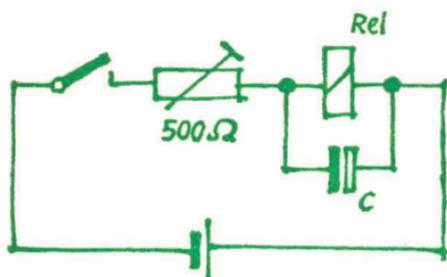
Schaltungen dieser Art benutzt man, um auch nach längerer Zeit noch kontrollieren zu können, ob  $S_1$  irgendwann einmal geschlossen worden ist. Die Selbsthalteschaltung ist demnach schon ein ganz einfaches Gedächtnis. Stellt man sich mehrere solcher Kreise vor, so kann man dem ersten der Einschalter ( $S_1$ ) die Ziffer 1 zuordnen, dem zweiten die Ziffer 2 und so fort. Mit zehn Relais kann sich das „Gedächtnis“ schon eine von zehn Ziffern merken und zum Beispiel durch eine Glühlampe, die vom zweiten Kontakt rel 2 eingeschaltet wird, anzeigen.

Manchmal möchte man erreichen, daß das Relais nicht im Augenblick des Einschaltens anzieht, sondern erst 0,1 s bis 1 s später. Solche „Verzögerungen“ werden beispielsweise gebraucht, wenn durch einen Schalter mehrere Relais kurz nacheinander eingeschaltet werden sollen. Eine Möglichkeit dazu ist, den Spulenanschlüssen einen Elektrolytkondensator mit großer Kapazität parallelzuschalten. In den Batteriekreis fügen wir einen Widerstand (50  $\Omega$  bis 500  $\Omega$ ) ein, der eine zu schnelle Aufladung des Kondensators verhindert. Der Widerstand muß so gewählt werden, daß das Relais noch sicher anzieht.

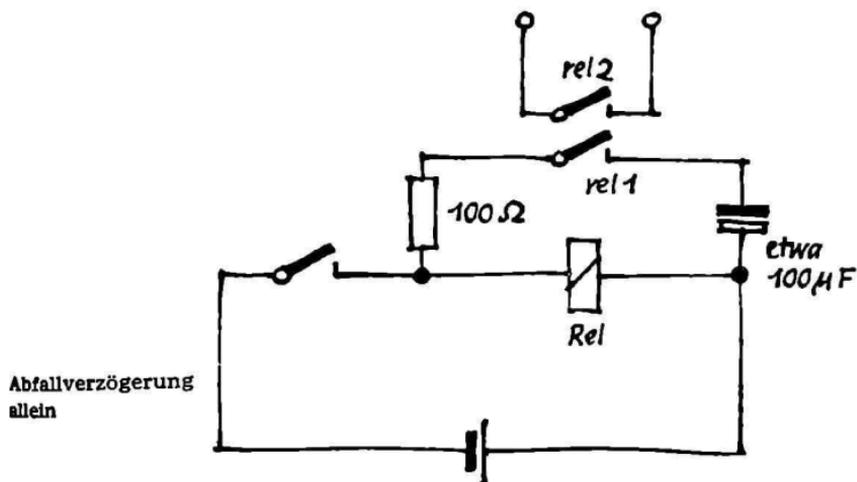
Im Moment des Einschaltens liegt die Spannung gleichzeitig an der Relaiswicklung und am Kondensator. Der Kondensator ist ungeladen und nimmt deshalb zunächst einen großen Strom auf. Er wirkt also am Anfang wie ein niedriger Widerstand; infolgedessen fließt nur ein kleiner Teil des Stromes durch die Wicklung, und das Relais zieht nicht an. Nach kurzer Zeit hat sich der Kondensator aufgeladen. Der Ladestrom nimmt ab, der wirksame Widerstand des Kondensators steigt also schnell an. Dadurch fließt ein immer größerer Teil des ganzen Stromes durch die Wicklung des Relais, bis es anzieht.

Auf diese Weise kann man allerdings nur kurze Verzögerungen (einige Sekunden) erreichen, weil sich der Kondensator verhältnismäßig schnell auflädt. Die Kapazität  $C$  soll mindestens  $200 \mu\text{F}$ , besser noch  $500 \mu\text{F}$  oder  $1000 \mu\text{F}$  betragen. Beim Abschalten der Spannung wirkt der Kondensator im ersten Augenblick wie eine Batterie — er entlädt sich über den Widerstand der Wicklung. Dadurch fällt das Relais nicht gleich in die Ruhelage zurück, sondern bleibt noch einige Sekunden angezogen. Wir haben gleichzeitig eine „Abfallverzögerung“ erhalten.

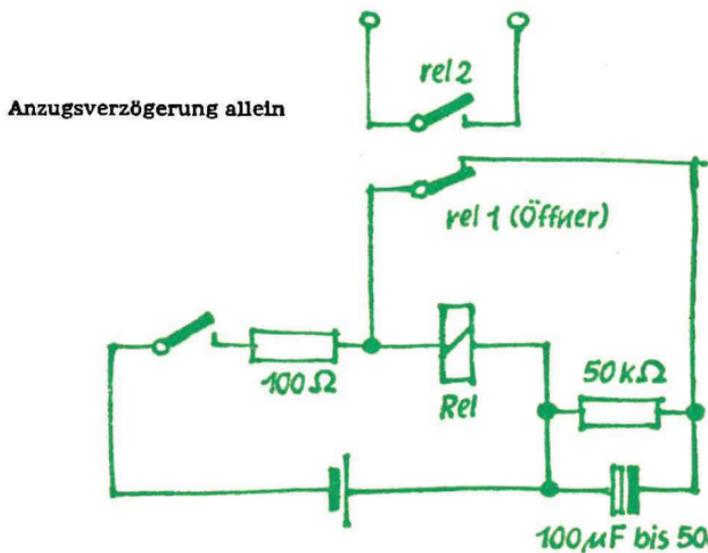
Abfallverzögerungen werden in Schaltungen verwendet, wenn auch ganz kurze Stromstöße bestimmte Vorgänge auslösen sollen, die eine gewisse Zeit beanspruchen. Eine Glühlampe leuchtet beispielsweise erst  $0,2 \text{ s}$  bis  $1 \text{ s}$  nach dem Einschalten mit voller Stärke. Die Wolframwendel muß sich erst auf eine bestimmte Temperatur erwärmen, und dafür ist ein Impuls von etwa  $0,1 \text{ s}$  Länge zu kurz. In einem sol-



Anzugs-  
und Abfallverzögerung



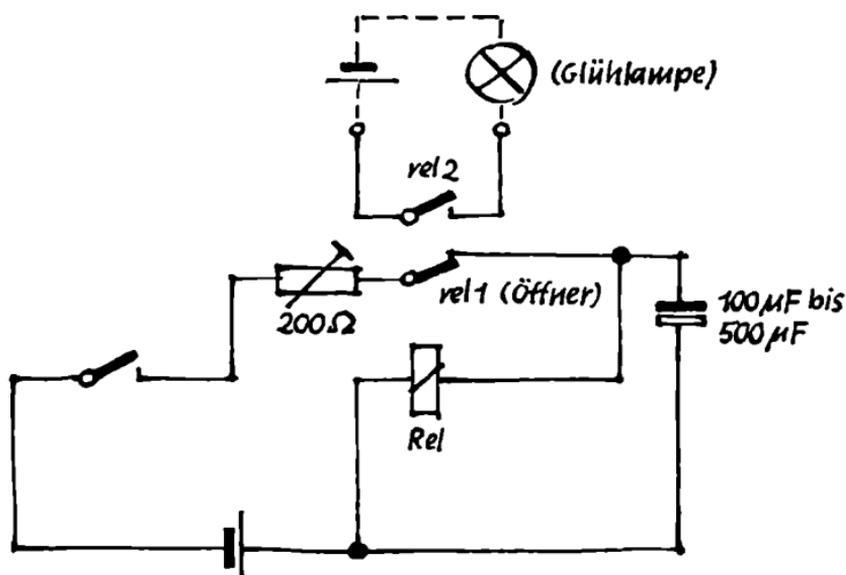
Abfallverzögerung  
allein



Anzugsverzögerung  
allein

chen Falle zeigt also eine Signallampe nichts an, obwohl die Spannung kurze Zeit vorhanden war. Man könnte nun eine Relaisschaltung mit Abfallverzögerung benutzen, die den kurzen Stromstoß verlängert und die Kontrollampe sicher aufleuchten läßt. Allerdings ist hier eine Anzugsverzögerung nicht erwünscht; die Lampe soll sofort brennen. Man verwendet deshalb eine auf der vorigen Seite dargestellte Schaltung, in der der Kondensator erst eingeschaltet wird, nachdem das Relais angezogen hat. Wünscht man nur eine Anzugsverzögerung, so wird der Kondensator beim Anziehen einpolig von der Spulenwicklung getrennt und für sich entladen (Widerstand 50 k $\Omega$ ). Beim Abschalten kann er also nicht verzögernd wirken.

Die Zuleitung zur Relaisspule kann man durch einen Relaiskontakt unterbrechen lassen. Wenn das Relais anzieht, unterbricht es sich selbst durch Öffnung eines Kontaktes den Strom. Durch die Federkraft fällt der Anker zurück, die Kontakte schließen den Stromkreis wieder, das Relais zieht wieder an und so weiter. Die einzelnen Schaltungen gehen allerdings so schnell, daß man sie mit dem Auge nicht verfolgen kann. Man hört nur ein Schnurren. Schalten wir aber zur Wicklung einen Kondensator parallel, so folgen die einzelnen Schaltungen in Abständen von 0,5 s bis 5 s (je nach der Kapazität des Kondensators) aufeinander. Wir verwenden hier die Anzugs- und Abfallverzögerung. Den Wert des Widerstandes muß man durch Versuche genau bestimmen, damit das Relais zwar noch sicher anzieht, aber die Schalzhäufigkeit niedrig liegt.

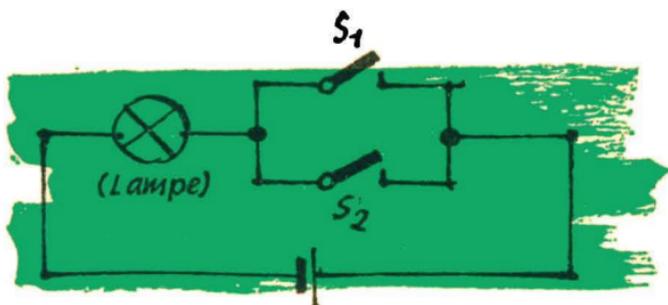


Wir haben hier zum ersten Male eine selbsttätige Schaltung vor uns. „Selbsttätig“ bedeutet, daß wir die Wirkung, die sich beobachten läßt, nicht direkt hervorgerufen haben. Zwar haben wir (durch Einschalten) einen Anstoß gegeben, doch die einzelnen Schaltvorgänge laufen ohne unser Zutun ab. Diese Relaisschaltung könnte man als Blinkschaltung benutzen. Ein zweiter Kontakt des Relais öffnet und schließt dann einen Stromkreis, in dem eine Stromquelle und eine Glühlampe verbunden sind. Dadurch leuchtet die Glühlampe regelmäßig auf. Allerdings hat diese Relaisschaltung auch Nachteile. Vor allem nutzen sich die Kontakte ab. Im Dunkeln kann man beobachten, daß bei jedem Schaltvorgang zwischen

den Kontakten kleine Funken überspringen. Praktisch benutzt man deshalb für Blinkschaltungen nur ausnahmsweise Relais. Es gibt dafür besser geeignete Halbleiterschaltungen, die wir noch besprechen. Für unsere Zwecke hat das Relais jedoch den großen Vorteil, daß man die Wirkung leicht erkennen kann.

Relais sind „binäre“ (zweiwertige) Glieder, sie kennen nur zwei Möglichkeiten, nämlich ein und aus. Ein Meßgerät kann dagegen viele Stellungen einnehmen, es ist also ein mehrwertiges Bauteil. Man kann irgendwelche Meldungen (zum Beispiel Worte oder Zahlen) sowohl durch zweiwertige Glieder, zum Beispiel Relais, als auch durch mehrwertige Bauteile übertragen. Ein Beispiel, wie man durch eine Folge von Ein- und Ausschaltungen Nachrichten übermitteln kann, gibt uns das Morsealphabet. Die binären Verfahren sind zwar meist verhältnismäßig umständlich, weil erst eine ganze Anzahl von Ein- und Ausschaltungen den Sinn ergibt, aber dafür arbeiten solche Verfahren sehr sicher. Mehrwertige Verfahren, bei denen es auf alle Zwischenwerte ankommt, sind dagegen anfällig gegen Störungen. Die technischen Speicher, die sogenannten Gedächtnisse der Maschinen, sind meist binäre Speicher. Es ist nämlich viel einfacher, die Tatsache festzuhalten, daß ein Stromstoß angekommen ist, als aufzuzeichnen, wie stark er war.

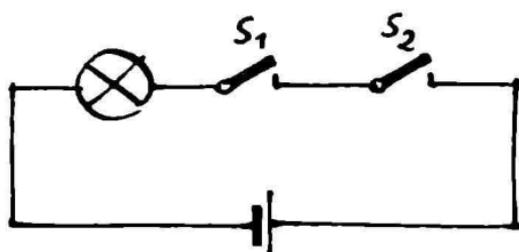
Die binären Verfahren, die nur zwei Lagen (zum Beispiel zwei Kontaktstellungen) unterscheiden, haben in der letzten Zeit große Verbreitung gefunden. Die Wissenschaft, die sich damit befaßt, heißt Schaltalgebra. Durch geschickte Ausnutzung der Gesetze



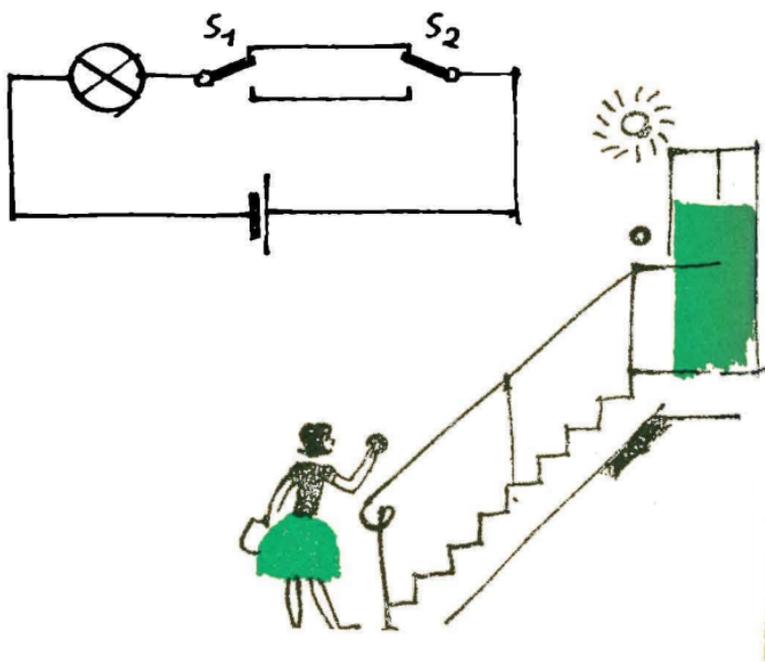
der Schaltalgebra kann man die Anzahl von Kontakten in technischen Anlagen niedrig halten – wodurch weniger Störungen auftreten können – und verhältnismäßig komplizierte „Verknüpfungen“ herstellen, das sind Bedingungen, unter denen Schaltvorgänge stattfinden. Wir wollen uns mit einigen einfachen, oft anwendbaren Fällen beschäftigen.

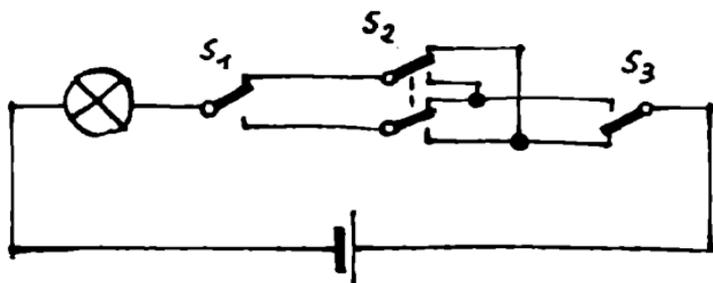
Eine häufig vorkommende Aufgabe ist es, einen Verbraucher, zum Beispiel eine Glühlampe, von mehreren Stellen aus ein- und auszuschalten. Das ist gar nicht so einfach, weil sowohl der eine als auch der andere Schalter ein Ein- und Ausschalten ermöglichen soll, unabhängig davon, in welcher Stellung sich der zweite Schalter befindet.

Die Schaltung in der Abbildung, bei der zwei Ein- und Auswähler parallel angebracht sind, ermöglicht das beispielsweise nicht: Wenn der Schalter  $S_1$  eingeschaltet ist, hat die Stellung des Schalters  $S_2$  keine Bedeutung. Nur wenn  $S_1$  keinen Kontakt gibt, kann man mit dem Schalter  $S_2$  ein- und ausschalten. Man nennt eine solche Schaltung eine „Oder“-Schaltung. Die Lampe brennt, wenn entweder  $S_1$  oder  $S_2$  eingeschaltet ist.



Ordnet man zwei Einschalter hintereinander an, so entsteht eine sogenannte „Und“-Schaltung. Die Lampe brennt nur dann, wenn sowohl der eine als auch der andere Schalter eingeschaltet ist. Man kann zwar die Lampe mit dem Schalter  $S_1$  einschalten, wenn  $S_2$  geschlossen ist, und sie beispielsweise mit  $S_2$  wieder ausschalten. Ist aber der eine Schalter geöffnet, so ist es nicht möglich, mit dem anderen einzuschalten.





Die Schaltung, die es erlaubt, von zwei Stellen, unabhängig von der Stellung des anderen Schalters, ein- und auszuschalten, ist in der folgenden Abbildung gezeigt. Man kann die Schaltung zum Beispiel für eine Treppenbeleuchtung benutzen. Zwischen den beiden Umschaltern ist eine zweipolige Verbindung nötig. Bei jeder beliebigen Stellung beider Schalter bewirkt eine Betätigung eines Schalters eine Veränderung des Zustandes, das heißt ein Ausschalten, wenn vorher eingeschaltet war, und umgekehrt.

Will man einen Verbraucher von drei Stellen aus ein- und ausschalten, so ist eine kompliziertere Schaltung („Kreuzschaltung“) erforderlich. Als Kreuzschalter kann ein zweipoliger Umschalter benutzt werden.

Wenn eine Glühlampe oder ein anderer Verbraucher von vier oder fünf Stellen aus geschaltet werden soll, verwendet man mehrere Kreuzschalter (zweipolige Umschalter wie  $S_2$ ). Durch das Zeichnen der verschiedenen Möglichkeiten überzeugt man sich davon, daß man mit jedem beliebigen Schalter – wie die anderen Schalter auch stehen mögen – den Zustand in sein Gegenteil verwandeln kann (von aus nach ein oder umgekehrt). Es ist sowohl möglich, mit einem der Schalter abwechselnd ein- und auszuschalten als

auch beispielsweise mit dem ersten Schalter ein-, mit dem dritten auszuschalten und so fort.

In diesen Schaltungen ist als Stromquelle eine Batterie gezeichnet worden. Natürlich kann man auch einen Trafo benutzen, da Glühlampen mit Gleich- oder Wechselspannung betrieben werden können.

## Gleichrichterschaltungen

Für die meisten unserer Versuche benutzen wir Gleichspannung. Im Dauerbetrieb erschöpfen sich jedoch die beiden Flachbatterien schnell; man verwendet als Stromquellen dann besser Netztransformatoren. Trafos geben aber, wie wir wissen, Wechselspannung ab. Sie muß durch Gleichrichter in eine Gleichspannung umgeformt werden.

In manchen Trafos (besonders in denen für Modelleisenbahnen) ist schon ein Gleichrichter eingebaut. Um festzustellen, ob ein Trafoanschluß Gleich- oder Wechselspannung führt, kann man aus der Spannungsquelle, einer Diode, einem Widerstand von etwa  $2\text{ k}\Omega$  und dem Strommesser einen Stromkreis bilden. Bei Gleichspannung stellt man für die eine Polung der Diode (in Durchlaßrichtung) den vollen Wert von etwa  $3\text{ mA}$  bis  $10\text{ mA}$  fest, für die umgekehrte Polung (in Sperrichtung) nahezu Null. Bei Wechselspannung fließen dagegen für beide Polungen der Diode gleichgroße Ströme.

Ohne Diode darf unser Strom- und Spannungsmesser auf keinen Fall an Wechselspannungen angeschlossen oder in Wechselstromkreise eingefügt wer-

den. Obwohl der Zeiger auf Null steht, kann das Gerät durchbrennen. Das bewegte System des Meßgerätes kann nämlich den schnellen Schwankungen nicht folgen, sondern bildet einen Mittelwert zwischen den positiven und den negativen Ausschlägen. Dieses Mittel ist immer Null, auch bei starker Überlastung des Gerätes.

Wenn wir an den Schwachstromklemmen eines solchen Trafos eine Gleichspannung feststellen, so brauchen wir natürlich keinen zusätzlichen Gleichrichter. Ein Gleichrichter besteht aus zwei Gruppen: einem Ventil, das Strom nur in einer Richtung durchläßt, und einem Bauteil, das die Stromstöße in einen gleichbleibenden Strom umwandelt.

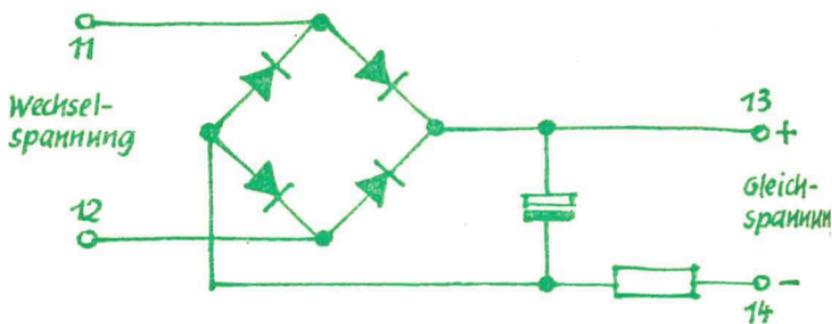
Von den verschiedenen Gleichrichterschaltungen wählen wir zwei aus: die Doppelwegschaltung und die Spannungsverdopplerschaltung.

## Baugruppe 1

### Doppelweggleichrichter

Geeignet für Wechselspannungen bis 20 V;  
Stromentnahme höchstens 20 mA im Dauerbetrieb;  
beliebige, aber untereinander gleiche Dioden  
verwendbar.

Die Doppelwegschaltung mit vier gleichen Dioden hat den Vorzug, daß die Welligkeit des gleichgerich-



teten Stromes gering ist. Der Gleichrichter allein gibt zwar eine Spannung mit konstanter Polung, aber mit schwankender Spannung ab. Erst durch den Kondensator, der wieder wie ein sammelndes Gefäß wirkt, erhalten wir tatsächlich einen „Gleichstrom“, also einen der Polarität und der Stärke nach gleichbleibenden Strom. Der Zufluß zum Kondensator ist schwankend, der Abfluß aber gleichmäßig.

Wir werden die einzelnen Anschlüsse der Baugruppen mit laufenden Nummern bezeichnen, um sie ohne lange Erklärungen auseinanderhalten zu können. Die erste Ziffer bedeutet die Nummer der Baugruppe, die zweite den Anschluß. Die Zuleitung 12 ist beispielsweise der zweite Anschluß der Baugruppe 1.

Die Anschlüsse 11 und 12 werden an Wechselspannung gelegt. Wir stellen uns nun vor, daß einen Augenblick lang am Anschluß 11 der Pluspol, an 12 der Minuspol anliegt. Von 11 fließt der Strom über die Diode rechts oben – die entsprechend dem 7. Versuch (Seite 82) in Durchlaßrichtung gepolt ist – zum Anschluß 13, dem Pluspol der Gleichspannung. Durch

die Diode links oben kann kein Strom fließen, weil sie in Sperrichtung gepolt ist. Entsprechend fließt der Strom vom Anschluß 12 (in diesem Moment der Minuspol) über die Diode links unten zum Minuspol 14. Die Diode rechts unten ist gesperrt. Wenn sich die Polung der Wechselspannung im nächsten Augenblick ändert, sind die Dioden links oben und rechts unten in Durchlaßrichtung geschaltet. Die Dioden rechts oben und links unten sperren. In dieser Weise fließt der Strom immer mit richtiger Polung zu den Gleichspannungsanschlüssen 13 und 14.

Zwischen Plus und Minus der Wechselspannung ist die Spannung auch einen Moment Null; der Kondensator entlädt sich etwas, er wirkt in diesem Augenblick als Stromquelle für den Widerstand, der als Verbraucher zwischen 13 und 14 angeschlossen ist.

Die beiden durch einen Farbring gekennzeichneten Anschlüsse der Dioden (also die Katoden) sind der Pluspol des Gleichrichters. Der Kondensator soll bei einem Stromverbrauch von 1 mA etwa  $10\ \mu\text{F}$ , bei 20 mA mindestens eine Kapazität von  $100\ \mu\text{F}$  haben. Die Höhe der Gleichspannung ist ungefähr gleich der angelegten Wechselspannung.

Damit der Gleichrichter nicht durch Kurzschluß überlastet werden kann, schalten wir zwischen den einen Pol von Gleichrichter und Kondensator und den Anschluß 14 noch einen Widerstand. Wir dürfen dem Gleichrichter dauernd etwa 20 mA entnehmen. Bei 6 V ist demnach ein Widerstand von rund  $300\ \Omega$  nötig, damit auch beim Kurzschluß nicht mehr als 20 mA fließen. Bei 12 V ist der Widerstand etwa  $600\ \Omega$ . Allerdings verringert dieser Schutzwiderstand

die Stromstärke, die durch einen Verbraucher mit geringem Innenwiderstand fließt. Ein Relais, das selbst einen Widerstand von  $300 \Omega$  hat, würde ohne den Widerstand bei  $6 \text{ V}$  einen Strom von ungefähr  $20 \text{ mA}$  durchlassen. Mit dem Schutzwiderstand ist der Gesamtwiderstand  $600 \Omega$ , und es können nur  $10 \text{ mA}$  fließen.

Zum Betreiben von Relais muß man den Schutzwiderstand daher oft weglassen, um einen Strom, der zum Anziehen des Relais ausreicht, entnehmen zu können. Bei anderen Versuchen wollen wir den Schutzwiderstand nur dann wegfallen lassen, wenn wir sicher sind, daß auf keinen Fall Kurzschluß entstehen kann, beispielsweise beim Einbau der Schaltung in ein festes Gehäuse. Anderenfalls können bei Kurzschluß der Klemmen 13 und 14 alle vier Dioden zugleich durchbrennen.

Ein Gleichrichter kann ständig – auch in den Pausen – mit dem Trafo verbunden sein. Er nutzt sich nicht ab, wenn man keinen Strom entnimmt. Braucht man für kurze Zeit Ströme über  $20 \text{ mA}$ , so lädt man mit dem Gleichrichter am besten einen großen Kondensator (zum Beispiel mit  $C = 1000 \mu\text{F}$ ) auf und entlädt ihn auf einmal. Im Entlade-Stromkreis soll der Widerstand mindestens  $100 \Omega$  betragen, damit der Kondensator nicht beschädigt wird.

Dauerströme über  $20 \text{ mA}$  kann man mit Doppelweggleichrichtern nur dann erzeugen, wenn man statt der bisher benutzten kleinen Glasdioden größere „Leistungsdiode“ in Metallgehäusen verwendet. Dazu eignen sich folgende Typen:

	alte Bezeichnung	neue Bezeichnung
bis 0,1 A	OY 100 bis OY 102	GY 099 bis GY 102
bis 1 A	OY 110 bis OY 114 OY 910 bis OY 912	GY 109 bis GY 112

Dioden für Ströme bis zu 0,1 A haben eine Metallkappe, die gegenüber den beiden Anschlüssen isoliert ist. Bei Dioden bis 1 A ist das Gehäuse mit Gewinde meist der Pol, der sonst durch einen Farbring gekennzeichnet ist (die Katode). Diese Dioden müssen zur Wärmeableitung auf Metallblechen angebracht werden.

Die Schaltung der größeren Leistungsdioden entspricht genau der vorigen Abbildung. Der Schutzwiderstand wird entsprechend niedriger gewählt. Innerhalb der genannten Gruppen bestehen erhebliche Preisunterschiede. Wir wählen natürlich wieder die Ausführungen, die am billigsten sind.

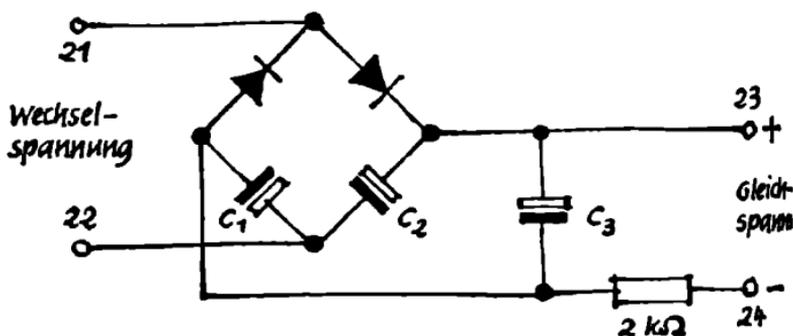
Manchmal ist es nötig, eine möglichst hohe Gleichspannung zu benutzen. Dafür lassen sich Hörbatterien mit 22,5 V verwenden. Man kann aber auch aus einer Wechselspannung von 12 V eine Gleichspannung von 20 V bis 30 V erzeugen. Allerdings muß der Stromverbrauch unter 2 mA liegen. Die Schaltung, die sich dafür eignet, heißt „Spannungsverdopplerschaltung“.

## Baugruppe 2

### Gleichrichter mit Spannungsverdopplung

Geeignet für Wechselspannungen bis 20 V;  
Gleichspannung ungefähr gleich der doppelten Wechselspannung;  
Stromverbrauch höchstens 2 mA;  
beliebige, aber untereinander gleiche Glasdioden  
verwendbar.

Wie die Abbildung zeigt, verwendet man zwei Glasdioden und zwei Kondensatoren. Die Kondensatoren werden abwechselnd aufgeladen und sind wie zwei Batterien hintereinandergeschaltet. Die Spannung an den Klemmen 23 und 24 ist vom Verbrauch abhängig; bei Strömen unter 2 mA liegt sie ungefähr bei der doppelten Wechselspannung. Der dritte Kondensator, der parallel zu den Gleichspannungsanschlüssen liegt, beseitigt die Welligkeit. Dieser Kondensator kann wegfallen, wenn die Schaltung zum Aufladen von Kondensatoren (vergleiche 4. Versuch



Seite 69) dienen soll. Der Schutzwiderstand von  $2\text{ k}\Omega$  soll jedoch immer verwendet werden.

Bei der Spannungsverdopplerschaltung muß man sorgfältig darauf achten, daß die Dioden und Elektrolytkondensatoren richtig gepolt werden. Wir hatten schon davon gesprochen, daß ein Elektrolytkondensator zerstört wird, wenn man ihn mit falscher Polarität an eine Spannung anschließt.

Unseren Gleichrichter mit Spannungsverdopplung verwenden wir dort, wo es auf die Erzeugung höherer Spannungen ankommt, also zur Aufladung von Kondensatoren, die zur weiteren Spannungsvergrößerung anschließend hintereinandergeschaltet werden, zur Messung von Widerständen mit hohem Widerstandswert und für ähnliche Zwecke.

## Multivibratoren

Wir kommen jetzt zu einer interessanten und vielseitigen Baugruppe: den Multivibratoren („Vielschwingern“). Unter dem Namen Multivibratoren faßt man vier verschiedene Schaltungen zusammen. Sie haben insofern eine gewisse Ähnlichkeit, als sie zwei Transistoren verwenden, die als Schalter wirken. Alle diese Schaltungen haben ein binäres Verhalten, sie kennen nur zwei Möglichkeiten. Die Spannung am „Ausgang“ nimmt also immer nur zwei Werte an, zum Beispiel  $0\text{ V}$  oder  $8\text{ V}$ , aber keine Spannungen dazwischen. Die Wirkungsweisen und Anwendungen dieser vier Schaltungen sind jedoch ganz verschieden.

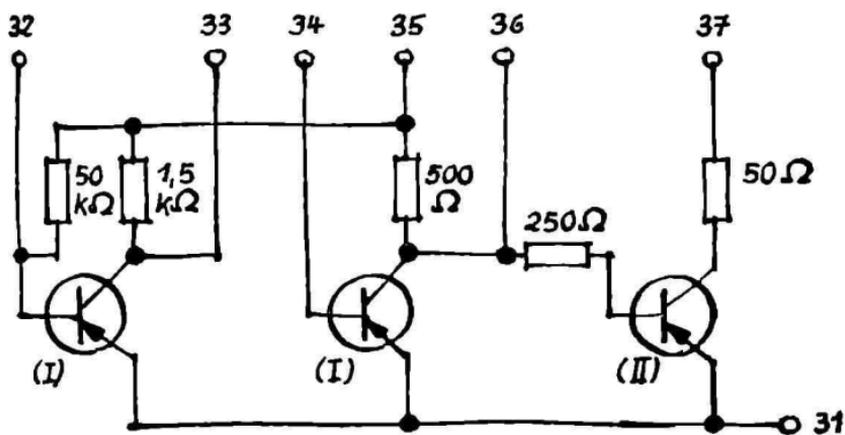
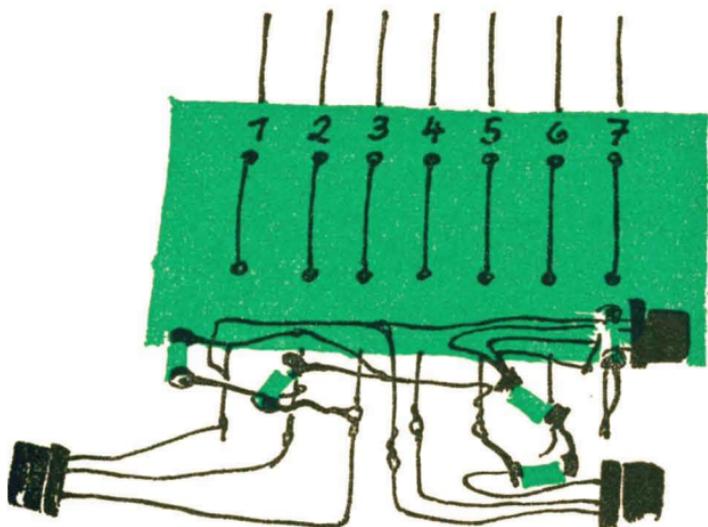
Wir wollen für alle vier Schaltungen nur eine Baugruppe verwenden, die hauptsächlich die beiden Transistoren sowie einen verstärkenden Schalttransistor enthält. Durch Hinzufügen verschiedener Bauteile entsteht dann die eine oder die andere Schaltung. Für den Erfahrenen sei noch gesagt, daß die Schaltungen zum Teil vereinfacht worden sind, um das Grundsätzliche besser zeigen zu können.

### Baugruppe 3

#### Multivibrator-Grundsaltung

Geeignet für Gleichspannung von 4,5 V bis 9 V;  
Stromverbrauch bei  $U = 9\text{ V}$  etwa 15 mA (ohne den Stromverbrauch der Glühlampe).

Für die ersten Versuche steckt man am besten sieben kräftige Kupferdrähte von ungefähr 10 cm Länge nebeneinander in ein Stück Pappe. Die Drähte werden einmal von unten und einmal von oben durch die Pappe hindurchgesteckt, so daß sie an der Pappe haften. Auf der einen Seite lötet man nun nach dem Schaltbild an die Drahtenden die drei Transistoren und fünf Widerstände an. Die sieben Drahtenden auf der anderen Seite werden nummeriert; sie dienen dazu, die verschiedenen, außen angeschlossenen zusätzlichen Bauteile aufzunehmen. Wir haben damit den Vorteil, daß die Transistoren nicht durch das häufige





Löten beschädigt werden, da wir die zusätzlich anzubringenden Widerstände und Verbindungsdrähte nicht an die Transistorenanschlüsse selbst anlöten, sondern an die Kupferdrähte. Die Wärme wird nur zum Teil zu den Transistoren am anderen Ende übertragen.

Für verschiedene Zwecke braucht man sogenannte Impulsgeber, das heißt Schaltungen, die aus einer Gleichspannung selbsttätig regelmäßige Spannungstöße erzeugen. Besonders bekannt sind die „Blinkschaltungen“. Dabei wird eine Glühlampe regelmäßig ein- und ausgeschaltet. Das Auge bemerkt

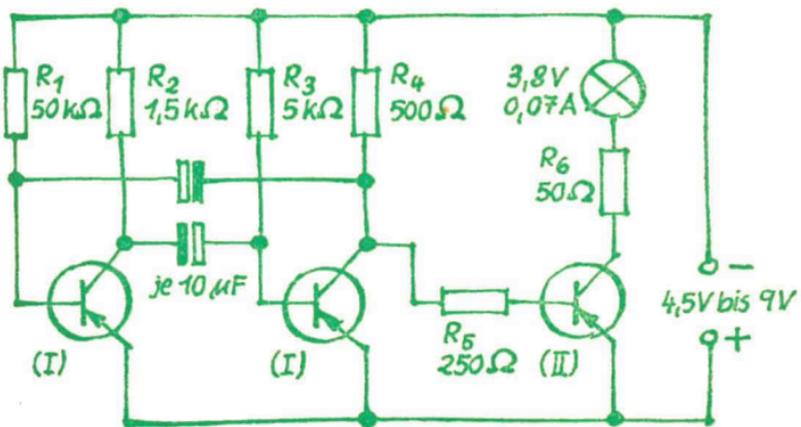
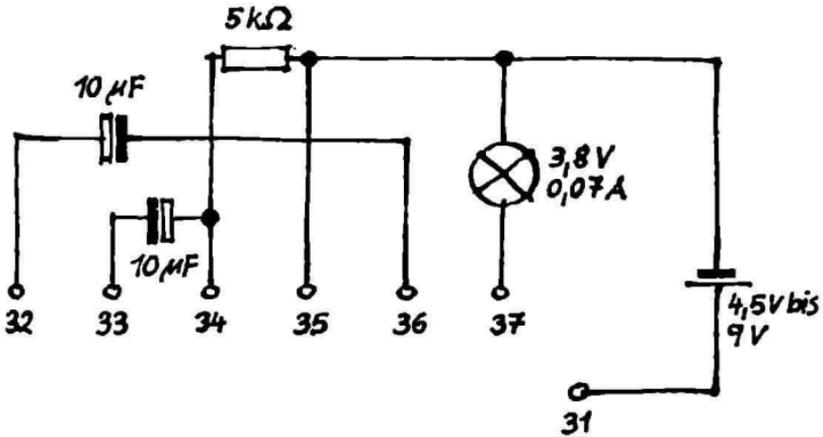
eine periodisch aufleuchtende Glühlampe eher als eine ständig brennende. Man verwendet Blinkschaltungen deshalb immer dort, wo die Aufmerksamkeit in eine bestimmte Richtung gelenkt werden soll, etwa bei Fahrtrichtungsanzeigern von Kraftfahrzeugen, bei Warnlampen an unbeschränkten Bahnübergängen, bei Leuchttürmen und Leuchtfeuern, für die Schaltung der blauen Lampen von Einsatzwagen der Feuerwehr und so weiter. Auch für Werbezwecke benutzt man oft Lichtquellen, die nicht gleichmäßig leuchten, sondern in kurzen Abständen ein- und ausgeschaltet werden. Die Signallampen in Schalttafeln und elektrischen Anlagen, die einen Gefahrenzustand anzeigen sollen, werden ebenfalls meist als Blinklampen ausgeführt.

Solche Blinkschaltungen kann man in unterschiedlicher Weise betätigen. Eine Möglichkeit lernten wir schon bei den Relaischaltungen auf Seite 119 kennen. Günstiger ist es meist, eine Halbleiterschaltung zu verwenden, und zwar einen „astabilen Multivibrator“. Im Gegensatz zu anderen Multivibratoren hat diese Baugruppe keine stabile Lage (zum Beispiel 0 V oder 8 V am „Ausgang“), sondern der Multivibrator wechselt ständig von selbst seinen Zustand. An einem bestimmten Punkt der Schaltung ist also abwechselnd 0 V, 8 V, 0 V und so fort zu messen. Einen „Eingang“ hat diese Schaltung nicht. (Die Bezeichnungen Ausgang und Eingang für Klemmen einer Schaltung oder eines Gerätes geben anschaulich wieder, welche Aufgabe die Anschlüsse haben. Zum Beispiel wird bei einem Verstärker eine niedrige Spannung dem Eingang zugeführt, im Gerät verstärkt und am Aus-

gang entnommen.) Außer durch die Art der Bauteile, die man zur Grundschialtung hinzufügt, kann der astabile Multivibrator nur dadurch beeinflußt werden, daß man die Spannung verändert.

Als Blinkgeber hat ein astabiler Multivibrator den Vorzug der großen Betriebssicherheit. Die Blinkhäufigkeit und das Verhältnis von Einschalt- und Ausschaltzeit kann man durch die Art der Bauteile in weiten Grenzen ändern. Die Lampe kann zum Beispiel in Abständen von 1 s jedesmal 0,5 s lang aufleuchten oder auch 5 s lang in Abständen von 30 s. Gegenüber der Relaisschialtung kann man viel längere Pausen (bis zu 1 min) erzielen. Es nutzen sich auch nicht irgendwelche Teile ab, weil die Schaltung „kontaktlos“ erfolgt. Im Inneren des Transistors bewegt sich ja außer den geladenen Teilchen nichts, und durch die Elektrizitätsteilchen nutzt sich ein Halbleiter ebensowenig ab wie ein Draht durch den Stromfluß. Allerdings sind bei den Transistoren der Hauptstromkreis (E—K) und der Steuerstromkreis (E—B) elektrisch nicht getrennt, wie es Spule und Kontakte von Relais sind. Meist werden die beiden Kreise aus der gleichen Stromquelle gespeist. Mit Blinkschialtungen kann man (gegebenenfalls durch Zwischenschalten eines Relais) natürlich auch andere Vorgänge auslösen, zum Beispiel eine Klingel oder Hupe betätigen.

In der Abbildung ist die Baugruppe 3 als astabiler Multivibrator äußerlich mit den zusätzlich erforderlichen Bauteilen versehen und darunter als komplette Schaltung noch einmal dargestellt worden. Die zweite Art der Darstellung, die völlig mit der ersten



übereinstimmt, also aus den gleichen Teilen besteht und ebenso arbeitet, dient zur besseren Anschauung und zum Vergleich mit Schaltungen, die in Zeitschriften wiedergegeben sind. Die Widerstände  $R_2$  und  $R_4$  begrenzen die Stromstärke auf einige Milliampere. Über die Widerstände  $R_1$  und  $R_3$  erhält die Basis



jedes Transistors eine kleine negative Spannung. Die beiden Kondensatoren beeinflussen je nach ihrer Ladung abwechselnd die Basisanschlüsse.

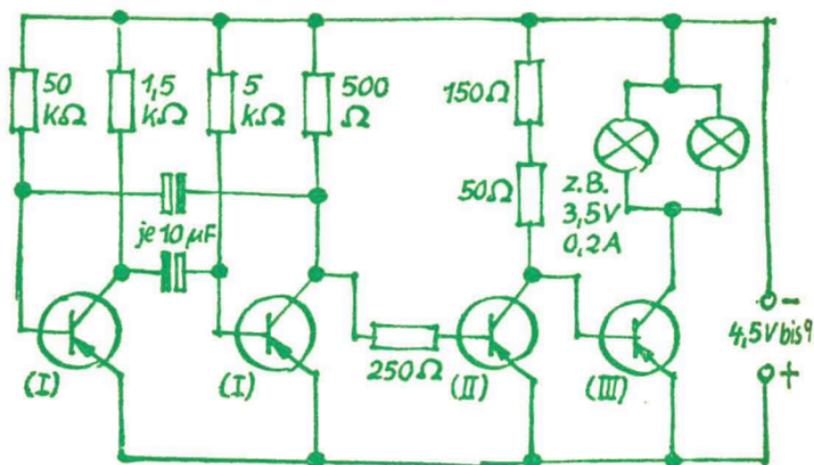
Man kann astabile Multivibratoren mit einer Sanduhr (Eieruhr) vergleichen, die bei Entleerung des einen Gefäßes sofort umgedreht wird. Bei uns fließt statt des Sandes ein elektrischer Strom, und statt der beiden Gefäße verwenden wir zwei Kondensatoren. Sie laden sich immer abwechselnd auf; ist der eine Kondensator geladen, so schaltet der Transistor den anderen Kondensator ein. Mit dem Schalttransistor der Type II messen wir die Spannung am Kollektor des zweiten Transistors.

Eine symmetrische Schaltung (Einschaltzeit gleich Ausschaltzeit) erhält man, wenn die einander entsprechenden Widerstände — das heißt die beiden Widerstände zwischen Minuspol und Basis sowie die Widerstände zwischen Minuspol und Kollektor — und die Kapazitäten der beiden Kondensatoren gleich sind. Ganz verschiedene Zeiten (beispielsweise 1 s eingeschaltet, 10 s ausgeschaltet) erhält man dagegen, wenn man sehr unterschiedliche Kondensatoren wählt. Die angegebenen Werte sollen nur ein Anhalt sein. Man kann die Kapazitäten ohne weiteres bis auf 500  $\mu\text{F}$  vergrößern. Einige Versuche zeigen sofort, wie die Schaltung auf Änderungen von Widerständen und Kondensatoren reagiert. Zur Erzeugung langer Ein- und Ausschaltzeiten benutzt man Kondensatoren mit möglichst geringem Reststrom (vergleiche 5. Versuch Seite 71). Mit den Größen, die im Schaltbild angegeben sind, erzielt man etwa drei Aus- und Einschaltungen in der Sekunde.

Als Stromanzeiger verwenden wir eine Glühlampe 3,8 V 0,07 A. Stärkere Glühlampen eignen sich nicht. Um die Arbeitsweise des Multivibrators zu prüfen, kann man die Glühlampe auch zuerst weglassen und einen Spannungsmesser zwischen die Anschlüsse 37 (+) und 35 (-) schalten. Zu beachten ist, daß die Glühlampe während der Versuche nicht dauernd eingeschaltet bleiben soll. Bei Änderungen der Widerstände kann nämlich der Fall eintreten, daß der Multivibrator nicht mehr schwingt und die Lampe ständig brennt. In diesem Zustand erwärmt sich der Schalttransistor verhältnismäßig stark. Das gilt auch für die folgenden Schaltungen.

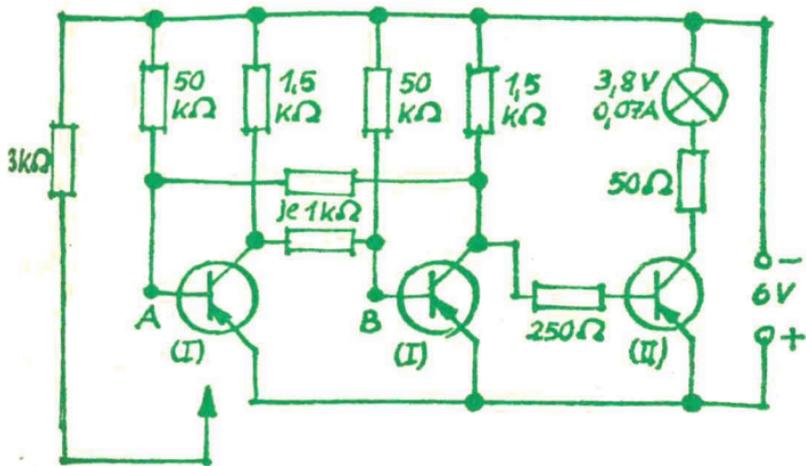
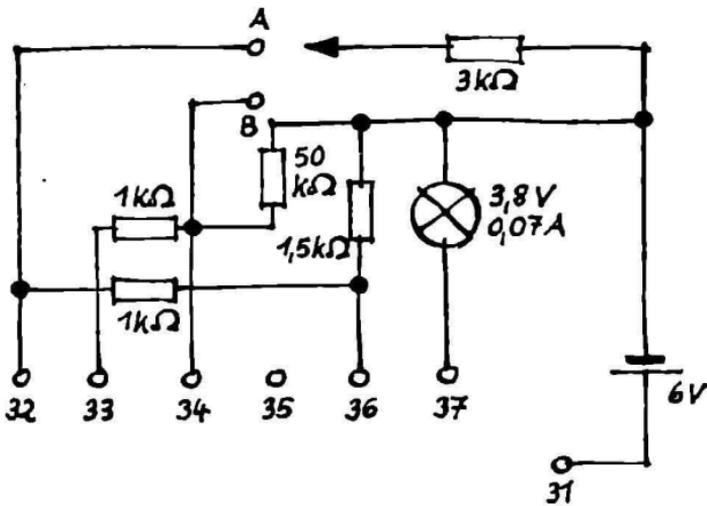
Meist ist es vorteilhaft, die Helligkeit der Glühlampe durch Wahl des Widerstands  $R_4$  niedrig zu wählen. Andernfalls brennt die Glühlampe bald durch. Sie ist nämlich nicht für Dauerbetrieb, sondern nur für kurze Einschaltdauer bestimmt. Statt des Widerstandes  $R_4$  und der Glühlampe kann man auch die Wicklung eines Relais einfügen. Mit den Relaiskontakten lassen sich dann stärkere Glühlampen oder andere Verbraucher ein- und ausschalten.

In der folgenden Abbildung ist noch gezeigt, wie man ohne Benutzung von Relais mehrere Glühlampen einschalten lassen kann. Am Kollektor des Schalttransistors ist die Basis eines Leistungstransistors der Type III angeschlossen. Damit lassen sich Ströme bis zu 1 A schalten. Allerdings kann man astabile Multivibratoren für stärkere Glühlampen auch einfacher aufbauen. Hier sollte nur das Grundsätzliche gezeigt werden. Einen vereinfachten Multivibrator lernen wir auf Seite 176 kennen.



Wir kommen jetzt zu der zweiten Schaltungsmöglichkeit der Multivibrator-Grundschialtung, nämlich zum „bistabilen Multivibrator“. Wie schon der Name sagt, haben bistabile Multivibratoren zwei stabile Lagen. Sie schwingen also nicht, sondern bleiben, wenn man sie nicht weiter beeinflusst, in einer bestimmten Lage (Lampe dunkel oder Lampe hell).

Sehen wir uns erst eine Schaltung an. Wieder ist die Baugruppe 3 mit den äußeren Anschlüssen (oben) und die Schaltung in der üblichen Art der Darstellung (unten) gezeichnet. Die Schaltung enthält keine Kondensatoren. Berührt man mit dem freien Anschluß, der über einen Widerstand von  $3\text{ k}\Omega$  mit dem Minuspol verbunden ist, den Punkt A oder B, so geht der bistabile Multivibrator plötzlich in die andere Stellung über. Er bleibt so lange in diesem Zustand, bis wir den anderen Punkt berühren. Legen wir die negative Spannung zweimal hintereinander an den



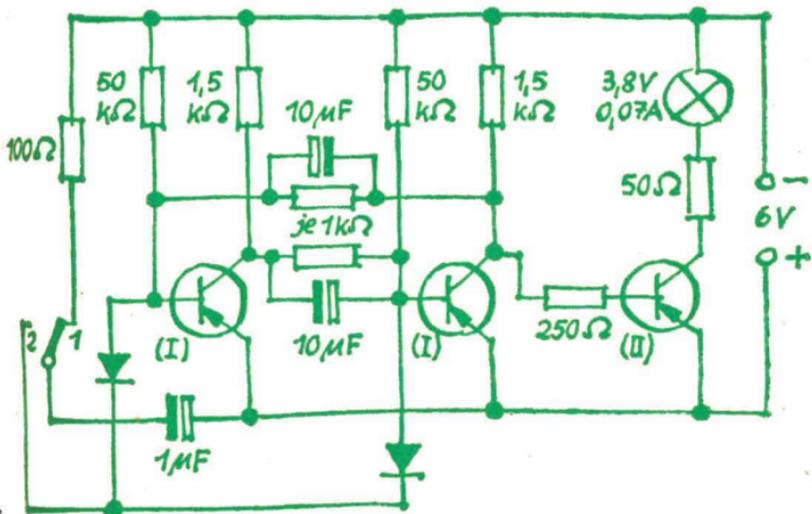
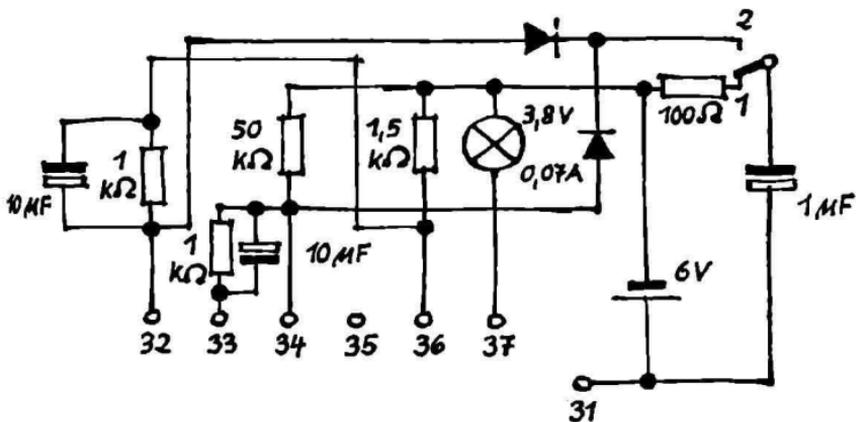
gleichen Pol, so geschieht überhaupt nichts. Nur wenn man die Punkte A und B abwechselnd mit dem freien Anschluß verbindet, kippt – wie man sagt – der Multivibrator in die andere Lage. Auch hier können wir, wie bei allen folgenden Multivibratorschal-

tungen, ein Relais statt der Glühlampe einfügen oder einen weiteren Leistungstransistor benutzen, um stärkere Ströme zu schalten.

In dieser Form – mit zwei getrennten Eingängen – verwendet man bistabile Multivibratoren selten. Meist schaltet man beide Eingänge über Dioden (beliebige Typen) zusammen. Auf die richtige Polung der Dioden muß geachtet werden! Ein solcher bistabiler Multivibrator mit einem Eingang erfordert aber, um richtig zu arbeiten, ganz kurze Spannungsschübe, die wir nur schwer herstellen können. Wir haben deshalb einen Kondensator von ungefähr 1 bis  $2\ \mu\text{F}$  vorgesehen, der zunächst aufgeladen wird und durch seine Entladung den Spannungsschub liefert. In der Schalterstellung 1 wird er aufgeladen. Es genügt ein kurzes Antippen, da die Aufladung sehr schnell geht. Bei Schalterstellung 2 gibt er seine Ladung über die Dioden ab und beeinflußt die Basis des ausgeschalteten Transistors.

Wir beobachten nun folgendes Verhalten: Beim Einschalten brennt beispielsweise die Glühlampe. Durch einen Stromstoß, den wir durch Betätigen des Schalters (hintereinander Stellung 1 und 2) erzeugen, erlischt sie. Beim nächsten Impuls brennt sie wieder und so fort. Der Multivibrator behält seinen Zustand dauernd bei, solange wir keinen Impuls anlegen und die Spannung vorhanden ist.

Der bistabile Multivibrator ist also ein binärer Speicher. Er kann die Tatsache, ob ein Impuls angekommen ist, tage- oder wochenlang festhalten. Außerdem teilt er die Anzahl der Impulse durch 2. Wenn man zum Beispiel am Anschluß 36 einen weiteren



Multivibrator anschaltet, so erhält dieser nur bei jedem zweiten Impuls einen Spannungstoß. Mit zwei Multivibratoren kann man so die Tatsache festhalten, ob keiner, einer, zwei oder drei Spannungstöße

4081 angekommen sind. Durch Zusammenschaltung vieler  
4082 Multivibratoren kann man umfangreiche „Gedächtnisse“  
4083 aufbauen. Allerdings sind dazu viele einzelne  
Bauteile erforderlich. Zum Abzählen von 0 bis 4095  
Impulsen braucht man beispielsweise 24 Transistoren  
und etwa 100 andere Schaltelemente.

4084 Die Speichereinrichtungen neuzeitlicher Rechen-  
4085 maschinen können mit Multivibratoren Millionen  
4086 Impulse zusammenzählen und nach einem ähnlichen  
4087 Verfahren auch voneinander abziehen. Wenn man  
die Arbeitsweise eines bistabilen Multivibrators ver-  
standen hat, kann man sich die Funktion eines sol-  
chen „Gedächtnisses“ von Maschinen, das auf den  
ersten Blick unerklärlich erscheint, einigermaßen  
vorstellen.

4088 Nachdem wir den astabilen und den bistabilen Multi-  
vibrator besprochen haben, kommen wir nun zu

4089

4090

4091

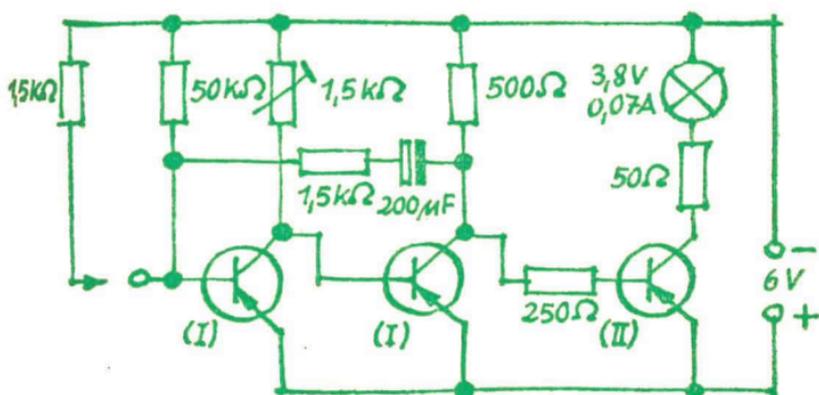
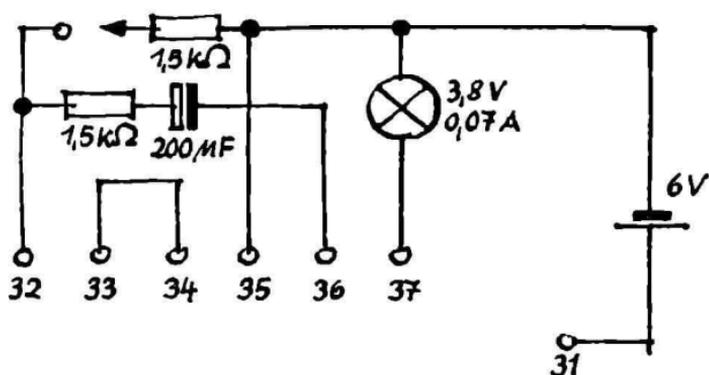
4092

4093

4094

409





einer dritten Art, zum monostabilen Multivibrator. Nach der Bezeichnung kann man sich schon denken, wie er wirkt. Er schwingt weder von selbst, noch hat er zwei gleichberechtigte Lagen, sondern er hat eine stabile und eine instabile Lage. Er ist immer bestrebt, in die stabile Lage zurückzukehren, und man kann das nur für kurze Zeit verhindern.

Die Abbildung zeigt das Schaltbild eines monostabilen Multivibrators. Wie bei allen diesen Schaltungen,

sind die Zahlenangaben nur als Anhalt gedacht. Je nach den Eigenschaften der verwendeten Transistoren kann es günstiger sein, etwas größere oder kleinere Widerstände zu verwenden. Auffällig ist, daß nur ein Kondensator benutzt wird und die Basis des zweiten Transistors direkt mit dem Kollektor des ersten Transistors verbunden ist.

Beim Einschalten ist die Lampe dunkel. Berühren wir mit dem Anschluß, der durch einen Pfeil gekennzeichnet ist, kurz die Basis des ersten Transistors, so leuchtet die Lampe auf. Nach einer gewissen Zeit (mit den Größen dieser Schaltung ungefähr nach 1 s) fällt aber, ohne daß wir etwas tun, der Multivibrator von selbst in die stabile Lage zurück, und die Lampe erlischt wieder. Die Dauer des labilen Zustandes (Lampe brennt), den wir durch einen Stromstoß einleiten, ist von den Größen der Schaltung, vor allem von der Kapazität des Kondensators abhängig. Diese Einschaltzeit hängt fast nicht von der Länge des Impulses ab! Ob wir die Basis nur ganz kurz oder 1 s lang berühren, wirkt sich auf die Brenndauer der Lampe kaum aus.

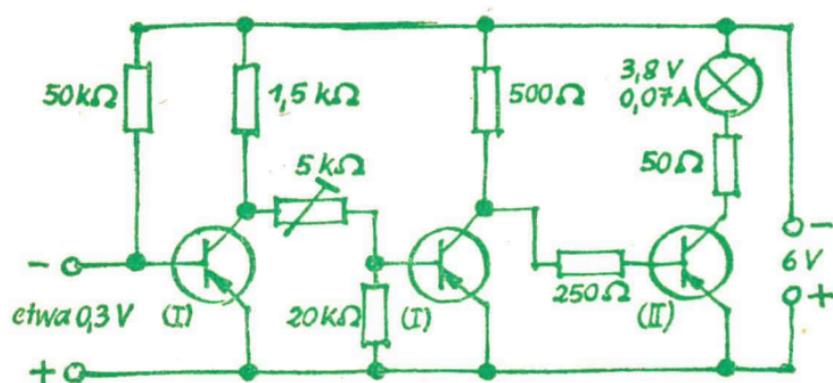
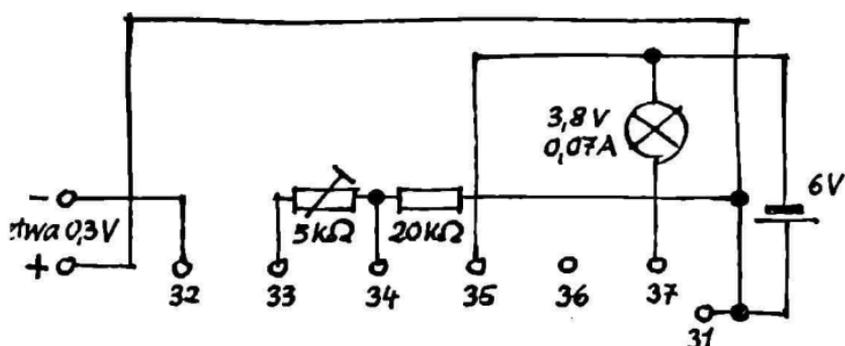
Aus der Art des Verhaltens ergibt sich die Verwendung monostabiler Multivibratoren. Sie eignen sich zur „Impulsformung“, das heißt zur Erzeugung eines Impulses bestimmter Länge aus einem beliebig langen oder kurzen Impuls. Man setzt in Zählschaltungen mit bistabilen Multivibratoren zum Beispiel meist einen monostabilen Multivibrator vor, weil die Zählung nur bei bestimmten Impulslängen richtig vor sich geht. Aus verschiedenen geformten Impulsen werden dadurch einheitliche Impulse.

Ein monostabiler Multivibrator geht leicht in einen astabilen, also von selbst schwingenden Multivibrator über. Deshalb muß vor allem der  $1,5\text{-k}\Omega$ -Widerstand, der als Einstellregler gekennzeichnet ist, genau gewählt werden. Man kann ihn anschließend natürlich auch durch einen Festwiderstand mit dem gleichen Widerstandswert ersetzen. Die Batteriespannung darf nur in engen Grenzen schwanken. Es soll nicht verschwiegen werden, daß die beiden zuletzt beschriebenen Schaltungen (bistabiler und monostabiler Multivibrator) oft nicht auf Antrieb arbeiten, sondern einiges Ausprobieren von Widerstandswerten erfordern.

Die vierte Schaltung, die wir aus der Baugruppe 3 ableiten, ähnelt dem monostabilen Multivibrator. Sie unterscheidet sich vor allem durch die Art des Basisanschlusses des zweiten Transistors. Man nennt diese Baugruppe einen „Schmitt-Trigger“.

Ein Schmitt-Trigger hat die Eigenschaft, bis zu einer gewissen Spannung am Eingang (zwischen dem Pluspol und der Basis des ersten Transistors) den einen Zustand einzunehmen, beim Überschreiten des Grenzwertes den anderen Zustand. Die Dauer des Ein-Zustandes ist aber nicht zeitlich begrenzt, sondern hängt von der Eingangsgröße ab. Im gleichen Augenblick, wo der Grenzwert wieder unterschritten wird, stellt sich der ursprüngliche Zustand ein.

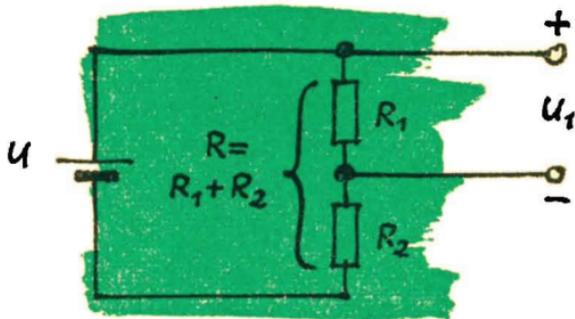
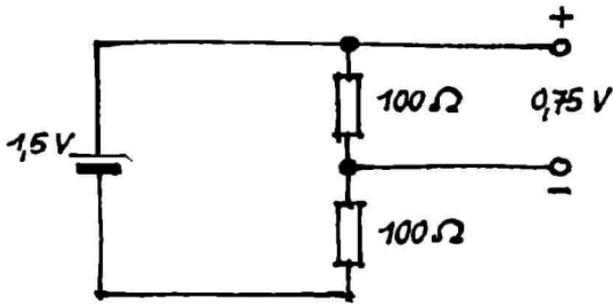
Unser Schaltungsbeispiel hat einen Grenzwert von ungefähr  $0,3\text{ V}$ . Eine Spannung unter  $0,3\text{ V}$  führt dazu, daß die Lampe fast ganz dunkel bleibt. Bei Überschreitung des Grenzwertes — also zum Beispiel



bei  $U = 0,4 \text{ V}$  – brennt die Lampe. Sie brennt auch bei  $0,5 \text{ V}$  oder  $1 \text{ V}$  gleichhell.

Um die Schaltung auszuprobieren, müssen wir erst einmal Mittel finden, um so niedrige Spannungen überhaupt zu erzeugen. Die Mindestspannung einer Monozelle beträgt ja immerhin noch  $1,5 \text{ V}$ .

Man verringert eine gegebene Spannung durch „Spannungsteilung“. Schließt man zwei gleiche Widerstände in Reihe an eine Batterie an, so kann man an jedem der Widerstände die halbe Spannung messen, weil sich die Batteriespannung gleichmäßig

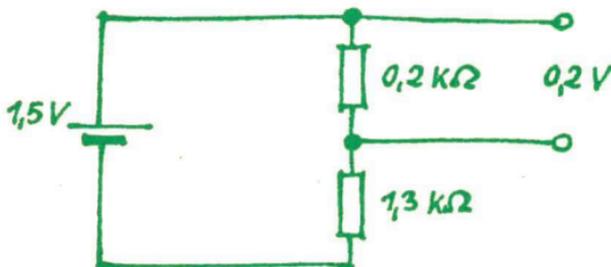


auf beide Widerstände aufteilt. Sind die Widerstände verschieden groß, so sind auch die Spannungen an den Teilwiderständen verschieden: Am Widerstand mit dem größten Widerstandswert liegt die höchste Spannung. Die Teilspannungen ( $U$ ,  $U_1$ ) verhalten sich wie die Widerstände ( $R$ ,  $R_1$ ):

$$\bullet \quad \frac{U}{U_1} = \frac{R}{R_1}$$

Man kann sich danach leicht ausrechnen, welche Widerstände zusammenschaltet werden müssen,

um bestimmte Spannungen zu erhalten. Die Widerstandswerte müssen so gewählt werden, daß der Strom, der durch den „Spannungsteiler“ fließt, mindestens zehnmal so groß ist wie der Strom, den wir für Meßzwecke aus dem Spannungsteiler entnehmen wollen. Das bedeutet, daß die Spannungsteilerwiderstände niedrige Widerstandswerte haben müssen. Für den Anschluß an eine 1,5-V-Monozelle kann man Widerstände von einigen hundert Ohm benutzen. Wollen wir zum Beispiel eine Spannung von 0,2 V abgreifen, so schalten wir, um nicht lange rechnen zu müssen, einen 200- $\Omega$ -Widerstand und einen 1,3-k $\Omega$ -Widerstand hintereinander. Am 200- $\Omega$ -Widerstand kann man die Spannung 0,2 V abgreifen. Die ganze Spannung (1,5 V) verhält sich nämlich zur Teilspannung (0,2 V) wie der Gesamtwiderstand (1,5 k $\Omega$  = 1,3 k $\Omega$  + 0,2 k $\Omega$ ) zum Teilwiderstand (200  $\Omega$ ). Entsprechend ergeben sich 0,3 V, wenn man 300  $\Omega$  und 1,2 k $\Omega$  hintereinander an 1,5 V legt und parallel zum 300- $\Omega$ -Widerstand eine Spannung abnimmt und so fort. Parallel zum Spannungsteilerwiderstand soll immer ein verhältnismäßig hoher Widerstand liegen,



zum Beispiel parallel zu  $300 \Omega$  ein Widerstand von mindestens  $3 \text{ k}\Omega$ . Müssen stärkere Ströme entnommen werden, so muß auch die Stromstärke, die durch den Spannungsteiler fließt, vergrößert werden. Spannungsteiler kann man auch mit Potentiometern ausführen. Allerdings läßt sich dann der eingestellte Widerstand und somit die Spannung nicht genau bestimmen.

Spannungsteiler werden sehr häufig benutzt, um aus einer gegebenen Batterie unterschiedliche Spannungen zu erhalten. Wie der Name „Spannungsteiler“ sagt, sind die Spannungen, die sich ergeben, immer niedriger als die Batteriespannung.

Den Schmitt-Trigger, den wir mit der Spannungsteilerschaltung ausprobieren können, benutzt man, um die Überschreitung eines Grenzwertes gut zu verfolgen. Eine Spannung, die sich aus irgendwelchen Gründen langsam von  $0,3 \text{ V}$  auf  $0,5 \text{ V}$  ändert, führt an einem bestimmten Punkt – zum Beispiel bei  $U = 0,32 \text{ V}$  – zu einem plötzlichen Spannungssprung an der Lampe (oder einer Relaispule, die statt dessen eingeschaltet ist). Dadurch kann man kleine Spannungsänderungen deutlich erkennen.

Mit Multivibratoren kann man allerlei Überraschungen erleben. Manchmal kann ein Widerstand der Schaltung einfach weggelassen werden, und trotzdem arbeitet die Baugruppe noch. Besonders leicht gehen die Baugruppen in astabile Multivibratoren über.

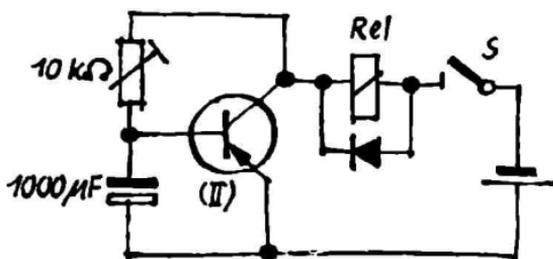
Außer den Schaltungen, die hier gezeigt worden sind, gibt es noch viele andere Möglichkeiten. In den folgenden Baugruppen und Geräten werden wir vor allem astabile Multivibratoren verwenden.

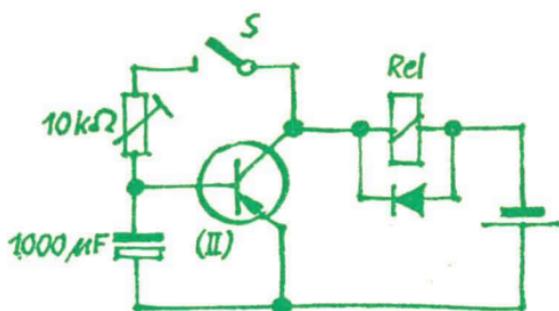
## Transistorschaltungen zur Verzögerung von Relais

Wir hatten gesehen, daß man Multivibratoren zur Erzeugung eines bestimmten zeitlichen Verhaltens, also beispielsweise zur Verzögerung nach dem Einschalten, benutzen kann. Multivibratoren sind aber verhältnismäßig komplizierte Schaltungen, weil sie immer zwei Transistoren erfordern. Für Zwecke, wo es auf die Genauigkeit der Zeiten weniger ankommt, können wir einfachere Einrichtungen verwenden: Wir verbinden die sammelnde Wirkung von Elektrokondensatoren mit der Verstärkereigenschaft eines Transistors. Die folgenden Schaltungen eignen sich wieder für Relais, die ungefähr 6 V erfordern und bei 10 mA bis 20 mA anziehen.

Eine Schaltung zum Erzeugen von Anzugsverzögerungen zeigt die Abbildung. Beim Einschalten lädt sich zunächst der Kondensator auf, bevor an die Basis genügend negative Spannung gelangt und infolgedessen durch Transistor und Relais Strom fließt.

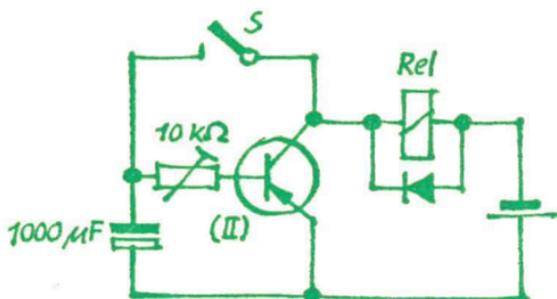
Mit den angegebenen Größen ist die Anzugsverzögerung ungefähr 5 s.





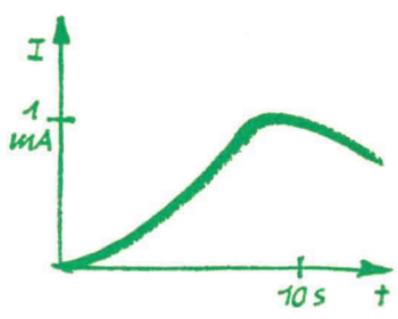
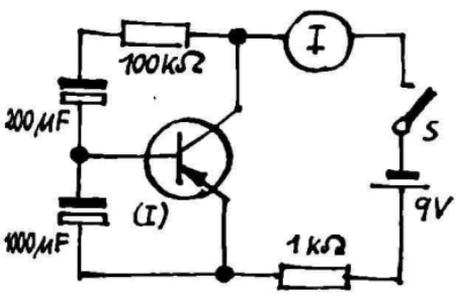
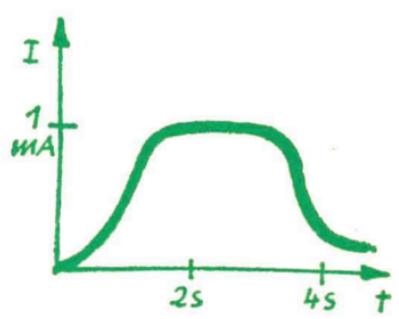
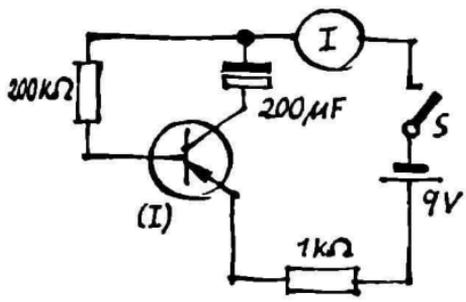
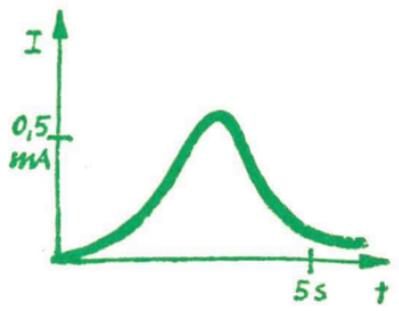
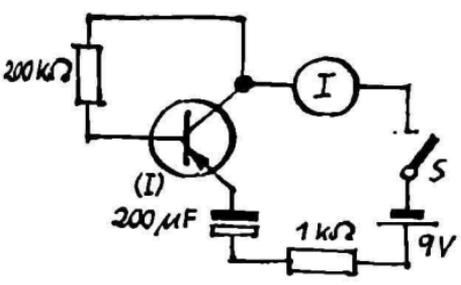
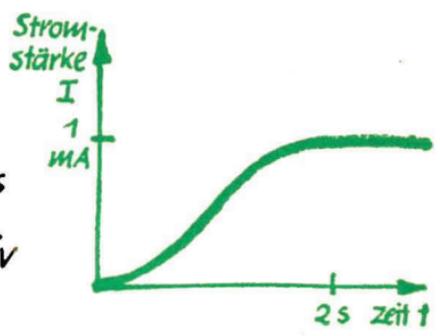
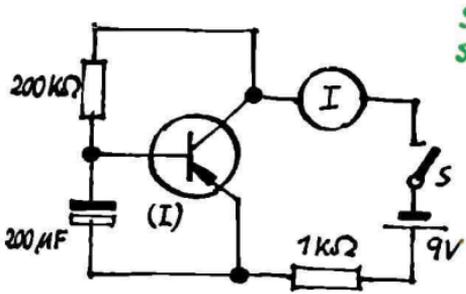
Ganz ähnlich kann man eine Anzugs- und Abfallverzögerung erreichen. Der Unterschied besteht nur darin, daß durch den Schalter nicht der Hauptstromkreis unterbrochen wird, sondern die Verbindung zwischen dem negativen Pol der Batterie und der Basis des Transistors. Beim Öffnen des Schalters wirkt der Kondensator noch eine gewisse Zeit als Batterie.

Eine Abfallverzögerung allein kann man auch erreichen. Gegenüber den direkten Schaltungen mit Kondensator und Relais, also ohne den Transistor, ergeben sich mit den gleichen Kondensatoren viel größere Zeiten. Die Abfallverzögerung ist mit den Größen des Schaltbildes ungefähr 30 s.



Kondensatoren lassen sich auch mit Transistoren hintereinanderschalten. Bisher lag der Kondensator immer parallel zum Relais oder der Basis-Emitterstrecke des Transistors, und wir benutzten die Eigenschaft, daß der Kondensator im Augenblick des Einschaltens einen sehr niedrigen Widerstand hat und sich die volle Spannung erst allmählich einstellt. Schalten wir ein Bauteil (Transistor oder Relais) mit dem Kondensator hintereinander, so verwenden wir die Eigenschaft, daß der Kondensator beim Einschalten im ersten Moment scheinbar einen Stromstoß durchläßt.

Da wir jetzt schon eine gewisse Übung haben, sollen einige Schaltungsmöglichkeiten ohne besondere Erklärungen folgen. Man kann diese Schaltungen auch mit anderen Widerständen und Kondensatoren ausprobieren; unser Experimentierbrett ermöglicht dazu einen übersichtlichen Aufbau. Neben jede Schaltung ist der Stromverlauf gezeichnet. Mit der zuletzt gezeigten Schaltung sind bei geringem Aufwand Verzögerungen bis zu einigen Minuten zu erreichen. Man könnte nun auf den Gedanken kommen, statt des gezeichneten Widerstandes, der mit dem Strommesser hintereinandergeschaltet ist, die Wicklung eines Relais zu benutzen. Lange Verzögerungen ergeben sich aber nur dann, wenn das Relais einen sehr hohen Widerstand hat und mit Stromstärken von 2 mA bis 3 mA auskommt. Meist sind diese Relais aber für höhere Spannungen bestimmt, für die sich unsere Transistoren wieder nicht eignen. Gewöhnliche Relais mit Spulenwiderständen zwischen 100  $\Omega$  und 500  $\Omega$  und Stromstärken zwischen 10 mA und 50 mA



lassen sich nicht ohne weiteres verwenden. Bei so niedrigen Widerständen müssen wir den Widerstand zwischen dem Minuspol und der Basis, der mit  $100\text{ k}\Omega$  bis  $200\text{ k}\Omega$  angegeben ist, viel kleiner wählen; dadurch lädt sich der Kondensator schnell auf, und wir stellen nur ganz kurze Verzögerungen fest.

Man könnte natürlich den Kondensator vergrößern. Bei Kapazitäten von  $5000\text{ }\mu\text{F}$  oder  $10\,000\text{ }\mu\text{F}$  ergäbe sich wieder das alte Verhalten. Doch sind Kondensatoren mit großen Kapazitäten, die man durch Parallelschalten mehrerer Kondensatoren darstellen müßte, sehr groß und auch teuer. Das wäre nicht praktisch.

Wir müssen also einen anderen Weg suchen, um den  $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand im Batteriestromkreis lassen zu können und trotzdem einen Strom zu erhalten, der unser Relais schalten kann. Wir müssen also den Strom von höchstens  $1\text{ mA}$ , der bisher durch den Strommesser fließt, auf  $20\text{ mA}$  bis  $50\text{ mA}$  verstärken, und dafür eignet sich natürlich wieder eine Transistorschaltung. Den Verstärker, den wir uns bauen wollen, kann man für viele andere Zwecke verwenden. Es lohnt sich also, ihn als Baugruppe aufzubauen.

## Halbleiter-Verstärker für Meßzwecke

Einfache Verstärkerschaltungen haben wir schon im 10. Versuch (Seite 93) kennengelernt. Wir wollen uns jetzt einen zweistufigen Verstärker bauen. Zweistufig bedeutet, daß zwei Transistoren zusammen-

wirken. Jeder der beiden Transistoren soll hoch verstärken, damit eine empfindliche Baugruppe entsteht.

Zur Kennzeichnung der Verstärkung von Transistoren sind in den letzten Jahren verschiedene Verfahren benutzt worden. Geringe Verstärkung haben zum Beispiel Transistoren mit

- a) rotem oder orange Farbpunkt,
- b) einem (beliebigen) Farbpunkt,
- c) keinem Farbpunkt.

Eine mittlere Verstärkung haben Transistoren mit

- a) gelbem oder grünem Farbpunkt,
- b) zwei bis drei (beliebigen) Farbpunkten.

Hoch verstärkende Transistoren sind gekennzeichnet durch

- a) blauen, violetten oder weißen Farbpunkt,
- b) vier (beliebige) Farbpunkte.

Allerdings ist gleich zu sagen, daß man im Handel meist niedrig verstärkende Typen erhält. Die Bastlertypen, die wir hauptsächlich verwenden wollen, sind oft nicht mit Farbpunkten bezeichnet. Wir wollen noch erwähnen, daß andere Buchstaben oder Zahlen, die außer der Typenbezeichnung zu finden sind, für uns keine Bedeutung haben (sie geben das Herstellungsdatum an).

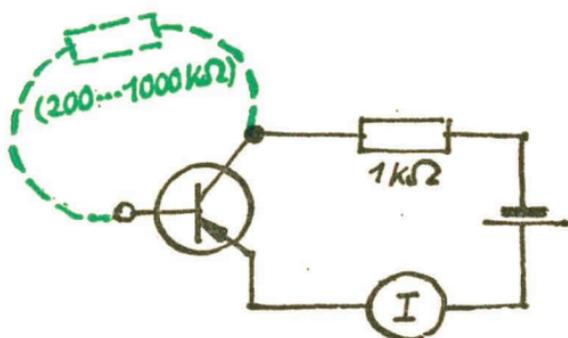
Am günstigsten ist es, wenn man sich gleich einige Transistoren kauft und die mit hoher Verstärkung für den Verstärker benutzt, die mit geringerer Verstärkung für andere Zwecke. Verwenden wir zum Beispiel einen Transistor als Schalter — wie in den letzten Beispielen mit Relais —, so kommt es auf den Verstärkungsgrad weniger an.





Einen Eindruck vom Verstärkungsgrad eines Transistors erhält man, wenn man ihn an eine Stromquelle über einen empfindlichen Strommesser anschließt. Im Batteriestromkreis soll sich ein Widerstand von ungefähr  $1\text{ k}\Omega$  befinden. Wenn wir jetzt mit den Fingern gleichzeitig den Minuspol der Batterie und die Basis berühren, so wirkt das so, als hätten wir zwischen Minuspol und Basis einen Widerstand von  $200\text{ k}\Omega$  bis  $1000\text{ k}\Omega$  geschaltet, da unser Körper eine gewisse Leitfähigkeit hat. Der „Reststrom“, der auch bei freier Basis fließt, steigt infolgedessen an. Je stärker der Stromanstieg ist, desto höher ist die Verstärkung des Transistors. Wir suchen uns so für den zweistufigen Verstärker einen Transistor mit der größten Verstärkung heraus und einen zweiten mit

dem geringsten Reststrom. Diese beiden benutzen wir für die Baugruppe. Bei dem Versuch muß man sorgfältig darauf achten, daß die Basis nicht versehentlich den Kollektor berührt, weil sonst das Meßgerät durch den starken Strom beschädigt werden könnte. Die Spannung, die zu verstärken ist, legen wir zwischen Basis und Emitter des ersten Transistors, wobei der negative Pol an die Basis angeschlossen wird. Der Strom durch den ersten Transistor hängt nun erstens vom Reststrom ab, zweitens von der Höhe der angelegten Spannung. Der Reststrom ist stark temperaturabhängig. Wenn er groß ist und sich die Temperatur ein wenig ändert, ändert sich schon der Strom im Hauptstromkreis. Kleine Schwankungen der Spannung, die verstärkt werden soll, kann man in diesem Falle nicht nachweisen. Wir benutzen deshalb als Transistor  $T_1$  (Sorte I) das Exemplar mit geringem Reststrom. Auf die Verstärkung kommt es bei  $T_1$  nicht so sehr an.  $T_2$  soll dagegen einen hohen Verstärkungsgrad haben. Für Relais bis 15 mA und die meisten anderen Zwecke eignet sich ein Exemplar der Sorte I. Für Relais, die stärkere Ströme erfordern, kann man auch einen Transistor der Sorte II benutzen.



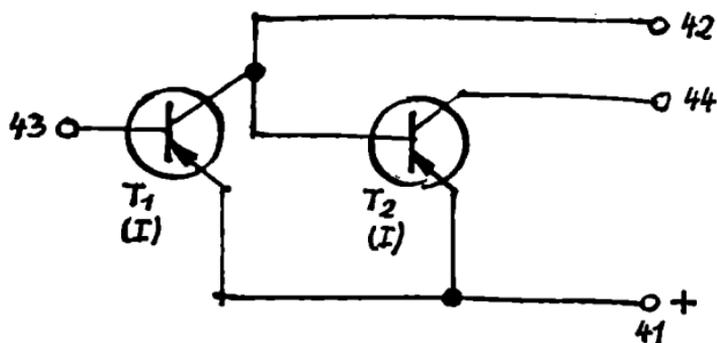
## Baugruppe 4

### Zweistufiger Transistorverstärker

Geeignet für Batteriespannungen von 3 V bis 9 V;  
Eingang einer negativen Spannung am Anschluß 43;  
Stromstärke im E–K-Kreis von  $T_2$  höchstens 15 mA.

Der Anschluß 42 wird über einen Widerstand, dessen Größe wir gleich bestimmen, an den Minuspol der Batterie angeschlossen. Dieser Widerstand  $R_1$  hat gleichzeitig zwei Aufgaben: Er begrenzt die Stromstärke durch den Transistor  $T_1$ , da er in dessen Kollektorkreis liegt. Gleichzeitig ist er Vorwiderstand für die Basis von  $T_2$ .

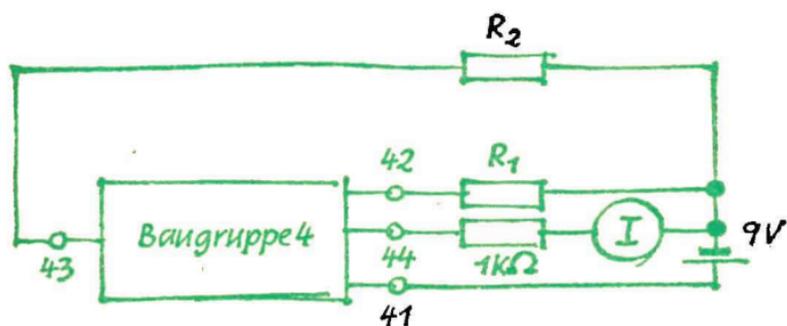
Um die Baugruppe auszuprobieren, bauen wir die folgende Schaltung auf. Als „Eingangsgröße“ verwenden wir die Batteriespannung, die über den Widerstand  $R_2$  an die Basis (Anschluß 43) gelegt wird. Man kann nun  $R_1$  zwischen den Werten 10 k $\Omega$  und 500 k $\Omega$  und  $R_2$  zwischen 10 M $\Omega$  (10 000 k $\Omega$ ) und 50 k $\Omega$



verändern. Dabei stellt man fest, daß der Strom durch den Transistor  $T_2$  um so größer ist, je kleiner  $R_1$  gewählt wird. Dieses Verhalten hatten wir schon im 10. Versuch (Seite 93) beobachtet. Gleichzeitig wird aber die Empfindlichkeit des Verstärkers durch die Wahl von  $R_1$  beeinflusst. Wählt man  $R_1$  niedrig (beispielsweise  $10\text{ k}\Omega$ ), so fließt zwar ein großer Strom durch  $T_2$  (etwa  $10\text{ mA}$ ), doch eine kleine Spannung an der Basis von  $T_1$  ändert diesen Strom überhaupt nicht. Mit dem Widerstand  $R_2 = 10\text{ M}\Omega$  oder  $5\text{ M}\Omega$  bemerkt man keine Änderungen.

Verwendet man dagegen einen hohen Widerstand  $R_1$  (beispielsweise  $200\text{ k}\Omega$ ), so kann man auch sehr geringe Spannungen an der Basis von  $T_1$  nachweisen. In diesem Falle ändert sich die Stromstärke beim Einfügen des Widerstandes  $R_2$  ( $5\text{ M}\Omega$  oder  $2\text{ M}\Omega$ ) ganz deutlich. Allerdings ist die Stromstärke wesentlich niedriger als im ersten Fall.

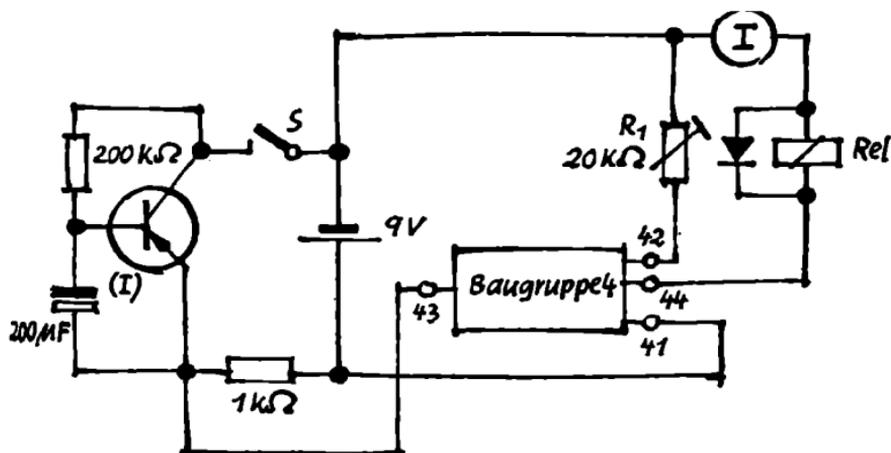
Man kann den Verstärker also entweder dazu benutzen, eine ganz schwache Spannung auf einen Wert zu verstärken, den man bequem messen kann ( $R_1$  un-



gefähr  $200\text{ k}\Omega$ ), oder dazu, eine verhältnismäßig große Spannung zum Schalten eines Relais zu verwenden ( $R_1$  von  $20\text{ k}\Omega$  bis  $5\text{ k}\Omega$ ). Außerdem stellen wir fest, daß sich der Strom durch  $T_2$  umgekehrt verhält wie die Spannung, die wir an die Basis anlegen: Ist der Anschluß 43 frei, so ist der Strom durch das Meßgerät am größten. Die Stromstärke wird geringer, wenn die Spannung an der Basis ansteigt. Die Stromstärke wird zu Null, wenn  $R_2$  etwa  $50\text{ k}\Omega$  erreicht. Diese Widerstandswerte hängen allerdings wieder von den Eigenschaften der Transistoren ab.

Wir wollen den Verstärker jetzt dazu verwenden, um die selbständig erprobten Schaltungen von Seite 155, die sich zum direkten Schalten eines Relais nicht eignen, zur Betätigung eines normalen Relais (mit etwa  $15\text{ mA}$  Anzugsstromstärke) einzusetzen.

Es genügt, eine der Verzögerungsschaltungen darzustellen; die übrigen Schaltungen von Seite 155 können ebenso angeschlossen werden. Die Basis (Anschluß 43) verbinden wir mit dem  $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand. Die linke Seite dieses Widerstandes ist ja bei Stromfluß auf jeden Fall „negativer“ als die rechte Seite, die mit dem Pluspol unmittelbar verbunden ist. Gegenüber dem gemeinsamen Pluspol wird also die Basis negativ, wenn durch die Verzögerungsschaltung ein Strom fließt. Ist der Transistor dagegen gesperrt, so liegt die Basis der Baugruppe über den  $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand am Pluspol. Den Widerstand  $R_1$  stellt man so ein, daß das Relais gerade anzieht. Der Widerstand der Wicklung soll mindestens  $200\ \Omega$  betragen. Schließt man jetzt den Schalter S, so fällt das Relais sofort ab, weil die Basis der Baugruppe negativ wird. Die Bau-



gruppe verändert das zeitliche Verhalten der Schaltung nicht. Die Stromstärke verläuft also, wie es auf Seite 155 dargestellt worden ist. Nach einigen Sekunden sinkt der Strom durch den Elektrolytkondensator auf Null, infolgedessen tritt am  $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand keine Spannungsdifferenz mehr auf, und das Relais zieht wieder an.

Soll der Versuch mehrmals hintereinander durchgeführt werden, so muß der Kondensator jedesmal durch Überbrücken mit einem Widerstand von mindestens  $100\ \Omega$  entladen werden. Der Widerstand  $R_1$  soll nicht unter  $5\ \text{k}\Omega$  liegen. Die verwendeten beiden Anschlüsse des Einstellreglers dürfen also auf keinen Fall kurzgeschlossen sein. Der gleiche Versuch läßt sich mit den übrigen, auf Seite 155 gezeigten Schaltungen wiederholen.

Der Verstärkungsgrad der Baugruppe 4 ist nicht besonders groß. Wenn sehr niedrige Spannungen möglichst hoch verstärkt werden sollen, kann man einen

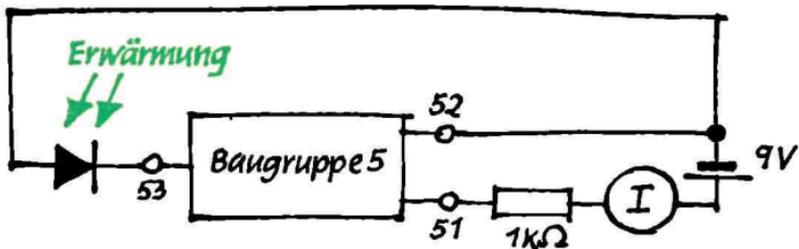
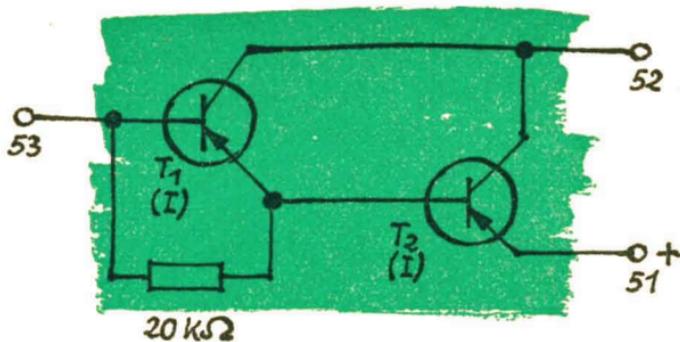
weiteren Transistor in gleicher Weise anfügen. Es ist aber auch möglich, mit zwei Transistoren eine höher verstärkende Gruppe zusammenzusetzen. Dabei werden die beiden Transistoren entgegen allen bisherigen Schaltungen so verbunden, daß die Kollektoren direkt zusammengelötet werden und der Emmitter des ersten und die Basis des zweiten Transistors verbunden sind. Man nennt diese Schaltungsart eine „Tandem“-Schaltung. Wie schon bei Baugruppe 4 erwähnt wurde, soll der erste Transistor einen geringen Reststrom haben und der zweite hoch verstärken.

## Baugruppe 5

### Tandemverstärker

Geeignet für Batteriespannungen von 3 V bis 9 V;  
Eingang einer niedrigen negativen Spannung am Anschluß 53;  
Stromstärke im E–K-Kreis von  $T_2$  höchstens 10 mA.

Mit dem Tandemverstärker kann man den 8. Versuch von Seite 82 (Temperaturabhängigkeit des Sperrstromes einer Diode) auch mit einfachen, unempfindlichen Meßgeräten wiederholen. Die Stromstärke durch das Meßgerät ändert sich schon bei geringer Erwärmung der Diode um einige Milliampere. Die beiden Verstärkerbaugruppen werden wir im folgenden häufig verwenden.

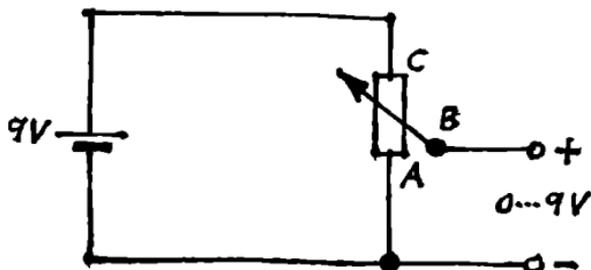


## Schaltungen mit Zenerdioden

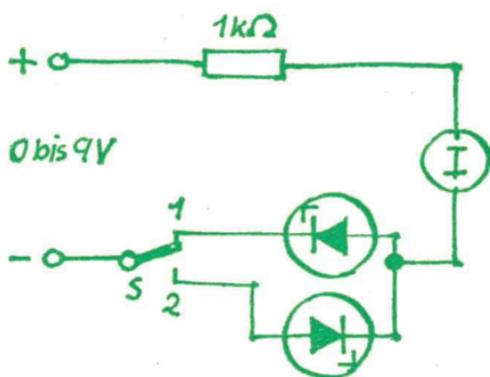
Die Eigenschaften von Zenerdioden, die wir im ersten Kapitel kurz erwähnt hatten, prüfen wir erst einmal nach. Dazu wollen wir annehmen, daß eine Zenerdiode mit einer Zenerspannung  $U_z$  von ungefähr 5 V zur Verfügung steht. Ist die Zenerspannung höher, so muß man die Batteriespannung entsprechend erhöhen.

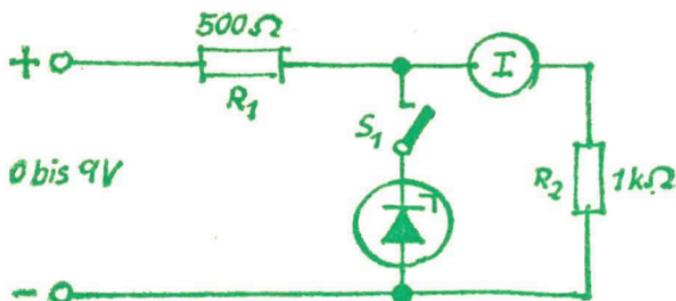
Um Zenerdioden untersuchen zu können, brauchen wir eine Spannungsquelle mit veränderlicher Span-

nung. Man kann sie sich nach dem Prinzip der Spannungsteilung herstellen. Unsere 9-V-Batterie wird dazu an ein Potentiometer von  $100\ \Omega$  Widerstand angeschlossen. Der Stromverbrauch ist demnach rund  $100\ \text{mA}$ . Zwischen den Anschlüssen A und B können wir eine Spannung zwischen  $0\ \text{V}$  und etwa  $9\ \text{V}$  entnehmen. Die Höhe der Spannung hängt von der Stellung des Schleifers des Potentiometers ab. Da wir meist nicht gleichzeitig einen Strom- und einen Spannungsmesser zur Verfügung haben, wollen wir zuerst die Spannung des Spannungsteilers feststellen. Wir bauen das Potentiometer in ein kleines Gehäuse ein und befestigen an der Drehachse einen Betätigungsknopf. Man kann sich nun die Spannungen notieren (mit dem Spannungsmesser gemessen), die auftreten, wenn das Potentiometer die verschiedenen Stellungen einnimmt. Diese Spannungen kann man in Form einer Skale auf die Deckplatte schreiben. Die 9-V-Batterie soll immer nur kurze Zeit an das  $100\text{-}\Omega$ -Potentiometer angeschlossen werden, weil sich die Batterie andernfalls durch den verhältnismäßig großen Strom schnell erschöpft.



Unsere „Spannungsquelle“ liefert uns jetzt also Spannungen, die – zumindest ungefähr – bekannt sind. Wir schalten nun die Zenerdiode in eine Schaltung mit einem  $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand und dem Strommesser (Bereich etwa  $10\text{ mA}$ ) ein. Das Symbol mit Kreis bedeutet die Zenerdiode. Hier sind zwei entgegengesetzt geschaltete Zenerdioden gezeichnet; man kommt natürlich auch mit einer aus, wenn man die Diode nach dem ersten Teil des Versuchs umpolt. Wir verändern nun die Spannung von kleineren zu größeren Werten hin und beobachten die Stromstärke. Bei der einen Polung der Diode (in Durchlaßrichtung) sehen wir den Strom fast gleichmäßig mit der Spannung wachsen. Anderen Dioden gegenüber ist das nichts Besonderes. In umgekehrter Polung (also in Sperrichtung) fließt bei niedriger Spannung praktisch kein Strom, die Diode sperrt. Auch das ist das Verhalten normaler Gleichrichterioden. Von einer gewissen Spannung an (einige zehntel Volt unterhalb der Zenerspannung) beginnt der Sperrstrom zu steigen und erreicht einen Wert, der sich aus der Zenerspannung und dem  $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand





nach dem Ohmschen Gesetz errechnen läßt. Bei einer Zenerspannung von 6 V stellen wir ungefähr 6 mA fest, das bedeutet, daß die Diode selbst kaum noch einen Widerstand bietet. Der Übergang vom völlig gesperrten Zustand (also dem Innenwiderstand von 50 k $\Omega$  bis 500 k $\Omega$ ) zum leitenden Zustand (Innenwiderstand unter 100  $\Omega$ ) geht ganz plötzlich vor sich. Man darf deshalb am Strommesser nur mit großer Vorsicht empfindlichere Bereiche einstellen, um den Sperrstrom unterhalb der Zenerspannung zu messen.

Die Zenerdioden sind also, wie man sieht, in Sperrrichtung stark spannungsabhängige Widerstände. Wir wollen sehen, was wir damit anfangen können. Wir bilden den gezeichneten Stromkreis. Die Spannung könnte sich jetzt durch Batteriealterung oder Schwankungen der Netzspannung verändern. Durch den Widerstand  $R_2$  fließen bei geöffnetem Schalter auch verschieden starke Ströme, deren Größe sich aus dem Ohmschen Gesetz berechnen läßt. Schließen wir  $S_1$  und schalten wir dadurch die Zenerdiode (in Sperrrichtung) parallel zu  $R_2$ , so beobachten wir unterhalb der Zenerspannung keine Veränderungen.

Die Diode sperrt fast vollständig, und das wirkt so, als wäre der Schalter S noch geöffnet.

Bei Spannungen, die über der Zenerspannung liegen, stellen wir aber fest, daß die Stromstärke durch den Widerstand  $R_2$  fast gleich bleibt, obwohl wir die Spannung beispielsweise von 7 V auf 9 V erhöhen. Ein Teil des Stromes fließt nämlich durch die Zenerdiode. Bei höherer Spannung fließt mehr durch die Zenerdiode ab, so daß sich die Stromstärke im Stromkreis, der durch das Meßgerät und den Widerstand  $R_2$  gebildet wird, kaum verändert. Man kann das auch so ausdrücken, daß die Spannung am Widerstand konstant bleibt.

Diese eigenartige Erscheinung ist für Meßzwecke, wo es auf Gleichheit der Spannung ankommt, von großem Nutzen. Unabhängig von Netzspannungsschwankungen (bei Verwendung eines Trafos) oder Batteriealterungen ergibt sich immer die gleiche Spannung, solange die angelegte Spannung über der Zenerspannung liegt.

Unser „Stabilisator“ hat einen Mangel: Er eignet sich nur für kleine Stromstärken und verbraucht selbst viel Strom, weil ein Teil des Stromes durch die Diode abfließt. Für Batterieschaltungen ist das nicht praktisch. Man benutzt die Zenerdiode dann besser, um den Innenwiderstand eines Transistors zu beeinflussen. Dieser Innenwiderstand ist mit dem Widerstand des Verbrauchers hintereinandergeschaltet und stellt sich so ein, daß der Strom durch den Verbraucher gleichbleibt. Da wir eine solche Stabilisierungsschaltung häufig verwenden können, lohnt es sich, sie als Baugruppe fest aufzubauen.

## Baugruppe 6

### Stabilisatorschaltung

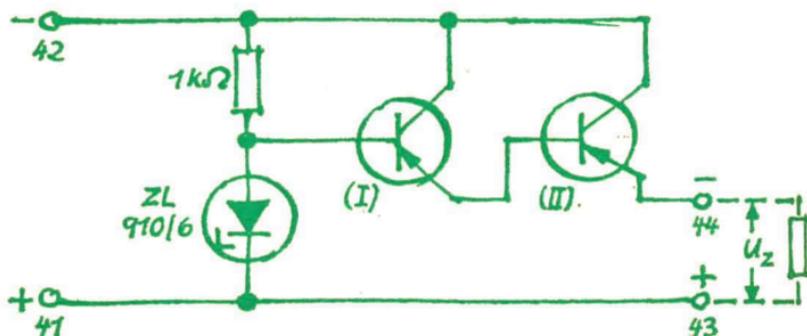
Eingangsspannung bei  $U_z = 6\text{ V}$  etwa  $7\text{ V}$  bis  $8\text{ V}$ ;

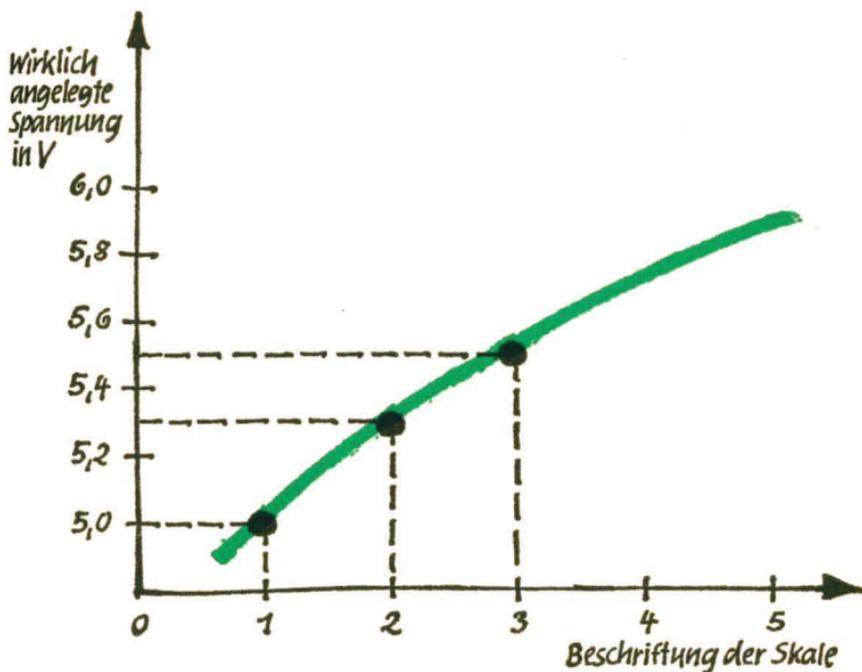
Ausgangsspannung nahezu gleich der Zenerspannung;

Stromentnahme höchstens  $100\text{ mA}$  (äußerer Widerstand mindestens  $60\ \Omega$ ).

Wenn man als ersten Transistor ein Exemplar vom Typ II und als zweiten ein Exemplar vom Typ III benutzt, lassen sich Ströme bis zu  $1\text{ A}$  gleichhalten. Den Widerstand, der hier mit  $1\text{ k}\Omega$  angegeben ist, muß man dann verringern. Den neuen Wert probiert man aus.

Zenerdioden kann man auch für andere Zwecke verwenden. Schalten wir etwa eine Zenerdiode mit  $U_z = 6\text{ V}$  und einen Spannungsmesser (Bereich  $0,5\text{ V}$  oder  $1\text{ V}$ , nicht größer!) hintereinander, so zeigt das Meßgerät bei  $0\text{ V}$  bis  $5\text{ V}$  fast auf Null. Die Zenerdiode ist, wie in allen Schaltungen, in Sperrrichtung gepolt





und hat somit einen hohen Innenwiderstand. Von 5 V an beginnt die Zenerdiode allmählich zu leiten. Der Spannungsbereich zwischen 5 V und 6 V wird so über die ganze Skale verteilt.

Gleicht man nun das Gerät an einer bekannten Spannung oder mit Hilfe eines zweiten Spannungsmessers neu ab, erhält man einen Spannungsmesser für einen engen Bereich, an dem Spannungen zwischen 5 V und 6 V mit sehr geringem Fehler abgelesen werden können.

Da wir an der Skale des Meßgerätes nichts ändern wollen, trägt man sich die neuen Werte in Kurvenform auf. Man stellt zum Beispiel fest, daß an der Stelle der Skale, wo die Zahl 1 aufgetragen ist, jetzt 5,0 V liegen; wo 2 steht, ist die Spannung 5,3 V, bei 3

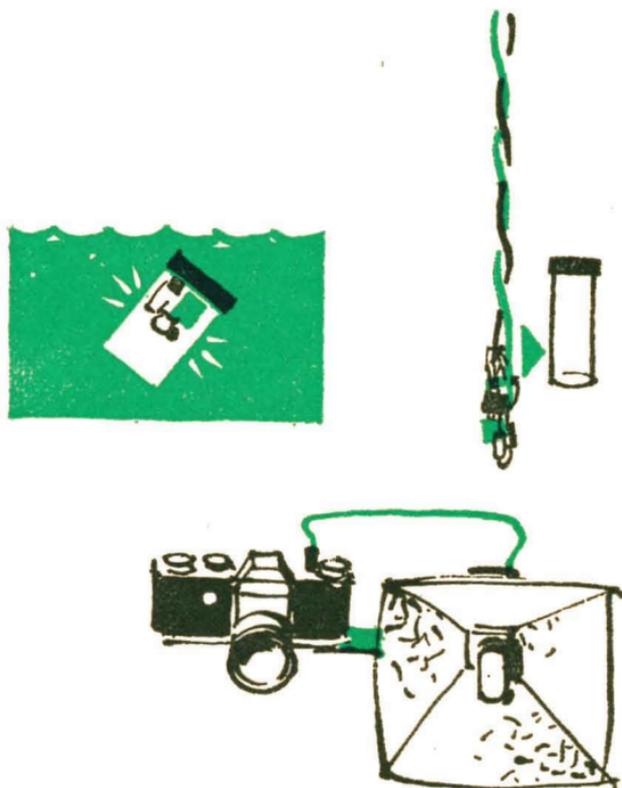
beträgt sie 5,5 V und so fort. Man kann sich aus den Meßpunkten eine Kurve zeichnen und mit ihrer Hilfe die neuen Spannungen ablesen. Wenn der Zeiger auf der Zahl 3 steht, sind es jetzt nicht 0,3 V oder 3 V, sondern 5,5 V und so weiter.

Einen Schutz vor Überlastung eines Meßgerätes erreicht man, wenn man einem Strommesser eine Zenerdiode (mit Begrenzerwiderstand) parallelschaltet. Bei höheren Strömen leitet die Diode einen Teil des Stromes ab und schützt dadurch das Meßwerk. Dabei ist das Gerät auch gleichzeitig gegen die Folgen einer falschen Polung geschützt. Legt man nämlich versehentlich den Pluspol des Meßgerätes an den Minuspol der Stromquelle, so fließt der Strom hauptsächlich durch die Zenerdiode, da sie jetzt in Durchlaßrichtung geschaltet ist.

Die Eigenschaften von Zenerdioden sind – im Gegensatz zu denen anderer Halbleiter – nur wenig von der Temperatur abhängig. Fehler durch Temperaturveränderungen sind deshalb nicht zu befürchten. Für Meßzwecke benutzt man am besten Zenerdioden mit  $U_z = 5 \text{ V}$  bis  $7 \text{ V}$ , weil deren Temperaturabhängigkeit am geringsten ist.

Man kann die Zenerdioden auch ohne weiteres hintereinanderschalten. Mit zwei Zenerdioden für  $6 \text{ V}$  läßt sich demnach eine Spannung von  $12 \text{ V}$  gleichhalten.

## Aus den Baugruppen entstehen Geräte



Wir wollen jetzt unsere Kenntnisse dazu benutzen, verschiedene Geräte herzustellen. Zum Teil dienen sie der Unterhaltung, zum großen Teil lassen sie sich aber im Haushalt, in der Schule, in Arbeitsgemeinschaften oder auch im Betrieb praktisch verwenden. Bei der nötigen Sorgfalt in der Ausführung brauchen sie durchaus nicht hinter serienmäßig gefertigten Geräten zurückzustehen. Es ist oft vorteilhaft, sich

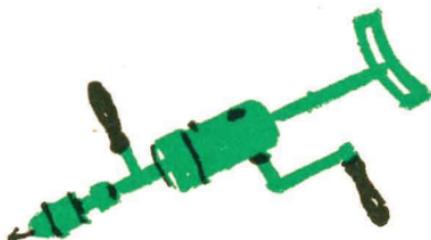
mit anderen in Verbindung zu setzen, die solche Geräte brauchen könnten, zum Beispiel mit einer Modellbaugruppe, weil die Arbeit dann von vornherein ein bestimmtes Ziel bekommt.

Wie auf anderen Gebieten der Freizeitbeschäftigung, so empfiehlt es sich auch hier, in einer Arbeitsgemeinschaft mitzumachen oder mit Freunden eine solche Arbeitsgemeinschaft zu gründen. Später kann die Gruppe dann gemeinsam kleinere Meß- oder Regelungsaufgaben selbständig lösen.

Die Geräte, die im folgenden beschrieben werden, sollen vor allem Anregungen geben und zu größeren Fertigkeiten verhelfen. Alle Möglichkeiten, die Bauteile und Baugruppen zu verbinden, können hier nicht aufgezählt werden. Hat man erst eine gewisse Übung, so kann man sich die Bauanleitungen beschaffen, die für geübte Bastler in Form von Büchern oder Broschüren erscheinen. Auch in den Jugendmagazinen und Zeitschriften werden oft Bauanleitungen veröffentlicht. Wir wollen aus den verschiedenen Anwendungsgebieten immer nur ein oder zwei Geräte besprechen. Es gibt stets viele Möglichkeiten, die Schaltungen abzuwandeln. Mit etwas Überlegung und Übung findet man nach einiger Zeit selbst Mittel und Wege, um mit den beschriebenen Bauteilen und Baugruppen ein gewünschtes Ergebnis zu erreichen. Entscheidend ist immer der Versuch, was natürlich nicht mit planlosem Herumprobieren gleichgesetzt werden darf.

Wir wollen uns hier nur mit dem elektrischen Teil der Geräte beschäftigen. Selbstverständlich braucht man für die Herstellung der Geräte auch einige

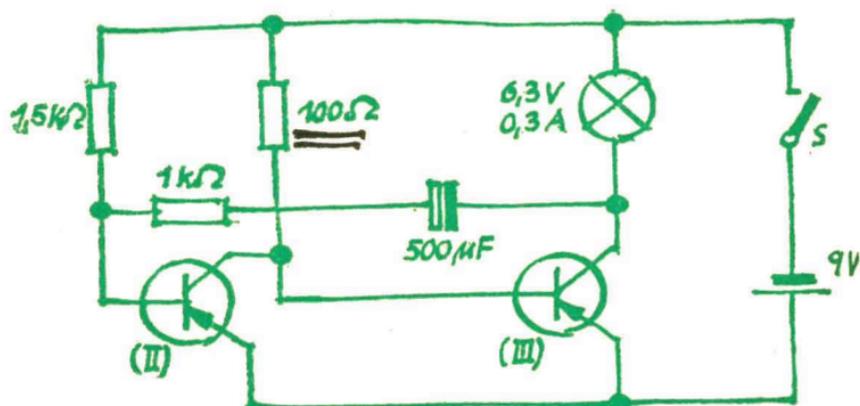
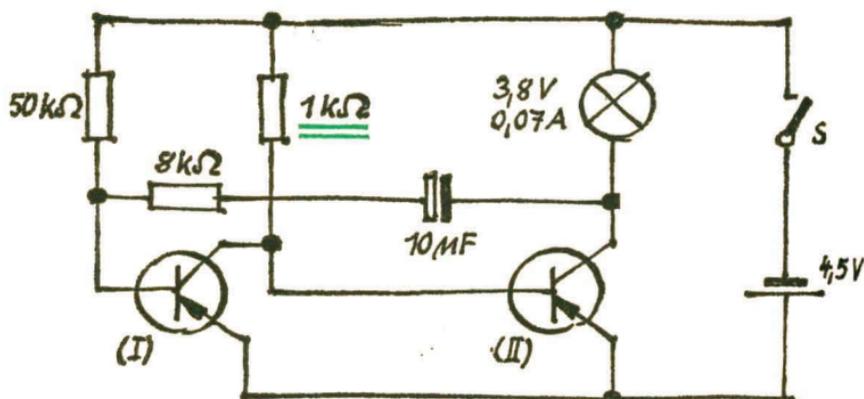
handwerkliche Kenntnisse und Fertigkeiten in der Holz- und Metallbearbeitung. Wenn es dabei an Übung oder an Geräten (zum Beispiel einer Bohrmaschine) fehlt, so findet man auch darin Rat und Hilfe in einer technischen Arbeitsgemeinschaft.



### Einfacher Blinkgeber

Im vorigen Kapitel haben wir die astabilen Multivibratoren kennengelernt, die sich beispielsweise als Blinkgeber für Signalzwecke eignen. Diese Schaltung läßt sich für viele Zwecke noch vereinfachen.

Die Glühlampe kann durch einen der beiden Schalttransistoren eingeschaltet werden; der dritte, verstärkende Transistor kann demnach wegfallen. Die Hell- und die Dunkelzeit lassen sich allerdings nicht getrennt einstellen. Gegenüber der vollständigen Schaltung mit zwei Kondensatoren besteht auch ein gewisser Nachteil darin, daß der zeitliche Abstand der Schaltvorgänge nur in engen Grenzen verändert werden kann. Während man durch Wahl der Kapazitäten und Widerstände beim astabilen Multivibrator Schaltzeiten zwischen 0,1 s und 1 min einstellen kann,



läßt sich bei den vereinfachten Ausführungen die Zeit beispielsweise nur zwischen 0,2 s und 2 s wählen. Andererseits ist ein Vorzug, daß man Leistungs-transistoren unmittelbar verwenden kann und somit auch Lampen für stärkere Ströme mit nur zwei Transistoren (ohne zusätzliche Verstärkertransistoren) geschaltet werden können.

Die Abbildungen zeigen zwei einander ähnliche Schaltungen. Die obere Darstellung ist für eine Lampe 3,8 V 0,07 A bestimmt. Mit den angegebenen Werten ergeben sich etwa zwei Schaltungen in der Sekunde. Der Kondensator kann bis auf 500  $\mu\text{F}$  vergrößert werden, die Zeit zwischen zwei Schaltungen steigt dann auf ungefähr 30 s an.

Unten ist eine Möglichkeit für eine Skalenlampe 6,3 V 0,3 A oder für eine Fahrradlampe 6 V 3 W gezeigt. Die Lampe blinkt bei den angeführten Werten ungefähr einmal pro Sekunde.

Die Widerstände der Schaltungen müssen genau bestimmt werden. Vor allem kommt es auf den Wert des Widerstandes an, der zwischen dem negativen Pol der Batterie und der Verbindung zwischen Kollektor des ersten und der Basis des zweiten Transistors liegt (hier 1 k $\Omega$  und 100  $\Omega$ ). Je größer der mit dem Kondensator hintereinandergeschaltete Widerstand ist, desto größer wird die Zeit zwischen zwei Schaltungen. Wählt man ihn aber nur ein wenig zu groß, so setzt das Blinken überhaupt aus.

Blinkgeber mit zwei Transistoren können sehr klein gebaut werden. Im Bild 15 ist ein Gerät gezeigt, das als Ziel bei Geländespielen oder beim Tauchen dienen kann. Beim Wettauchen muß man natürlich auf die Gefahren achten; deshalb ist immer eine Aufsicht nötig. Am besten verwendet man das Gerät nur im Freibad. Man ist dann auch sicher, daß man es wiederfindet und daß es nicht etwa zwischen Schilf oder im Schlamm versinkt.

In einem Plastbehälter mit den Abmessungen 65 mm x 40 mm x 40 mm sind drei kleine Monozellen (aus





3-V-Stabbatterien), eine vereinfachte Blinkschaltung und eine Glühlampe 3,8 V 0,07 A untergebracht. Die Teile werden mit Duosan auf den Deckel geklebt und nach dem Zwischenlegen von Karton mit flüssigem Wachs, das mit einem Pinsel aufgetragen wird, zu einem Block verbunden. Diese Einheit wird im Ganzen in das Gehäuse eingeschoben. Der Deckel kann mit Duosan noch gegen das Eindringen von Wasser abgedichtet werden. Die Glühlampe (ohne Fassung) ist mit den Anschlüssen direkt verlötet.

Dieses Gerät ist klein und leicht, sehr betriebssicher und unempfindlich. Damit es im Wasser untersinkt, müssen meist noch einige Eisenstücke eingelegt werden. Platz dafür ist im Inneren genügend vorhanden. In schwimmfähiger Ausführung kann man es auch als Ziel für ein Wettschwimmen benutzen.



Weitere Anwendungen von astabilen Multivibratoren werden wir im Abschnitt über Lichtschrankenanlagen kennenlernen. Dort können wir die Blinkschaltungen benutzen, um beispielsweise die Warnlampen unbeschränkter Bahnübergänge von Modellbahnanlagen zu betätigen.

### Temperatur-Fernmesser

In der Technik werden häufig Temperaturunterschiede aus einer gewissen Entfernung festgestellt. Das geschieht zum Beispiel dann, wenn man mehrere Werte – etwa die Wassertemperaturen in den Kesseln eines Kraftwerkes – in einer Zentrale überwachen möchte. Es ist natürlich viel bequemer, in

einer Zentrale die Temperaturen an nebeneinander angebrachten Meßgeräten abzulesen als die einzelnen Thermometer an jedem Kessel zu kontrollieren. Es gibt aber auch Fälle, wo die Messung mit normalen Thermometern und die Ablesung durch den Menschen gar nicht möglich wäre, zum Beispiel bei Messungen in großen Tiefen des Ozeans oder in Bohrlöchern.

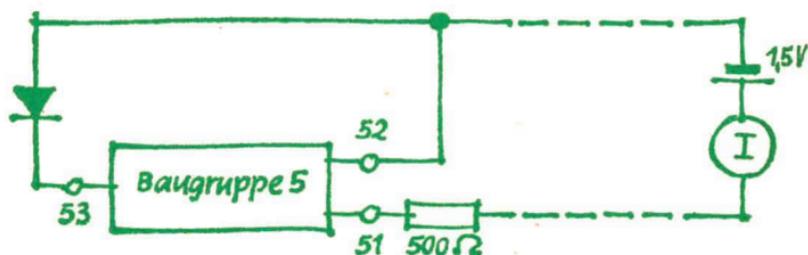
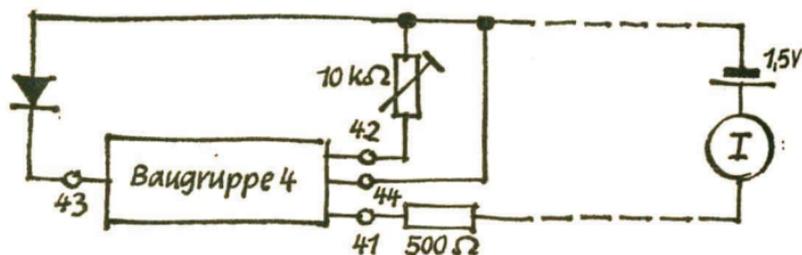
Man muß für alle diese Fälle Mittel finden, um die Meßergebnisse an einen anderen Ort zu übertragen. Das ist durch elektrische Meßverfahren möglich. Der Temperaturunterschied wird in eine elektrische Größe, zum Beispiel eine Stromstärke, umgewandelt und durch Leitungen oder sogar drahtlos (bei Raketen usw.) übertragen. Am Meßgerät liest man den elektrischen Wert ab und kann daraus den Temperaturunterschied erkennen.

Auch für uns können Temperatur-Fernmeßverfahren nützlich sein. Wir stellen damit die Lufttemperatur in Kellern oder Schuppen fest, beispielsweise um zu kontrollieren, ob die Temperatur im Winter unter  $0^{\circ}\text{C}$  sinkt und dadurch die Wasserleitung einfriert oder die Vorräte Schaden nehmen. Auch die Temperatur in Mieten kann man auf diese Weise prüfen.

Zur Messung der Temperatur auf elektrischem Wege lassen sich alle Eigenschaften elektrischer Bauteile benutzen, die von der Raumtemperatur abhängen, zum Beispiel den Widerstand eines Leiters oder die Kapazität eines Kondensators. Um die Messung zu vereinfachen, wird man solche Eigenschaften wählen, die möglichst stark temperaturabhängig sind, und dazu gehört der Sperrstrom einer Diode.



Wir können die Diode in Sperrichtung als „elektrisches Thermometer“ und ein Meßgerät als Anzeigegerät benutzen. Allerdings sind, wie wir schon sahen, die Sperrströme von Dioden winzig klein, so daß die Messung nur mit empfindlichen, teuren Geräten möglich ist. Besser ist es deswegen, wenn wir den Sperrstrom verstärken. Allerdings sind unsere Verstärkerschaltungen ebenfalls temperaturabhängig. Um einen zusätzlichen Fehler zu vermeiden, bringen wir die Diode und die Verstärkerschaltung am besten gemeinsam dort an, wo die Temperatur gemessen werden soll. Die Batterie und das Meßgerät können davon einige hundert Meter entfernt aufgestellt sein.

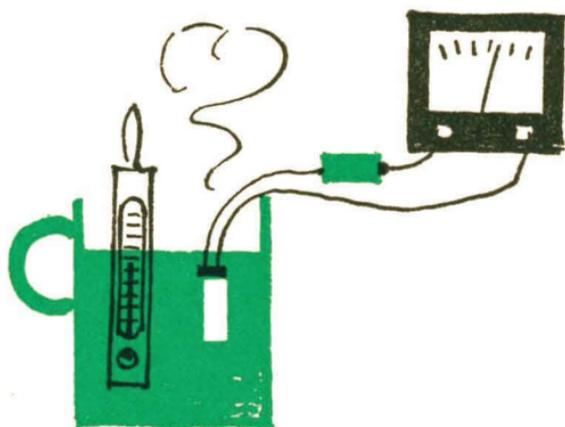


Um den Zusammenhang zwischen der Anzeige des Meßgerätes und der wirklichen Temperatur zu finden, muß man die fertige Schaltung vorher mit einem gewöhnlichen Zimmerthermometer abgleichen. Man notiert sich die Stromstärken, die bei unterschiedlichen, am Zimmerthermometer abgelesenen Temperaturen zu messen sind. Man kann daraus wieder eine Kurve zeichnen, um aus den Ablesungen am

Meßgerät ohne besondere Rechnungen die Temperatur entnehmen zu können.

Die Abbildung zeigt drei Schaltungsmöglichkeiten. Jedesmal ist die Diode in Sperrichtung geschaltet. Der Farbring liegt also immer an der Basis des verstärkenden Transistors (Anschlüsse 43 oder 53). Als Diode kann man irgendeine Ausführung verwenden. Die Spannung ist so niedrig gewählt worden, um zu verhindern, daß sich die Diode durch den Strom selbst erwärmt, was zu Meßfehlern führen könnte. Man kann die Diode mit dem Verstärker und den Widerständen bequem in einem Tablettenröhrchen unterbringen (Bild 16). Alle Drähte werden nach dem Verlöten sorgfältig mit Alleskleber bestrichen, und nachdem der Klebstoff trocken ist, schiebt man die Schaltung in das Glasröhrchen und gießt den freien Raum mit flüssigem Wachs aus.

Das Wachs (aus Kerzenresten) schmilzt man in einem kleinen Metallgefäß, das in siedendes Wasser gestellt





wird. Man wartet dann, bis das Wachs langsam wieder erstarrt. Erst dann gießt man die Schaltung ein. Dadurch wird verhindert, daß die Bauteile durch zu heißes Wachs unnötig erhitzt werden. Das elektrische Thermometer ist nun mechanisch gut geschützt und kann jahrelang benutzt werden.

Man gleicht das elektrische Thermometer ab, indem man das Röhrchen in Wasser mit verschiedenen Temperaturen hängt und die dabei entstehenden Stromstärken mißt. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß das Glas und das Wachs die Wärme nur sehr langsam fortleiten. Man muß also einige Minuten warten, damit die Bauteile tatsächlich die Wassertemperatur angenommen haben. Als Vergleichsthermometer läßt sich ein Badethermometer benutzen.

Wenn es darauf ankommt, Temperaturen in der Nähe des Nullpunktes zu messen, so braucht man zum Abgleich einige Meßpunkte über  $0^{\circ}\text{C}$ , aber auch einige um  $0^{\circ}\text{C}$  oder unter dem Nullpunkt. Man kann eine Flüssigkeit herstellen, die eine Temperatur von  $-2^{\circ}\text{C}$  oder  $-5^{\circ}\text{C}$  hat, indem Kochsalz mit Schnee oder Eis (beispielsweise aus dem Tiefkühlfach des Kühlschranks) vermischt wird.

## Brandmelder

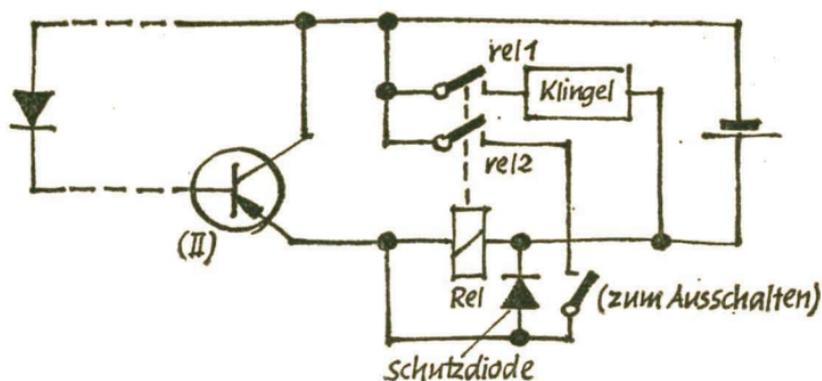
Wir wollen jetzt einen Versuch durchführen, der im ungünstigsten Falle zur Zerstörung eines Bauteiles führen kann. Dieses Wagnis müssen wir schon einmal hinnehmen. Wir schalten eine 9-V-Batterie, eine

Glasdiode in Sperrichtung, einen 1-k $\Omega$ -Widerstand und einen Strommesser (Bereich ungefähr 10 mA) hintereinander. Dies ist wieder eine Schaltung, mit der wir Temperaturänderungen messen könnten. Da aber der Meßbereich des Gerätes sehr groß ist, lesen wir fast Null ab. Wir halten jetzt ein brennendes Streichholz direkt unter die Diode. Durch die Erwärmung steigt der Sperrstrom rasch an; wir erkennen am Strommesser, daß er Werte von einigen Milliampere erreicht. Wenn wir das Streichholz entfernen und den Stromkreis schnell unterbrechen, so kühlt sich die Diode meist wieder ab, ohne dauernden Schaden davonzutragen. Es ist allerdings auch möglich, daß sie danach in beiden Richtungen sperrt oder bei jeder Polung den vollen Strom durchläßt. Dann ist sie unbrauchbar.

Der Nutzen einer solchen Schaltung ist leicht zu erkennen: Mit Dioden als Meßorgane können wir einen Brandmelder aufbauen. Er unterscheidet sich von den Temperatur-Meßschaltungen nur dadurch, daß wir nicht jeden Zwischenwert ablesen wollen; es genügt, wenn bei Überschreitung eines gewissen Wertes ein Signal ausgelöst wird.

Man könnte direkt einen Stromkreis aus Diode in Sperrichtung, Batterie und Relais bilden und durch die Relaiskontakte Alarmglocken oder andere Warn-einrichtungen einschalten lassen. Allerdings muß die Meßdiode schon sehr stark erhitzt werden, damit der zum Schalten des Relais nötige Strom von 10 mA bis 15 mA fließen kann. Besser ist es, einen einstufigen Verstärker zu benutzen. Die Batterie (für ein 6-V-Relais etwa 9 V, für ein 12-V-Relais ungefähr 16 V

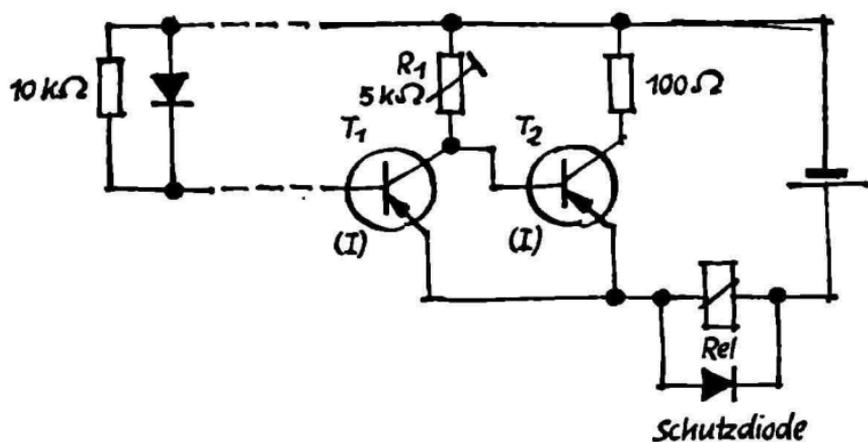




bis 18 V) kann dauernd angeschlossen bleiben. Der Stromverbrauch liegt, wenn wir uns eine Diode mit hohem Sperrwiderstand herausuchen, weit unter 0,5 mA. Die Batterie hält sich bei einem so niedrigen Verbrauch mehrere Monate.

Mit den Relaiskontakten kann man Alarmanrichtungen schalten. Hier ist dargestellt worden, wie eine Klingel aus der gleichen Batterie gespeist werden kann. Es ist ein zusätzlicher „Haltestromkreis“ (vergleiche Seite 114) vorgesehen. Dadurch läutet die Glocke weiter, auch wenn die Diode oder die Zuleitung nach der Kontaktgabe zerstört werden sollte. Man kann ohne weiteres mehrere Dioden parallel schalten. Als Zuleitungen kann man blanken Kupferdraht benutzen, der an Holzbalken angenagelt wird. Eine Brandgefahr durch den Stromkreis selbst besteht auf keinen Fall.

Eine Fehlerquelle ist allerdings zu beachten: Die Einrichtung ist eine Alarmanlage mit „Arbeitsstromkontakt“. Im Gefahrenfall wird ein Stromkreis geschlossen. Wenn die Verbindung dadurch unterbro-

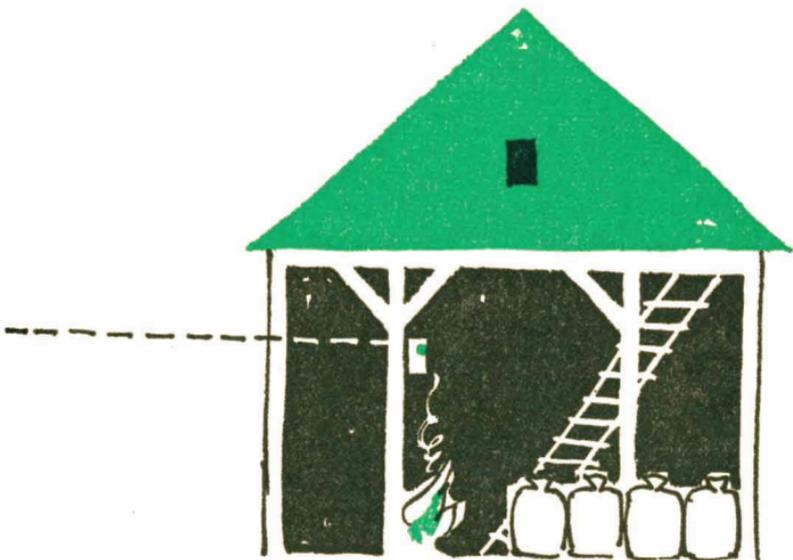


chen ist, daß einer der Zuleitungsdrähte beschädigt wurde oder durchgeschmolzen ist, noch ehe die Diode erwärmt wurde, unterbleibt die Meldung der gefährlichen Erhitzung. Diese Unsicherheit kann man dadurch beseitigen, daß man die Meldung in zwei Fäl-



len auslöst, wenn nämlich entweder zu viel oder gar kein Strom fließt.

Die Schaltung ist in der folgenden Abbildung gezeigt. Der Diode wird an Ort und Stelle ein  $10\text{-k}\Omega$ -Widerstand parallelgeschaltet. Den Widerstand  $R_1$  stellt man so ein, daß durch das Relais ungefähr  $5\text{ mA}$  fließen. Wird der Basisanschluß von  $T_1$  überhaupt unterbrochen, so fließt ein Strom von mindestens  $15\text{ mA}$  durch  $T_2$ , wodurch das Relais anzieht. Erhält die Basis aber durch Kurzschluß der Diode eine starke negative Spannung, so fließt ein starker Strom durch  $T_1$ . In beiden Fällen – einer Drahtunterbrechung oder einer Erhitzung der Diode – zieht das Relais demnach an. Die Selbsthalteschaltung und die Alarmeinrichtung sind hier nicht gezeichnet. Der Stromverbrauch der Einrichtung steigt allerdings auf  $5\text{ mA}$  an. Es ist deshalb nötig, kräftige Batterien (so-



genannte Kastenbatterien) oder Akkus zu benutzen. Ein Trafo mit Gleichrichter ist nicht empfehlenswert, weil die Netzspannung auch einmal ausbleiben könnte.

Wir erkennen an diesem Beispiel, wie man eine praktisch verwendbare und nützliche Anlage mit verhältnismäßig geringem Aufwand errichten kann. Unser Basteln kann so helfen, durch rechtzeitige Meldung eines Brandes – beispielsweise in Lagerschuppen oder Scheunen – größeren Schaden zu verhüten und wertvolles Gut zu schützen.

### Temperatur-Regeleinrichtung (Thermostat)

Viele chemische Reaktionen oder physikalische Vorgänge sind von der Temperatur abhängig. Versuche sollen meist unter gleichbleibenden Bedingungen, also auch bei konstanter Temperatur vor sich gehen; man braucht deshalb häufig Geräte, in denen die Temperatur gleichgehalten wird. Solche Geräte heißen Thermostate. Der Körper, dessen Temperatur konstant sein soll, wird in den Thermostat eingesetzt. Das können beispielsweise Reagenzgläser sein, in denen sich eine temperaturabhängige Reaktion abspielt, oder die eine Lötstelle eines Thermoelementes, das ist ein elektrisches Gerät zur Temperaturmessung. Zwei Drähte aus verschiedenen Metallen sind dabei zu einem Stromkreis vereinigt. Die eine Lötstelle wird der Temperatur ausgesetzt, die gemessen werden soll, und die zweite Lötstelle muß eine konstante Temperatur haben. Aus der entstehenden

„Thermospannung“ kann man die Temperaturdifferenz zwischen beiden Lötstellen entnehmen. Auch Aquarien für Warmwasserfische haben meist eine Einrichtung zur dauernden selbsttätigen Gleichhaltung der Wassertemperatur.

Für den Temperaturbereich zwischen  $30^{\circ}\text{C}$  und  $80^{\circ}\text{C}$  benutzt man als Thermostate oft Wasserbehälter, die elektrisch geheizt werden. Man verwendet das Wasser vor allem deshalb, weil es eine besonders große „Wärmekapazität“ hat: Es sind große Wärmemengen nötig, um es zu erwärmen. Ist es aber einmal warm, so kühlt es sich nur langsam wieder ab. Luft ist dagegen nicht sehr gut geeignet, denn sie erwärmt sich schnell und gibt die Wärme auch schnell wieder ab.

Wir wollen uns einen kleinen Wasserthermostaten bauen, in dem man auch Halbleiterschaltungen für Meßzwecke unterbringen kann, bei denen die Temperaturabhängigkeit von Transistoreigenschaften berücksichtigt werden muß. Sie werden in ein wasserdichtes (Plast-)Gehäuse eingebaut, mit Wachs ausgegossen und in das Wassergefäß getaucht.

Vorher wollen wir aber noch den Sinn der drei Begriffe Messen, Steuern und Regeln klären.

Bei einer *Messung* soll der Wert einer Größe zahlenmäßig festgestellt werden. Gemessene Zahlenwerte sind zuverlässiger als geschätzte oder nur angenommene Werte, weil man beim Schätzen grobe Fehler machen kann. Zum Messen muß eine Einheit bekannt sein und ein Meßgerät benutzt werden. Man stellt mit dem Gerät fest, wie oft die Einheit (oder ein Teil davon) in der unbekanntem Größe vorkommt. Ein Lineal mit Zentimeterteilung beruht zum Beispiel

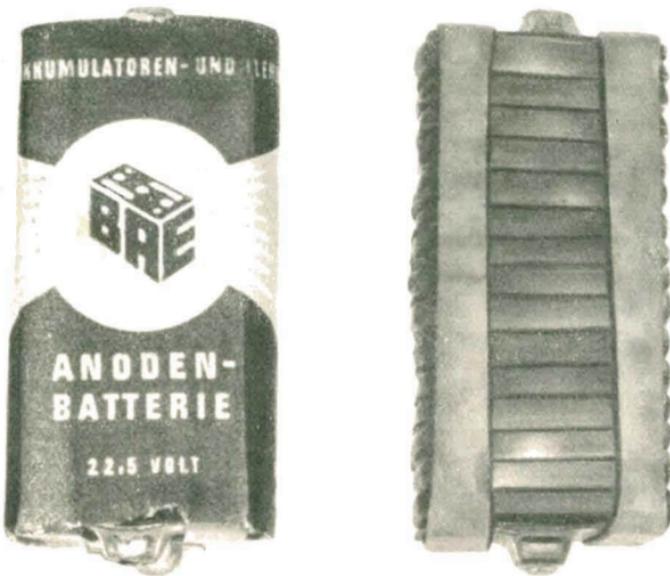
auf der Einheit Meter. Wir stellen damit fest, wieviel hundertstel Meter, also wieviel Zentimeter, die betreffende Strecke lang ist. Das Ergebnis, etwa die Angabe „5 cm“, setzt sich demnach aus dem Zahlenwert und der Einheit zusammen. Man darf die Einheit nicht vergessen, weil der Sinn sonst unklar ist.

Unter *Steuern* versteht man die Betätigung eines Teiles, ohne daß sich das Ergebnis auf den Vorgang auswirkt. Wir drehen beispielsweise am Schalter, und das Licht brennt. Es ist aber auch möglich, daß es nicht brennt. Ob die Lampe durchgebrannt ist oder fehlt, spielt also für das Schalten keine Rolle. Wenn die Glühlampe in einem anderen Raum angebracht ist, kann man zwar annehmen, daß sie nach dem Einschalten brennt, doch genau weiß man es nicht. Entsprechend steuert die Unruhe — das hin- und herschwingende Teil einer Uhr — oder das Pendel den Lauf der Zeiger, ohne deren Stellung zu berücksichtigen.

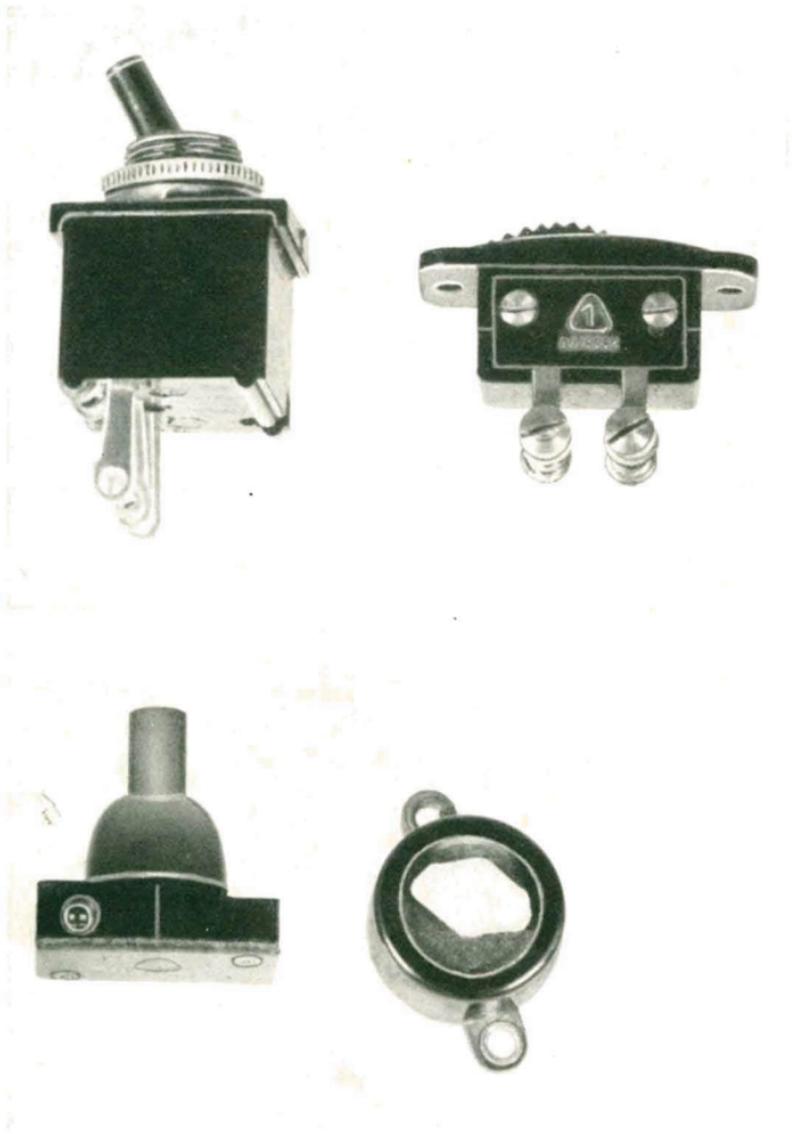
Steuerungen der verschiedensten Art werden in der Technik häufig angewandt, sei es als einfache Relaissteuerungen, bei denen, wie wir gesehen haben, ein schwacher Strom einen stärkeren einschaltet, oder in komplizierten „programmgesteuerten“ Werkzeugmaschinen, wobei vorher festgelegt ist, in welcher Reihenfolge die einzelnen Bearbeitungen ablaufen. Auch wir könnten den Thermostaten mit einer Steuerung ausrüsten. Beispielsweise könnte ein astabiler Multivibrator die elektrische Heizung jede Minute einige Sekunden lang einschalten und dadurch die Wärmeverluste ausgleichen. Lange würde eine solche Einrichtung aber nicht ordnungsgemäß arbeiten.



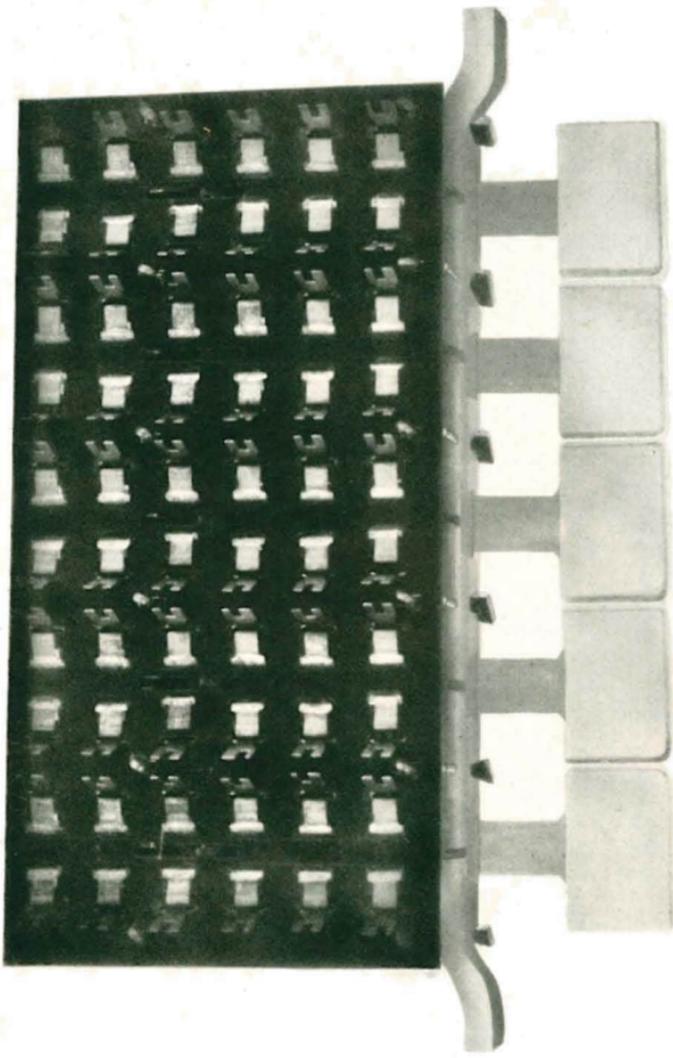
1 Galvanische Elemente mit einer Spannung von  $U = 1,5 \text{ V}$



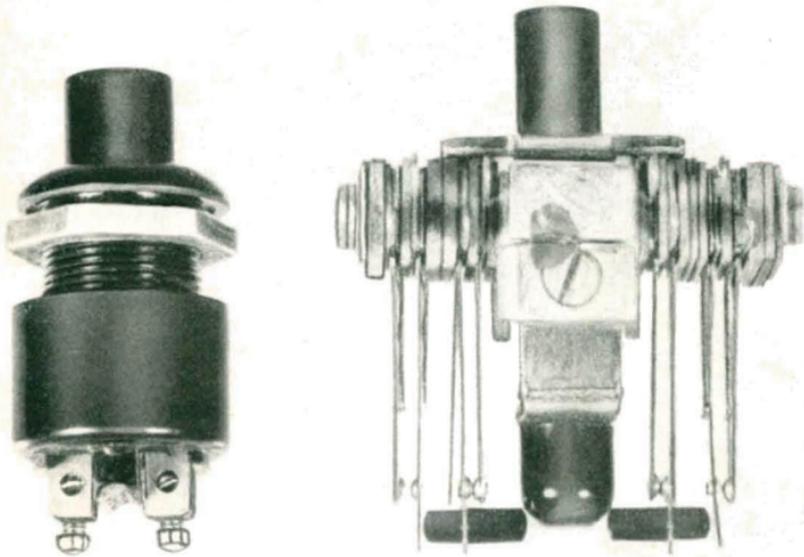
2 Hörbatterie mit 22,5 V Spannung. Rechts geöffnet



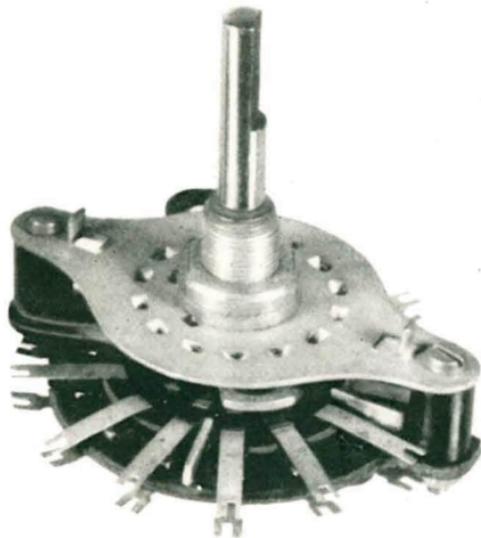
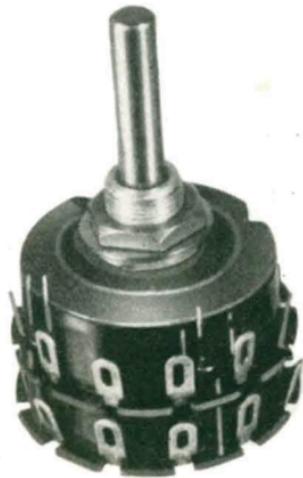
3 Ein- und Ausschalter (Dauerkontakte)



4 *Tastenschalter mit 5 Tasten*



5 Momentkontakte, links einpolig, rechts vierpolig

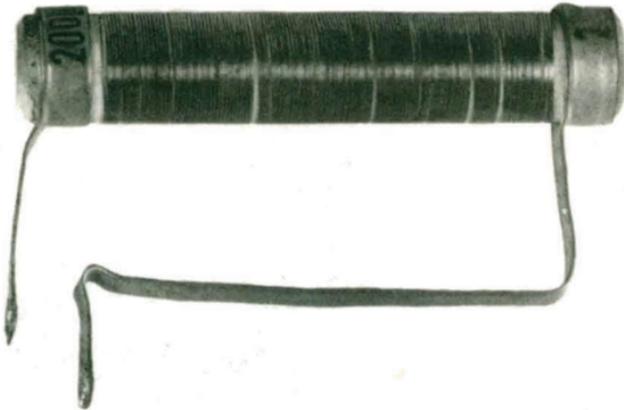


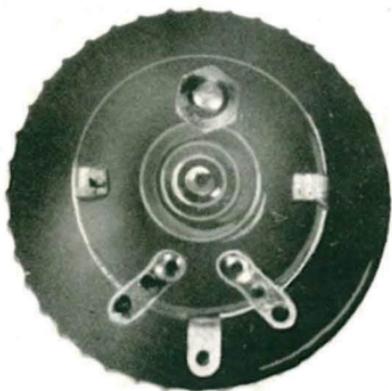
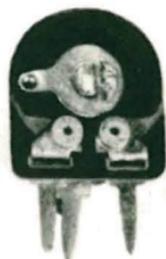
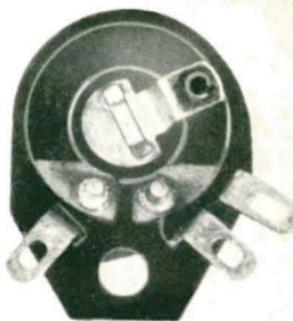
6

*Umschalter  
und Stufenschalter*

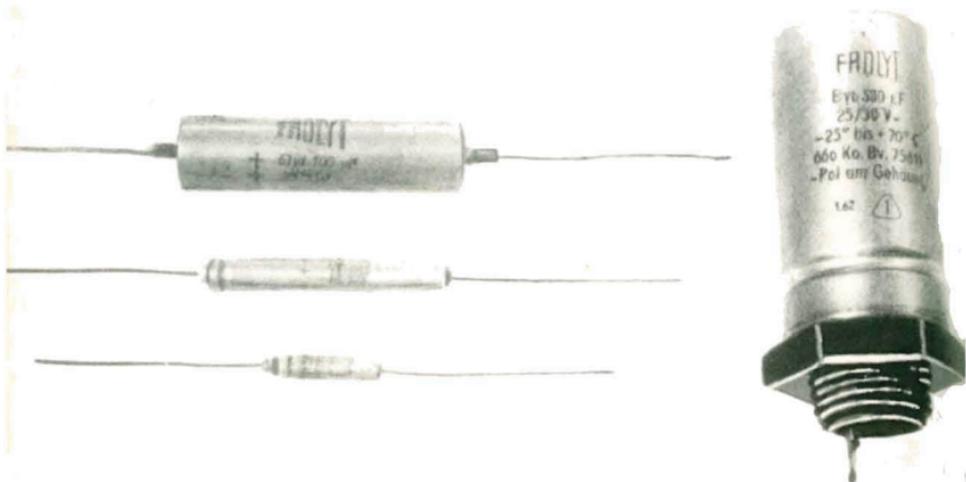


7 Widerstände mit  $R=200\text{ Ohm}$ , oben für  $1/20\text{ W}$ , unten für  $1\text{ W}$

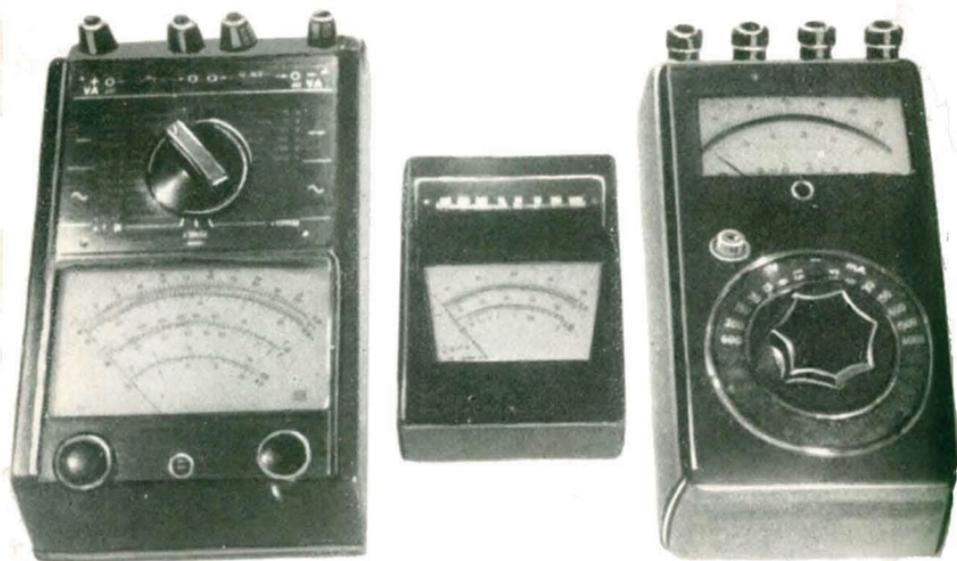




8 *Veränderliche  
Widerstände*



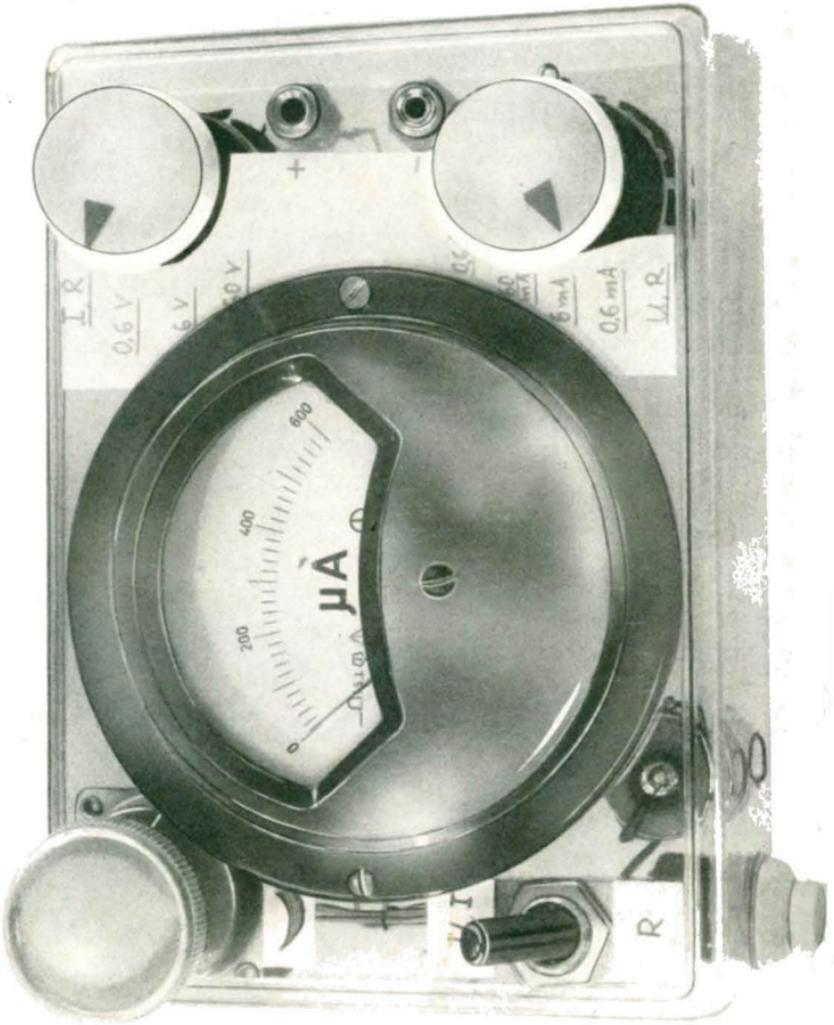
9 Elektrolytkondensatoren



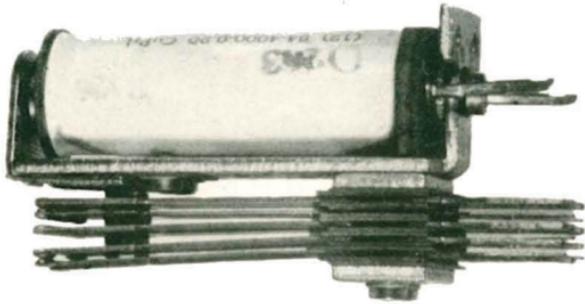
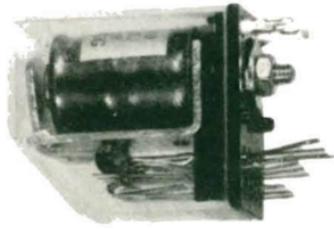
10 Im Handel erhältliche Vielfachmesser



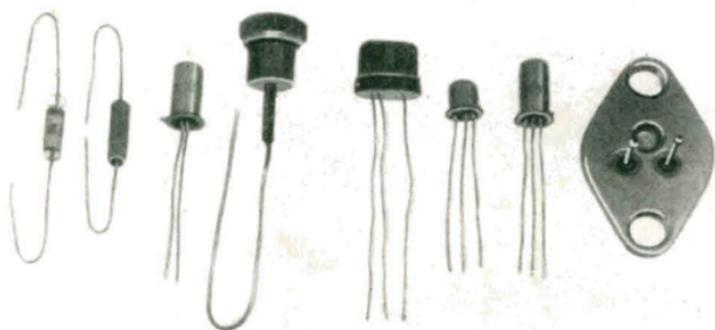
11 Strommesser mit einem Endausschlag von  $600 \mu\text{A}$  ( $=0,6 \text{ mA}$ )



12 *Selbstgebauter Vielfachmesser*

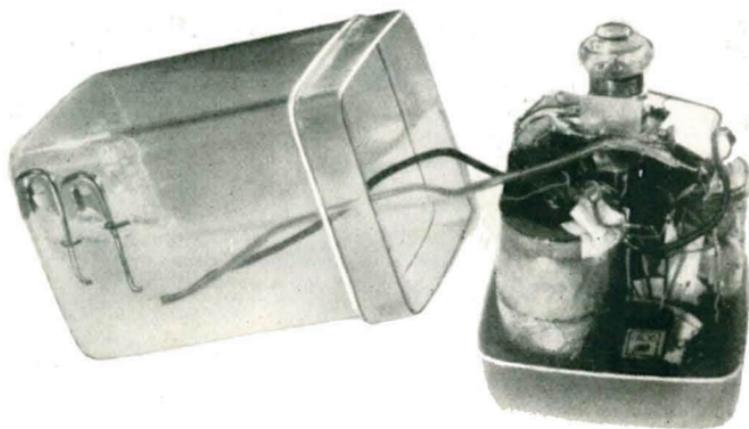


13 *Drei Relais typen*



14 Dioden (links) und Transistoren (rechts)

15 Blinkgeber im Bau





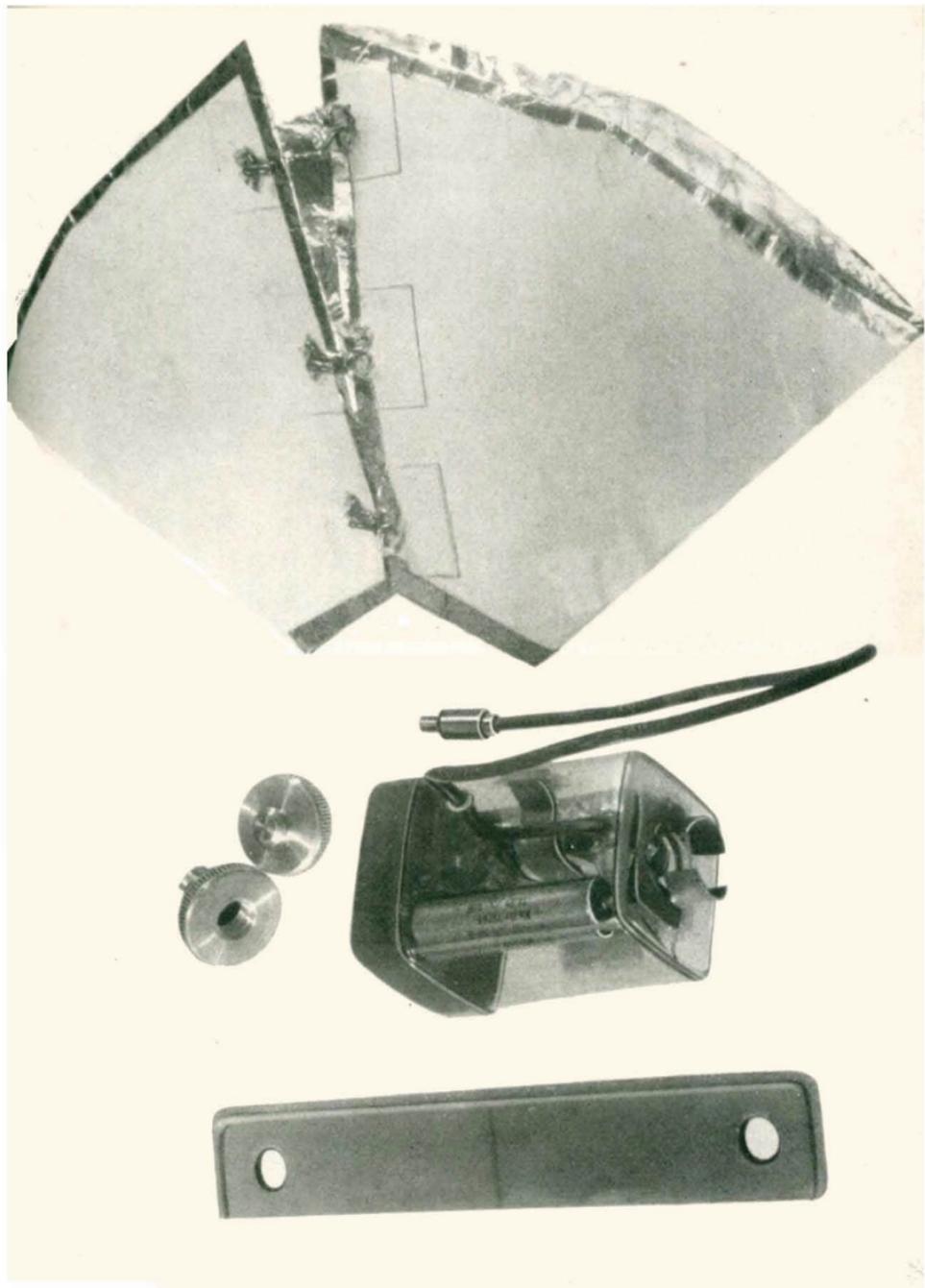
16 *Elektrisches Thermometer vor dem Eingießen in Wachs*

17 *Lichtelektrische Empfänger, von links nach rechts Fotowiderstand, Fototransistor, Fotodiode, Fotozelle und Fotoelement*

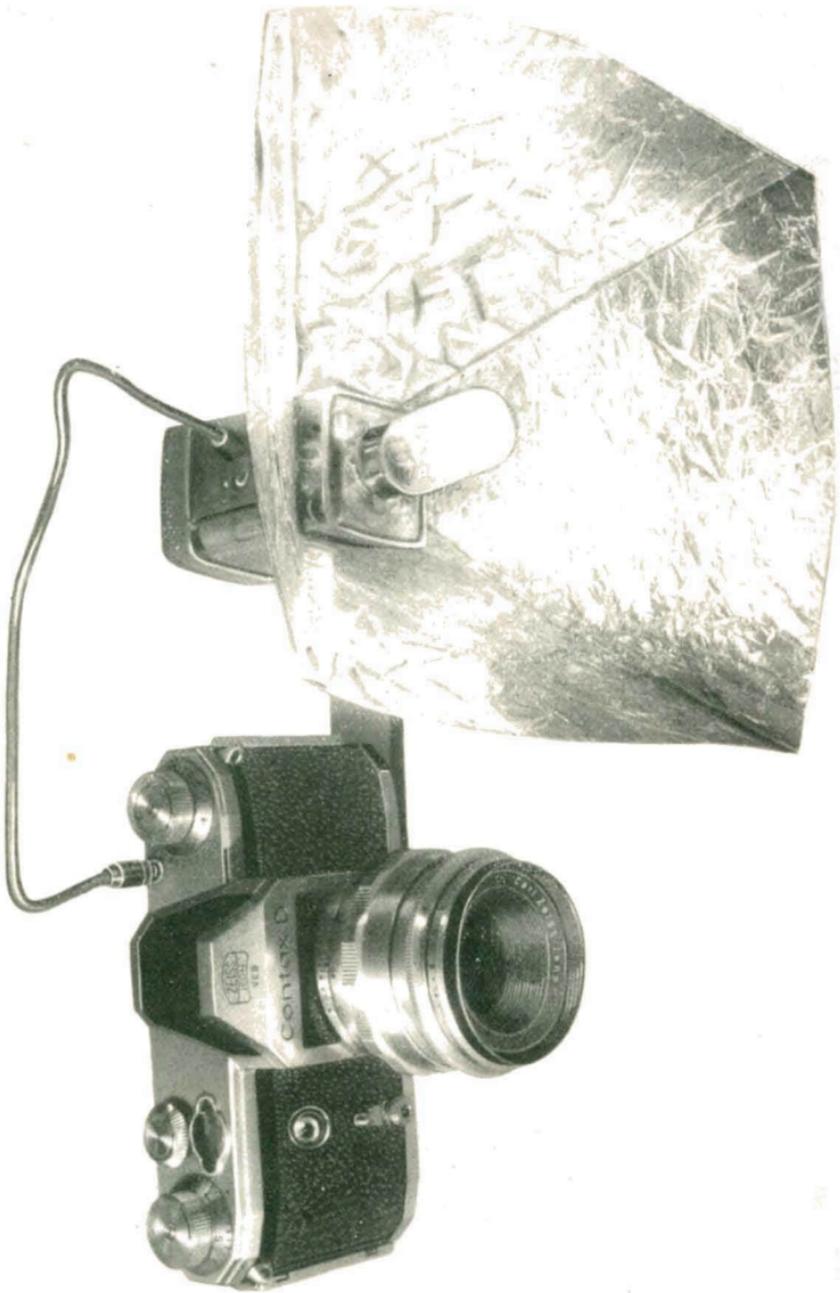




18 *Fotoblitzlampe mit Stecksocket*



19 Bauteile des Fotoblitzgerätes

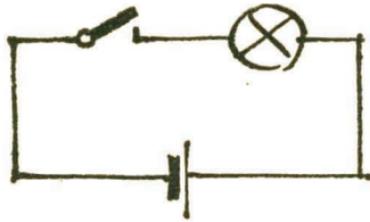


20 Fotoblitzgerät an einer Kamera

Nachts kühlt sich das Wassergefäß stärker ab als am Tage, so daß die Heizung auch länger wirken müßte. Morgens und abends ist die Netzspannung etwas niedriger als am Tage, wodurch die Heizung weniger Wärme zuführt, wenn man den Heizkörper aus einem Trafo betreibt und so fort. Mit einer gesteuerten Heizung hätten wir wahrscheinlich manchen Kummer, und konstant wäre die Wassertemperatur sicher nicht.

Die Mängel einer Steuerung liegen im Verfahren begründet, nicht etwa in Fehlern einzelner Teile. Der Mangel ist, daß sich die Steuerung nicht darum „kümmert“, was geschieht, sondern immer in der gleichen, vorher eingestellten Weise wirkt, bei höherem oder geringerem Wärmeverlust, bei ausreichender oder ungenügender Heizung. Steuerungen lassen sich deswegen nur dort anwenden, wo nicht mit Störungen dieser Art gerechnet werden muß. In unserem Falle wäre eine Steuerung nicht geeignet.

Wir müssen der Steuerungseinrichtung irgendwie „sagen“, was sie tun soll, aber nicht dadurch, daß wir ständig etwas verstellen. Die Anlage soll vielmehr selbständig arbeiten. Also ist eine Meßeinrichtung nötig, die die Wassertemperatur feststellt, und der Heizstrom muß durch diese Meßeinrichtung beeinflußt werden. Eine solche verbesserte Steuereinrichtung mit „Sinnesorganen“ heißt *Regeleinrichtung*. Das Wichtige daran ist der geschlossene Kreis: Die Heizung wärmt das Wasser, eine Meßeinrichtung stellt die Temperatur fest und schaltet den Heizstrom aus, wenn die gewünschte Temperatur erreicht ist. Hat sich das Wasser wieder abgekühlt, so wird die



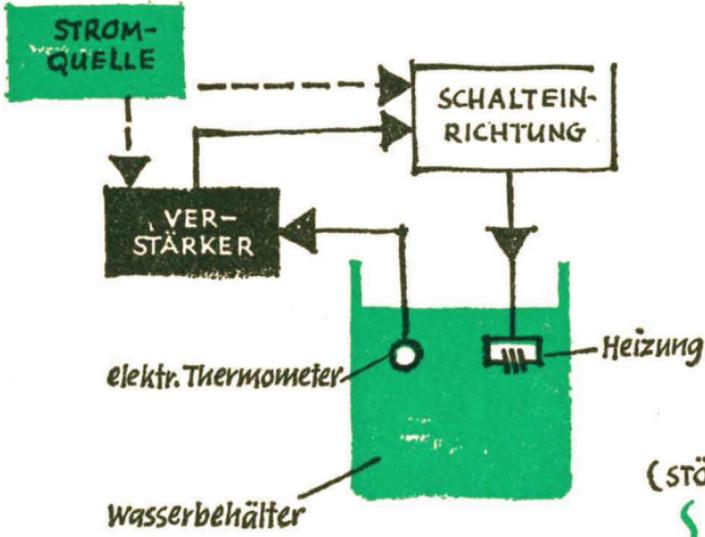
**STEUERUNG**

URSACHE →

(STÖRUNGEN)



WIRKUNG



**REGELUNG**

URSACHE →

(STÖRUNGEN)



WIRKUNG



Heizung eingeschaltet und so fort. Jede Störung, zum Beispiel eine niedrigere Außentemperatur oder eine zu geringe Spannung, kann das Erreichen des Endzustandes (des „Sollwertes“) nur hinausschieben, aber nicht verhindern. Eine Temperatursteuerung kann nur unter günstigen Umständen den geforderten Wert einhalten – bei einer Regeleinrichtung ist es „die Regel“.

Für unsere Temperatur-Regeleinrichtung, die eine kleine Wassermenge auf gleicher Temperatur halten soll, wählen wir die gewünschte Temperatur nur wenig über der Zimmertemperatur, günstig ist 25 °C oder 30 °C. Für größere Wassermengen und höhere Temperaturen braucht man größere Heizkörper und höhere Heizleistungen, als wir zur Verfügung haben. Eine Aquarienheizung zum Beispiel erfordert einen kräftigen Heizkörper (eine Art Tauchsieder), der direkt aus dem Starkstromnetz gespeist wird. Wir wollen uns aber mit der Netzspannung nicht befassen und verzichten deshalb auch darauf, uns selbst eine Aquarienheizung zu bauen. Das ist übrigens auch nicht erlaubt, weil bei unsachgemäßer Verlegung von Leitungen leicht Gefahrenquellen geschaffen wer-





den – man könnte einen Brand verursachen, oder jemand erhält einen Schlag!

Als Stromquelle benutzen wir einen Trafo, der eine Spannung von 6 V bis 8 V und eine Stromstärke von mindestens 1 A abgibt. Günstiger ist eine Stromstärke von 2 A bis 3 A. Die Spannungs- und Stromstärkeangaben findet man auf dem Typenschild des Trafos. Als „Heizkörper“ kann man normale Zwerglampen verwenden. Glühlampen verwandeln näm-

lich den größten Teil der elektrischen Energie in Wärme. Nur ein ganz kleiner Teil wird in Licht verwandelt. Für 6 V Spannung eignen sich die üblichen Fahrradlampen 6 V 2,1 W oder Skalenlampen 6,3 V 0,3 A. Man lötet die beiden Anschlüsse, ohne eine Fassung zu verwenden, direkt an der Lampe an. Sie wird auf den Boden eines Reagenzglases gelegt, das wir mit feinem Sand füllen. Soweit es der Trafo zuläßt, verwenden wir zwei bis drei solcher Heizkörper. Bei 1 A Sekundärstromstärke des Trafos kann man zwei Lampen 6 V 2,1 W oder drei Lampen 6,3 V 0,3 A parallelschalten. Eignet sich der Trafo für 3 A, so verwendet man eine Glühlampe 6 V 15 W (Lampe für Kraftfahrzeugbeleuchtung). Sie wird in einem geeigneten Glasgefäß untergebracht. Der Zwischenraum wird wieder mit Sand ausgefüllt, weil Luft die Wärme schlecht leitet.

Wir müssen uns jetzt zunächst davon überzeugen, daß der „Heizkörper“ auch ausreicht, um die Wassermenge warm zu halten. Dazu füllen wir das Gefäß (am besten wieder einen kleinen Plastbehälter) mit Wasser der gewünschten Temperatur, zum Beispiel 30 °C, tauchen die Heizvorrichtung – also den Behälter mit der Glühlampe – ein und schließen den Stromkreis. Mit einem gewöhnlichen Thermometer (Bade- oder Zimmerthermometer) verfolgen wir jetzt, ob das Wasser allmählich wärmer oder kälter wird. Man braucht dazu allerdings etwas Geduld, weil die Temperaturveränderungen sehr langsam vor sich gehen. Erhöht sich die Temperatur, so genügt die Heizeinrichtung. Wird das Wasser aber kälter, obwohl die Heizung eingeschaltet ist, so sind die Wärmeverluste



den – man könnte einen Brand verursachen, oder jemand erhält einen Schlag!

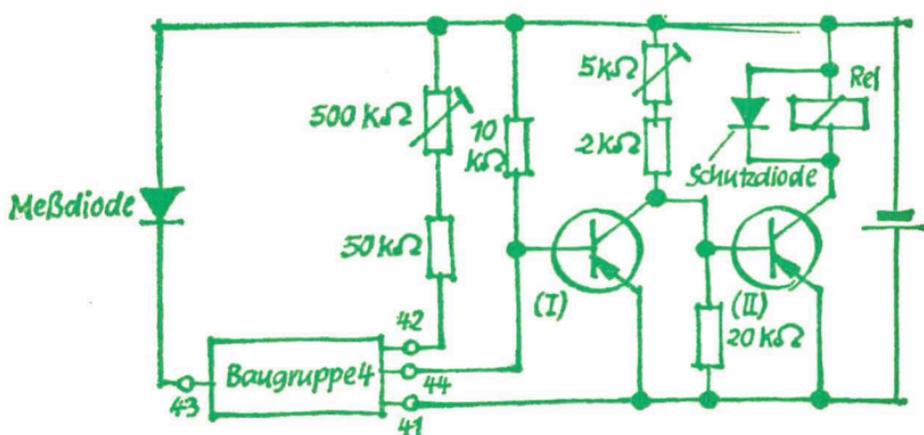
Als Stromquelle benutzen wir einen Trafo, der eine Spannung von 6 V bis 8 V und eine Stromstärke von mindestens 1 A abgibt. Günstiger ist eine Stromstärke von 2 A bis 3 A. Die Spannungs- und Stromstärkeangaben findet man auf dem Typenschild des Trafos. Als „Heizkörper“ kann man normale Zwerglampen verwenden. Glühlampen verwandeln näm-

lich den größten Teil der elektrischen Energie in Wärme. Nur ein ganz kleiner Teil wird in Licht verwandelt. Für 6 V Spannung eignen sich die üblichen Fahrradlampen 6 V 2,1 W oder Skalenlampen 6,3 V 0,3 A. Man lötet die beiden Anschlüsse, ohne eine Fassung zu verwenden, direkt an der Lampe an. Sie wird auf den Boden eines Reagenzglases gelegt, das wir mit feinem Sand füllen. Soweit es der Trafo zuläßt, verwenden wir zwei bis drei solcher Heizkörper. Bei 1 A Sekundärstromstärke des Trafos kann man zwei Lampen 6 V 2,1 W oder drei Lampen 6,3 V 0,3 A parallelschalten. Eignet sich der Trafo für 3 A, so verwendet man eine Glühlampe 6 V 15 W (Lampe für Kraftfahrzeugbeleuchtung). Sie wird in einem geeigneten Glasgefäß untergebracht. Der Zwischenraum wird wieder mit Sand ausgefüllt, weil Luft die Wärme schlecht leitet.

Wir müssen uns jetzt zunächst davon überzeugen, daß der „Heizkörper“ auch ausreicht, um die Wassermenge warm zu halten. Dazu füllen wir das Gefäß (am besten wieder einen kleinen Plastbehälter) mit Wasser der gewünschten Temperatur, zum Beispiel 30 °C, tauchen die Heizvorrichtung – also den Behälter mit der Glühlampe – ein und schließen den Stromkreis. Mit einem gewöhnlichen Thermometer (Bade- oder Zimmerthermometer) verfolgen wir jetzt, ob das Wasser allmählich wärmer oder kälter wird. Man braucht dazu allerdings etwas Geduld, weil die Temperaturveränderungen sehr langsam vor sich gehen. Erhöht sich die Temperatur, so genügt die Heizeinrichtung. Wird das Wasser aber kälter, obwohl die Heizung eingeschaltet ist, so sind die Wärmeverluste

zu groß. Wir müssen in diesem Falle die Wärmeverluste (durch einen Deckel und Umkleidung des Gefäßes mit Papier oder Textilien) oder die Wassermenge verringern.

Wir sahen, daß zu einer Regeleinrichtung stets eine Meßeinrichtung gehört, die prüft, ob der Sollwert erreicht ist oder nicht. Als Temperaturmesser kann man die Einrichtungen benutzen, die unter „Temperatur-Fernmessung“ (Seite 179) beschrieben worden sind, also Dioden mit Transistorverstärker und einem Relais als Schaltorgan. Für größere Behälter lassen sich auch die sogenannten Kontaktthermometer benutzen, das sind Quecksilberthermometer, bei denen der Quecksilberfaden in einer gewissen Stellung einen Stromkreis schließt. Meist läßt sich der Kontakt, den das Quecksilber berührt, von außen auf verschiedene Werte einstellen. Kontaktthermometer erhält man in Siedler- oder Aquariengeschäften. Wir stellen die Meßeinrichtung so ein, daß sich die



Kontakte des Relais bei der Solltemperatur öffnen beziehungsweise schließen. Nun brauchen wir nur noch einen Relaiskontakt so in den Heizkreis einzufügen, daß die Heizung abgeschaltet wird, wenn der Sollwert erreicht ist.

Mit dem Kontaktthermometer wird die Regeleinrichtung einwandfrei arbeiten; wenn die Temperatur nämlich um 1 grd sinkt, wird der Kontakt schon unterbrochen, und die Heizung schaltet sich wieder ein. Benutzt man als Thermometer die Diode mit Verstärker und Relais, so arbeitet die Anlage zunächst nicht befriedigend. Das Relais zieht zwar beim Sollwert an, läßt aber nicht wieder los. Die Temperatur kann auf 28 °C oder 26 °C fallen, und trotzdem wird das Relais nicht wieder ausgeschaltet, so daß die Heizung (mit einem Ruhestromkontakt) ausgeschaltet bleibt. Der Grund ist, daß ein ausgeschaltetes Relais beispielsweise bei einer Stromstärke von 40 mA anzieht, aber erst bei einer Verringerung der Stromstärke auf 25 mA wieder in die ursprüngliche Lage zurückfällt. Die verhältnismäßig kleinen Änderungen des Dioden-Sperrstromes, die bei einer Temperaturänderung um 1 grd oder 2 grd entstehen, müssen demnach vergrößert werden. Dazu eignet sich wieder ein Schmitt-Trigger, der bei geringen Schwankungen am „Eingang“ sein Verhalten ändert. Die nebenstehende Abbildung zeigt eine der Möglichkeiten mit Diode, Transistorverstärker, Schmitt-Trigger und Schaltrelais.

Die beschriebene Temperatur-Regeleinrichtung ist ein sogenannter Zweipunktregler. Er unterscheidet

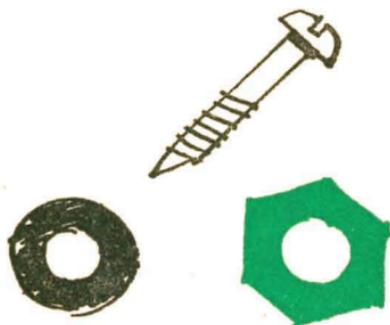
nur zwei Möglichkeiten (die Temperatur liegt über oder unter dem Sollwert), so wie das Schaltrelais nur zwei Lagen einnehmen kann. Die Wassertemperatur schwankt demnach ständig um kleine Beträge. Meist stört das aber nicht.

Für andere Zwecke gibt es weitere Reglerarten, beispielsweise Dreipunktregler, wobei drei Möglichkeiten (richtig, etwas zu kalt, viel zu kalt) unterschieden werden, oder stetige Regler, die in jedem Augenblick die zweckmäßige Heizstromstärke wählen. Bei stetigen Reglern wird also nicht der Heizstromkreis ein- oder ausgeschaltet, sondern die Stromstärke so gewählt, daß die Heizung gerade die Wärmeverluste ausgleicht.

Regeleinrichtungen sind in technischen Anlagen von großer Wichtigkeit. Sie sorgen für die selbständige Gleichhaltung von Temperaturen, Wasserständen, Drücken und anderen Größen, in manchen Fällen auch für beabsichtigte Änderungen („Zeitplanregelung“).

## Lichtschrankenanlagen

Es gibt viele technische Dinge, die man in großen Stückzahlen braucht. Schrauben, Muttern oder Un-



terlegscheiben verwendet man beispielsweise in vielen Maschinen und Geräten. Zu ihrer Herstellung dienen Werkzeugmaschinen, die die Teile selbsttätig fertigen. Nur so ist es möglich, große Mengen von Maschinenelementen mit geringem Aufwand herzustellen.

Es werden aber auch kompliziertere Teile in großen Mengen gebraucht, zum Beispiel die Gehäuse von Verbrennungsmotoren. Ihre Herstellung ist bedeutend schwieriger, weil ganz verschiedene Bearbeitungen nötig sind, die eine einzelne Maschine nicht ausführen kann. Man fertigt solche Teile in automatischen Taktstraßen, das sind Reihen von Maschinen, mit denen die Werkstücke nacheinander „im Takt“ bearbeitet werden. Jede Maschine führt nur einen Arbeitsgang aus, und jede braucht dazu ungefähr die gleiche Zeit. Nachdem alle Maschinen ihren „Handgriff“ erledigt haben, werden alle Werkstücke zugleich mit einem Transportband zur nächsten Maschine gebracht. Die Taktstraße bearbeitet also zugleich so viele verschiedene Werkstücke, wie Maschinen vorhanden sind. Die einzelnen Maschinen sind aufeinander angewiesen; arbeitet eine nicht richtig, so kommt der ganze Ablauf durcheinander. Zum Beispiel bohrt die eine Maschine mehrere Löcher, und die folgende stellt die Gewinde her. Wenn nun an der Bohrmaschine eine Bohrerspitze abbricht, was im Dauerbetrieb nicht ganz zu vermeiden ist, kann die nächste Maschine keine Gewinde schneiden. Es entsteht Ausschuß, und wenn man den Fehler bemerkt, sind vielleicht schon viele Werkstücke unbrauchbar. Man kann selbstverständlich nicht neben jede Ma-

schine einen Kontrolleur stellen, der die richtige Arbeitsweise überwacht. Die Taktstraßen sollen ja gerade dazu dienen, mit wenigen Menschen, die hauptsächlich die Pflege der Maschinen übernehmen, viele Gebrauchsgüter herzustellen. Am besten wäre es deshalb, wenn ein Fehler sofort ein Signal auslöste oder die Taktstraße ausschaltete. Ein Lichtsignal meldet, wo der Schaden aufgetreten ist. Das abgenutzte Werkzeug kann dann ersetzt werden, ohne daß Ausschuß entstanden ist.

Ob die Bohrerspitze an einer Bohrmaschine noch vorhanden ist, kann man prüfen, indem man Licht von einer Glühlampe auf den Bohrer fallen läßt und hinter ihm ein lichtempfindliches elektrisches Bauteil anordnet. Ist die Spitze vorhanden, so fällt der Schatten des Bohrers auf den Lichtempfänger. Ist sie dagegen abgebrochen, so wird das Bauteil beleuchtet und kann durch die Änderung seiner elektrischen Eigenschaften einen Schaltvorgang auslösen, also beispielsweise eine Warnlampe einschalten. Eine solche Einrichtung ist deshalb vorteilhaft, weil der Bohrer während der Messung weiter rotieren kann. Man nennt Meß- und Prüfverfahren, die nicht mit Hebeln und dergleichen, sondern zum Beispiel mit Lichtstrahlen die Lage eines Körpers abtasten, „berührungslose“ Verfahren. Ein anderes berührungsloses Meßverfahren ist die Prüfung mit einem feinen Luftstrahl, der aus einer Düse austritt.

Die „Lichtschrankenanlagen“ können nicht nur mit sichtbarem Licht, sondern auch mit unsichtbaren Strahlen arbeiten, beispielsweise mit Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung). Einrichtungen mit unsicht-



baren Strahlen benutzt man zur Sicherung gegen Einbrüche. Der Strahl läuft von der Strahlungsquelle, durch Spiegel reflektiert, kreuz und quer durch den Raum und wird auf einen Empfänger geleitet, der für diese Strahlungsart empfindlich ist. Ein Eindringling muß den Strahlweg auf jeden Fall irgendwo unterbrechen; selbst wenn er weiß, daß eine solche Anlage eingebaut ist, hilft ihm das nichts, weil man ja die Strahlen nicht sehen kann. Fühlt er die Strahlung aber (als Wärme), so hat eine Alarmeinrichtung längst Hilfe herbeigerufen.

Ähnlich verwendet man Unfallschutz-Lichtschranken. Gerät ein Arbeiter in den Gefahrenbereich einer Maschine, so wird der Motor ausgeschaltet und damit ein Unfall verhütet.

Lichtschrankenanlagen sieht man häufig an Rolltreppen. Die Treppe wird in Gang gesetzt, nachdem der Strahlweg durch eine Person unterbrochen worden ist. Die Anlage läuft dadurch nicht unnötig, wodurch die Abnutzung geringer ist und Energie gespart wird. Für unsere Zwecke kann man Lichtschrankenanlagen vielfältig benutzen. Die Beschäftigung mit Lichtschranken ist sehr anregend, und man kann damit verblüffende Ergebnisse erzielen, vor allem bei unsichtbarem Strahlengang.

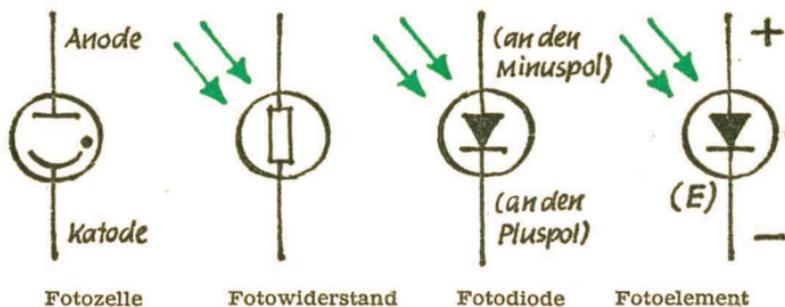
Zunächst ist ein Bauteil erforderlich, das Licht oder Wärme in Schwankungen elektrischer Größen umwandelt: Wir brauchen ein „elektrisches Auge“. Es gibt eine große Anzahl von Bauteilen, die Lichtschwankungen in Spannungs- oder Widerstandsänderungen umwandeln können. Im Bild 17 sind einige dieser lichtelektrischen Empfänger gezeigt.

Fotoelemente heißen die flachen Metallscheiben, die bei Lichtaufschlag direkt elektrische Energie erzeugen. Die Spannungen von Fotoelementen sind allerdings niedrig, sie liegen je nach der Helligkeit bei 0,1 V bis 0,5 V. Man kann sie also nicht ohne weiteres zum Betreiben starker Verbraucher (Relais oder Glühlampen) benutzen, sondern muß vorher erst den Stromverstärker einbauen. Fotoelemente verwendet man beispielsweise in den elektrischen Belichtungsmessern für fotografische Zwecke. Sie erzeugen bei Lichtaufschlag den Strom, der durch das Meßwerk angezeigt wird.

Alle anderen lichtempfindlichen Bauteile erzeugen nicht selbst Strom, sondern ändern ihren Widerstand beim Auffall von Licht oder anderen Strahlungsarten. Sie werden deshalb immer zusammen mit einer Batterie verwendet. Im Dunklen ist der Widerstand sehr hoch. Der Strom ist also sehr schwach. Beim Lichtauffall sinkt der Widerstand auf niedrigere Werte, der Strom steigt infolgedessen an. Dieser Strom (der „Fotostrom“) ist demnach ein Maß für die Helligkeit.

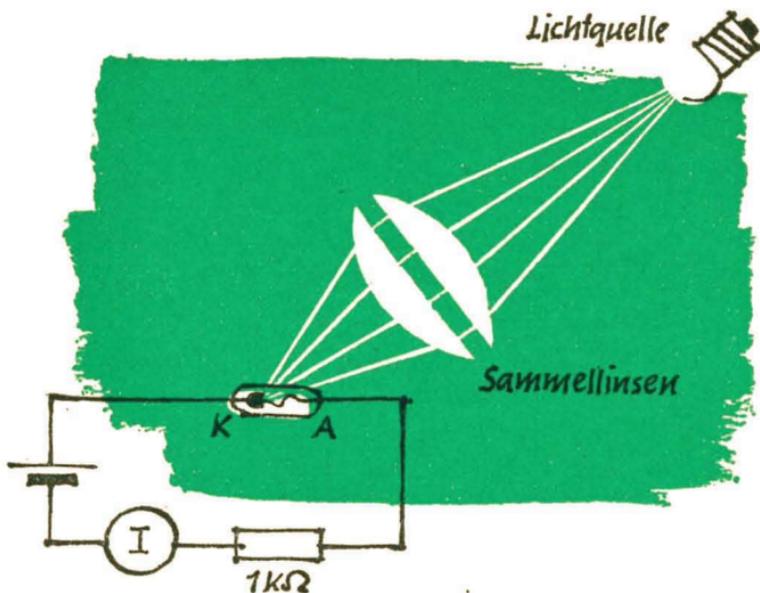
Wir können uns lichtelektrische Empfänger auf verschiedene Weise beschaffen. Fotozellen und Fotowiderstände erhält man im Handel nur schwer. Falls die Größe nicht weiter stört, ist es meist am einfachsten, ein Fotoelement zu verwenden. Gebrauchte Fotoelemente, die sich für fotografische Zwecke nicht mehr eignen, kann man meist in den Werkstätten erhalten, die Belichtungsmesser instand setzen.

Die Sperrschicht jedes Halbleiters ist lichtempfindlich. Eine Energiezufuhr, zum Beispiel in Form von sichtbarem Licht oder Wärme, vergrößert den Reststrom. Transistoren sind deshalb stets vor Licht geschützt. Die in der DDR hergestellten Transistoren



sind in Metallgehäuse eingebaut. Man darf sie auf keinen Fall öffnen; die Luftfeuchtigkeit würde den Halbleiter sofort unbrauchbar machen. Es gibt aber einige Importtypen mit Glasgehäuse, beispielsweise die Sorten OC 44, OC 71, OC 602 und andere. Man kann sie zum Typ I unserer Einteilung rechnen. Die Glasgehäuse sind außen mit Farbe bedeckt. Man wischt die Farbe mit einem Lämpchen, das in Azeton getaucht worden ist, vorsichtig ab und hat dadurch einen Fototransistor erhalten.

Bekommt man weder ein Fotoelement noch einen Fototransistor, so kann man auch eine normale Gleichrichterdiode in ein lichtempfindliches Bauteil verwandeln. Die Dioden sind ja aus Glas hergestellt, und auch ihre Sperrschicht ist lichtempfindlich. Das Schutzpapier beziehungsweise die Farbschicht wird entfernt, und man läßt das Licht schräg in die napfartige Vertiefung fallen. Allerdings sind solche „Fotodioden“ nicht sehr empfindlich. Der Sperrstrom ändert sich also bei Lichtaufschlag nur um kleine Werte. Man muß deshalb versuchen, möglichst viel Licht auf die Sperrschicht fallen zu lassen. Man kann die Helligkeit durch Vorsetzen einer Sammellinse (manche Brillengläser oder Vergrößerungsglas) erhöhen. Die Linsen sollen einen großen Durchmesser haben und stark vergrößern. Man kann zum Beispiel zwei Brillengläser mit je 10 Dioptrien Brechkraft verwenden. Die hohlen Seiten werden gegeneinandergelegt. Die Diode kommt an die Stelle hinter die Linsen, wo der Lichtfleck am kleinsten und am hellsten ist, also in den sogenannten Brennpunkt. Lichtschrankenanlagen mit Linsen müssen genau ausgerichtet werden.



Man soll aber den Sperrstrom der Diode nicht übermäßig erhöhen. Stromstärken über 0,5 mA sind unvorteilhaft. Es ist günstiger, wenn man geringere Sperrströme mit einem unserer Verstärker vergrößert. Man könnte glauben, daß man die Dioden am vorteilhaftesten bei höheren Spannungen betreibt. Das ist aber nicht richtig. Der Sperrstrom steigt nämlich nicht in dem Maße, wie man die Spannung erhöht. Unter sonst gleichen Umständen ist der Sperrstrom bei  $U = 1,5 \text{ V}$  fast ebenso groß wie bei  $U = 9 \text{ V}$ . Man kann deshalb als Stromquellen auch einfache Monozellen verwenden.

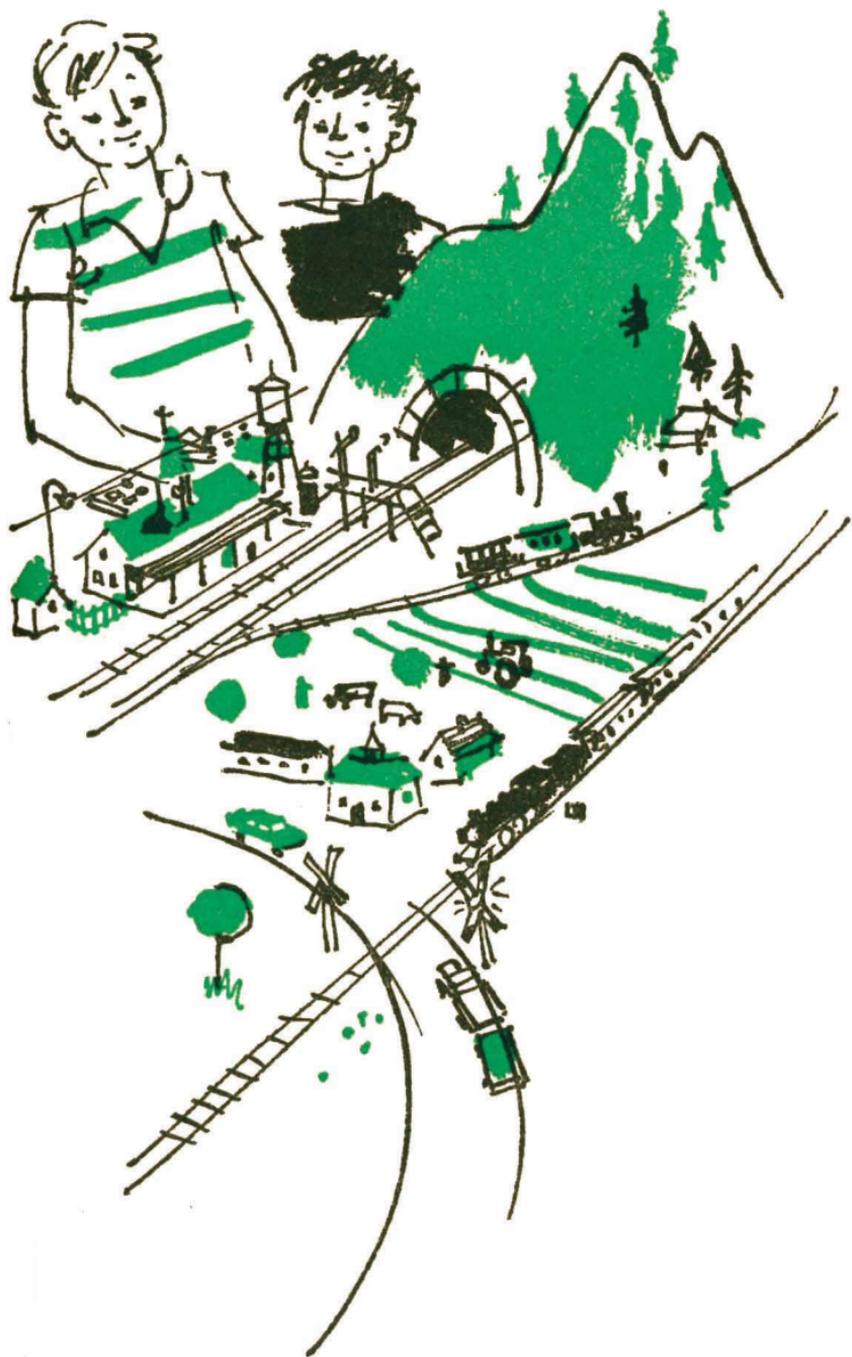
Die Fototransistoren und Fotodioden werden durch das Entfernen der Schutzschicht und durch den normalen Gebrauch als lichtelektrische Bauteile nicht

geschädigt. Beklebt man sie mit schwarzem Papier, so lassen sie sich wieder als Gleichrichter oder Verstärker verwenden. Lichtelektrische Teile sollen im Dunklen aufbewahrt und nicht unnötig beleuchtet werden, vor allem nicht mit Sonnenlicht.

Wir brauchen nun eine Lichtquelle, von der die Strahlen auf das „elektrische Auge“ fallen sollen. Für Lichtwege von wenigen Zentimetern genügen einfache Zwerglampen. Sie werden (ohne Gleichrichter) direkt an einen Trafo angeschlossen. Natürlich muß die Spannung, für die die Lampen bestimmt sind, mit der vorhandenen Spannung übereinstimmen, weil die Lampen anderenfalls entweder nur ganz schwach leuchten oder schnell durchbrennen.

Bei größeren Abständen zwischen Glühlampe und Empfänger wird die Helligkeit des Lichtes sehr schnell geringer. In 30 cm Entfernung haben wir beispielsweise nur noch  $\frac{1}{9}$  der Helligkeit, die in 10 cm Entfernung vorhanden ist. Bei einer Entfernung von 1 m ist sie sogar auf ein Hundertstel abgesunken. Man kann sich denken, daß bei so geringen Helligkeiten kaum noch eine meßbare Stromänderung des lichtempfindlichen Teils nachgewiesen werden kann. Abhilfe schafft der Spiegel einer normalen Stabtaschenleuchte. Er bündelt das Licht und wirft es auf einen Fleck. Man stellt den Spiegel so ein, daß der Lichtfleck möglichst klein ist.

In Modelleisenbahnanlagen ist es erwünscht, durch den fahrenden Zug Kontakte zu schließen. Man kann dadurch eine Blinkanlage (mit astabilem Multivibrator) an unbeschränkten Bahnübergängen einschalten, Weichen oder Signale stellen, die Beleuchtung

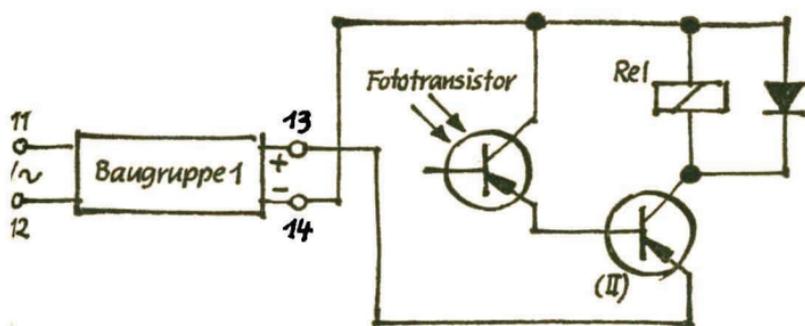
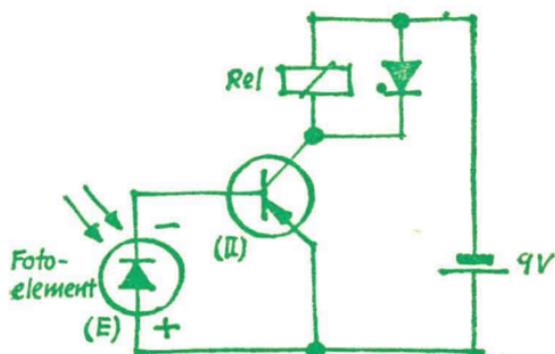


des Bahnsteigs einschalten und vieles mehr. Die Lichtschranke ist sehr zuverlässig, kann leicht angebracht werden und nutzt sich durch die Kontaktgabe in keiner Weise ab. Man kann sie auch für Modellautos und ähnliches verwenden.

Meist kann man ein Fotoelement benutzen. Irgendwelche Spiegel oder Linsen sind dann nicht erforderlich. Der Fotostrom ist ziemlich groß (das heißt etwa 0,1 mA bis 0,2 mA). Die Metallplatte des Fotoelements ist der Pluspol, der Metallring auf der Vorderseite der Minuspol. Fotoelemente kann man nicht löten, man nimmt den Strom durch federnde Metallstücke ab. Die vordere Elektrode muß vorsichtig behandelt werden, da sie sehr dünn ist.

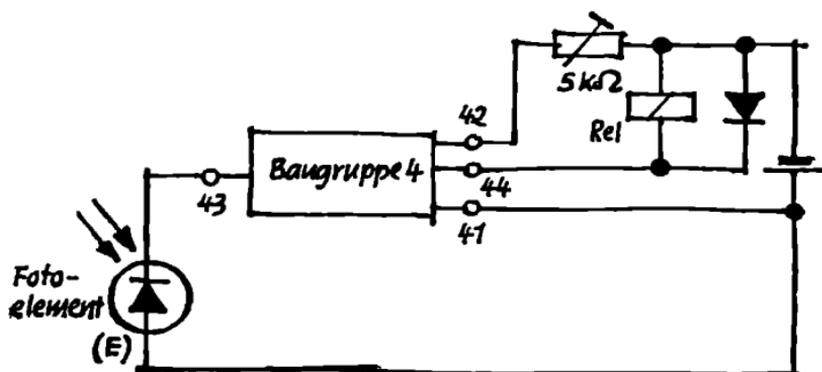
Hat man einen Fototransistor, so schaltet man wie üblich den Emitter an Plus (oder an die Basis des folgenden Verstärkertransistors) und den Kollektor an Minus. Die Basis bleibt frei. Der mittlere Draht der drei Anschlüsse ist meist die Basis; welcher Draht zum Emitter und zum Kollektor führt, ergibt sich durch einen Versuch. Wir benutzen die Schaltungsart, in der die Lichtempfindlichkeit am größten ist. Bei Versuchen mit Fototransistoren stellt man fest, daß das Licht aus einer bestimmten Richtung (quer zum Transistor) einfallen muß, wenn die Empfindlichkeit am größten sein soll.

Den schwachen „Fotostrom“ müssen wir jetzt verstärken, wenn wir ihn zum Betätigen stärkerer Verbraucher verwenden wollen. Am einfachsten werden die Schaltungen, wenn man durch den verstärkten Fotostrom ein Relais einschalten läßt. Die Relaiskontakte können dann als Einschalter irgendeiner früher



beschriebenen Schaltung benutzt werden, man kann also zum Beispiel einen astabilen Multivibrator an die Stromquelle anschließen.

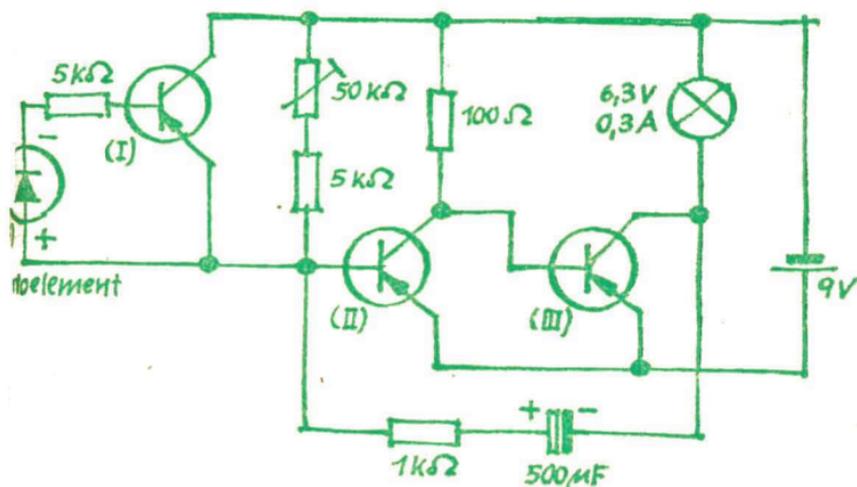
Einige der Verstärkerschaltungen mit Fotoelement und Fototransistor sind in der folgenden Abbildung angegeben. Bei Entfernungen von einigen Zentimetern zwischen Lichtquelle und Fotoempfänger genügen häufig einstufige Verstärker. Bei etwas größeren Entfernungen kann man sinngemäß unsere beiden Verstärkerschaltungen benutzen. In der Abbildung ist als Stromquelle sowohl eine 9-V-Batterie (für 6-V-



Relais) als auch ein Gleichrichter (Baugruppe 1 ohne Begrenzerwiderstand) vorgesehen. Der wesentliche Unterschied zwischen der Schaltung des Fotoelementes und des Fototransistors ist, daß das Fotoelement zwischen den Pluspol und die Basis geschaltet wird, so daß der Minuspol des Fotoelements an der Basis liegt. Der Fototransistor wird dagegen wie ein Widerstand zwischen den Minuspol der Batterie und die Basis eingefügt; durch die Beleuchtung sinkt der innere Widerstand des Fototransistors, womit die Basis ebenfalls negativ wird. Das Relais wird betätigt, wenn der Lichtempfänger genügend stark beleuchtet wird. Die Kontakte des Relais können zum Ein- und Ausschalten der folgenden Kreise (Glühlampe, Verzögerungsschaltung, astabiler Multivibrator und so fort) benutzt werden. Das zwischengeschaltete Relais hat hier den großen Vorteil, daß der Stromkreis mit dem Fotoempfänger vom zweiten Stromkreis vollkommen getrennt ist. Beide können sich demnach nicht in unerwünschter Weise beeinflussen.

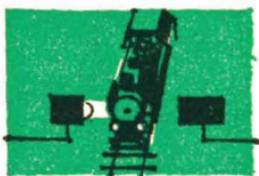
Man kann auch ohne Relais auskommen, doch erfordert die Schaltung dann stets eine sorgfältige Einstellung. Wenn wir beispielsweise die Blinkschaltung für einen unbeschränkten Übergang einschalten wollen, indem der vorbeifahrende Zug einen Strahlengang unterbricht, so können wir zum Erzeugen der Stromstöße eine der vereinfachten Multivibratorschaltungen (Seite 176) verwenden. Wie wir wissen, arbeiten diese astabilen Multivibratoren nur, wenn man die Größe der Widerstände genau bestimmt hat. Wenn wir nun durch eine zusätzliche Schaltung, die durch den Lichtempfänger gesteuert wird, die Widerstände verändern, so setzt bei richtiger Wahl der Größen das Blinken aus.

Die folgende Abbildung zeigt eine der zahlreichen Möglichkeiten. Der 50-k $\Omega$ -Widerstand wird auf den niedrigsten Wert eingestellt, bei dem die Lampe gerade noch blinkt. Wählen wir den Widerstandswert



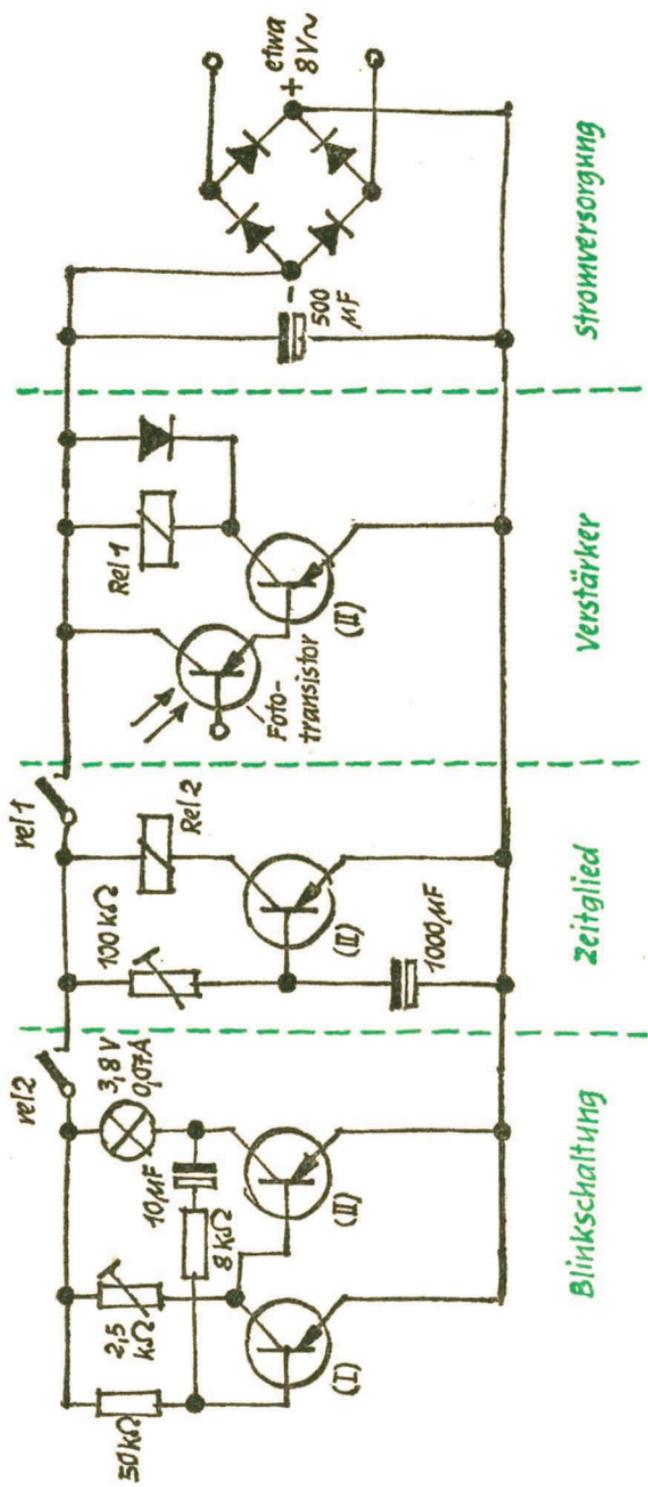
zu niedrig, so bleibt die Lampe dauernd dunkel. Parallel zu diesem Widerstand liegt die Emitter-Kollektor-Strecke eines Transistors. Wenn dessen Basis nicht angeschlossen wird oder das Fotoelement unbeleuchtet ist, hat er einen hohen Innenwiderstand. Beleuchtet man aber das Fotoelement, so sinkt der Innenwiderstand des Transistors stark ab, und das wirkt so, als hätte man den 50-k $\Omega$ -Widerstand auf einen noch niedrigeren Wert eingestellt. Dadurch setzt das Blinken aus. Die Lampe blinkt also nur dann, wenn das Fotoelement unbeleuchtet ist.

Diese Schaltung läßt sich zur Betätigung von Warnlampen unbeschränkter Übergänge in Modelleisenbahnanlagen benutzen. Die Lampe blinkt, wenn der Zug den Lichtweg unterbricht; die Glühlampe wird also auf der einen Seite des Gleises angebracht, das Fotoelement auf der anderen.



Es sei aber noch einmal gesagt, daß es einfacher ist, Relais zwischenschalten. In diesem Falle kann man ohne Bedenken die verschiedensten Schaltungen hintereinander anordnen. Statt des Einschalters, der in den Abbildungen gezeichnet ist, fügt man den Relaiskontakt ein. Als Beispiel ist eine Schaltung mit Fototransistor und besonders großer Anzugsverzögerung auf der folgenden Seite dargestellt. Sie setzt sich aus den Schaltbildern von Seite 176 (vereinfachte Blinkschaltung, links), Seite 155 (Anzugsverzögerung, Mitte) und Seite 165 („Tandem-Verstärker“, rechts) zusammen. Als Stromquelle ist wieder ein Gleichrichter ähnlich wie Baugruppe 1, jedoch mit Dioden für 100 mA (vergleiche Seite 129) benutzt worden. Die einzelnen Schaltbilder sind hier etwas anders gezeichnet, doch bestehen sie aus den gleichen Teilen und wirken ebenso.

Fotoelemente sollen durch die Lichtquelle möglichst stark und durch die Zimmer- oder Tagesbeleuchtung nur wenig beleuchtet werden. Die 6-V-Lampe ist eine verhältnismäßig schwache Lichtquelle. Wenn auf die lichtempfindliche Schicht gleichzeitig Tages- oder gar Sonnenlicht auffällt, so können wir bei Strahlunterbrechung keine Fotostromänderung messen. Dagegen könnte sich der Fotostrom bedeutend ändern, wenn eine Wolke vor die Sonne tritt. Um das Seitenlicht abzuhalten, kann man vor die Fotoelemente eine Pappröhre setzen, die innen schwarz gestrichen ist. Bei Fototransistoren ist eine vorgeschaltete Sammellinse sehr wirksam. Der Lichtfleck muß genau auf die Mitte des Transistors fallen. Man kommt dann schon mit lichtschwachen Lampen aus.



Man kann zwei Lichtschranken zusammenarbeiten lassen. Während die eine ein Lichtsignal einschaltet, schaltet es die zweite wieder aus. Am einfachsten ist das wiederum mit getrennten Relais zu erreichen. Wer den Aufwand nicht scheut, kann auch bistabile Multivibratoren benutzen. Der Schalter (vergleiche Seite 142), durch den der  $1\text{-}\mu\text{F}$ -Kondensator geladen und entladen wird, wird durch einen Relaiskontakt ersetzt. Das Relais kann vom Fotoempfänger betätigt werden. Statt der Lampe, die im Schaltbild auf Seite 143 gezeichnet worden war, läßt sich ein Relais zum Schalten von Weichen einsetzen. Beispielsweise kann man dadurch einen Zug immer abwechselnd am Bahnhof halten und ihn durchfahren lassen oder ihn einmal auf Gleis 1, dann wieder auf Gleis 2 und so weiter leiten, ohne selbst irgendwie einzugreifen. Nun wollen wir uns noch eine Strahlschranke für Sicherungszwecke bauen, die mit unsichtbarem „Licht“, nämlich mit Wärmestrahlen arbeitet. Sie unterscheidet sich nur dadurch von den bisher beschriebenen Lichtschranken, daß der Strahlweg unsichtbar sein soll und die Entfernung zwischen der Strahlungsquelle (Lampe) und dem Fotoempfänger (Fototransistor oder -diode) viel größer ist, nämlich bis zu 2 m. Zur Verstärkung lassen sich die gleichen Bauteile und Baugruppen verwenden, die bisher benutzt worden sind.

Das menschliche Auge ist nur für bestimmte Strahlungen, die wir als sichtbares Licht bezeichnen, empfindlich. Die Fotoempfänger aber „sehen“ auch andere Strahlungsarten, zum Beispiel Infrarotstrahlung. Die Glühlampe sendet viel mehr Wärme als

Licht aus. Sie eignet sich deshalb auch als Strahlungsquelle für Infrarotschranken. Wir müssen nur dafür sorgen, daß das sichtbare Licht zurückgehalten wird. Dazu eignen sich dunkelrote Folien oder Gläser, rot lackierte Lampen oder auch kleine Gefäße mit dunkelroter Farbe, die vor der Lampe angebracht werden. Als Strahlenquelle kann man auch Glühlampen für 220 V mit dunkelrotem Glaskolben (Dunkelkammerlampen, Bestrahlungslampen) verwenden.

Durch einen Versuch muß man feststellen, ob noch genügend Strahlen auf den Fotoempfänger fallen, denn jedes Filter schwächt den Strahlengang. Wegen der Entfernung von einigen Metern muß man unbedingt dafür sorgen, daß ein großer Teil der Strahlung, die von der Glühlampe erzeugt wird, auf den Fotoempfänger fällt. Zwerglampen werden daher in einer Stabtaschenleuchte betrieben; den Spiegel der Taschenleuchte stellt man (ohne das Filter) so ein, daß der Lichtfleck an der Stelle, wo der Fotoempfänger angebracht werden soll, möglichst klein ist. Vor



den Empfänger selbst wird eine Sammellinse gesetzt. Die Einrichtung wird mit sichtbarem Licht sorgfältig ausgerichtet. Die Folie oder der Farbstoffbehälter kommt direkt vor den Spiegel, nachdem Lichtquelle und Empfänger befestigt und gegen Verschiebung gesichert worden sind.

Selbstverständlich können die Lichtschranken auch für Modelle und so weiter als Infrarotschranken betrieben werden. Fotoelemente eignen sich dann aber nicht als Empfänger, sondern nur Fototransistoren oder -dioden.

### Fotoblitz mit Zweitblitz

Zum Fotografieren bei schlechten Lichtverhältnissen benutzt man häufig Momentlichtquellen – die sogenannten „Blitze“. Am bekanntesten sind die „Elektronenblitze“. Sie haben den großen Vorteil, daß die Blitzlampe Tausende von Lichtblitzen abgibt, ohne daß ein Teil ausgewechselt werden muß. Sie eignen sich deshalb besonders für Fotoreporter. Für einen Amateur, der nur gelegentlich einen Blitz brauchen könnte, sind sie jedoch unvorteilhaft. Vor allem ist ihr Preis verhältnismäßig hoch.

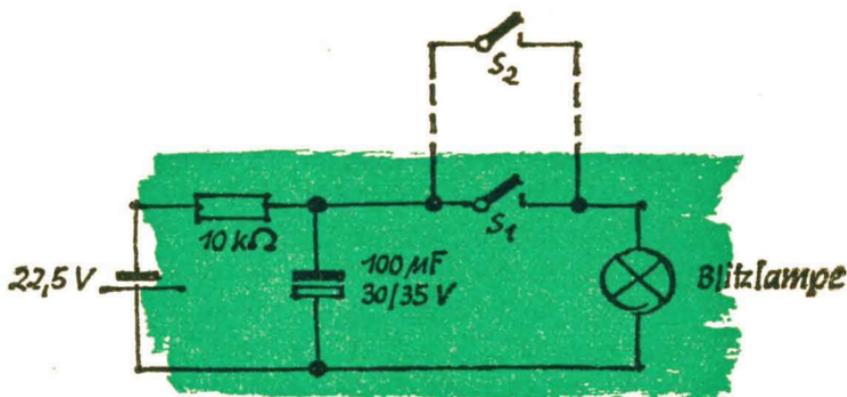
Es gibt nun außerdem noch „Fotoblitzlampen“ (Bild 18). Man könnte sie für normale Glühlampen halten, die mit einer zerknitterten Folie oder einem dünnen Draht gefüllt sind. Beim Stromdurchgang verbrennt die Folie oder der Draht, das ergibt ebenfalls einen hellen Blitz, der sich für fotografische Aufnahmen verwenden läßt. Eine Fotoblitzlampe

kann nur einmal benutzt werden. Für gelegentliche Benutzung sind die Gesamtkosten jedoch niedriger als bei Verwendung eines Elektronenblitzgerätes, obwohl man jedesmal eine neue Blitzlampe braucht. Außerdem haben Fotoblitzlampen den Vorteil, daß eine dafür notwendige Einrichtung sehr klein und leicht ist und sich einfach herstellen läßt.

Fotoblitzlampen eignen sich nach der Angabe auf der Packung für Spannungen von 3 V bis 30 V. Da unser Gerät so klein wie möglich werden soll, benutzen wir auch kleine Batterien, beispielsweise eine 22,5-V-Hörbatterie. Wenn wir eine solche Batterie mit der Blitzlampe verbinden, werden wir meist enttäuscht: Obwohl die Spannung ausreichen müßte, zündet die Lampe nicht. Sie braucht nämlich eine ziemlich große Stromstärke (die Type X 1 ungefähr 400 mA), und die kann eine solche kleine Batterie nicht liefern. Bei Kurzschluß fließt nur ein Strom von 100 mA bis 200 mA Stromstärke.

Wir entsinnen uns nun an die ersten Versuche (Seite 64), die wir mit Kondensatoren angestellt haben. Schalten wir parallel zur Batterie einen Kondensator mit richtiger Polung, so müßte er sich langsam aufladen und im Augenblick der Kontaktgabe den Strom zur Zündung liefern. Ein Versuch mit einem Kondensator von 100  $\mu\text{F}$  bis 200  $\mu\text{F}$  zeigt, daß es tatsächlich geht. Die Hörbatterie hat auch den Vorzug, daß sie, wenn sie langsam altert, immer noch genügend Spannung hat, um den Kondensator aufzuladen und damit die Blitzlampe zu zünden.

Für ein Fotoblitzgerät kann man die folgende Schaltung benutzen. Der Kondensator kann dauernd über

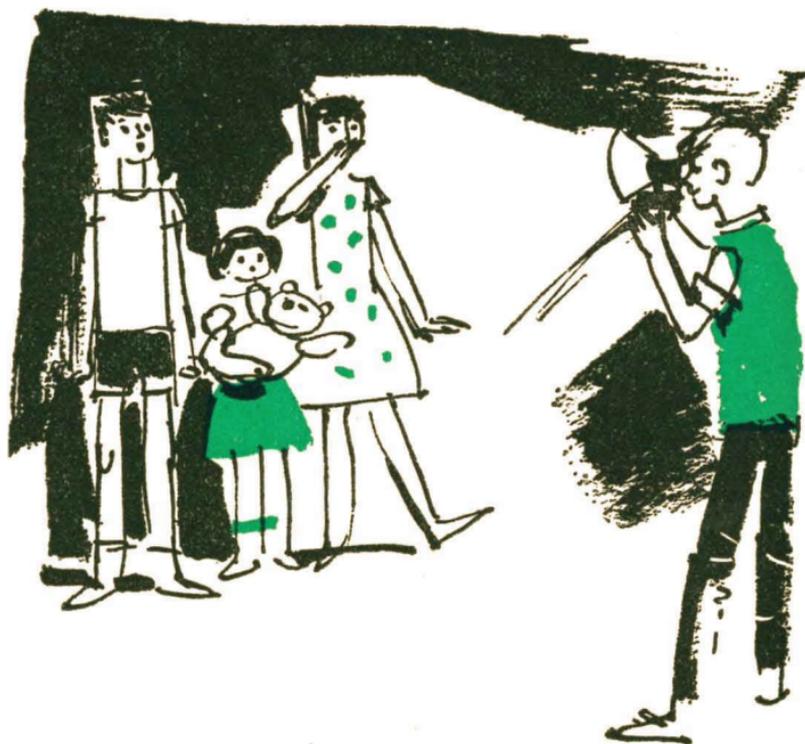


den  $10\text{-k}\Omega$ -Widerstand an die Batterie angeschlossen sein. Ein Schalter ist nicht nötig. Die Batterie ist mindestens ein Jahr verwendbar. Bei einem Kondensator von  $C = 100\ \mu\text{F}$  kann man in Abständen von 10 s bis 20 s Blitze auslösen, und das reicht fast immer völlig aus.  $S_1$  ist ein kleiner Druckknopf, der zur Auslösung des Blitzes von Hand dient. Der parallelgeschaltete Kontakt  $S_2$  ist der „Synchronisationskontakt“, der in der Kamera eingebaut ist. Im Augenblick, wo der Verschluss offen ist, wird der Kontakt  $S_2$  geschlossen. Zur Verbindung zwischen Blitz und Kamera benutzt man die Synchronkabel, die man im Fotogeschäft erhält. Es gibt für verschiedene Kameras (vor allem ältere Ausführungen) voneinander abweichende Kontaktarten und Steckerausführungen.

Wir besorgen oder bauen uns noch eine federnde Fassung für die Blitzlampe und bringen um die Lampe einen Pappreflektor an, der innen unregelmäßig mit Aluminiumfolie (aus Schokoladenpackungen) beklebt ist. Die Folie soll möglichst runzlig, nicht etwa glatt aufgeklebt werden. Zusätzlich kann

man sich (aus Plast) einen Steg herstellen, der das Blitzgerät fest mit der Kamera verbindet. Die Batterie kann fest eingegossen werden. Die Bilder 19 und 20 zeigen ein Mustergerät.

Blitzlichtaufnahmen, die mit einem Blitz aus der Kamerarichtung hergestellt worden sind, wirken oft eigenartig unnatürlich. Besser wäre es, man verwendet zwei Blitze aus verschiedenen Richtungen. Man kann das mit einem einzigen Blitzgerät erreichen, wenn Zeitaufnahmen unbewegter Gegenstände hergestellt werden sollen, beispielsweise von Plastiken bei Nacht. Das Blitzgerät wird dann nicht fest mit der Kamera verbunden. Man setzt die Kamera auf



ein Stativ, öffnet den Verschuß und löst von Hand nacheinander mehrere Blitze aus verschiedenen Richtungen aus.

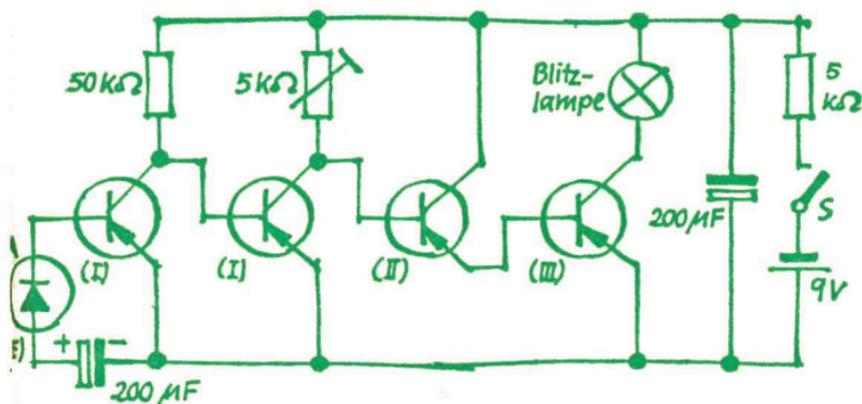
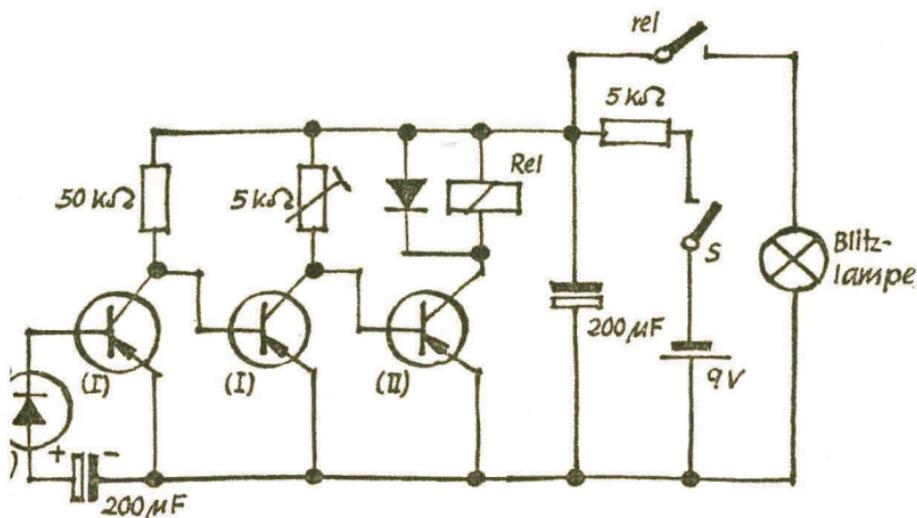
Für bewegte Dinge, zum Beispiel für Gruppen von Menschen in Innenräumen, geht das nicht. In diesem Falle müssen beide Blitze im gleichen Augenblick aufleuchten. Man könnte die zweite Blitzlampe parallel zur ersten schalten und die Kapazität des Kondensators entsprechend erhöhen. Die beiden Lampen müßten aber durch ein Kabel verbunden werden, und das ist immer sehr hinderlich, weil stets die Gefahr besteht, daß jemand darüber stolpert. Man nimmt sich damit auch die Möglichkeit, unauffällig Aufnahmen zu machen. Günstiger ist eine drahtlose Verbindung.

Der zweite Blitz wird vom ersten völlig getrennt; er hat eine eigene Batterie sowie ein lichtempfindliches Teil, das beim Aufflammen des ersten Blitzes einen Stromstoß erzeugt und damit den zweiten zündet. Das Grundgerät, das wir zuerst gebaut haben, wird fest mit der Kamera verbunden. Der erste Blitz wird durch den Synchronisationskontakt in der Kamera gezündet und löst den zweiten aus. Der Hauptstromkreis des zweiten Gerätes ist ähnlich wie der des ersten aufgebaut; als Batterie benutzen wir aber eine 9-V-Transistorbatterie, weil die Transistoren 22,5 V Spannung nicht vertragen. Wenn man ganz besonders klein bauen will, kann man auch einige Elemente einer zerlegten Hörbatterie verwenden.

Wie in den meisten Fällen, so haben wir auch hier die Wahl, ob wir als Schalteinrichtung ein Relais oder einen Transistor verwenden wollen. Beide Möglichkeiten haben Vor- und Nachteile. Ein Relais ist ziem-

lich groß und erfordert eine hohe Stromstärke. Dafür ist der Widerstand aber bei geöffneten Kontakten sehr groß und bei geschlossenen Kontakten fast Null. Transistoren sind klein und schalten im Gegensatz zu den Relais augenblicklich; sie haben aber, wenn sie eigentlich völlig sperren sollten, noch einen gewissen Reststrom, und wenn sie Strom durchlassen, haben sie durchaus nicht den Innenwiderstand Null. Die Leistungstransistoren, die noch am günstigsten sind, haben verbleibende Widerstände von einigen Ohm. Wir wollen eine Schaltung mit Relais und eine mit Transistoren erproben. Beide Schaltungen entsprechen einander weitgehend. Als Lichtempfänger benutzt man ein Fotoelement, das durch eine Pappröhre gegen Seitenlicht geschützt ist.

Bei plötzlicher Beleuchtung entsteht ein Stromstoß, der den ersten Transistor leitend macht. Der Stromstoß wird verstärkt und entweder einem Relais zugeführt, über dessen Einschaltkontakt sich der Kondensator entlädt und dabei die Blitzlampe zündet, oder einem Leistungstransistor, der ganz ähnlich wirkt. Die Tandemschaltung der letzten beiden Transistoren verstärkt besonders stark und sorgt gleichzeitig dafür, daß der Leistungstransistor bei plötzlicher Beleuchtung den vollen Strom durchläßt. Wären nämlich die beiden letzten Transistoren (II und III) ebenso geschaltet wie die vorhergehenden Stufen, so wirkte die Schaltung gerade entgegengesetzt, weil jede dieser Transistorstufen das Verhalten umkehrt. Die Reichweite der Einrichtung, also die zulässige Entfernung zwischen dem ersten und dem zweiten Blitz, hängt von der Einstellung des 5-k $\Omega$ -Einstellreg-



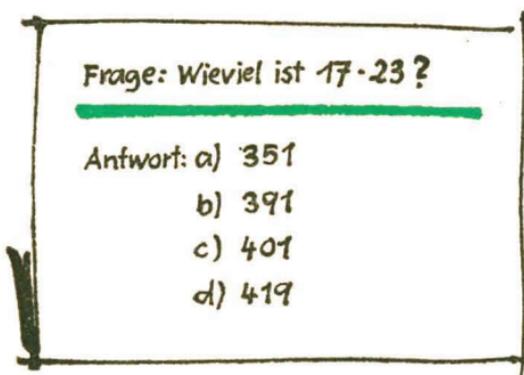
lers und damit von der Raumhelligkeit ab. Am günstigsten ist natürlich völlige Dunkelheit, weil dann der Unterschied zwischen der ursprünglichen „Helligkeit“ und der Beleuchtung des Fotoelements durch den Blitz groß ist. In einem sehr hellen Raum ist dagegen dieser Unterschied gering. Meist benutzt man ja den Blitz in verhältnismäßig dunklen Räumen; da-

bei kann man mit einer Reichweite von 2 m bis 3 m rechnen.

Versuche zeigen am einfachsten, bei welcher Entfernung der Zweitblitz noch zuverlässig zündet. Statt der Blitzlampe fügt man in die Schaltung einen Strommesser (Bereich etwa 1 A) ein und beleuchtet das Fotoelement aus einigen Metern Entfernung mit einer Stabtaschenleuchte.

### Eine Maschine als Lehrer

Seit einigen Jahren gibt es sogenannte Lernmaschinen, das sind Einrichtungen, mit denen man unter anderem sein Wissen überprüfen kann. Eine einfache Vorrichtung dieser Art wollen wir uns selbst bauen. Der geringste Aufwand ergibt sich, wenn wir den Lernstoff in Frageform bringen, wobei wir mehrere Antworten zur Wahl haben. Wir stellen uns Karten im Format einer halben Postkarte her und schreiben darauf:



Die Anzahl der möglichen Antworten muß bei allen Karten gleich sein. Welche von den aufgeführten Antworten richtig ist, muß sich natürlich von einer Karte zur anderen unterscheiden. Bei der ersten Karte wäre die zweite Antwort richtig, bei der zweiten Karte die vierte Antwort. Die genannten Antworten müssen wahrscheinlich klingen, damit man tatsächlich überlegen muß. Zum Beispiel käme niemand auf den Gedanken, daß  $17 \cdot 23$  vielleicht 50 oder 10 000 ist oder daß Neuseeland in der Ostsee liegt.

Alle Karten müssen das gleiche Format haben. Auf der Rückseite einer jeden Karte bringt man an der gleichen Stelle vier Markierungen an. Wenn die erste der genannten Antworten richtig ist, klebt man bei der ersten Markierung einen aus Stanniol geschnittenen Kreis auf, wenn die zweite Antwort richtig ist, kommt der Kreis an die zweite Stelle und so fort. Jede Karte hat demnach auf der Rückseite ein aufge-

Frage: Wo liegt Neuseeland ?

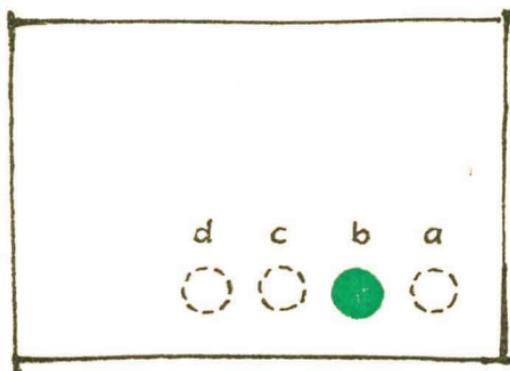
---

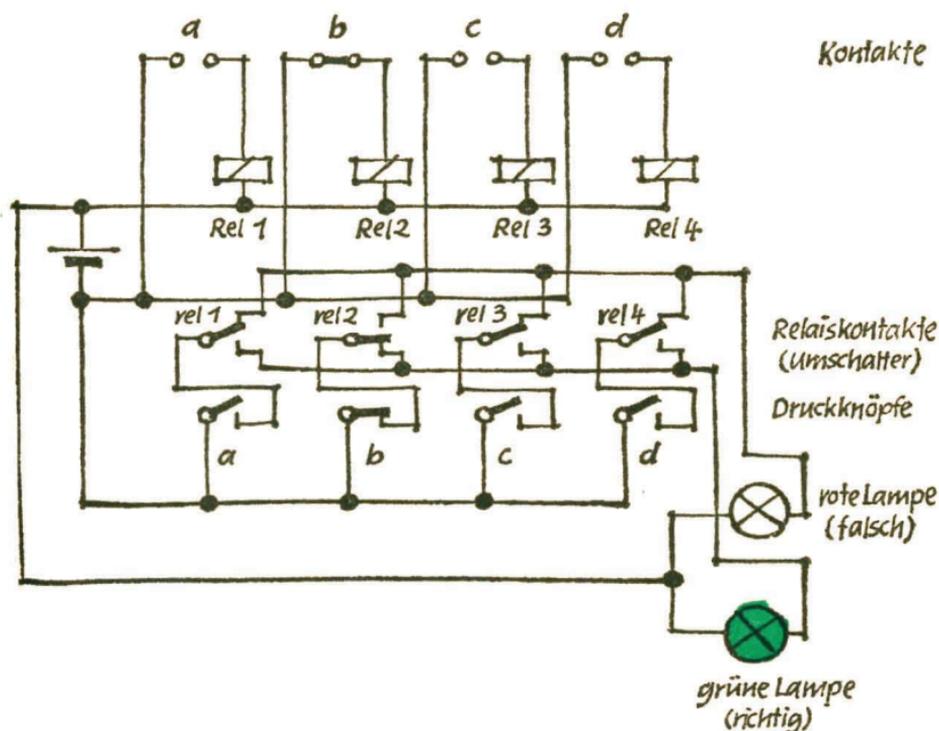
- Antwort: a) westlich von England  
b) nördlich von Sibirien  
c) südlich von Indien  
d) südöstlich von Australien

klebtes Stanniolstück; wo es aufgebracht ist, sehen wir von vorn nicht.

Die „Lernmaschine“ besteht zunächst aus einer Platte, auf die wir die einzelnen Karten nacheinander aufdrücken. Die Platte hat vier Kontaktpaare, die dicht beieinanderliegen und etwas federn, und zwar gerade an den Stellen, wo auf den Kartenrückseiten die Stanniolstücke angebracht werden. Durch das Stanniol wird immer eines der Kontaktpaare überbrückt. Jedes Kontaktpaar schaltet ein Relais ein. Wenn die Karte aufgelegt ist, zieht demnach ein Relais an, und die übrigen drei bleiben in ihrer Lage.

Zur Beantwortung der Frage sind auf der Platte vier Druckknöpfe angebracht, von denen einer nach der Wahl der Antwort gedrückt wird. Wie aus der Schaltung hervorgeht, leuchtet eine grüne Lampe, wenn der richtige Knopf gedrückt wurde, weil das zugehörige Relais durch die Überbrückung der Kontakte angezogen hat. Drückt man einen falschen Knopf, also einen, dessen Relais nicht angezogen hat, so leuchtet eine rote Lampe, oder es ertönt eine Glocke.





Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Stromverlauf, wenn wir die erste Karte, deren Text oben genannt wurde, auflegen. Richtig ist die zweite Antwort, an der Stelle b ist also ein leitendes Stannioblättchen angebracht. Die Kontakte b sind überbrückt, das Relais b hat angezogen. Drücken wir jetzt den (richtigen) Knopf b, so brennt die grüne Lampe (unten). Drücken wir dagegen den Knopf a oder einen anderen, so brennt die rote Lampe.

Man kann eine ähnliche Einrichtung auch als Unterhaltungsspiel verwenden, bei dem man gleichzeitig etwas lernt. Wir brauchen dann mehrere Karten mit



dem gleichen Text sowie mehrere Kontakteinrichtungen. Die gleiche Karte wird von allen Mitspielern zugleich aufgelegt, und wer zuerst eine grüne Lampe aufleuchten oder ein Glockenzeichen ertönen läßt, erhält einen Punkt. Einem Mitspieler, bei dem die rote Lampe aufflammt, kann man einen Punkt abziehen, weil er eine falsche Antwort gegeben hat.

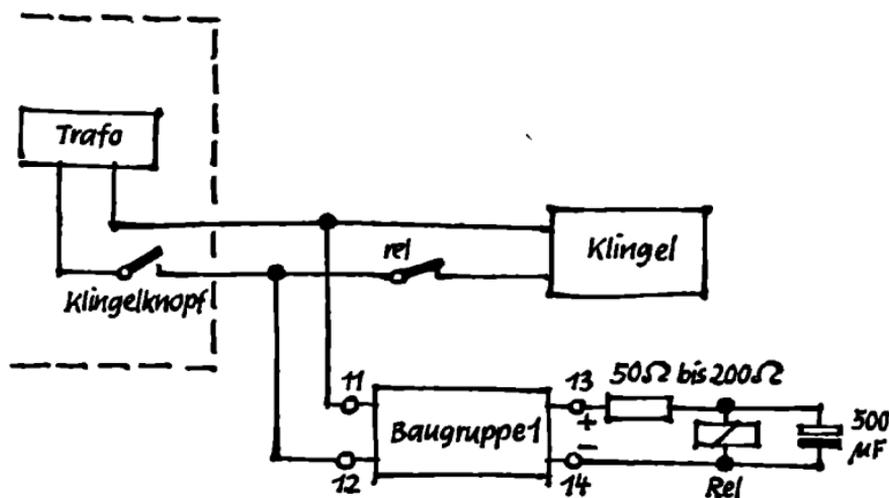
### Zeitbegrenzer

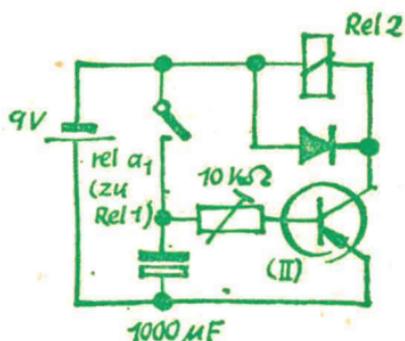
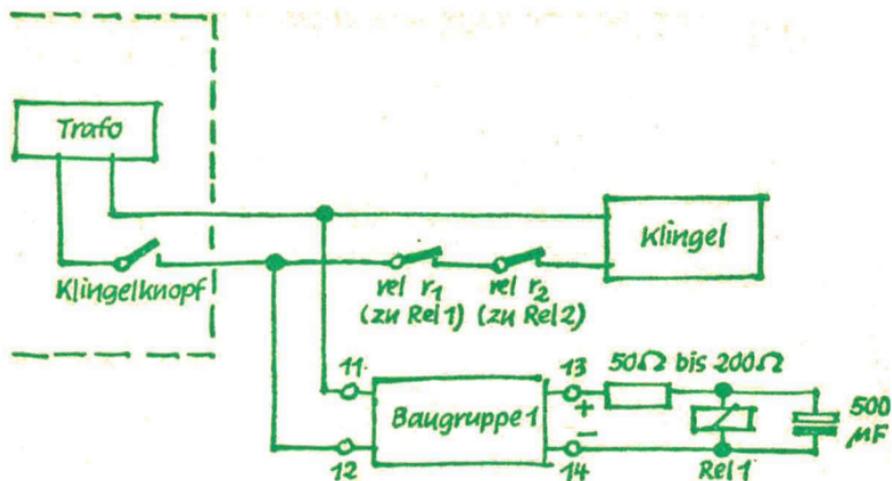
Sicher hat jeder einen Freund, der sein Kommen stets mit stürmischem Klingeln an der Wohnungstür ankündigt. Ein solcher „Daueralarm“ kann allerdings die Eltern und Geschwister stören. Ermahnungen helfen meist nicht viel. Wir können aber verhindern, daß ein längeres Drücken des Knopfes auch ein ebenso langes Klingeln erzeugt.

In den meisten Häusern gehört die Wohnungsklingel zum Haus. Deshalb können wir nicht nach Belieben daran herumbauen, sondern müssen die Änderungen so vornehmen, daß die Anlage nicht – beispielsweise durch Kurzschluß – beschädigt wird. Zunächst lösen wir an der Klingel in der Wohnung die beiden Anschlüsse, was immer leicht möglich ist, und stellen fest, ob es eine Gleich- oder eine Wechselspannung ist (vergleiche Seite 124). Natürlich darf man nicht vergessen, den Klingelknopf zu drücken, weil der Stromkreis sonst nicht geschlossen ist. Bei Gleichspannung können wir die Höhe der Spannung mit dem Spannungsmesser direkt bestimmen. Bei Wechselspannung schalten wir vor das Meßgerät den Dop-

pelweggleichrichter (Baugruppe 1). Meist werden wir 6 V bis 8 V Wechselspannung feststellen.

Am einfachsten wird unsere Anlage, wenn wir ein Relais für etwa 6 V verwenden. Es soll bei einer Stromstärke von 15 mA bis 20 mA anziehen. Der Grundgedanke unserer Schaltung ist, in den Stromkreis zur Klingel den Ruhestromkontakt des Relais einzufügen. Parallel zur Klingel wird bei Wechselspannung der Gleichrichter (ohne Begrenzerwiderstand) geschaltet. Bei Gleichspannung fällt er natürlich weg. Wird der Klingelknopf gedrückt, so läutet die Klingel. Gleichzeitig lädt sich der Kondensator auf, und nach 1 s bis 2 s zieht das Relais an und unterbricht den Stromkreis zur Klingel. Das Relais erhält aber weiter Strom. Es kehrt erst in die Ruhelage zurück, wenn der Besucher den Knopf losläßt. Es ist also gleichgültig, wie lange der Klingelknopf gedrückt wird. Es läutet immer nur 1 s bis 2 s. Diese Zeit kann man durch Einstellung des Vorwiderstandes ( $50 \Omega$  bis  $200 \Omega$ ) wählen.





Der zusätzliche Stromverbrauch durch die Schaltung ist so gering, daß der Klingeltrafo auf keinen Fall überbeansprucht wird.

Mit einer besonderen Stromquelle, zum Beispiel einer 9-V-Transistorbatterie, kann man erreichen, daß mehrmaliges Läuten kurz hintereinander nur ein einziges Signal auslöst. Erst nach 10 s bis 1 min kann man wieder klingeln. Die Einrichtung verhindert also zusätzlich, daß ein Ungeduldiger mehrere Male hintereinander klingelt.

Wir verwenden dazu die Schaltung „Abfallverzögerung von Seite 155. Durch Drücken des Knopfes wird die Klingel wiederum verzögert abgeschaltet. Der zweite Kontakt des Relais Rel 1 wirkt als Einschalter für die Verzögerungsschaltung. Das Relais Rel 2 unterbricht außerdem die Verbindung zur Klingel. Wird jetzt mehrmals hintereinander auf den Klingelknopf gedrückt, so schaltet zwar das Relais Rel 1 ein und aus, doch die Klingel läutet nicht, weil der Ruhestromkontakt des Relais Rel 2 noch geöffnet ist. Der Stromverbrauch aus der 9-V-Batterie ist so gering, daß sie mindestens ein halbes Jahr brauchbar ist.

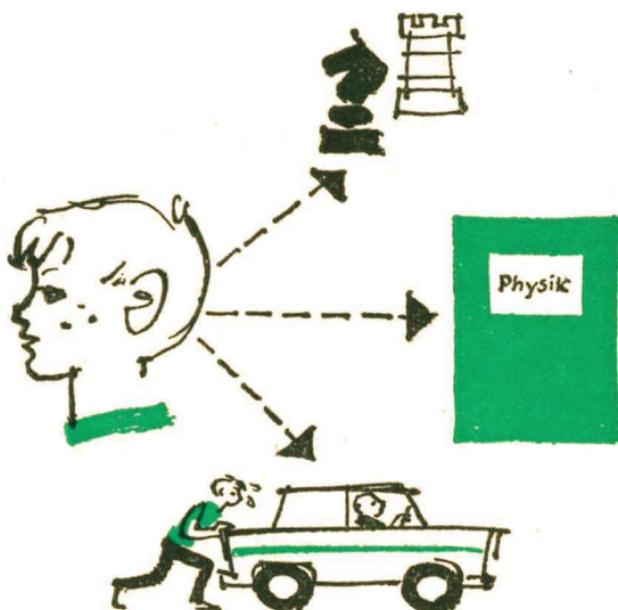
### Noch etwas über „Elektronenhirne“

Große elektronische Geräte, die zum Beispiel eine ganze Fließstraße oder eine Fabrik steuern, nennt man oft „Elektronenhirne“. Man vergleicht diese Geräte demnach mit dem menschlichen Gehirn. Unser Gehirn hat zunächst zwei Eigenschaften: Es kann sich etwas merken, und es kann Entscheidungen treffen. Über maschinelle „Gedächtnisse“, zum Beispiel bistabile Multivibratoren, sprachen wir schon. Man muß für die maschinellen Speicher die Tatsachen nur so umformen, daß sie sich als Ja/Nein-Entscheidungen (also binär) ausdrücken lassen. Soll eine Maschine beispielsweise ein Wort speichern, so kann man nacheinander fragen:

Ist der erste Buchstabe ein A?

*Antwort:* Nein.

(Im ersten Speicher wird nichts festgehalten.)



Ist der erste Buchstabe ein B? und so weiter, dann:  
Ist der zweite Buchstabe ein A? und so fort.

Ein Wort mit zehn Buchstaben kann man somit in  $10 \cdot 26 = 260$  binären Speichern, in bistabilen Multivibratoren oder Relais festhalten. Durch Leuchtziffern läßt sich dann zum Beispiel feststellen, welcher Buchstabe gespeichert ist.

Einfache Entscheidungen können elektrische Einrichtungen ebenfalls treffen. Ein Relais entscheidet beim Anschluß der Spule an eine Spannungsquelle darüber, ob die Spannung einen gewissen Wert überschritten hat (der Anker zieht an) oder nicht. Wieder besteht die ganze Kunst darin, die Tatsachen in einfache Ja/Nein-Entscheidungen umzuformen. Mit

einer großen Zahl von Bauteilen kann man auf diese Weise äußerst komplizierte Bedingungen erfüllen.

Die meisten Geräte, auch viele große elektronische Rechenmaschinen, kommen mit diesen beiden Grundfunktionen aus: Sie speichern und vergleichen irgendwelche Daten, zum Beispiel Zahlenwerte. Diese Eigenschaften kann man aber nicht als „Denken“ bezeichnen, auch wenn die Vorgänge in Bruchteilen von Sekunden ablaufen. Es ist deshalb übertrieben, solche Geräte „Elektronenhirne“ oder „Denkmaschinen“ zu nennen. Derartige Bezeichnungen flößen dem Laien zwar Respekt ein, doch wenn man die Schaltungen prüft, findet man, daß sie sich aus ganz einfachen Grundschaltungen zusammensetzen, die man leicht verstehen kann.

Das menschliche Hirn kann außer Speichern und Abwägen verschiedener Möglichkeiten noch mehr: Vor allem kann der Mensch lernen, also aus Erfolgen oder Mißerfolgen Schlüsse ziehen und sein Verhalten entsprechend einrichten. Er kann außerdem seine Fähigkeiten für ganz verschiedene Zwecke einsetzen. Man kann hintereinander eine Partie Schach spielen, einen Aufsatz schreiben und ein Kraftfahrzeug in Gang setzen, was ganz unterschiedliche Gedankengänge erfordert.

Man könnte nun glauben, daß irgendwelche „toten“ Einrichtungen niemals etwas derartiges fertigbringen. Das trifft aber nicht zu. Es gibt in neuerer Zeit wirklich Maschinen, die weitgehend „denken“. Sie können unter anderem aus ihrer eigenen Arbeitsweise lernen und sich ohne besondere Bedienung

zweckmäßig einstellen. Wenn auch die heute arbeitenden „Denkmaschinen“ noch verhältnismäßig geringe Forderungen erfüllen können, so zeigen die Versuche doch, daß es nicht ausgeschlossen ist, Maschinen für geistige Zwecke einzusetzen. Die Wissenschaft, die sich damit befaßt, heißt Kybernetik. Der Zweck solcher Entwicklungen ist es unter anderem, selbsttätige Rechenmaschinen, Sprachübersetzungsmaschinen u. ä. herzustellen. Man kann sich leicht vorstellen, daß solche Geräte nicht einfach aufgebaut sind. Die Grundsätze der Schaltungstechnik aber, von denen wir einige kennengelernt haben, sind die gleichen wie bei unseren einfachen Baugruppen.

### Und wie weiter?

Die Grundversuche haben wir nun hinter uns. Wenn alle Schaltungen zur Zufriedenheit gearbeitet haben, war unsere Arbeit von Nutzen. (Wenn nicht, werden wir zu klären versuchen, wo der Fehler steckt. Uns helfen dabei erfahrene Bastler oder die Arbeitsgemeinschaften in Pionierhäusern, in Betrieben usw.) Wer Freude am Basteln mit elektronischen Teilen gefunden hat, wird nicht stehenbleiben, sondern danach streben, das Gebiet immer besser zu beherrschen. Wir werden zunächst Schaltungen nachbauen, die in Bastelmagazinen erscheinen. Haben wir weitere Erfahrungen gesammelt, so können wir uns die Bücher beschaffen, die für erfahrene Amateure bestimmt sind. Wir wollen mit offenen Augen

durch die Schule oder den Betrieb gehen und nach Möglichkeiten suchen, unsere Kenntnisse praktisch anzuwenden.

Noch etwas: Bitte schreibt dem Verlag, was besondere Schwierigkeiten macht oder was noch ausführlicher beschrieben werden sollte. Es ist dadurch möglich, dieses Buch zu ergänzen und zu verbessern. Die späteren Leser danken es euch.

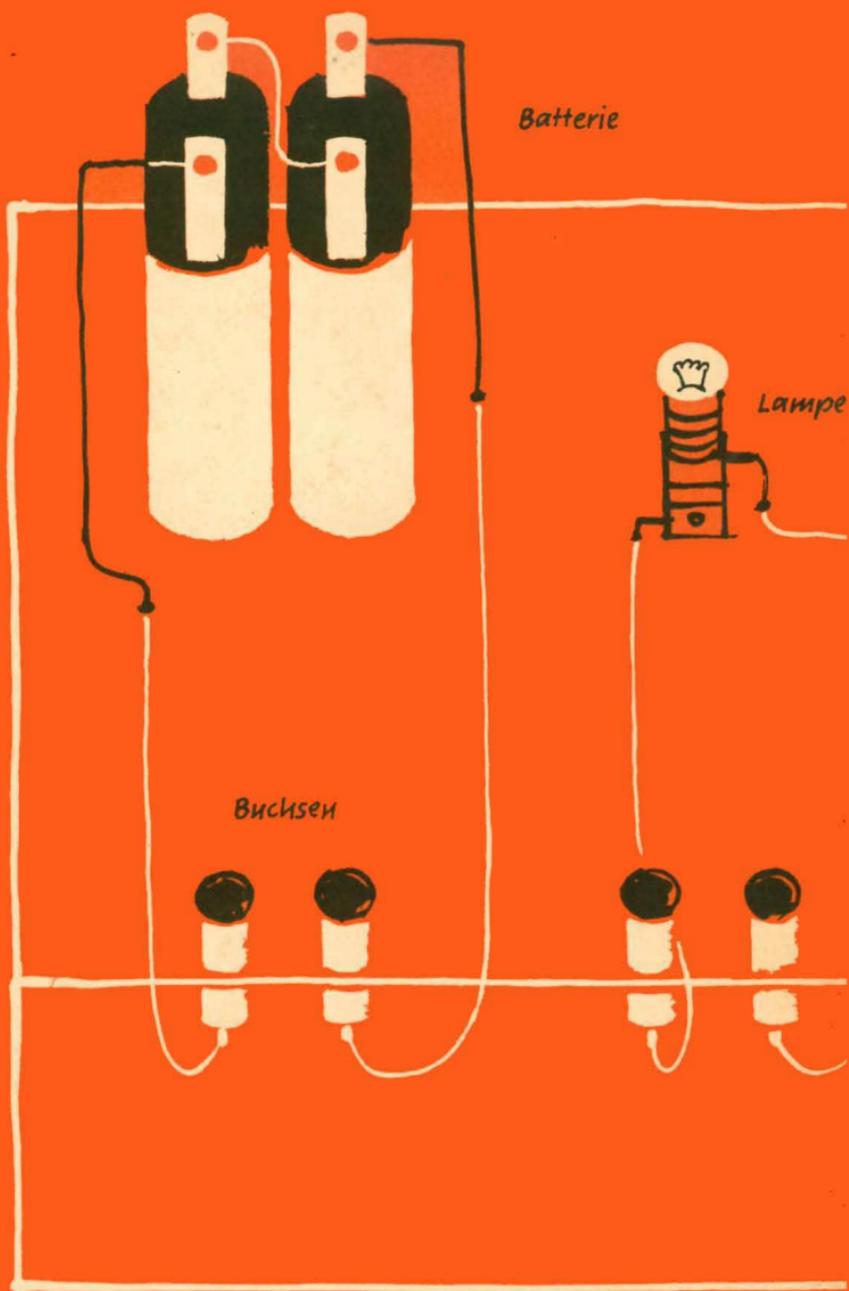


# Inhalt

Wir lernen die Bauteile kennen	13
Der Strom überwindet Widerstände	28
Die Elektronensparbüchse	38
Wir experimentieren mit den Bauteilen	43
Ladung und Entladung eines Kondensators (Schätzung)	43
Wir wollen es genau wissen	49
Ladung und Entladung eines Kondensators (Messung)	64
Der Kondensator als Speicher	67
Spannungsvervielfachung mit Kondensatoren	69
Der Isolationswiderstand eines Kondensators	71
Messung von Widerständen und Kapazitäten	74
Der erste Verstärker – das Relais	76
Weder Leiter noch Isolatoren	79
Die Richtwirkung einer Diode	81
Abhängigkeit der Diodeneigenschaften von der Temperatur	82
Grundeigenschaften eines Transistors	90
Eigenschaften des Transistors als Verstärker	93
Der Transistor als Spannungsverstärker	94
Die Abschaltspannung eines Relais	98

<b>Aus Bauteilen werden Baugruppen</b>	<b>101</b>
Schaltungen mit Relais	113
Gleichrichterschaltungen	124
Doppelweggleichrichter	125
Gleichrichter mit Spannungsverdopplung	130
Multivibratoren	131
Multivibrator-Grundschialtung	132
Transistorschaltungen zur Verzögerung von Relais	152
Halbleiter-Verstärker für Meßzwecke	156
Zweistufiger Transistorenverstärker	160
Tandemverstärker	164
Schaltungen mit Zenerdioden	165
Stabilisatorschialtung	170
<b>Aus den Baugruppen entstehen Geräte</b>	<b>173</b>
Einfacher Blinkgeber	175
Temperatur-Fernmesser	179
Brandmelder	185
Temperatur-Regleinrichtung (Thermostat)	190
Lichtschrankenanlagen	200
Fotoblitz mit Zweitblitz	219
Eine Maschine als Lehrer	226
Zeitbegrenzer	231
<b>Noch etwas über „Elektronenhirne“</b>	<b>234</b>





Schalter



Potentiometer



Plastbehälter





Elektronen, Halbleiter, Transistoren! Begriffe, die Zauberformeln gleichen und an geheimnisvolle Vorgänge erinnern: Türen, die von unsichtbaren Händen geöffnet oder geschlossen werden; Geräte, die selbständig Temperaturen regeln; Maschinen, die die kompliziertesten Rechenaufgaben in einem Tempo lösen, das selbst die geschicktesten Rechner nie erreichen können. Geheimnisvolle Maschinen? Nein! Jede noch so komplizierte elektronische Anlage setzt sich im Prinzip aus einfachen Baugruppen zusammen. Wer ihre Wirkungsweise verstehen lernt, findet bald zum Verständnis der Funktion ganzer Anlagen. Er kann ihr Geheimnis lüften und solche Anlagen selbst bauen und erproben.

Dieses Buch will dabei helfen. Es zeigt an praktischen Beispielen die einfachsten Bedingungen für die Funktion komplizierter Anlagen der Meß-, Steuer- und Regeltechnik.