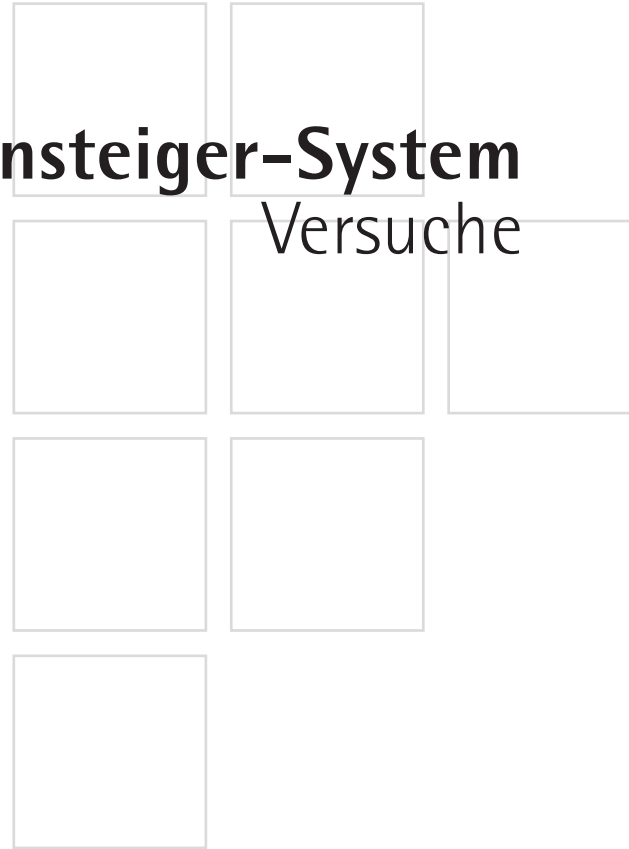
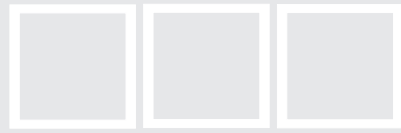


# Einsteiger-System

## Versuche





# Lectron

## Experimentieranleitung zum **LECTRON** Einsteiger - System

Vollständig überarbeitet von

Gerd Kopperschmidt

Herausgeber

Lectron

Eschersheimer Landstr. 26a

60322 Frankfurt

Tel.: +49 (0)69 90 50 12 82

Fax: +49 (0)69 90 50 12 83

Email: [lectron@frankfurter-verein.de](mailto:lectron@frankfurter-verein.de)

[www.lectron.de](http://www.lectron.de)



Experiment	Inhalt	Seite	Experiment	Inhalt	Seite
	Ausstattung des Systems	4	27	Ansteuerung des npn Transistors	33
	Einleitung	5	28	Der menschliche Körper im Stromkreis	34
	Die LECTRON Bausteine	6	29	Kondensator im Basiskreis	35
1	Stromkreis	7	30	Ladestrom des Kondensators	36
2	Unterbrochener Stromkreis	8	31	Diode im Basisstromkreis	37
3	Schalter	9	32	Ein sehr empfindlicher Stromnachweis	38
4	Widerstand im Stromkreis	10	33	Leitfähigkeit des Körpers	39
5	Der Ohrhörer	11	34	Verstärkung des Kondensatorladestroms	40
6	Hochohmwiderstand im Stromkreis	12	35	Ein Feuchtigkeitsmesser	41
7	Selbstgebaute Widerstände	13	36	Ohrhörer als Mikrofon	42
8	Leitfähigkeit des Wassers	14	37	Transistor als Mikrofonverstärker	43
9	Leitfähigkeit von Salzwasser	15	38	Der Koppelkondensator	44
10	Kondensator im Gleichstromkreis	16	39	Verstärker mit npn Transistor	45
11	Kondensator als Speicher	17	40	Mikrofonübertragung	46
12	Kondensator an Wechselspannung	18	41	Akustische Rückkopplung	47
13	Eigenschaften des Kondensators	19	42	Induktive Rückkopplung	48
14	Ein selbstgebauter Kondensator	20	43	Kapazitive Rückkopplung	49
15	Halbleiter in Durchlassrichtung	21	44	Ein Rückkopplungsgenerator	50
16	Halbleiter in Sperrrichtung	22	45	Ein Morsegenerator	51
17	Sperrstrom der Germaniumdiode	23	46	Ein Morse – Blinker	52
18	Steuerung	24	47	Morsen mit Gegenstation	53
19	Aufbau des Transistors	25	48	Füllstandsanzeige	54
20	Der Transistor im Stromkreis	26	49	Prinzip der Tonbandwiedergabe	55
21	npn und pnp Transistoren	27	50	Ein Lichtsender	56
22	Steuerung des pnp Transistors	28	51	Wechselsprechanlage	57
23	Eine einfache Stromquelle	29	52	Spule im Gleichstromkreis	58
24	Steuerbarkeit des Transistors	30		Schwingungen und Modulation	59
25	Eine verbesserte Kleinstbatterie	31	53	Detektor	60
26	Transistorsteuerung durch Basisstrom	32	54	Rundfunkempfänger	61



## Hinweise für das Experimentieren

Das LECTRON Einsteiger - System ist aus Bausteinen des universell anwendbaren LECTRON - Systems zusammengestellt. LECTRON - Bausteine sind bei sachgemäßem Gebrauch wartungsfrei und unterliegen praktisch keinem Verschleiß.

1. LECTRON - Bausteine auf der Aufbauplatte hin und her setzen und nicht verschieben weil sonst infolge der starken magnetischen Haftkräfte die Platte unnötig verschrammt wird.

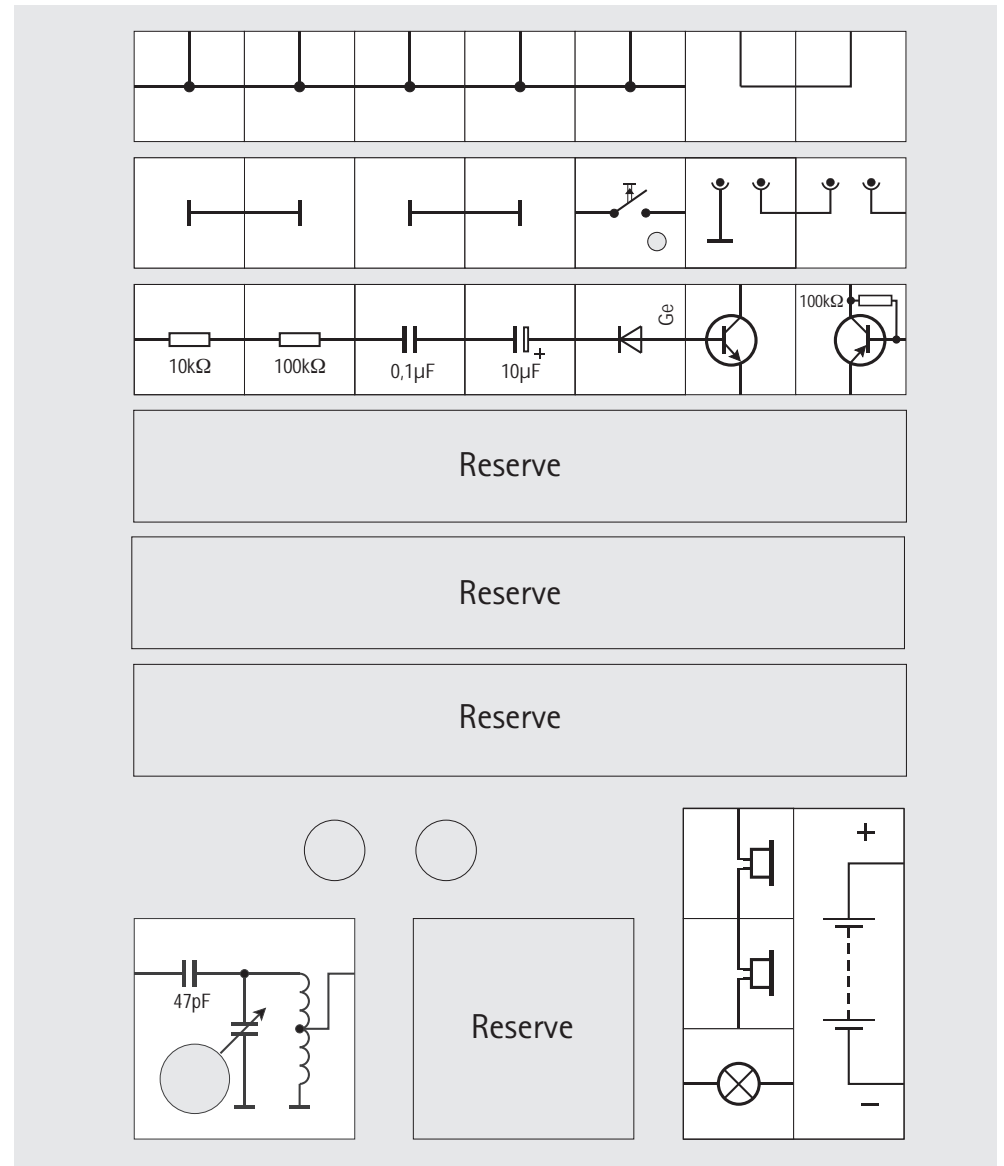
2. Bei Batteriebetrieb Versuche mit Glühlampe kurz fassen (Batterielebensdauer). Bei Langzeitversuchen möglichst LECTRON - Netzteil LN 300/9 V Gleichspannung/12 V Wechselspannung verwenden.

3. Verstaubte und verschmutzte Bausteine mit einem trockenen Tuch säubern; in besonders hartnäckigen Fällen kann auch LECTRON - Reinigungsflüssigkeit verwendet werden. Bausteinoberfläche aber nur mit einem Hauch von Flüssigkeit bearbeiten. Keinesfalls Flüssigkeit auf die Bausteine gießen, da sonst Farbe der Schaltsymbole angegriffen werden kann.

4. Kontaktpflege: Die Magnetkontakte sind robust und unempfindlich, können aber bei häufigem Gebrauch doch etwas verschmutzen. Zum Säubern LECTRON - Reinigungsflüssigkeit verwenden. Auch Aufbauplatten und Zusatzplatten einmal jährlich mit den erwähnten Mitteln reinigen.

## Inhalt des Kastens

- 5 Stück Verbindung T - Stück
- 2 Stück Verbindung Winkel
- 4 Stück Verbindung Masse
- 1 Stück Widerstand 10 k $\Omega$
- 1 Stück Widerstand 100 k $\Omega$
- 1 Stück Kondensator 0,1  $\mu$ F / 12 V
- 1 Stück Elko 10  $\mu$ F / 15V
- 1 Stück Germanium - Diode AA 119
- 1 Stück Taster Arbeitskontakt
- 1 Stück Glühlampenbaustein
- 1 Stück Glühlampe 6 V / 50mA
- 1 Stück Ge - Transistor AC 173 / 100k $\Omega$  rechts
- 1 Stück Si - Transistor 2N3704 links
- 2 Stück Ohrhörerbaustein
- 1 Stück Abstimmbaustein 220 pF / 47 pF Spule
- 1 Stück Trennbaustein
- 1 Stück Anschlussbaustein
- 1 Stück Batteriebaustein zweipolig
- 1 Stück Anleitung «Einsteiger-System»
- Zubehör





## Einleitung

Was geschieht eigentlich, wenn wir unser Rundfunkgerät einschalten und uns einen Sender suchen?

Wir wählen unter vielen Möglichkeiten ein bestimmtes Programm aus. Nachrichten – Wetterbericht – Musik. Wenn wir unseren Fernseher einschalten, können wir uns auch hier für ein bestimmtes Programm entscheiden. Wir legen eine CD auf und hören Musik. Klangrein, sogar »digitalisiert«. Wir knipsen das Licht an, ob zu Hause oder nachts im Auto. Wir schalten in unserem Auto die Zündung ein und starten mit dem Anlassen den Motor.

Für alle diese Vorgänge wird Energie benötigt und transportiert. Dass die Energie in verschiedensten Formen auftritt

gehört zum physikalischen Gemeinwissen: Potentielle, kinetische, elektrische, chemische Energie und Wärme sind geläufige Beispiele. Wir sprechen ganz selbstverständlich von verschiedenen Energieformen und ihre Umwandlungen ineinander, haben allerdings Mühe, sie zu definieren. Dass man ohne diese Unterscheidungen trotzdem zu sinnvollen Ergebnissen gelangen kann, lässt vermuten, dass diese Einteilung belanglos ist. Wir werden deswegen bei den verschiedenen LECTRON – Experimentierkästen auf sie verzichten und statt dessen eine andere Betrachtungsweise wählen: Danach findet ein Energietransport immer nur mit Hilfe eines Trägers statt. Wenn Energie strömt, strömt noch mindestens eine weitere Größe, der Energieträger. Das kann Wärme (Entropie), Licht (Photonen), Impuls, Drehimpuls oder, womit wir uns hier hauptsächlich befassen wollen, elektrische Ladung sein.

Die wichtigste Eigenschaft von Energie ist, dass man sie weder erzeugen noch vernichten kann; in einem »Verbraucher« wird sie also nicht verbraucht, sondern von einem Träger auf einen anderen umgeladen. In einem elektrischen Stromkreis fließt zum Beispiel die Energie von einer Quelle (Netzgerät, Batterie, Solarzelle, Dynamo) zu einer Glühlampe und wird dort von elektrischen Ladungsträgern auf die Träger Photonen und Entropie umgeladen. Auch die elektrischen Ladungsträger lassen sich weder erzeugen noch vernichten. Wenn sie die Energie abgeladen haben, fließen sie »leer« zur Quelle zurück und werden neu beladen. Der Energieträger Elektrizität fließt immer im Kreis und wir sprechen von einem geschlossenen Stromkreis.

Im Einsteiger – System legen wir den Minuspol der Batterie an die Aufbauplatte, an Masse. Immer, wenn die Ladungsträ-

ger auf ihrem Weg vom Pluspol durch verschiedene Schaltungsteile hier angekommen sind, haben sie auf ihrem Weg Energie umgeladen und strömen leer zur Batterie zurück. Die aus den LECTRON – Bausteinen aufgebauten Schaltungen zeigen deutlich den Stromkreis.

Auch ist es mit ihnen sehr leicht zu experimentieren: Normalerweise benötigt man Klemmen und Stecker, häufig sogar den Lötkolben, um Versuchsaufbauten herzustellen und zu experimentieren. Bei den LECTRON – Bausteinen hingegen stellt sich magnetisch der Kontakt her; außerdem sind die Leitungszüge sichtbar aufgeprägt. Damit werden der Aufbau und das Verändern einer elektrischen Schaltung so einfach und übersichtlich, dass wir mit diesen ersten 54 Experimenten mühelos zu den elementaren Erkenntnissen der Elektronik gelangen.



Das einfachste Schaltzeichen ist eine ununterbrochene Linie; sie bedeutet eine direkte Verbindung. Diese Linie kann natürlich auch abgewinkelt sein. Im LECTRON – System wird sie durch den Winkelbaustein realisiert.



Eine direkte elektrische Verbindung zur Aufbauplatte (Chassis) stellt der Massebaustein her: Bei diesem Baustein ist das Bodenkontaktplättchen mit dem seitlichen Plättchen elektrisch verbunden. Da der Leitungszug direkt nach Masse führt, ist auf ihm das Symbol für die Masseverbindung dargestellt.

Die treibende Kraft für alle Versuche ist die im Batteriebaustein einzusetzende Batterie. Es handelt sich um eine handelsübliche Batterie für Transistorradios mit einer Spannung von 9 Volt, die in jedem Radio- und Elektrogeschäft erhältlich ist. Durch vorsichtiges Zusammendrücken der Seitenwände des weißen Oberteils kann der Batterie – Baustein geöffnet werden. Beim Schließen des Deckels ist darauf zu achten, dass die Abwinkelungen der Leitungen beim Schaltsymbol auf die seitlichen Kontaktplättchen hinweisen.

## Die Bausteine

Es ist allgemein bekannt, dass Metalle sehr gut den elektrischen Strom leiten. Im Gegensatz dazu sind Kunststoffe, Papier, Gummi oder Porzellan nichtleitend und dienen als Isolatoren.

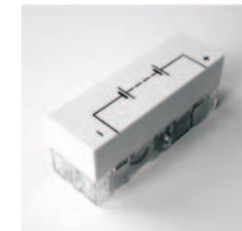
Elektrische Schaltungen werden zur Vereinfachung auf das Wesentliche durch Schaltbilder, auch Stromlaufpläne genannt, dargestellt. Mit international genormten Zeichen sind dabei die einzelnen Bauteile festgelegt und Fachleute erkennen mit einem Blick am Schaltzeichen, um welches Bauteil es sich jeweils handelt.



Wird an einer direkten Verbindung noch ein weiterer Schaltungsweg abgezweigt, so ist dies durch einen Punkt an der Verbindungsstelle gekennzeichnet. Wegen seines T – förmigen Leitungsstück heißt der entsprechende Baustein T – Verbindung.



Auch bei manchen Bauteilen führen Anschlüsse direkt nach Masse; ihre Deckelschaltbilder zeigen dann das Massesymbol.



Die Bedeutung der anderen Bausteine lernen wir bei den Experimenten kennen.



## Experiment 1

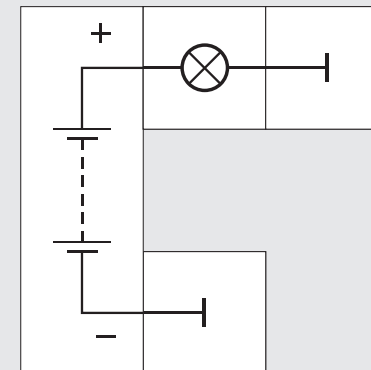
### Stromkreis

Nun bauen wir unser erstes Experiment auf.

Als Energiequelle steht uns der Batteriebaustein zur Verfügung. Wir setzen an den Leitungsstrich, der den Minuspol der Batterie kennzeichnet, einen Massebaustein und verbinden ihn so mit der Aufbauplatte. An den Plusanschluss des Batteriebausteins setzen wir den Glühlampenbaustein und an diesen wiederum einen Verbindungsbaustein (Massebaustein), der als Rückleiter zur Aufbauplatte

te dient; der Stromkreis ist geschlossen und die Glühlampe leuchtet auf.

Wir haben über die Punkte Pluspol des Batteriebausteines – Glühlampe – Massebaustein – Aufbauplatte – durch die Aufbauplatte zum zweiten Massebaustein zum Minuspol der Batterie, eine leitende Verbindung hergestellt. Damit transportieren uns elektrische Ladungsträger (Strom) Energie von der Batterie zur Glühlampe. Ihr Glühfaden lädt die Energie auf andere Transportmedien um, nämlich den größeren Teil auf Entropie (Wärme) und den Rest auf Photonen (Licht). Die Ladungsträger gehen »leer« zur Batterie zurück und werden dort wieder neu beladen.





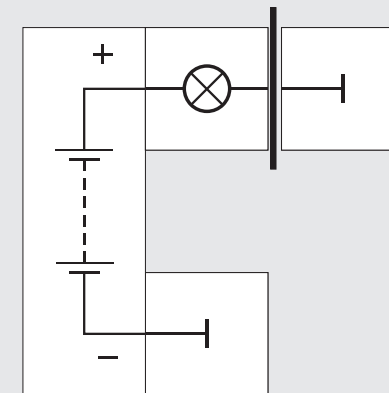
## Experiment 2

### Unterbrochener Stromkreis

Legen wir zwischen zwei Kontaktplättchen ein Stückchen Papier, wobei die Bausteine durch die magnetische Anziehungskraft trotzdem haften, so stellen wir keinen Stromfluss mehr fest: Das Lämpchen leuchtet nicht auf. Der Stromkreis ist durch einen Isolator unterbrochen. Wir können auf diese Weise den Stromkreis an drei verschiedenen

Stellen unterbrechen; zusätzliche Möglichkeiten ergeben sich durch das Heraus-schrauben des Lämpchens und der Isolierung der Bodenkontakte von beiden Massebausteinen. Jedes Mal unterbrechen wir den Strom der Ladungsträger und damit den Energiefluss.

Im Alltagsleben unterbricht man Stromkreise nun nicht mit Papier, sondern es gibt dafür Schalter und Taster, mit denen man einen Stromkreis schließen und wieder öffnen kann. Ein uns allen bekanntes Beispiel ist der Klingeldrucker.





### Experiment 3

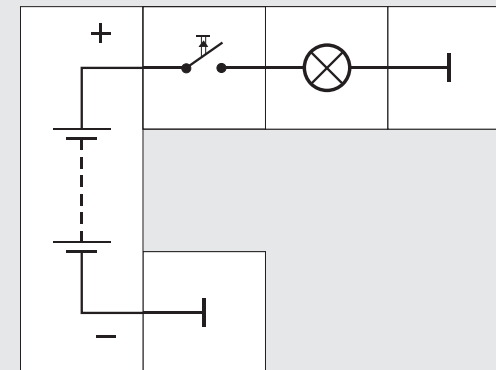
#### Schalter

Anstatt des Stückchen Papiers fügen wir in unseren Aufbau diesen Schalterbaustein ein. Das Lämpchen leuchtet erst dann auf, wenn wir den Schalterknopf drücken, und erlischt wieder, wenn wir den Knopf loslassen. Wir haben hiermit ein in der Elektrizitätslehre sehr wichtiges Bauteil kennengelernt: den elektrischen Schalter.

Auch der Lichtschalter in unserer Woh-

nung funktioniert ähnlich, nur dass er mechanisch in einer der beiden Lagen, in die wir ihn geschaltet haben, verbleibt. Wir können ihn »einschalten« und bei einer weiteren Betätigung wieder »auschalten«. Unser Schalterbaustein ist genauer gesagt ein Taster; er hat eine Vorzugslage, in die er selbsttätig zurück kehrt, wenn er nicht mehr betätigt wird.

Genauso wie mit dem Stück Papier gibt es drei Möglichkeiten mit dem Schalterbaustein den Stromkreis zu unterbrechen.



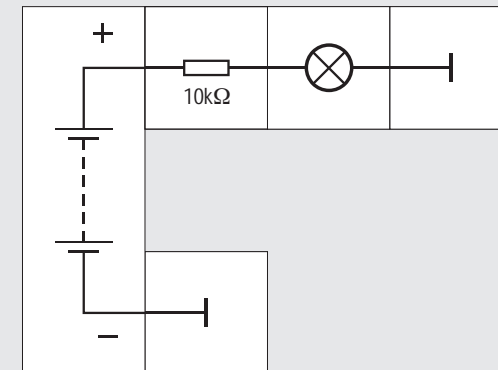


#### Experiment 4

##### Widerstand im Stromkreis

Bauen wir noch einmal das Experiment 3 auf, tauschen aber den Schalterbaustein gegen den Widerstandsbaustein aus. Das Lämpchen leuchtet nicht mehr auf und es sieht so aus, als ob kein Stromfluss mehr zustande kommt. Das ist aber nur scheinbar so, in Wirklichkeit fließt

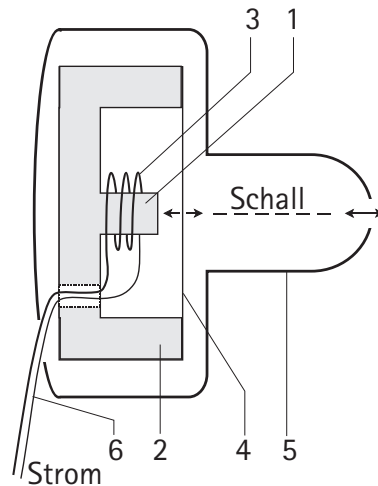
noch ein Strom, der allerdings so klein ist und damit zu wenig Energie transportiert als zum Aufleuchten des Glühfadens notwendig wäre. Die Leistung reicht nicht mehr aus, das Lämpchen «einzuschalten». Der  $10\text{ k}\Omega$  Widerstand behindert den Fluss der Ladungsträger, also den Strom, sehr stark. Im nächsten Experiment werden wir einen Baustein kennen lernen, mit dem wir auch noch sehr kleine Ströme nachweisen können, nämlich den Ohrhörer.



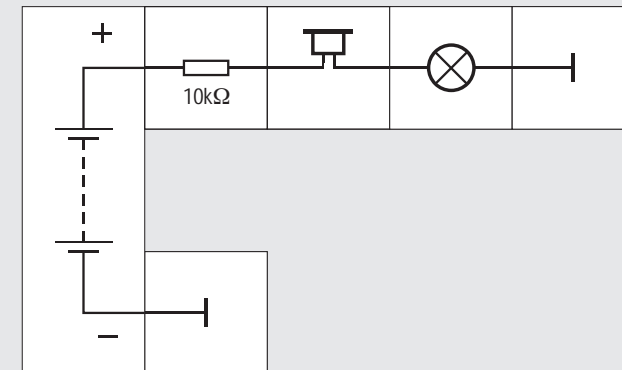
## Experiment 5

## Der Ohrhörer

Schalten wir zusätzlich den Ohrhörerbaustein in den bestehenden Stromkreis, so werden wir beim Anlegen der Batterie ein deutliches Knacken im Ohr vernehmen; auch beim Unterbrechen des Stromkreises (z. B. einen Massebaustein wegnehmen) hören wir wieder das Knacken. Zwischen Schließen und Öffnen des Stromkreises hören wir nichts, obwohl sicherlich ein Strom fließt. Wir können das Ein- und Ausschalten des Stroms noch eleganter bewerkstelligen, indem wir den Stromkreis wieder schließen und das Lämpchen in seiner Fassung los- und festschrauben und so einen Wackelkontakt herstellen. Beim Wackeln des Lämpchen hören wir ein lautes Krachen im Ohrhörer. Er ist demnach ein gutes Nachweismittel für schwache Ströme, allerdings müssen sich die Ströme in ihrer Größe ändern, sonst hören wir nichts. Dieses Verhalten wird uns klar, wenn wir uns den Aufbau des Ohrhörers genauer ansehen: Im Inneren verbirgt sich ein STABMAGNET (1) mit einem ringförmigen POLSCHUH (2). Die um den Magneten gewickelte SPULE (3) besteht aus äußerst dünnem Kupferdraht. Vor der Spule befindet sich eine runde STAHLMEMBRAN (4), die wie



eine Rasierklinge federt. Aus dem GEHÄUSE (5) führen 2 ANSCHLUSSDRÄHTE (6) heraus, welche die Enden der Spule mit den Seitenkontakten des Ohrhörerbausteins verbinden. Wenn nun ein Strom durch die Spule fließt, erzeugt sie ein Magnetfeld, das zusammen mit dem Feld des Stabmagneten die Membran mehr oder weniger anzieht; aber nur wenn sich die Membran aufgrund eines wechselnden Stromes bewegt, entstehen durch diese Bewegung Schallwellen, die wir hören. Fließt ein konstanter Strom springt die Membran in eine andere Stellung (wir hören einmalig einen Knacks) und verharrt dort.

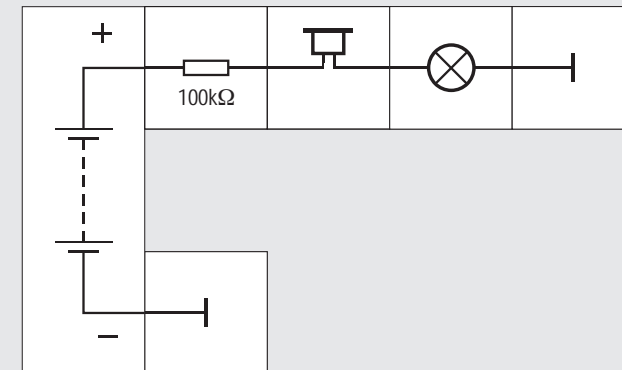


### Experiment 6

#### Hochohmwiderstand im Stromkreis

Wie empfindlich der Ohrhörer für Ströme mit wechselnder Größe ist, können wir nachprüfen, wenn wir den  $10\text{ k}\Omega$  Widerstand durch einen zehnmal so großen ersetzen; der dann fließende Strom wird

nur noch ein Zehntel des Strom aus Experiment 5 betragen. Wir setzen den Widerstand  $100\text{ k}\Omega$  statt des  $10\text{ k}\Omega$  Bausteins in die Schaltung. Erzeugen wir wieder mit dem Lämpchen einen Wackelkontakt, so hören wir im Ohrhörer ein Kraspeln, das wesentlich leiser als im vorherigen Versuch, aber trotzdem deutlich vernehmbar ist.

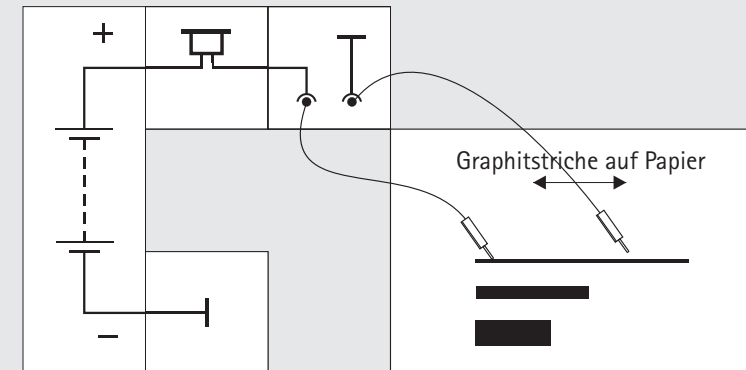
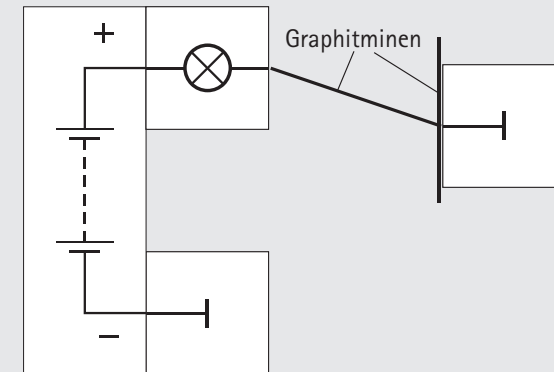


## Experiment 7

## Selbstgebaute Widerstände

Zuerst bauen wir einen niederohmigen Widerstand. Eine oder zwei Graphitminen aus einem Bleistift, Druckbleistift oder Zirkel werden schräg an die Wand des Lampenbausteines gehalten. Zur Stützung kann man noch einen Bleistift oder Kugelschreiber darunterlegen. Die Glühlampe leuchtet mehr oder weniger hell. Die Graphitminen behindern den Stromfluss ein wenig; sie bilden einen Widerstand im Stromkreis, der zwischen 40 Ohm ( $40 \Omega$ ) und 400 Ohm ( $400 \Omega$ ) schwankt. Ist der Widerstand größer als  $400 \Omega$ , so erlischt die Glühlampe ganz.

Danach stellen wir uns einen hochohmigen Widerstand her. In die beiden Buchsen des Trennbausteines stecken wir zwei kurze Drähte mit blanken Enden. Die Enden kratzen wir auf einem dicken Graphitstrich hin und her. In dem Ohrhörer ist ein Knacken und Krachen wahrnehmbar, allerdings sehr leise, denn der Widerstand des Graphitstriches beträgt etwa hunderttausend Ohm, also  $100 \text{ k}\Omega$  und ist damit so groß wie der Widerstand im Transistorbaustein. Durch die Abmessungen des Bleistiftstrichs können wir seinen Widerstand bestimmen: Ein langer dünner Strich ist hochohmiger als ein kurzer dicker.

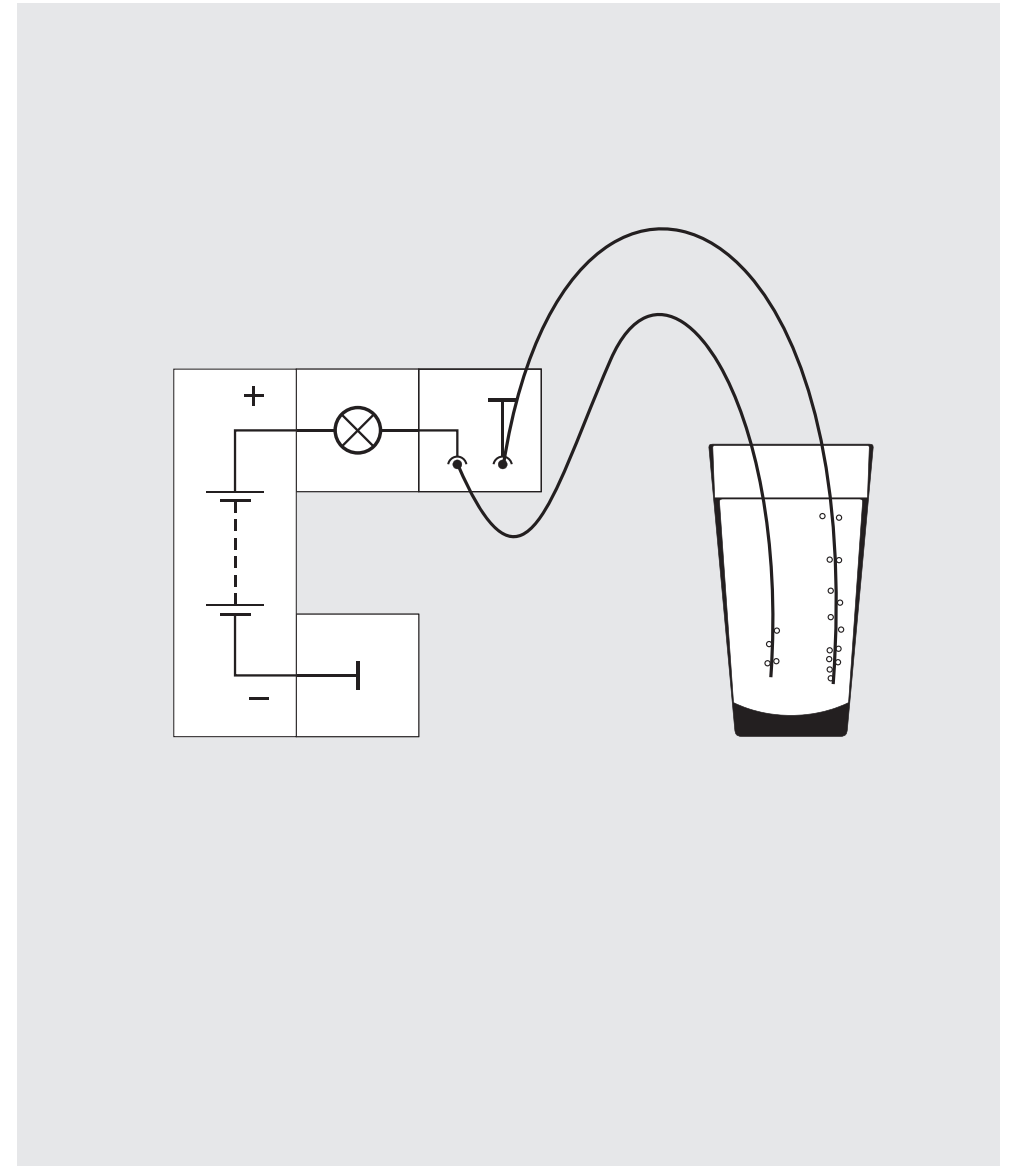


## Experiment 8

### Leitfähigkeit des Wassers

Mit Hilfe der Schaltungen aus den vorherigen Experimenten sind wir nun in der Lage, den Widerstand verschiedenster Materialien festzustellen. Wenn wir vermuten, dass der zu untersuchende Stoff einen kleinen Widerstand, also eine große Leitfähigkeit, hat, nehmen wir die Schaltung mit dem Glühlämpchen. Stellt sich heraus, dass der Widerstand doch größer ist und das Lämpchen nicht leuchtet, fügen wir den Ohrhörer ein und verwenden das Lämpchen als Wackelkontakt. Wir untersuchen Münzen, Radiergummi, Plastikmaterialien,

Holz und Metalle. Auch Wasser sollte untersucht werden. Wir füllen dazu ein kleines Glas mit Wasser, stecken die abisolierten Enden in den Trennbaustein und tauchen die anderen freien Enden in das Wasser, ohne dass sie sich gegenseitig berühren. Das Lämpchen leuchtet nicht auf, Leitungswasser leitet nicht so gut, wie wir vielleicht vermutet haben. Wenn wir die Drahtenden im Wasser genauer betrachten, werden wir bemerken, dass Gasbläschen aufsteigen, und zwar besonders an dem Ende, das mit dem Minuspol der Batterie verbunden ist. Mit dem Ohrhörer gelingt uns der Nachweis, dass Strom fließt, wobei das Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff (steigt am Minuspol auf) und Sauerstoff (steigt am Pluspol auf) zerlegt wird.

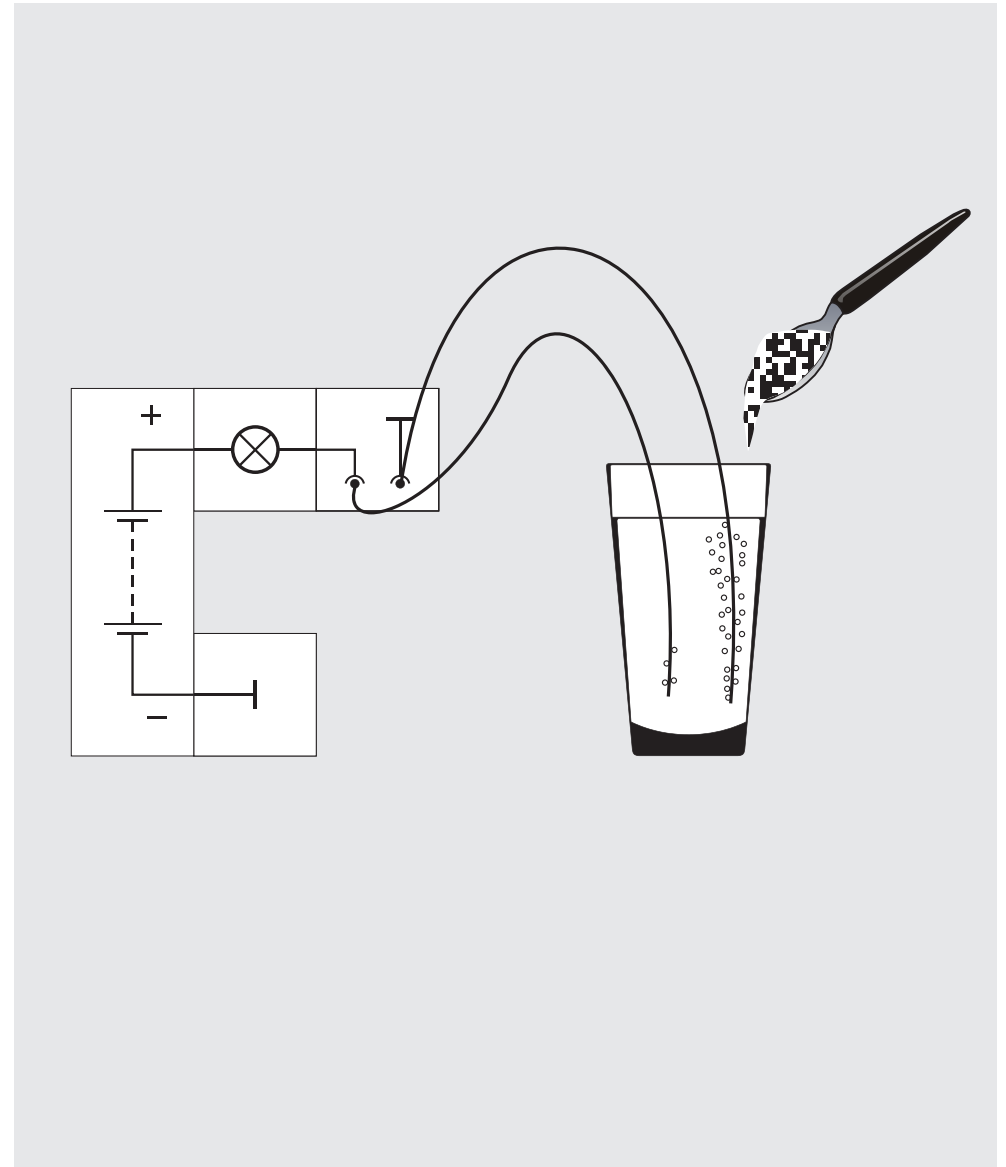


### Experiment 9

#### Leitfähigkeit von Salzwasser

Nun geben wir ein Löffel Kochsalz ins Wasser und wiederholen das Experiment. Das Lämpchen leuchtet auf, die

Gasbildung am Minuspol ist sogar noch heftiger geworden, das mit Salz verunreinigte Wasser leitet den Strom also sehr gut und wird dabei zersetzt. Bei längerer Versuchsdauer können wir einen leichten Geruch nach Chlor feststellen, das durch die Zerlegung des Kochsalzes entsteht.





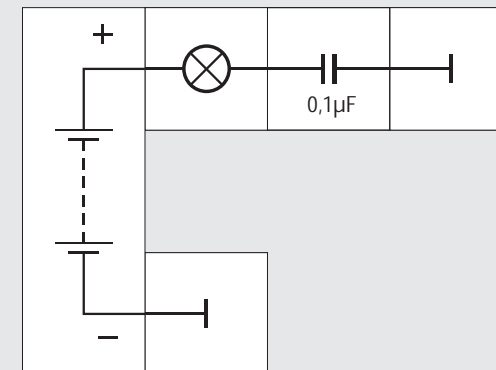


## Experiment 10

### Kondensator im Gleichstromkreis

Als nächstes wollen wir einen weiteren Baustein aus dem Experimentierkasten auf seine Leitfähigkeit untersuchen, den Kondensator. Unser Kondensatorbaustein zeigt sein Schaltsymbol: Zwei Platten mit einem Zwischenraum. Das deutet darauf hin, dass es keine leitende Ver-

bindung zwischen den beiden Platten gibt, und tatsächlich bleibt das Lämpchen dunkel, wenn wir den Kondensatorbaustein in Reihe zu dem Lampenbaustein und dem Batteriebaustein legen und mit zwei Massebausteinen den Stromkreis schließen. Der Kondensator ist zumindest nicht niederohmig für Gleichstrom. Im nächsten Experiment wollen wir mit dem Ohrhörer genauer prüfen, wie sich der Kondensator im Gleichstromkreis verhält.



## Experiment 11

## Kondensator als Speicher

Wir bauen die abgebildete Schaltung mit den beiden Ohrhörern auf, lassen den Massebaustein jedoch noch keinen Kontakt bekommen. Bevor wir die Batterie anlegen, drehen wir das Lämpchen so weit aus der Fassung, dass der Stromkreis unterbrochen ist.

Wir fügen zuerst den Batteriebaustein an die restliche Schaltung und wackeln dann mit dem Lämpchen in der Fassung. Auf beiden Ohrhörern vernehmen wir ein deutliches Knacken, das bei weiterem Wackeln allerdings immer leiser wird und schließlich ganz ausbleibt.

Nun nehmen wir den Batteriebaustein weg und schieben den mittleren Massebaustein an die Schaltung. Wieder ist auf beiden Ohrhörern ein Knacken zu hören, das beim Wegnehmen des Massebausteins und erneuter Kontaktgabe leiser wird, bis wir nichts mehr hören; und dies alles ohne Zutun der Batterie. Der Kondensator muss die Energie dafür gespeichert haben.

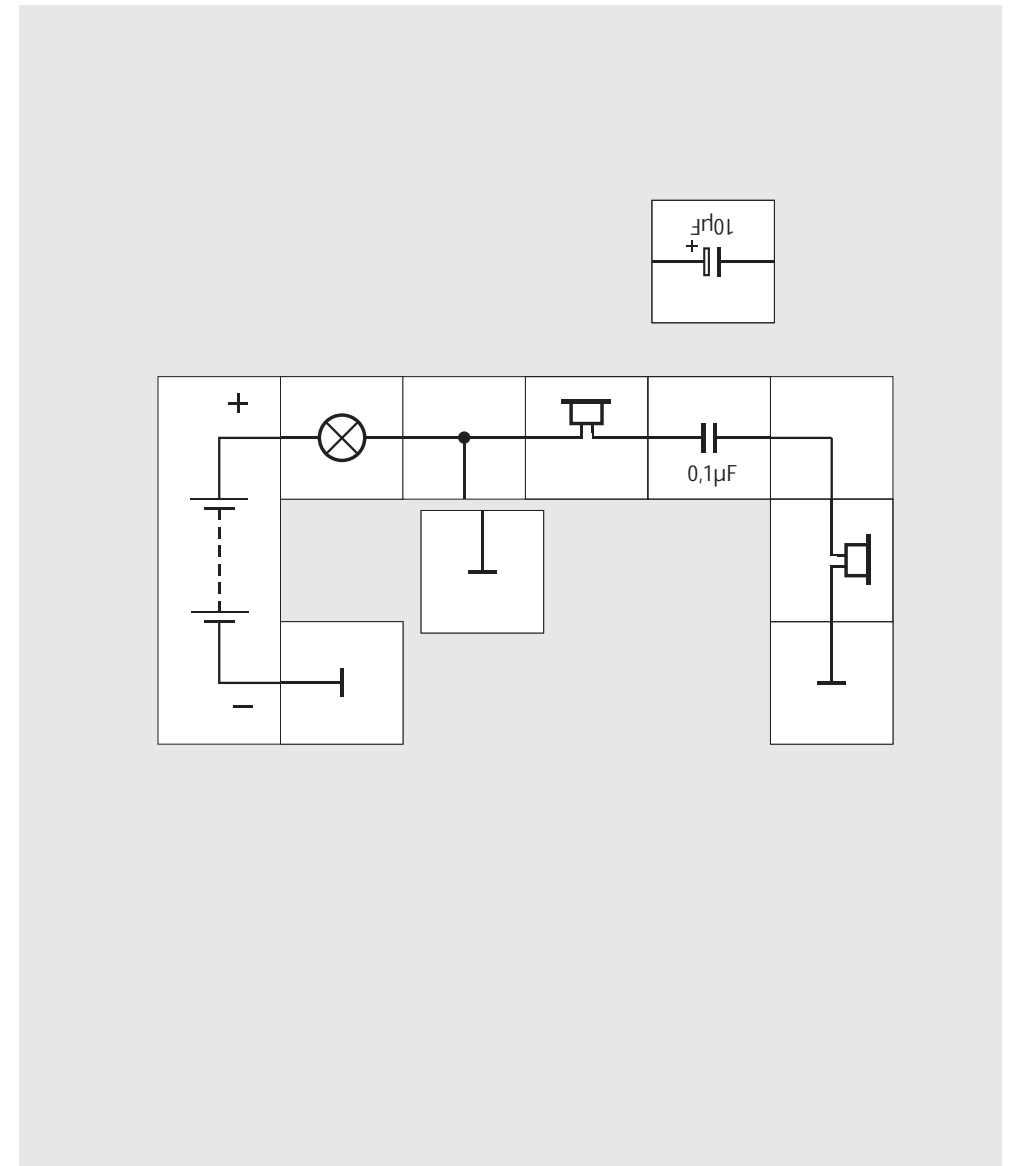
Im ersten Teil des Versuchs wird der Kondensator aufgeladen. Es fließt dabei vom Pluspol der Batterie eine bestimmte Ladungsmenge auf die linke Kondensatorplatte, dort ist jetzt positives Potential

gegenüber Masse. Das kurzzeitige Fließen hört man im linken Ohrhörer als Knacklaut. Gleichzeitig fließt von der rechten Kondensatorplatte eine gleich große Ladungsmenge ab und durch Ohrhörer und Massebaustein zum Minuspol der Batterie zurück. Das kurzzeitige Fließen hört man als kurzen Knacklaut im rechten Ohrhörer.

Im aufgeladenen Zustand ist die linke Platte unseres Kondensators positiv geladen, die rechte Platte ist negativ geladen. Von Platte zu Platte im Innern des Kondensators fließt dagegen kein Strom, weil die Platten ja gegeneinander isoliert sind.

Im zweiten Teil des Versuchs entlädt sich der Kondensator über die Ohrhörer. Die Ladungen fließen von der linken Platte über den linken Ohrhörer zur Aufbauplatte und von dort über den rechten Ohrhörer in die rechte Platte, bis die Ladungen ausgeglichen sind. Das kurzzeitige Fließen hört man in beiden Hörern als Knacken.

Wir können die gleichen Versuche mit unserem zweiten Kondensatorbaustein durchführen, wobei unbedingt seine Polung beachtet werden muss, und erhalten die gleichen Effekte, bloß weitaus stärker.



## Experiment 12

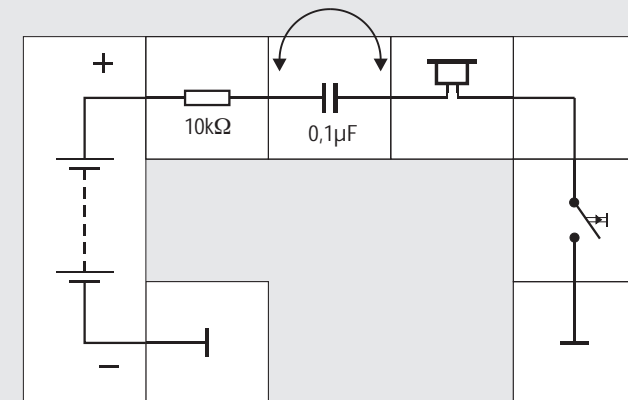
### Kondensator an Wechselspannung

In einem weiteren Experiment wollen wir die gefundenen Eigenschaften des Kondensators nachprüfen. Wir legen an den Plusanschluss der Batterie den Anschlussbaustein eines Ohrhörers, daran den Widerstandsbaustein  $10\text{ k}\Omega$ , den Kondensatorbaustein, den Schalterbaustein und daran den Massebaustein. Durch den Schalter ist der Stromkreis unterbrochen. Wir hören nichts. Drücken wir aber kurz die Taste des Schalters, so hören wir das bekannte Knacken; bei weiterem Drücken der Taste wird dieses Knacken immer leiser, bis es ganz ausbleibt.

Nun nehmen wir den Kondensatorbaustein aus der Schaltung und drehen ihn um  $180^\circ$ . Beim ersten Druck auf die Taste hören wir wieder ein kräftiges Knacken, das bei weiterer Wiederholung immer leiser wird und wieder ganz aufhört.

Wir erkennen daraus, dass ein Kondensator für den elektrischen Strom, gleich in welcher Richtung er fließt, für einen Moment leitend ist. Verändern wir die Stromrichtung, so wird der Kondensator wiederum kurzfristig leitend.

Ein Hinweis: Diesen Versuch dürfen wir mit dem  $10\mu\text{F}$  Kondensatorbaustein nicht ausführen, da er entgegen seiner Polung geladen würde, wodurch er Schaden nimmt.



## Experiment 13

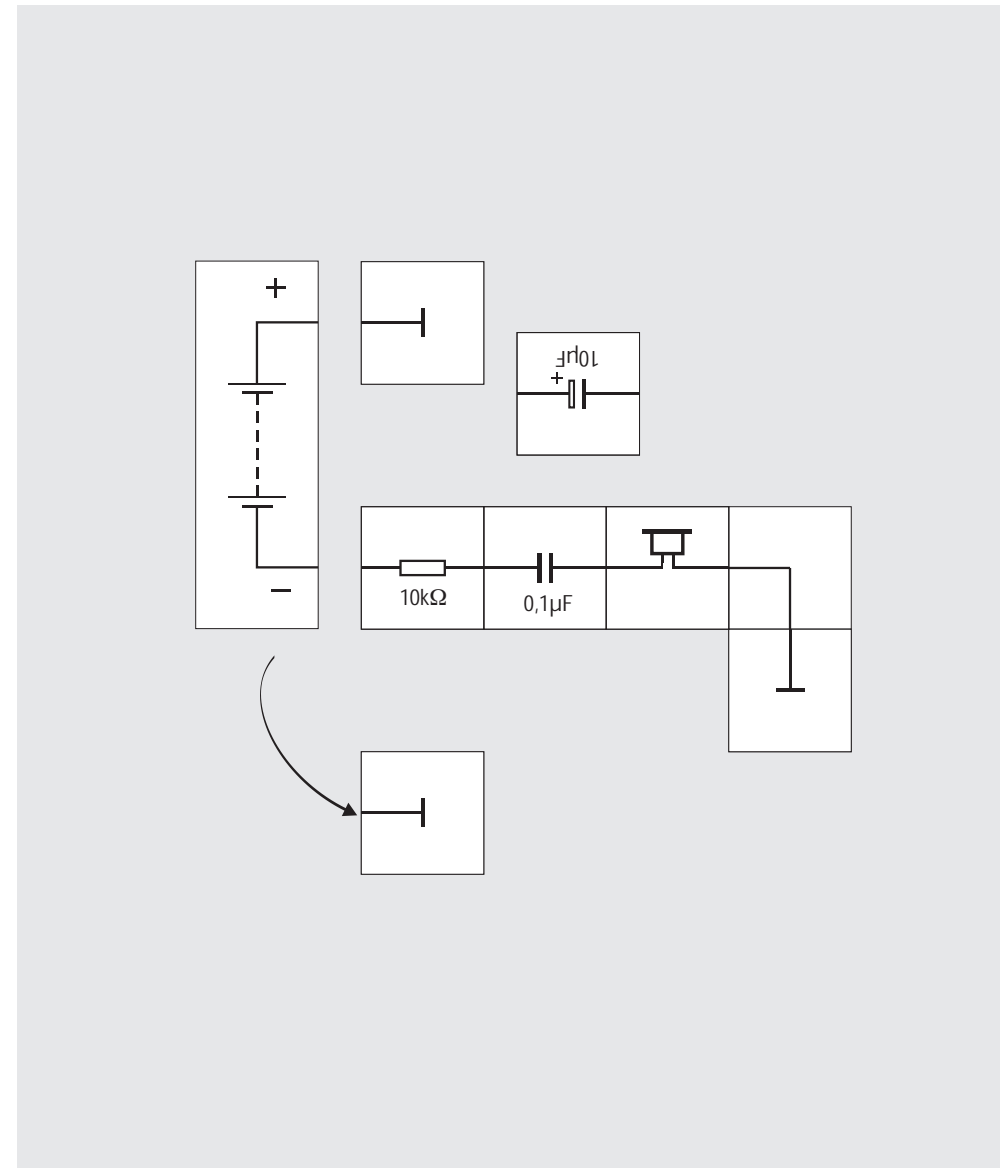
## Eigenschaften des Kondensators

Den gleichen Effekt erzielen wir ohne den Kondensator zu drehen, wenn wir den Batteriebaustein so verschieben, dass einmal der Minuspol an der Aufbauplatte liegt und dann der Pluspol. Für den Kondensator ist dies das Gleiche: Zunächst wird die linke Platte positiv gegen die Aufbauplatte aufgeladen und nach dem Verschieben des Batteriebausteins entladen und negativ aufgeladen. Die Umladungsströme machen sich im Hörer durch Knacken bemerkbar. Jede Umpolung der Spannung am Kondensator zieht einen kurzzeitigen Gleichstromfluss nach sich. Je schneller nun eine Spannung ihre Polarität ändert (die Frequenz), um so größere Ströme fließen durch den Hörer. Es besteht weiter noch eine Abhängigkeit vom Fassungsvermögen des Kondensators, seiner KAPAZITÄT. Das Maß dafür heißt Farad (F). Da ein Farad jedoch eine sehr große Kapazität

bedeutet, hat man dieses Maß unterteilt. Unser Kondensatorbaustein mit der Bezeichnung  $0,1\mu\text{F}$  hat eine Kapazität von 0,1 Mikrofarad; das ist der 10millionste Teil eines Farads. Je größer die Kapazität, desto größer sind die Umladeströme. Der scheinbare Widerstand eines Kondensators gegenüber einer Wechselspannung wird also mit höherer Kapazität und höherer Frequenz kleiner. Gleichstrom lässt er nicht durch. Diese Eigenschaften werden wir uns in späteren Experimenten zunutze machen.

Verwenden wir statt des  $0,1\mu\text{F}$  Kondensators unseren gepolten  $10\mu\text{F}$  Kondensator, so müssen wir die Versuchsanordnung etwas abändern, da er keinesfalls gegen seine Polung geladen werden darf. Wir laden ihn mit Batteriebaustein – Minus an Masse, entfernen den Batteriebaustein ganz und legen zum Entladen einen Massebaustein an den  $10\text{ k}\Omega$  Widerstandsbaustein.

Im nächsten Experiment wollen wir uns einen Kondensator selbst bauen.



## Experiment 14

### Ein selbstgebauter Kondensator

Unser Kondensatorbaustein zeigt das Schaltsymbol des Kondensators: Zwei Platten mit einem Zwischenraum. Je größer diese Flächen sind und je geringer der Abstand voneinander, um so größer ist die Kapazität.

Wir wollen einen Nachbau versuchen. Als untere Kondensatorplatte verwenden wir die große Aufbauplatte, als obere Kondensatorplatte die kleine metallene Zusatzplatte. Zwischen beide Platten legen wir ein Stück Papier oder Plastikfolie, so dass sich beide Platte nicht berühren.

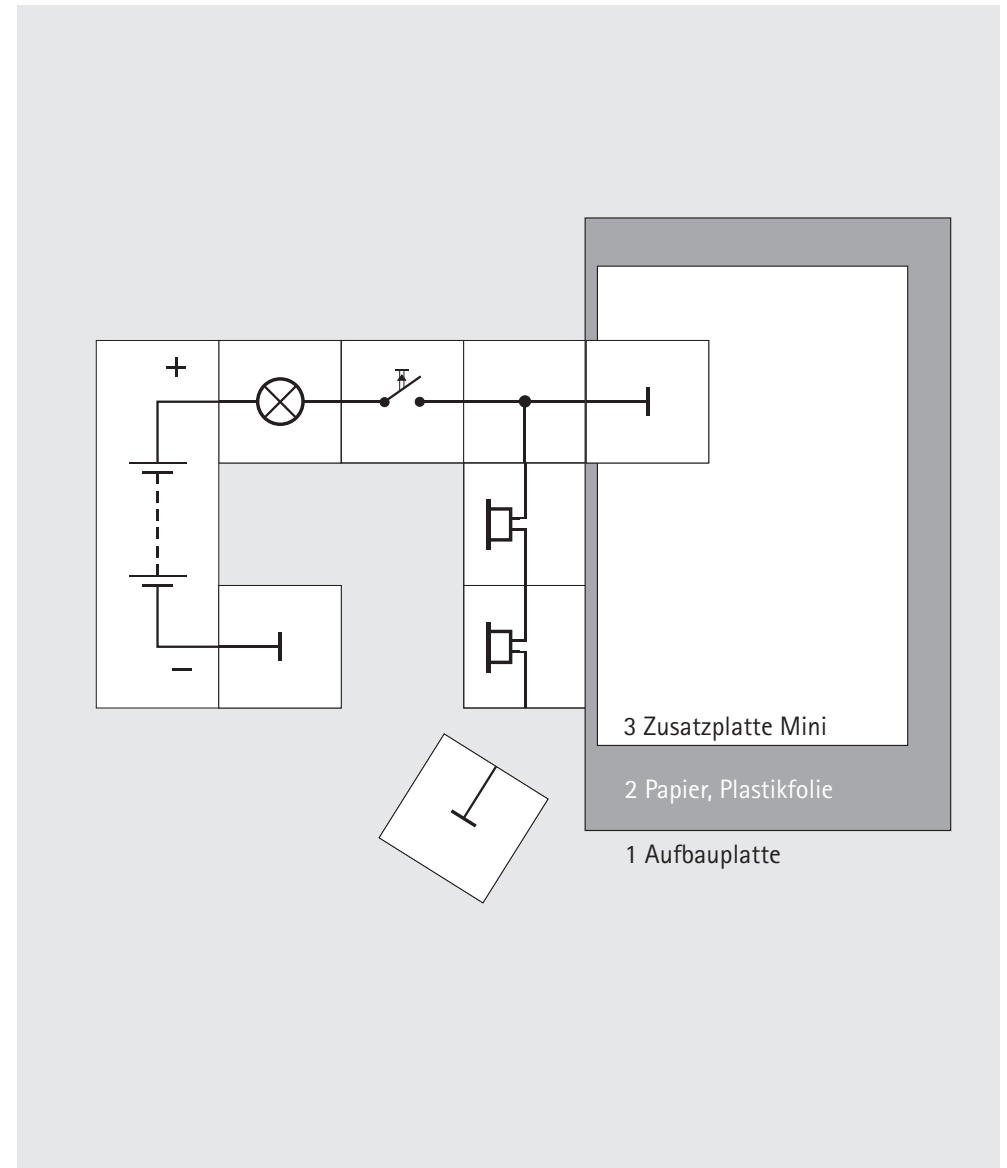
Jetzt können wir zwei Versuche ausführen:

a) Aufladen des selbstgebauten Kondensators.

Das geschieht durch Niederdrücken des Schalterknopfes. Jetzt fließen auf die obere Platte (3) viele Ladungsträger, von der unteren Kondensatorplatte fließen ebensoviel Ladungsträger ab zum Minuspol der Batterie.

b) Entladen des Selbstbaukondensators. Unter angestrengtem Horchen am Ohrhörer setzen wir den unten liegenden Massebaustein an den Ohrhörerbaustein. Ein ganz schwacher Knacklaut ist wahrnehmbar. Es sind von der oberen Kondensatorplatte durch die Ohrhörer Ladungsträger zur unteren Kondensatorplatte geströmt. Jetzt ist der Kondensator entladen. Bevor wir den Entladeversuch wiederholen können, müssen wir natürlich den kleinen Kondensator erst wieder aufladen.

Ein Kondensator besteht also aus zwei Platten mit isolierendem Material dazwischen.



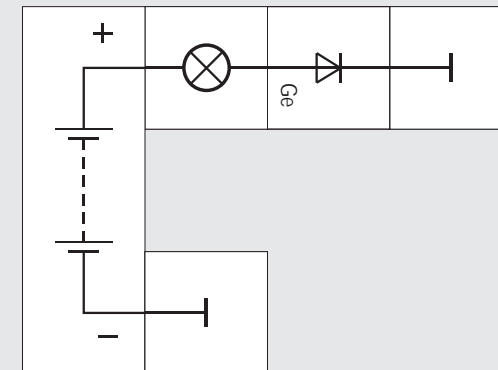
## Experiment 15

### Halbleiter in Durchlassrichtung

In den bisherigen Experimenten zur Leitfähigkeit verschiedenster Stoffe war von Materialien die Rede, die entweder einen Stromfluss ermöglichen (das sind die Leiter) oder die einen Strom sperren (Nichtleiter, Isolatoren). Es gibt jedoch noch eine dritte Gruppe, die sogenannten HALBLEITER. Die bekanntesten Vertreter sind die Elemente GERMANIUM und SILIZIUM. Deren Leitfähigkeit ist von ver-

schiedenen äußeren Bedingungen abhängig. Zunächst soll das Verhalten der im Experimentierkasten vorhandenen GERMANIUMDIODE untersucht werden. Das Germanium, aus dem die Diode aufgebaut ist, stellt ein besonderes Material dar, das durch entsprechende Behandlung die gewünschten Halbleiter - Eigenschaften erhält.

Wir bauen das einfache Experiment auf und sehen am Aufleuchten des Lämpchens, dass die Germaniumdiode den Strom gut leitet.

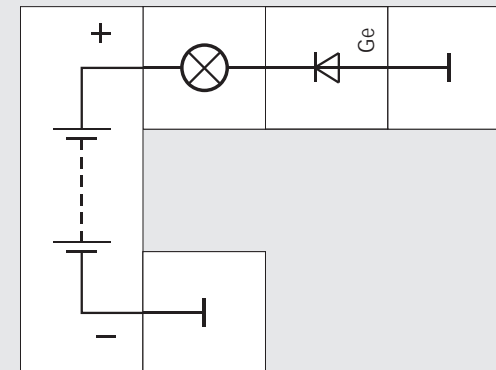


### Experiment 16

#### Halbleiter in Sperrrichtung

Wir bewegen nun den Halbleiterbaustein in unserem Experimentaufbau in einem Halbkreis um sich selbst, d. h. wir drehen ihn um 180°. Was geschieht? Das Lämpchen leuchtet nicht auf. In dieser

jetzt eingestellten Richtung kommt kein Stromfluss zustande: die Diode sperrt. Wir können ihr Verhalten mit dem eines Ventils, z. B. dem Luftventil eines Fahrradreifens vergleichen: Mit Hilfe einer Luftpumpe wird unter Druck Luft durch das Ventil in den Reifen gepresst. Die Luft bleibt im Reifen, weil sie das Ventil nicht in Gegenrichtung passieren kann.





### Experiment 17

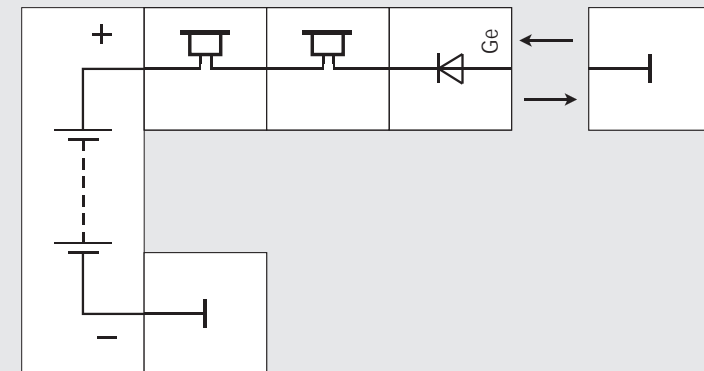
#### Sperrstrom der Germaniumdiode

In den beiden vorangegangenen Experimenten haben wir erkannt, dass die Diode eine Sperr- und eine Durchlassrichtung besitzt. Obwohl beim letzten Experiment die Glühlampe nicht leuchtet, ist noch nicht bewiesen, dass in Sperrrichtung keinerlei Strom durch den Diodenbaustein fließt.

Wir verwenden die Ohrhörer als Nach-

weisgerät für sehr schwache Ströme. Durch An- und Absetzen des Massebausteines an den Diodenbaustein wird der Stromkreis unterbrochen und geschlossen. Der leise Knacklaut zeigt das Fließen eines sehr geringen Sperrstromes an; dieser beträgt nur einige millionstel Amperes. (5 bis 10 Mikroampere  $5\mu\text{A}$  -  $10\mu\text{A}$ ). Eine Siliziumdiode sperrt noch besser; bei ihr würden wir nichts mehr hören.

Die Germaniumdiode ist also ein elektrisches Ventil, das auch in Sperrrichtung einen geringen Strom fließen lässt.





## Experiment 18

### Steuerung

Wir kennen nun schon einige wesentliche Bausteine mit ihren Funktionen, die in allen modernen elektronischen Schaltungen wirken.

Das wichtigste Bauteil und damit auch das technisch interessanteste ist jedoch der Transistor. Er ist ein steuerbarer Halbleiter.

Wir wissen bereits, dass wir durch einen Schalter einen Strom der Ladungsträger und damit einen Energiestrom ein- und ausschalten können. Das bedeutet nicht weniger, als dass wir mit relativ wenig Kraft eine große Maschine, z. B. einen elektrischen Motor mit sehr hoher Leistung, beeinflussen können. Dieser Motor läuft dann, nachdem wir ihn eingeschaltet haben, mit seiner vollen Kraft.

Nun setzen wir uns aber ins Auto. Hier haben wir eine Energiequelle (den Benzinvorrat) und einen Motor. Nehmen wir an, wir fahren mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h. Nun können wir durch einen leichten Druck auf das Gaspedal den Energiestrom zum Motor und damit auch die Geschwindigkeit des Autos erhöhen oder durch Nachlassen verringern. Wir beeinflussen also eine starke Maschine durch eine geringe Leistung (Druck auf das Gaspedal) in einem beliebigen Bereich und steuern somit ihre

Energieabgabe (Drehmoment). Unseren Elektromotor könnten wir nur ein- oder ausschalten. Unseren Automotor «steuern» wir, wie der Fachausdruck lautet, d.h., nach unserem Wunsch entfaltet er einen Teil seines Drehmoments oder sein volles Drehmoment. Wir können also von der Verstärkung eines Signals sprechen. Das Signal, also der leichte Druck oder das Nachlassen dieses Druckes auf das Gaspedal, löst einen erheblich stärkeren Leistungsunterschied aus.

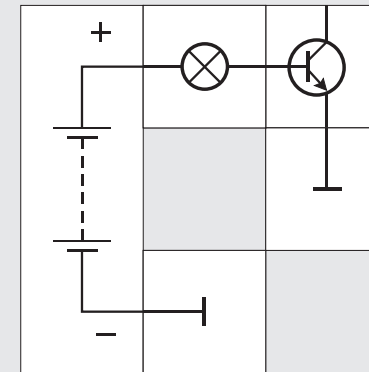
Man spricht im allgemeinen in der Elektronik von Verstärkern, obwohl dies eigentlich nicht zutrifft. Es werden auch in der Elektronik immer nur Leistungen umgesetzt oder gesteuert.

Untersuchen wir nun unseren Transistorbaustein und betrachten ihn dabei lediglich als steuerbaren Halbleiter.

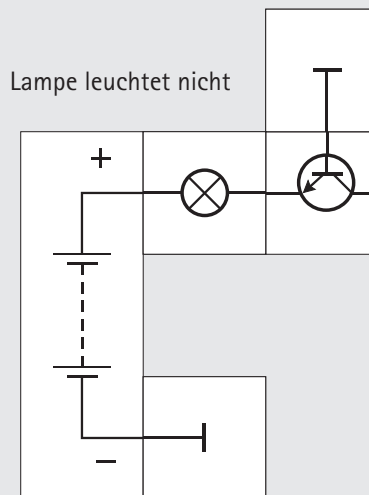
Wenn wir uns ein Ventil vorstellen, das nur in einer Richtung einen Energiefluss zulässt, dieses Ventil jedoch steuerbar ist, so ist leicht einzusehen, dass wir diesen Fluss auch in einer mittleren Größe halten können.

Schauen wir uns einen Transistorbaustein etwas genauer an, so erkennen wir an dem Schaltungssymbol einen Pfeil, den wir in ähnlicher Form bereits von der Diode kennen; und tatsächlich handelt es sich hier um eine solche, wie wir im Experiment mit der Glühlampe leicht nachweisen können.

Lampe leuchtet



Lampe leuchtet nicht





## Experiment 19

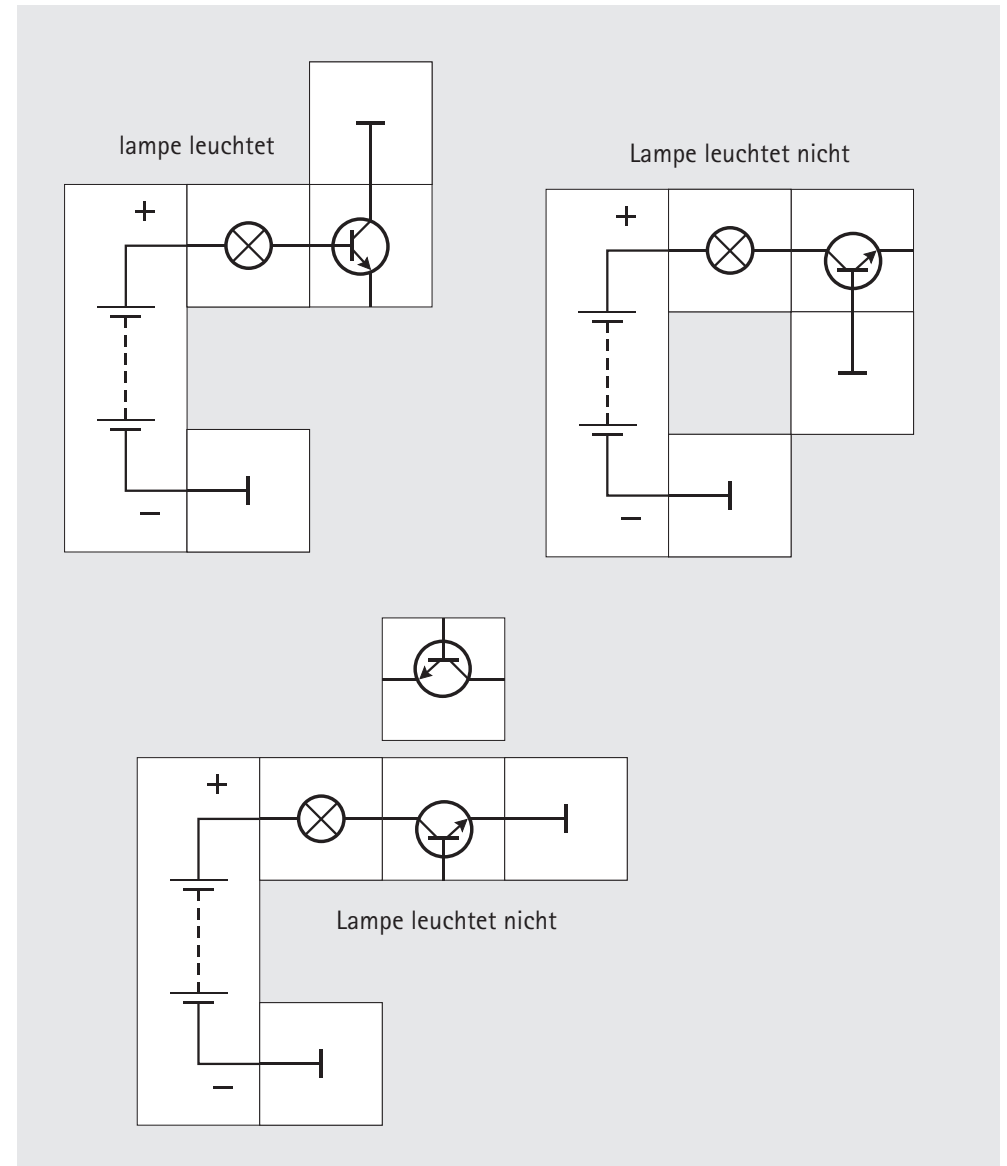
### Aufbau des Transistors

Der Transistor hat noch einen dritten Anschluss, der nicht mit einem Pfeil versehen ist. Trotzdem können wir zwischen diesem Anschluss und dem Anschluss mit dem dicken Balken ebenfalls ein Diodenverhalten nachweisen: In der einen Richtung angeschlossen leuchtet die Lampe, in der anderen nicht.

Tatsächlich kann man sich den Transistor aus zwei Dioden zusammengesetzt vorstellen. Die drei Anschlüsse des Transistors heißen EMITTER (mit Pfeil), BASIS (di-

cker Balken) und KOLLEKTOR. Es gibt demnach eine Basis - Emitter - Diode und eine Basis - Kollektor - Diode, die gegeneinander geschaltet sind. Zwischen Emitter und Kollektor (bei offenem Basisanschluss) darf der Transistor also in beiden Richtungen nicht durchlässig sein, das Lämpchen muss dunkel bleiben. Sollte das wider Erwarten nicht der Fall sein, ist der Transistor defekt und für unsere Experimente nicht mehr zu gebrauchen.

Unser Transistormodell aus zwei Dioden gibt allerdings das Verhalten nur unzureichend wieder. Im nächsten Experiment werden wir sehen, wie wir mit diesem wichtigen Bauteil der Elektronik einen Strom steuern können.





## Experiment 20

### Der Transistor im Stromkreis

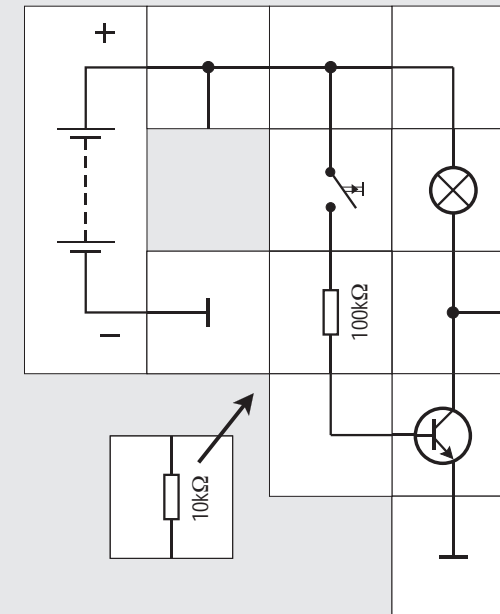
Wenn wir unsere Schaltung aufgebaut haben, wird es uns wahrscheinlich nicht sehr wundern, dass bei nicht betätigtem Schalter die Lampe dunkel bleibt; wir konnten im vorigen Experiment keinen Stromfluss zwischen Kollektor und Emitter feststellen, wenn die Basis nicht angeschlossen ist.

Betätigen wir jedoch den Schalter, so leuchtet bei frischer Batterie das Glühlämpchen sehr schwach. Das bedeutet, unser Transistor befindet sich in einem Zustand, in dem ein geringer Stromfluss zwischen Kollektor und Emitter möglich ist, wenn wir in die Basis einen geringen Strom (über den  $100\text{ k}\Omega$  Widerstand) hinein schicken. Öffnen wir den Schalter, erlischt das Lämpchen. Wir können also of-

fensichtlich mit einem sehr geringen Basisstrom den Stromfluss zwischen Kollektor und Emitter steuern.

Unsere Vermutung prüfen wir nach, indem wir den  $100\text{ k}\Omega$  Widerstand durch einen zehnmal kleineren, nämlich durch den  $10\text{ k}\Omega$  Widerstand ersetzen: Beim Betätigen des Schalters leuchtet das Glühlämpchen hell auf, die Kollektor - Emitter -Strecke des Transistors leitet bei jetzt vergrößertem Basisstrom sehr gut. Bei einer reinen Reihenschaltung von  $10\text{ k}\Omega$  Widerstand und Lämpchen (ohne den Transistor) bleibt das Lämpchen dunkel.

Mit Hilfe des Transistors können wir also durch einen relativ kleinen Basisstrom den ungleich größeren Strom über Kollektor und Emitter nicht nur an- und abschalten, sondern auch in den Zwischenbereich steuern.



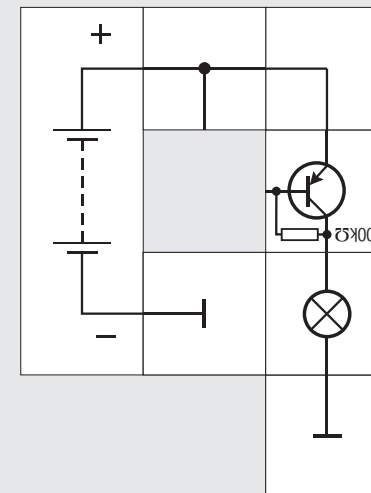
## Experiment 21

## nnp und pnp Transistoren

Wir kennen jetzt einen Transistor, bei dem die Basis - Emitter - und die Basis - Kollektor - Diode mit ihren Anoden (an der Basis) verbunden sind. Der Fachausdruck hierfür ist NPN TRANSISTOR. Man kann die beiden Dioden auch mit ihren Kathoden verbinden und erhält dann einen PNP TRANSISTOR. Sein Schaltbild unterscheidet sich von dem des ersteren dadurch, dass der Emitterpfeil zur Basis hin zeigt. Basisstrom und Kollektorstrom fließen also aus dem Transistor heraus, woraus folgt, dass der Emitter dieses Transistors auf höherem Potential liegen muss.

Im Einsteiger - System gibt es einen solchen Transistorbaustein, der außer dem eigentlichen Transistor noch einen  $100\text{ k}\Omega$  Widerstand zwischen Basis und Kollektor enthält. Dieser Widerstand dient dazu, dass bei offenem Basisanschluss bereits hierdurch Basisstrom fließen kann und der Transistor in einen Bereich gesteuert wird, in dem er schon ein wenig leitet. Wir sparen dadurch zwei T-Stücke und einen externen Widerstandsbaustein.

In unserer aufgebauten Schaltung wird das Lämpchen nur (schwach) leuchten, wenn die Batterie frisch ist: Unser Transistor befindet sich tatsächlich in einem Zustand, in dem nur ein geringer Stromfluss vom Emitter zum Kollektor möglich ist.



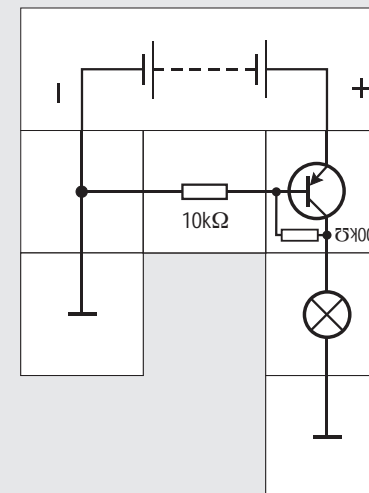
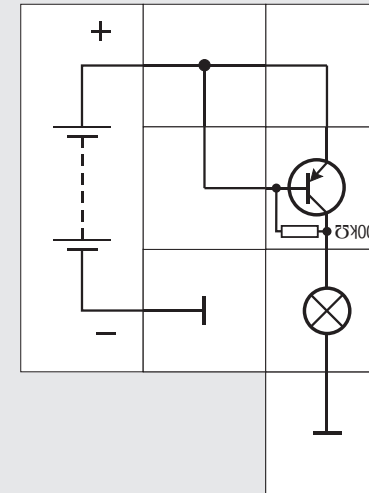
## Experiment 22

## Steuerung des pnp Transistors

Trotz des intern bereits vorhandenen  $100\text{ k}\Omega$  Widerstands lässt sich der pnp Transistor auch richtig sperren: Wir müssen nur seine Basis mit dem Emitter verbinden, dann fließt kein Basisstrom und damit auch kein Kollektorstrom mehr,

das Lämpchen verlöscht (oberes Bild). Auf diese Weise lässt sich ein Transistor, ganz gleich ob pnp oder npn, grundsätzlich sperren.

Sorgen wir mit einem  $10\text{ k}\Omega$  Widerstand dafür, dass ein größerer Basisstrom fließen kann, wird die Emitter - Kollektor - Strecke des Transistors gut leitend und das Lämpchen leuchtet hell auf (unteres Bild).



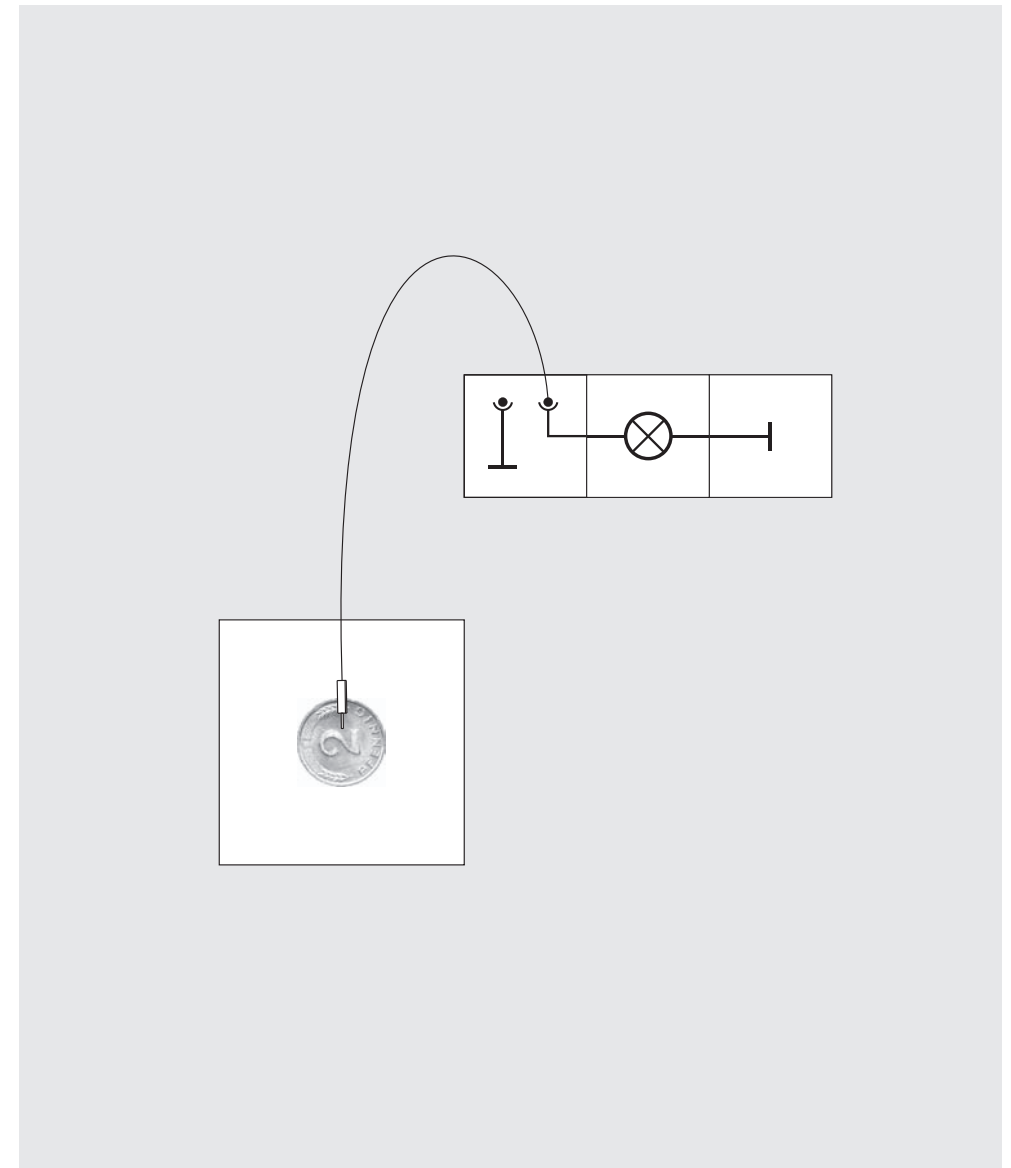
### Experiment 23

#### Eine einfache Stromquelle

Wir können uns leicht eine kleine, allerdings sehr schwache elektrische Stromquelle aufbauen. Dazu brauchen wir eine Kupfermünze (z. B. ein altes 2 - Pfennig - Stück), ein Stückchen Löschpapier oder Papiertaschentuch ca.  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ , das wir in eine dichte Kochsalzlösung tauchen.

Dieses Papier legen wir auf unsere Aufbauplatte und darauf die Münze.

Über den Steckbaustein, das Lämpchen und den Massebaustein bauen wir einen zunächst offenen Stromkreis auf. Durch ein Stückchen Draht berühren wir nun die Kupfermünze. Aus dem kleinen elektrischen Element fließt wohl etwas Energie, diese reicht jedoch nicht aus, um das Glühlämpchen zum Leuchten zu bringen.





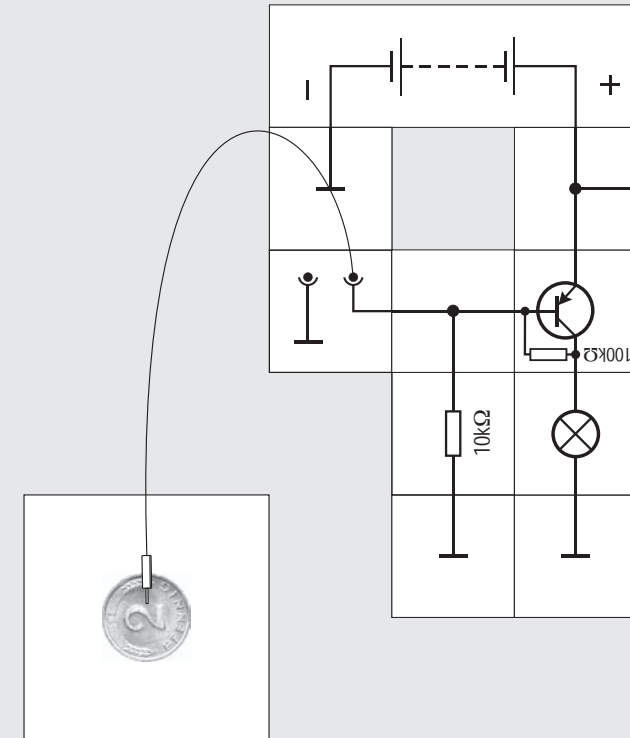
**Experiment 24****Steuerbarkeit des Transistors**

Nun bauen wir wieder unser Experiment 22 auf, setzen aber an die Basis des Transistors den Steckbaustein. Das Lämpchen leuchtet auf, und zwar durch die Energie, die wir unserem Batteriebaustein entnehmen. Gesteuert wird der Transistor mit dem Basisstrom durch den  $10\text{ k}\Omega$  Widerstand. Berühren wir nun mit dem Anschlussdraht die Münze, so erlischt das Lämpchen. Die geringe Kraft unserer Kleinstbatterie lässt einen Strom fließen, dessen Richtung entge-

gegengesetzt zum Basisstrom ist und diesen deswegen schwächt. Der Transistor verstärkt diese Wirkung und sein Kollektorstrom wird so klein, dass das Lämpchen nicht mehr leuchtet. Wenn unsere Kleinstbatterie erschöpft ist, beginnt das Lämpchen wieder zu leuchten.

Entfernen wir den Kontakt, so erholt sich die Kleinstbatterie, und wir können den Vorgang von neuem beobachten.

Die Erkenntnis daraus: Mit einem Transistor können wir ein schwaches Signal so verstärken, dass eine Wirkung erkennbar wird.



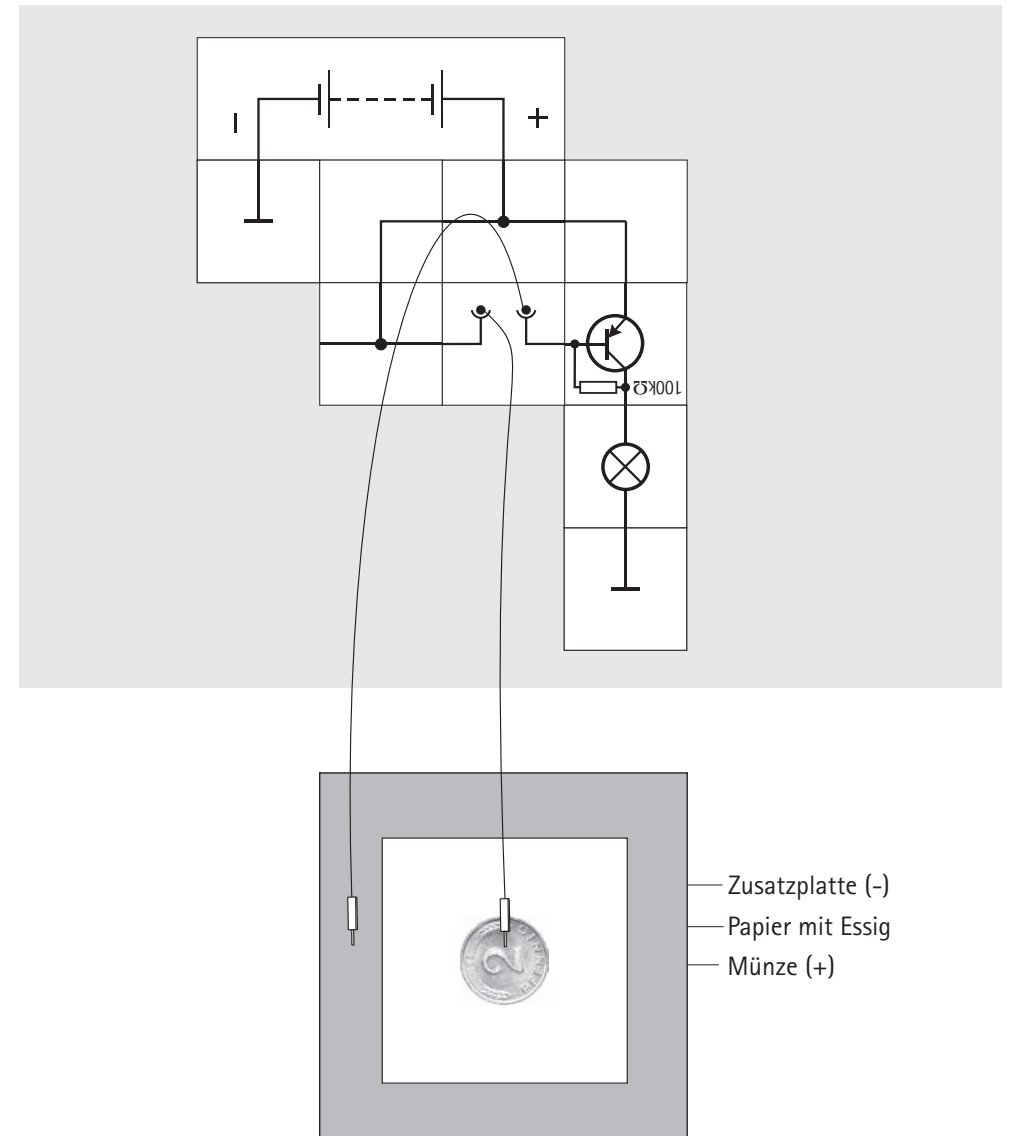


## Experiment 25

## Eine verbesserte Kleinstbatterie

Wir können unsere Kleinstbatterie noch verbessern: Als Unterlage dient jetzt die Zusatzplatte, darauf legen wir wieder ein Papierstück (Löschblatt, Papiertaschentuch) das wir mit etwas Essig beträufeln. Obendrauf kommt die Münze. Jetzt bildet die Zusatzplatte den Minus-

pol und die Münze den Pluspol der kleinen Batterie. Schließen wir sie nach der Zeichnung an den Transistor an, so leuchtet die Glühlampe auf. Schließen wir die Batterie umgekehrt gepolt an die Basis an, so leuchtet die Lampe nicht. Die Basis des Transistors muss also mit dem negativen Pol der Batterie verbunden sein, wenn die Glühlampe leuchten soll. Der 10 kΩ Widerstand ist nicht mehr erforderlich.



## Experiment 26

## Transistorsteuerung durch Basisstrom

Mit Hilfe unserer Transistoren sind wir in der Lage, kleine (Basis-) Ströme so zu verstärken, dass wir seine winzigen Veränderungen an den weitaus größeren Änderungen des Kollektorstromes erkennen können.

Wir lassen den Basisstrom durch den Widerstand  $10\text{ k}\Omega$ , durch einen Wassertropfen und durch den Ohrhörer fließen.

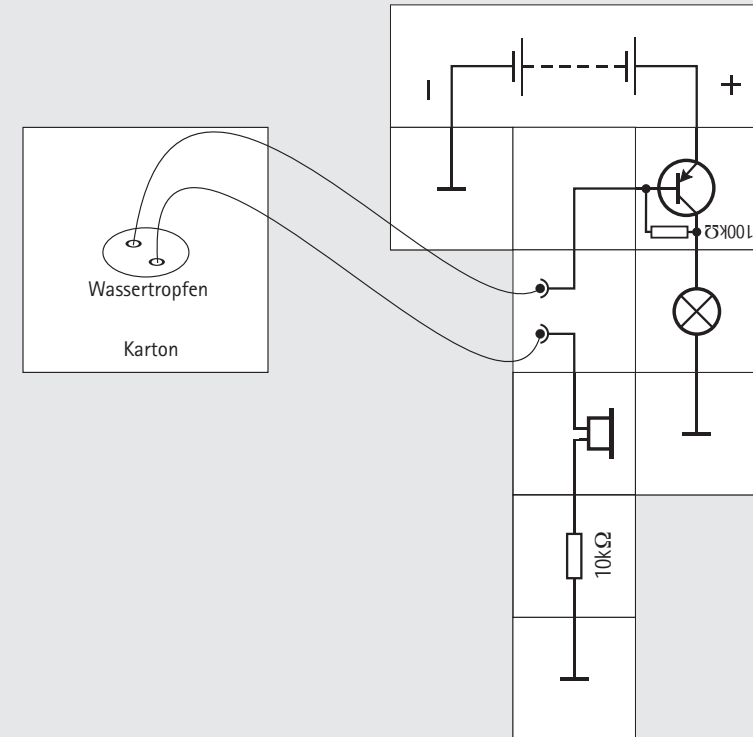
Steckt man die blanken Drahtenden nahe beieinander in den Wassertropfen, hört man im Ohrhörer ein Knacken,

womit das Fließen des Basisstromes angezeigt wird. Sind die Drahtenden einander sehr nahe, so ist der Basisstrom recht stark, und die Glühlampe im Kollektorstromkreis leuchtet auf.

Vergrößern wir den Abstand der Drahtenden, so vergrößert sich auch der im Basiskreis liegende Widerstand. Der Basisstrom wird schwächer, der Kollektorstrom wird ebenfalls schwächer, und die Glühlampenhelligkeit lässt nach.

Statt des Wassertropfens kann man auch einen Eierbecher voll Wasser mit einigen Körnchen Salz darin verwenden.

Wir sehen, dass sich durch Einstellen des Basisstromes die Stromstärke des Kollektorstromes steuern lässt.





## Experiment 27

## Ansteuerung des npn Transistors

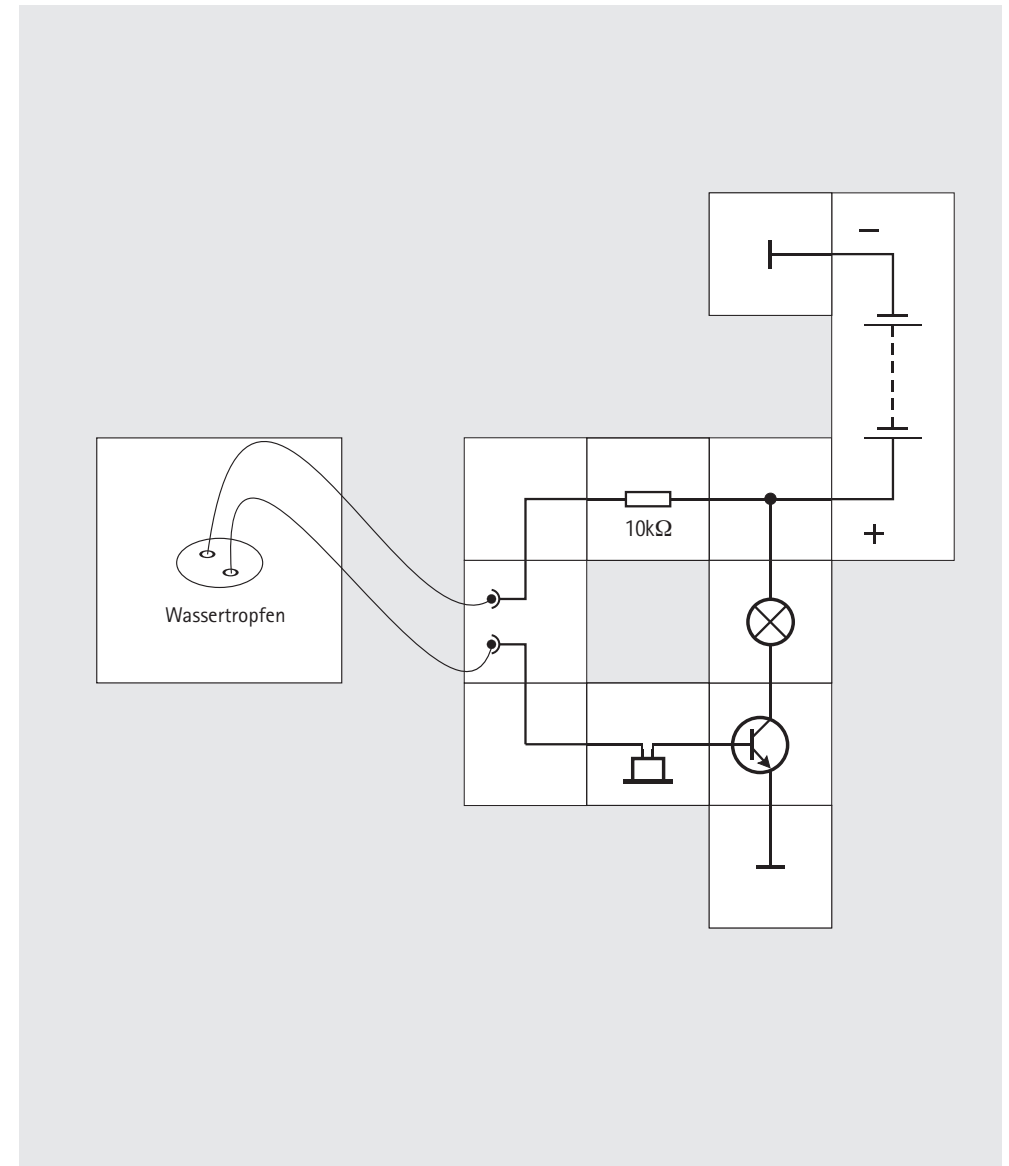
Die Schaltung des letzten Versuchs lässt sich auch mit dem npn Transistor ausführen; es ist lediglich zu beachten, dass der Basisstrom von der Basis zum Emittter (in Emittterpfeilrichtung) fließt und entsprechend fließt der Kollektorstrom vom Kollektor zum Emittter.

Grundsätzlich liegt bei Verwendung von npn Transistoren deren Emittter auf dem tiefsten Potential der Schaltung (Masse) und bei Verwendung von pnp Transistoren deren Emittter auf dem höchsten Potential (Versorgungsspannung).

Als die ersten Transistorschaltungen aufkamen, gab es zunächst nur pnp Transistoren aus dem Halbleitermaterial Germanium. Später kamen zusätzlich die schwieriger herzustellenden npn Transistoren auf den Markt, bis das Halbleitermaterial Silizium mit npn und pnp Transistoren die »Germanium - Ära« beendete.

Wenn man eine Schaltung nur mit pnp Transistoren aufbaut, bietet es sich an, den Pluspol der Versorgungsspannung an Masse zu legen, da alle Emittter dann auf diesem Bezugspotential liegen. Man arbeitet dann mit negativen Versorgungsspannungen. Wir wollen bei unseren Experimenten - wie heute üblich - den Minuspol an Masse (Aufbauplatte) legen.

Die Dioden aus Germanium und Silizium unterscheiden sich vor allen Dingen in der sogenannten Flussspannung; das ist die Spannung, die mindestens zwischen Anode und Katode liegen muss, damit ein merklicher Strom fließt. Für Germanium beträgt sie 0,2 V, für Silizium 0,7 V. Das gilt nicht nur für die Dioden, sondern auch für die Basis - Emittter -Dioden der Transistoren. Die Versuche mit unserer selbstgebauten Kleinstbatterie gelingen mit dem npn Silizium Transistor nicht, weil die von der Batterie erzeugte Spannung nur circa 0,2 bis 0,3 V beträgt. Der pnp Germanium Transistor kann damit bereits in den gut leitenden Zustand gebracht werden.



## Experiment 28

### Der menschliche Körper im Stromkreis

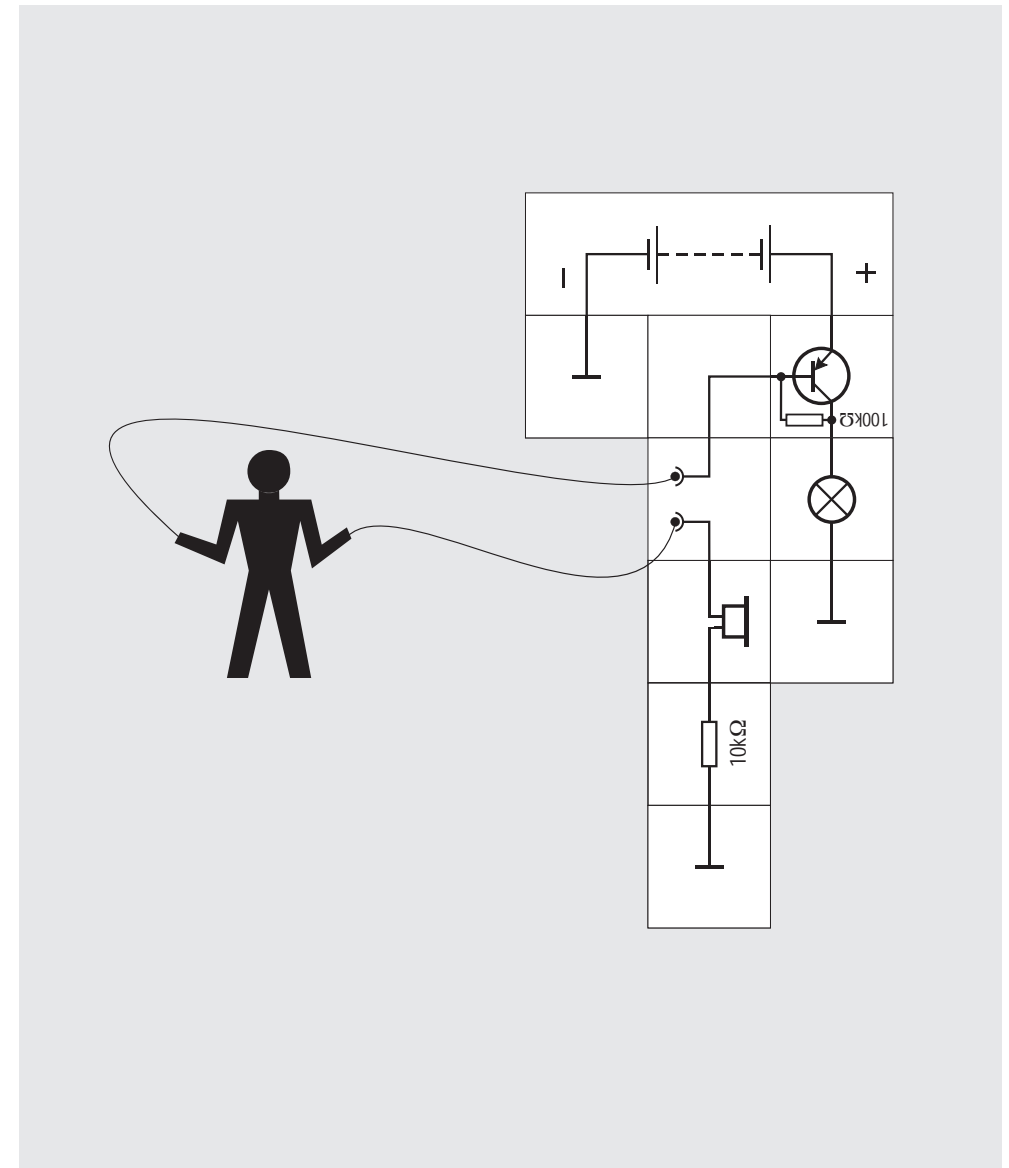
Das Fließen des elektrischen Stromes durch unseren Körper kann eine tödliche Gefahr darstellen. Dieser Versuch ist aber ganz ungefährlich, da unsere Batterie nur eine Spannung von 9 V hat. Gefährlich für uns sind Spannungen über 24 V. Mit ihnen dürfen auf keinen Fall Experimente dieser Art durchgeführt werden.

Schalten wir unseren Körper mit trockenen Fingern in den Basisstromkreis ein, so wird die Glühlampe höchstens etwas glimmen.

Fassen wir die Drahtenden aber mit feuchten Fingern an, so fließt ein stärkerer Strom zur Basis des Transistors, und die Glühlampe im Kollektorkreis leuchtet recht hell auf.

Wir sehen, dass unser Körper mit feuchten Fingern den Strom erheblich besser leitet, als wenn die Haut trocken ist. Berührt man beide Drahtenden statt mit den Händen mit der Zunge, so leuchtet die Lampe noch heller auf.

Statt des menschlichen Körpers kann man übrigens auch den aus Experiment 7 bekannten Graphitstrich in den Stromkreis einschalten und damit die Stärke des Basisstromes einstellen. Als Folge davon leuchtet die Glühlampe dann mehr oder minder stark.



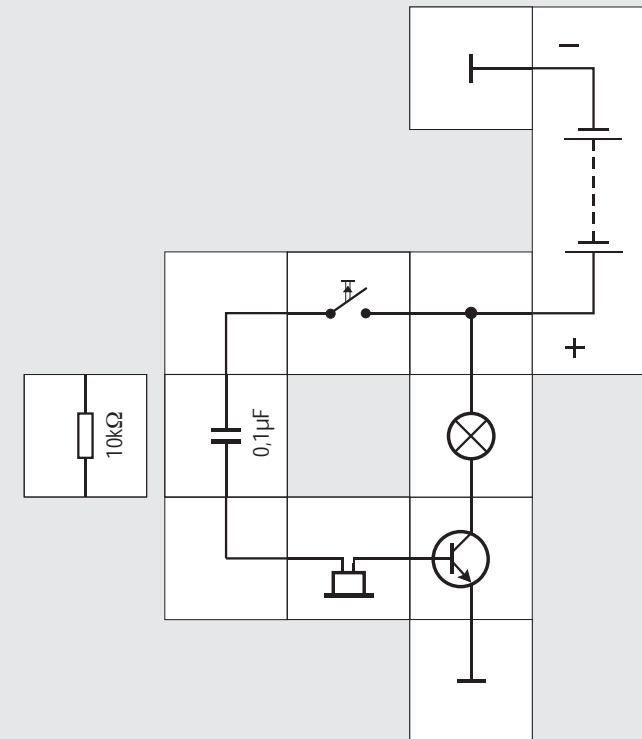
## Experiment 29

### Kondensator im Basiskreis

Bereits in Experiment 10 haben wir erkannt, dass der Kondensator eine Sperre im Gleichstromkreis darstellt. Das zeigt sich auch in diesem Versuch: Betätigen wir den Schalter, so leuchtet die Glühlampe nicht. Der Kondensator sperrt den Fluss des Basisstromes und damit kann auch kein Kollektorstrom fließen; die Glühlampe bleibt dunkel. Wir hören allenfalls im Ohrhörer einen kleinen Knacks, der vom Ladestrom des Kondensators herrührt.

Fügt man dagegen an Stelle des Kondensators den Widerstandsbaustein  $10\text{ k}\Omega$  in den Stromkreis ein, so kann nach Niederdrücken des Schalterknopfes der Basisstrom fließen, und die Glühlampe am Kollektoranschluss leuchtet hell auf.

Der Kondensator verhindert das Fließen des Basisstromes, der Widerstand dagegen nicht. Wir wissen allerdings, dass sich der Kondensator laden und entladen lässt und diese schwachen Ströme wollen wir im nächsten Experiment sichtbar machen.



## Experiment 30

## Ladestrom des Kondensators

Für das Experiment verwenden wir den pnp Transistorbaustein mit eingebautem  $100\text{ k}\Omega$  Widerstand. In Experiment 29 hörten wir das kurzzeitige Fließen des Aufladestromes eines Kondensators als Knacklaut im Ohrhörer.

Jetzt wollen wir sehen, dass der Aufladestrom ausreicht, die Glühlampenhelligkeit zu beeinflussen.

- Batteriebaustein ansetzen.
- Warten, bis der Glühfaden der Lampe sichtbar leuchtet.
- Schalterknopf niederdrücken. Jetzt flammt der Glühfaden ein wenig heller

auf. Ursache ist der Aufladestrom des Kondensators.

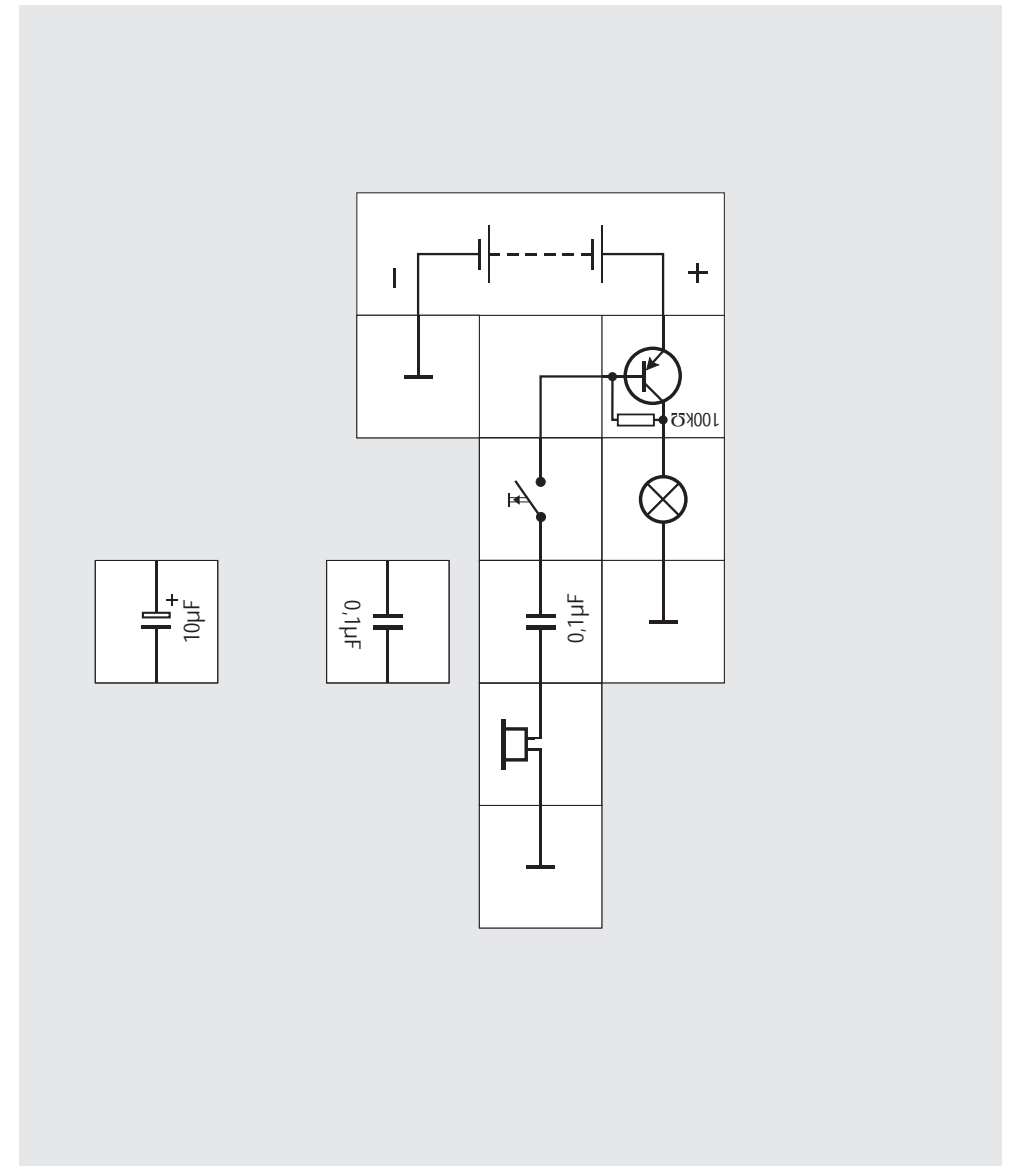
d) Schalter nochmals betätigen. Die Glühlampenhelligkeit ändert sich nicht, weil der Kondensator bereits geladen ist.

e) Batterie absetzen, damit die Lampenhelligkeit nicht zu groß wird.

f) Kondensatorbaustein umgekehrt gepolt anschließen. Beim Betätigen des Schalters wird der Kondensator entladen und wieder aufgeladen.

g) wie a).

Verwenden wir unseren  $10\mu\text{F}$  Kondensator, ist der Effekt natürlich weitaus deutlicher. Allerdings dürfen wir nur die Punkte a) bis e) ausführen. Der Kondensator muss dann aus der Schaltung genommen und durch eine leitende Verbindung seiner Anschlüsse entladen werden, ehe man den Versuch wiederholt. Auf richtige Polung ist zu achten.



## Experiment 31

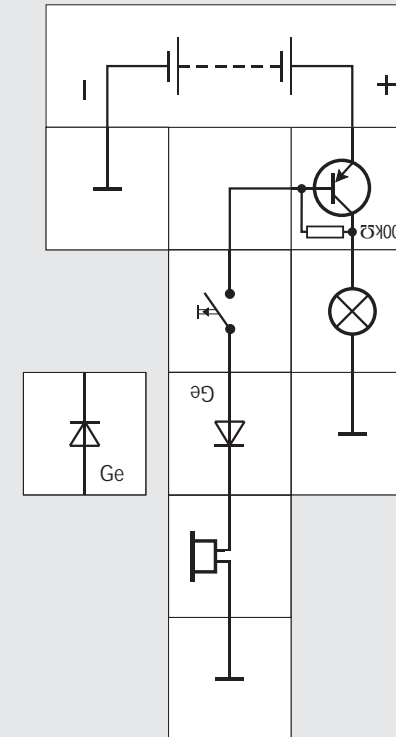
## Diode im Basiskreis

Experiment 17 zeigte uns, dass wir mit dem Ohrhörer den geringen Sperrstrom einer Germaniumdiode nachweisen konnten. Wir wollen diesen Sperrstrom nun als Basisstrom eines Transistors verwenden und verstärken.

Zuerst wird die Diode in Durchlassrich-

tung in den Basisstromkreis eingebaut, Das Schaltsymbol der Halbleiterdiode zeigt die Durchlassrichtung an. Die Glühlampe im Kollektorkreis leuchtet auf.

In Gegenrichtung fließt nur der bereits nachgewiesene Sperrstrom. Allerdings leuchtet die Lampe trotz der Stromverstärkung des Transistors nicht auf. Damit werden die Ventilwirkung der Diode und die geringe Größe des Sperrstroms deutlich.





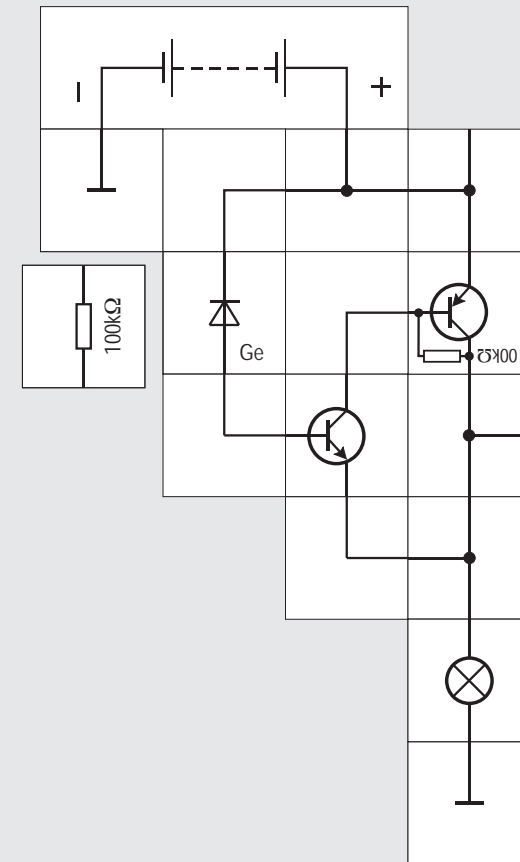
## Experiment 32

## Ein sehr empfindlicher Stromnachweis

Wir können den kleinen Sperrstrom der Germaniumdiode anzeigen, wenn wir ihn nicht nur einmal verstärken, sondern in einer zweiten Transistorstufe ein weiteres Mal. Der Kollektorstrom des ersten Transistors ist gleich dem Basisstrom des zweiten. Die aufgebaute Anordnung heißt DARLINGTONSCHALTUNG und da sie aus einem npn und einem pnp Transistor besteht, KOMPLEMENTÄR - DARLINGTONSCHALTUNG. Die Gesamtstromverstärkung ist gleich dem Produkt aus den Einzelstromverstärkungen der Transistoren; wir können also Verstärkungsfaktoren von 10000 bis 60000 erwarten.

Nach dem Anlegen der Batterie leuchtet die Glühlampe hell auf. Dass tatsächlich der verstärkte Sperrstrom der Diode die Ursache dafür ist, erkennen wir, wenn wir die Diode entfernen. Dann glimmt die Glühlampe nur noch, weil der  $100\text{ k}\Omega$  Widerstand des pnp Transistors dafür sorgt, dass dieser Transistor ein wenig leitet. Der npn Transistor ist wegen der fehlenden Ansteuerung gesperrt.

Vergleichsweise können wir statt der Diode den  $100\text{ k}\Omega$  Widerstand in die Schaltung einbauen. Wir wissen aus einem früheren Experiment, dass bei einer einstufigen Verstärkung der verstärkte Basisstrom nicht ausreichte die Glühlampe zum hellen Leuchten zu bringen. In dieser zweistufigen Anordnung ist das kein Problem mehr.

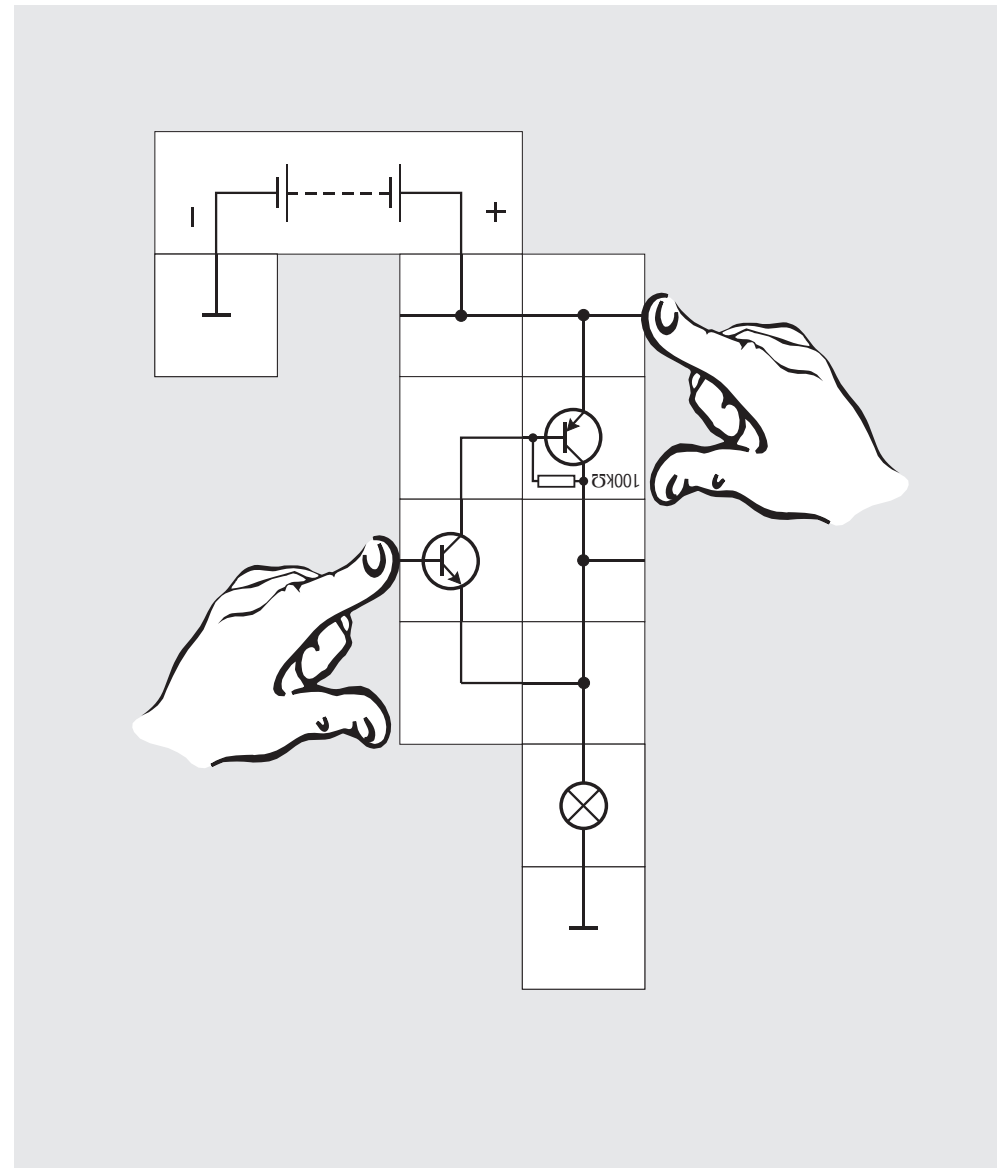


## Experiment 33

## Leitfähigkeit des Körpers

Das Experiment 28 können wir mit dieser Schaltung noch einmal ausführen. Wir

werden sehen, dass wir selbst mit trockenen Fingern die Glühlampe zum Leuchten bringen. Darüber hinaus ist es möglich, durch mehr oder weniger sanften Druck auf die Kontaktplättchen die Helligkeit der Lampe zu steuern.

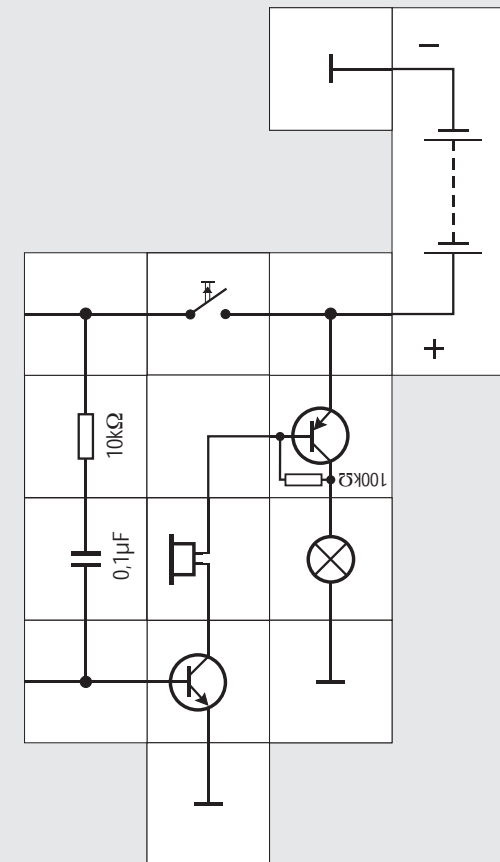


## Experiment 34

## Verstärkung des Kondensatorladestroms

Auch der sehr kleine Ladestrom des Kondensators aus Experiment 34 lässt sich mit der Darlingtonschaltung eindrucksvoll verstärken. Als Ladewiderstand wählen wir den  $10\text{ k}\Omega$  Vorwiderstand, der

Ohrhörer dient zum Schließen der Baulücke. Betätigen wir die Taste, leuchtet die Glühlampe hell auf und wird langsam dunkler. Die Helligkeit ist ein Maß für den Ladestrom; wir erkennen, dass er nicht konstant ist, sondern mit einem gewissen Wert anfängt und auf Null abfällt. Durch Drehen des Kondensators in der Schaltung um  $180^\circ$  und erneuter Tastenbetätigung können wir den Kondensator entladen und wiederaufladen.



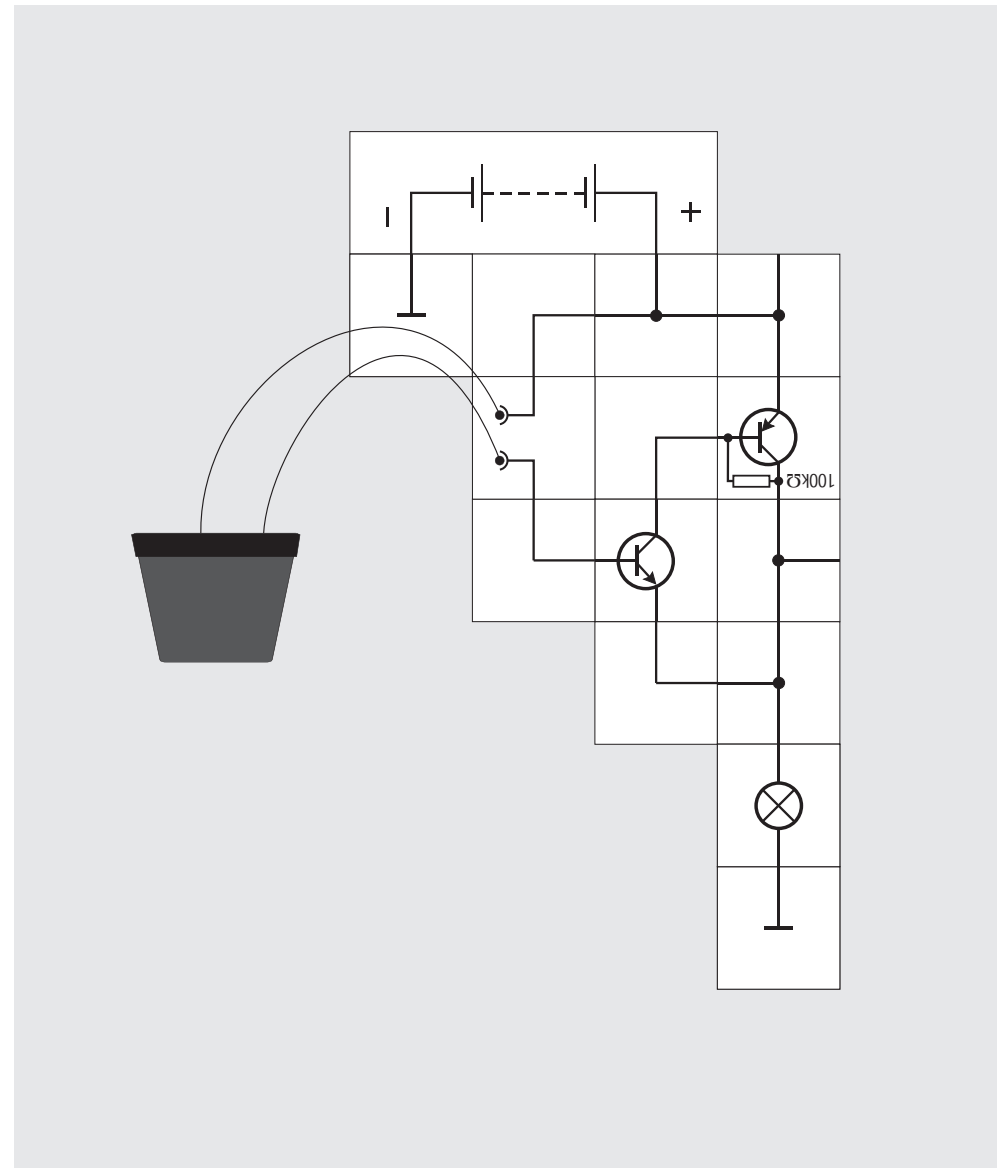
## Experiment 35

## Ein Feuchtigkeitsmesser

Die Darlingtonschaltung eignet sich auch sehr gut dafür, die Feuchtigkeit z. B. von Blumentopferde zu messen. Wir ersetzen in der Schaltung das bisher zu prüfende Bauteil durch den Trennbaustein und führen die beiden Drähte in den Blumentopf. Solange die Lampe leuchtet, ist die Feuchtigkeit ausreichend; bei tro-

ckener Erde ist ihre Leitfähigkeit herabgesetzt und die Lampe glimmt nur noch. Jetzt wird es Zeit, die Pflanze zu gießen.

Denkbar ist auch, auf ähnliche Weise eine Regenwarnanlage zu bauen. Die beiden Drahtenden führen dazu auf ein Stück Löschpapier oder auf ein Papiertaschentuch, das der Witterung ausgesetzt wird. Fängt es an zu regnen, wird das Papier nass, leitet besser als vorher und schaltet die Glühlampe ein.



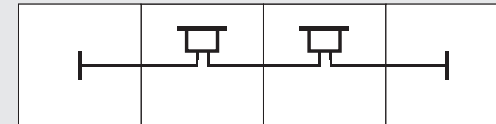


### Experiment 36

#### Ohrhörer als Mikrofon

Wir fügen die Anschlussbausteine der beiden Ohrhörer auf der Aufbauplatte aneinander und schalten diese in Reihe durch den beiderseitigen Abschluss mit den Massebausteinen. Bei diesem Ex-

periment verwenden wir zwei völlig gleiche Ohrhörer. Wenn wir nun den einen als Mikrofon benutzten Hörer lautstark beschallen (z. B. mit dem Fingernagel dagegen klopfen oder über die Öffnung pusten), so ist nur eine sehr leise Wiedergabe im anderen vernehmbar. Mit Transistorverstärkung geht das viel besser.

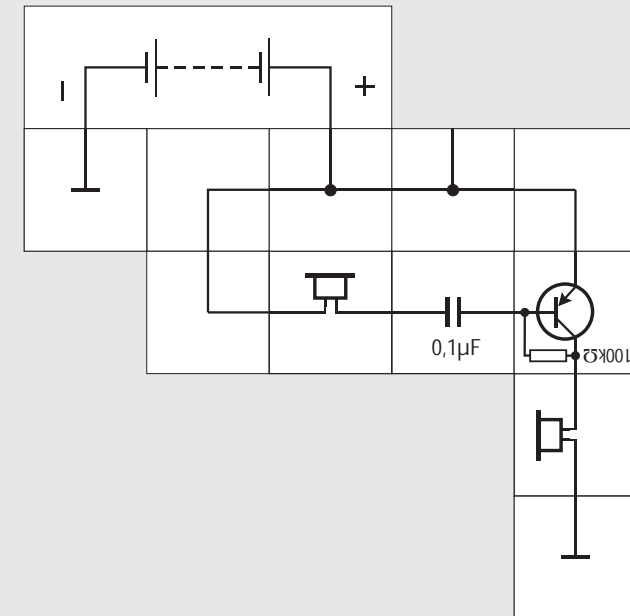


### Experiment 37

#### Transistor als Mikrofonverstärker

Wir bauen eine einstufige Verstärkerschaltung auf. An die Basis legen wir den als Mikrofon verwendeten Ohrhörerbaustein in Reihe mit dem Kondensator; in den Kollektorkreis des Transistors den

zweiten Ohrhörer als »Lautsprecher«. Jetzt ist die Wiedergabe erheblich verstärkt. Konnten wir im vorherigen Experiment beide Hörer sowohl als Mikrofon wie auch als Hörer benutzen, so sind sie jetzt nicht mehr gleichberechtigt: Klopfen oder Kratzen am Hörer in der Kollektorleitung hat keine Wirkung auf den Hörer in der Basisleitung.



## Experiment 38

## Der Koppelkondensator

Wir wollen nun noch klären, warum wir in Reihe zum Mikrofon einen Kondensator geschaltet haben. Dafür lassen wir ihn einfach weg und müssen feststellen, dass die Schaltung dann nicht mehr funktioniert. Wie kommt das?

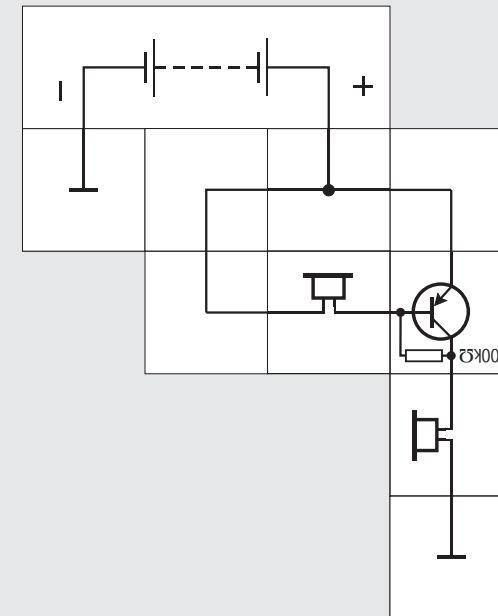
Im Experiment 5 fanden wir heraus, dass der Ohrhörer nur auf Wechselspannung anspricht; das gilt gleichermaßen, wenn wir ihn in umgekehrter Richtung als Mikrofon (Schall - elektrisches Signal - Wandler) einsetzen. Die Experimente 12 und 13 zeigten uns, dass ein Kondensator für Wechselspannung durchlässig ist, für Gleichspannung dagegen nicht.

Außerdem wissen wir bereits, dass der  $100\text{ k}\Omega$  Basis - Kollektor -Widerstand im Transistorbaustein den Transistor in einen »Arbeitsbereich« bringt, bei dem er nicht sperrt, aber auch nicht gut leitet, sondern in einem Zwischenbereich arbeitet. Änderungen des Basisstroms wirken sich hier sehr stark (100-fach und

mehr) als Änderungen des Kollektorstroms aus.

Lassen wir den Kondensator nun weg, so wird die Basis über den Spulenwiderstand des Ohrhörers (er beträgt einige Hundert Ohm) an die Versorgungsspannung gelegt. Dadurch verschiebt sich das Potential an der Basis des Transistors in einer Weise, dass er nahezu sperrt. Sein Arbeitspunkt hat sich verändert und der schwache Wechselstrom vom Mikrofon ist kaum noch in der Lage, den Transistor auch nur annähernd in den leitenden Bereich zu bringen. Wir können die vom Mikrofon aufgenommenen Geräusche kaum noch am »Lautsprecher« hören.

Mit Hilfe des Kondensators können wir nun Gleich- und Wechselspannungen voneinander trennen: Er verhindert einerseits, dass sich über den Spulenwiderstand der eingestellte Arbeitspunkt verschiebt; andererseits lässt er den schwachen Wechselstrom des Mikrophons durch, er koppelt das Mikrofon an die Basis und wird deshalb als KOPPELKONDENSATOR bezeichnet.



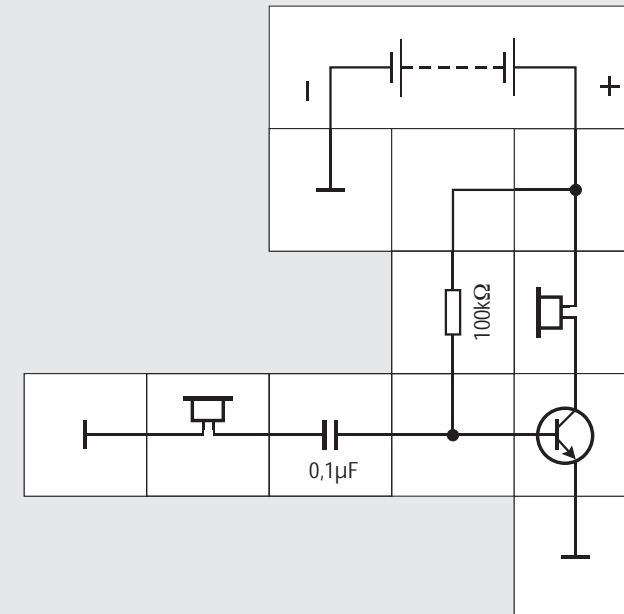
## Experiment 39

## Verstärker mit npn Transistor

Ganz besonders deutlich werden die Wirkung von Koppelkondensator und Basis - Kollektor - Widerstand, wenn wir einen Verstärker mit dem Siliziumtransistor aufbauen. Damit über seine Basis - Emitter - Diode überhaupt Basisstrom fließt, müssen mindestens 0,7 V überschritten werden. Wir bringen den Transistor mit einem externen 100 k $\Omega$  Basis - Kollektor

- Widerstand in den passenden Arbeitsbereich und koppeln das Mikrophon über den 0,1 $\mu$ F Kondensator an die Basis. Klopfen wir jetzt an das Mikrophon, so hören wir am zweiten Ohrhörer im Kollektorkreis wie in Experiment 37 das verstärkte Geräusch.

Entfernen des 100 k $\Omega$  Widerstandes oder die direkte Ankoppelung des Mikrophons an die Basis führen dazu, dass sich der Arbeitspunkt des Transistors zum vollständigen Sperren hin verschiebt und wir nichts mehr hören.







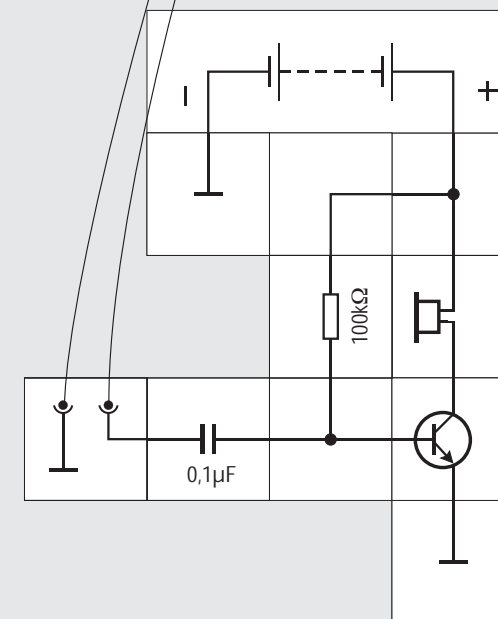
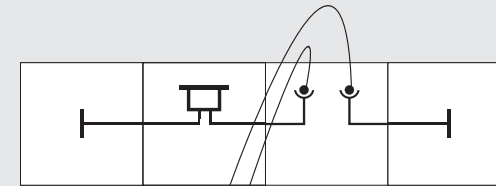
## Experiment 40

### Mikrofonübertragung

Wir können jetzt aus einem anderen Raum unter Zwischenschaltung der zweipoligen Leitung Geräusche übertragen. Dazu bauen wir den einen Ohrhörer (Mikrofon) mit dem Trennbaustein auf die Zusatzplatte und verbinden ihn mit dem Anschlussbaustein auf der Hauptplatte, die auch den restlichen Verstärker trägt.

Natürlich ist auch der Verstärker mit dem pnp Transistor geeignet.

Das Mikrofon setzt die aufgenommenen Schallwellen in ein schwaches elektrisches Signal um. Wir leiten es über die zweipolige Leitung auf unseren Verstärker, der den zweiten Hörer ansteuert. Hier wird das elektrische Signal wieder in Schallwellen umgesetzt, die von einer zweiten Person wahrgenommen werden können.



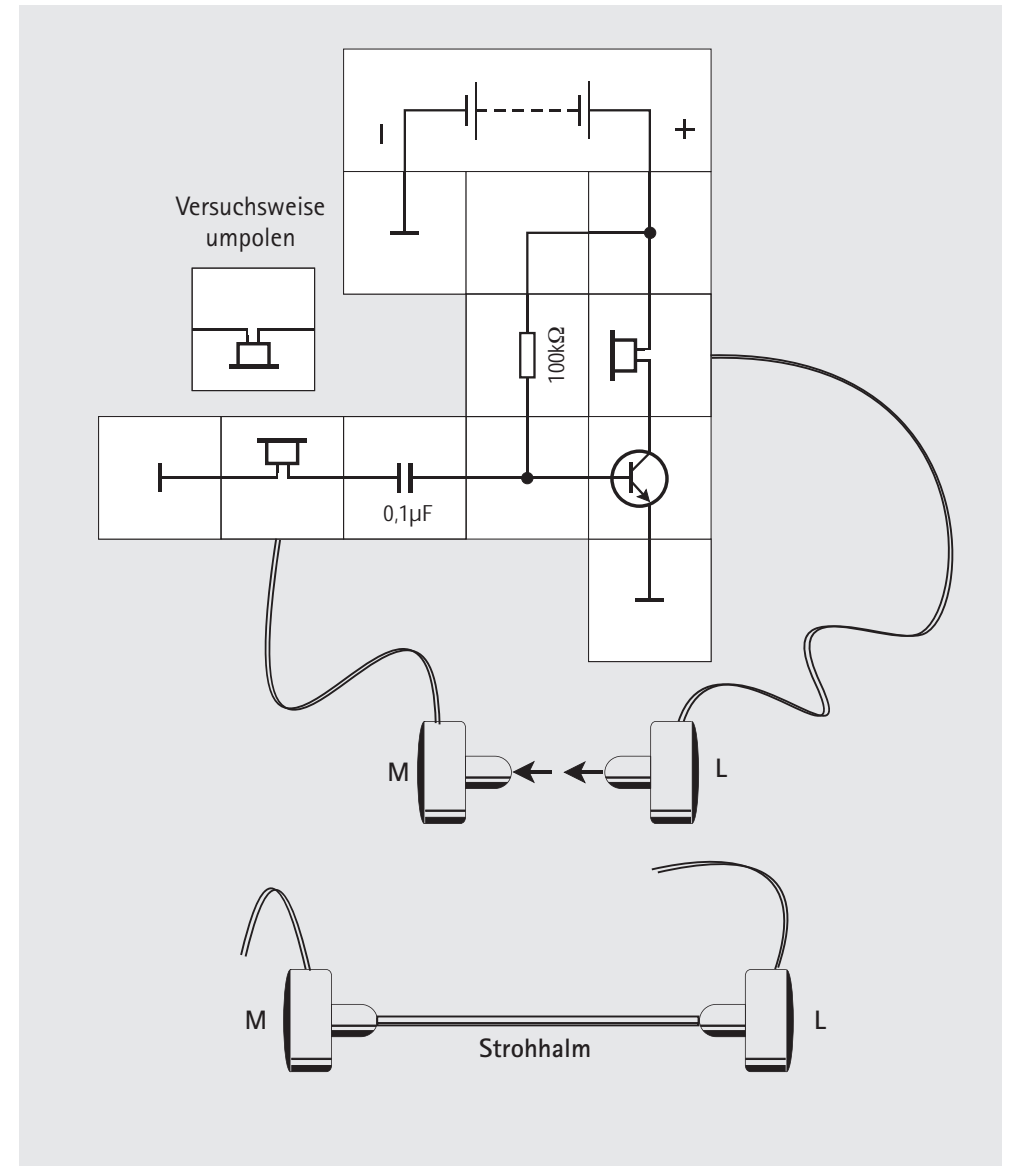
## Experiment 41

## Akustische Rückkopplung

Von Veranstaltungen, bei denen mit Verstärkern gearbeitet wird, ist uns wahrscheinlich allen die Erscheinung bekannt, dass aus den Lautsprechern statt einer Rede oder eines Musikstücks ein schrilles Pfeifen ertönt. Es liegt dann eine **AKUSTISCHE RÜCKKOPPLUNG** vor, die dadurch entsteht, dass das Mikrophon dem Lautsprecher zu nahe gekommen ist.

Wir können den Effekt mit unserem Mikrophonverstärker ebenfalls hervorruufen: Halten wir Mikrophon und Lautsprecher mit den Öffnungen gegeneinander, so ertönt das Rückkopplungspfeifen.

Ein leiser Ton wird vom Lautsprecher abgestrahlt, vom Mikrophon aufgenommen, vom Transistor verstärkt, vom Lautsprecher abgegeben, vom Mikrophon wiederum aufgenommen, vom Transistor verstärkt, vom Lautsprecher abgegeben, ... So wiederholt sich der Vorgang, und schaukelt sich weiter auf, bis durch Begrenzungen im Verstärker eine weitere Steigerung nicht mehr möglich ist. Weil Schallwellen die Brücke zwischen Mikrophon und Lautsprecher bilden, heißt die Erscheinung **akustische Rückkopplung**. Hält man zwischen die akustisch gekoppelten Ohrhörer ein Stück Papier, so setzt der Pfeifton aus; Papier hemmt den Schall. Will man eine akustische Kopplung über eine größere Entfernung erreichen, muss man zwischen die Höreröffnungen einen Strohhalm halten.

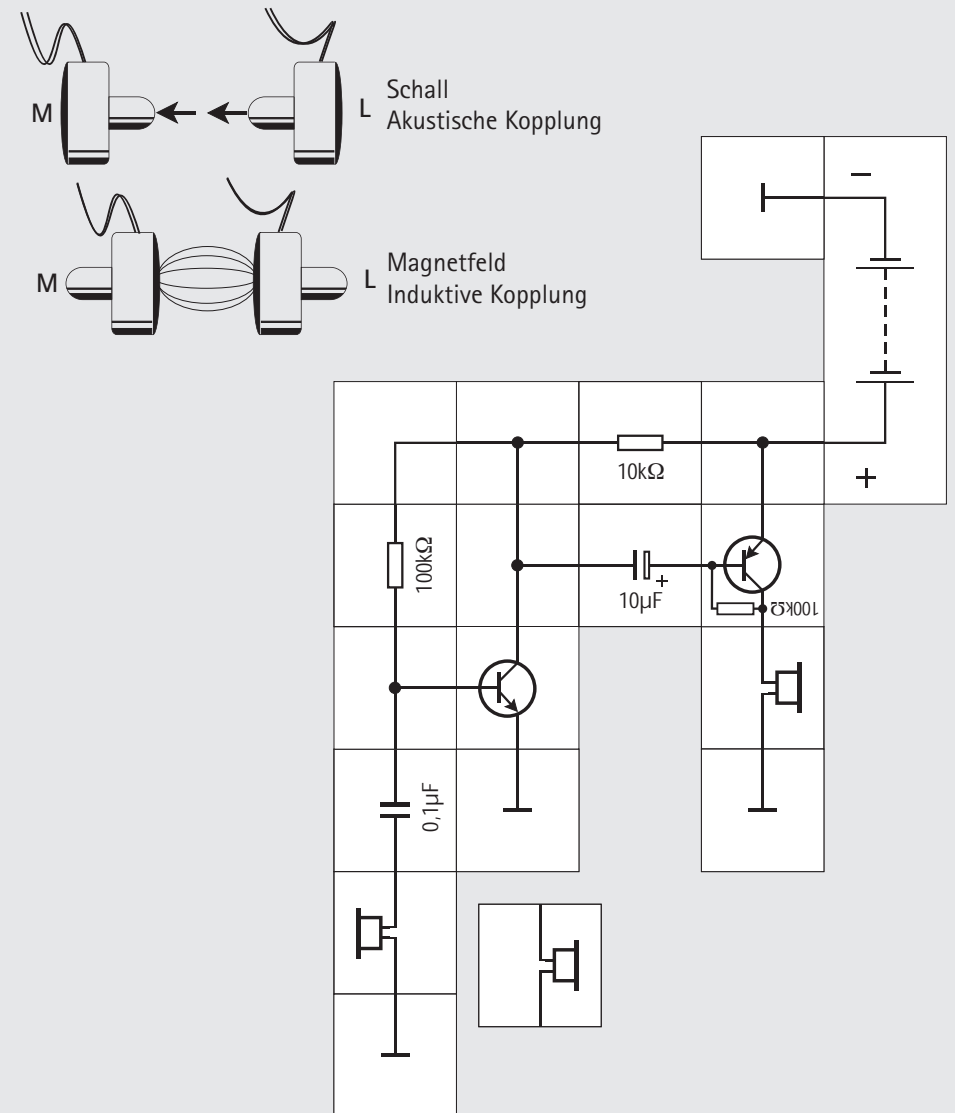


## Experiment 42

## Induktive Rückkopplung

Wenn wir unserem Mikrophonverstärker um eine weitere Transistorstufe ergänzen, erzielen wir eine noch weitaus höhere Verstärkung und wir werden Schwierigkeiten bekommen, dass er nicht sofort ein Rückkopplungspfeifen abgibt. Um es vorübergehend abzustellen, halten wir die Öffnungen der Hörer zu und lassen möglichst lange Teile der Verbindungskabel auf der Aufbauplatte liegen. Die akustische Kopplung ist jetzt über erheblich längere Luftentfernungen als beim vorherigen Experiment möglich.

Halten wir beide Ohrhörer mit dem Rücken gegeneinander und gleichzeitig ihre Öffnungen zu, so ertönt ebenfalls ein Rückkopplungspfeifen. Die Brücke zwischen Mikrophon und Lautsprecher wird diesmal durch ein Magnetfeld hergestellt, das sich zwischen den Spulen der Ohrhörer aufbaut. Die Kopplung durch ein Magnetfeld nennt man **INDUKTIVE RÜCKKOPPLUNG**. Sollte sie nicht einsetzen, muss versuchsweise ein Hörer umgepolt werden, da es auf die Phasenlage des Feldes ankommt. Diese Art der Kopplung kann nicht durch Papier unterbunden werden. Halten wir dagegen zwischen die induktiv gekoppelten Ohrhörer die eisenhaltige Zusatzplatte, so setzt das Pfeifen aus oder wird schwächer, weil Eisen Magnetfelder beeinflusst.



## Experiment 43

## Kapazitive Rückkopplung

Bei der akustischen Rückkopplung war es von Bedeutung, dass der Mikrofonhörer richtig gepolt war; bei der induktiven Rückkopplung ebenfalls. Das können wir an dieser Schaltung nochmals untersuchen, indem wir den Mikrofonhörer umdrehen.

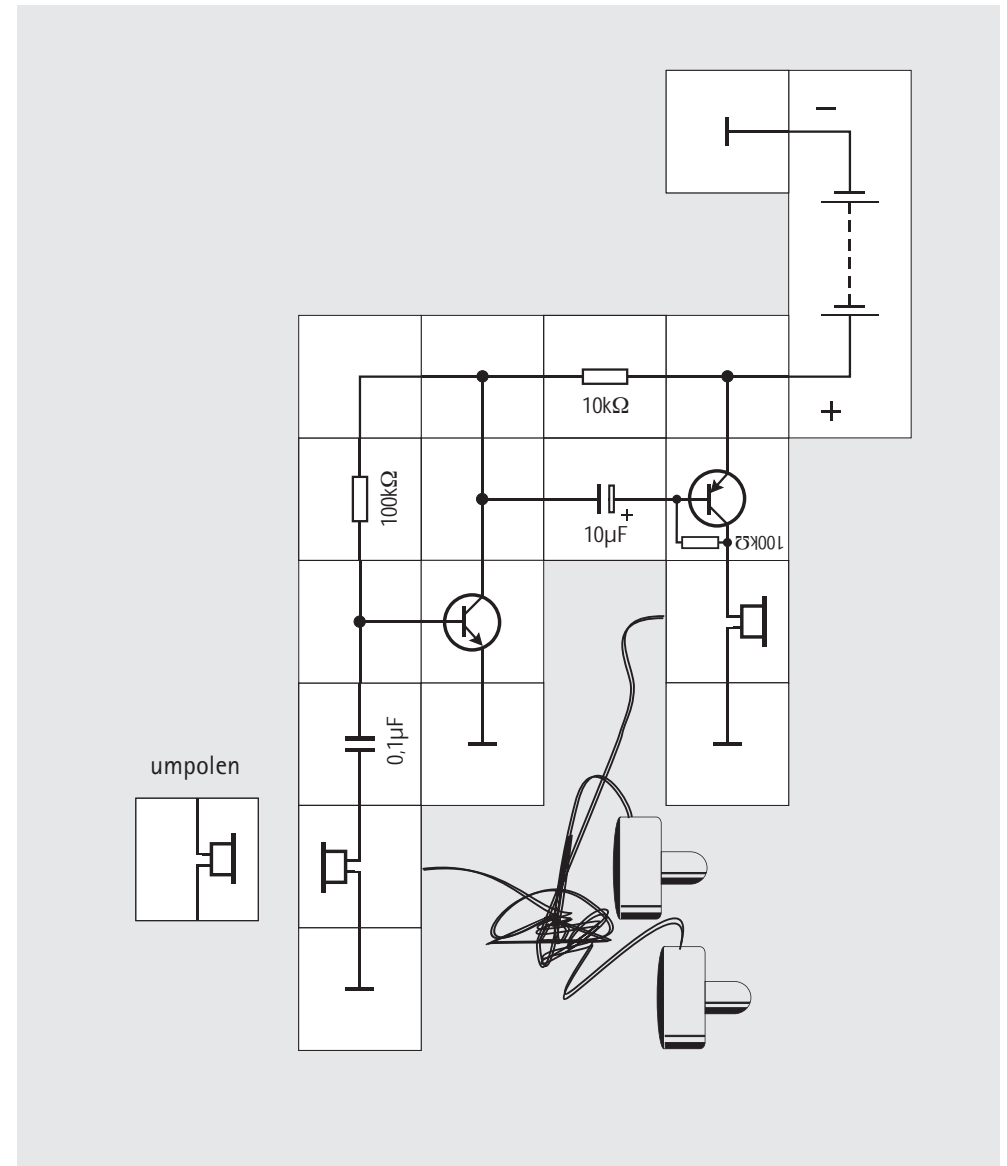
Verknäulen wir aber die Schnüre von Mikrofon und Lautsprecher und drücken das Schnurknäuel fest mit der Hand zusammen, so ertönt wiederum ein Pfeifton.

Dieser Pfeifton ist unabhängig davon, welche Lage die Hörer zueinander haben oder wie sie gepolt sind. Als Brücke zwischen Mikrofon und Lautsprecher tritt

jetzt ein elektrisches Feld auf, die Schnüre stellen verkümmerte Kondensatorplatten dar.

Zur Kontrolle können wir die Schnüre auch um den Finger wickeln; entweder eine links herum, die andere rechts herum, oder beide gleichsinnig. Die kapazitive Rückkopplung ist vom Windungssinn der Schnüre unabhängig.

Wichtig ist nur, dass der Abstand der Schnüre, der »Kondensatorplatte«n also, hinreichend klein ist. Diese kapazitive Kopplung trat wahrscheinlich bereits im vorherigen Versuch auf und wurde durch die Maßnahme, längere Teile der Verbindungskabel dicht auf der Aufbauplatte liegen zu lassen, unterbunden. Die Kapazität der einzelnen Kabel zur Masse ist dann weitaus größer als untereinander und die Kopplung vom Lautsprecher zum Mikrofon dadurch viel geringer.

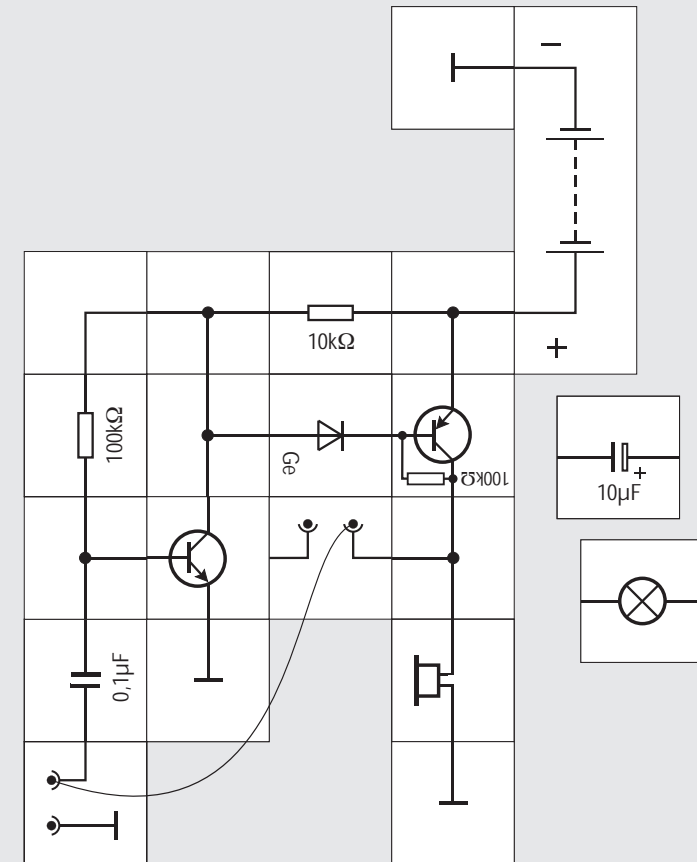


## Experiment 44

## Ein Rückkopplungsgenerator

Wenngleich man manchmal umfangreiche Vorkehrungen in Schaltungen treffen muss, um unerwünschte kapazitive Kopplungen in elektronischen Schaltungen unwirksam zu machen, so gibt es auch Anwendungsfälle, in denen sie erwünscht sind. Unser Experiment zeigt eine solche Schaltung, die einen Pfeifton erzeugen soll, nämlich einen Rückkopplungsgenerator.

Wir verwenden dazu den aufgebauten zweistufigen Verstärker und koppeln mit dem  $0,1\mu\text{F}$  Kondensator vom Kollektor des zweiten Transistors auf die Basis des ersten. Die (kapazitive) Kopplung des ersten Transistors an den zweiten geschieht mit der Germaniumdiode; in Sperrrichtung betrieben ist sie ein Kondensator kleiner Kapazität. Versuchsweise können wir die Stufen auch direkt über die Glühlampe oder aber den  $10\mu\text{F}$  Kondensator koppeln, wobei bei letzterem die Polarität beachtet werden muss. Wir erhalten dann keinen Pfeifton mehr, sondern Töne sehr viel tieferer Frequenz, die mehr einem Brummen bis Knurren gleichen.





## Experiment 45

### Ein Morsegenerator

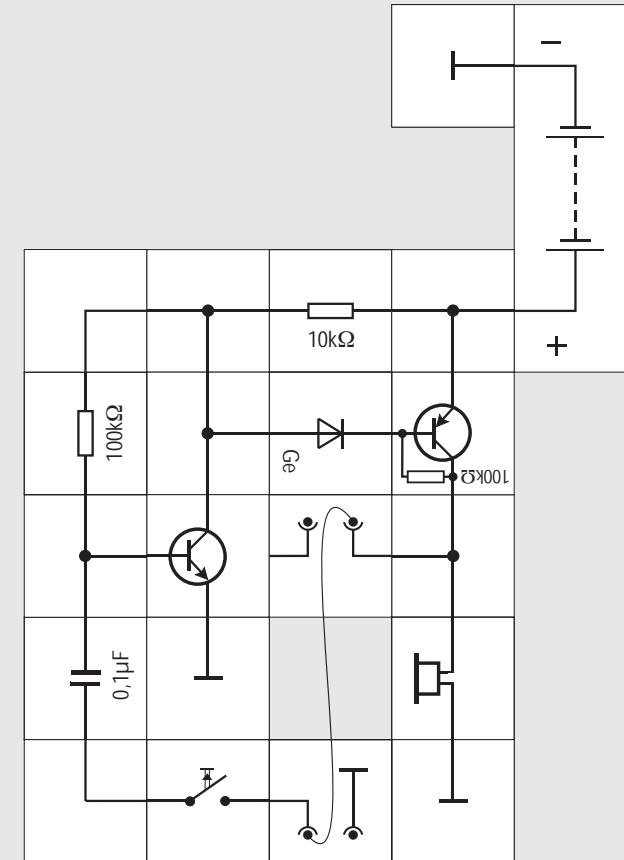
Eine elegante Nutzenanwendung unseres Schaltungsaufbaues finden wir nach einer kleinen Abänderung. Wir setzen in Reihe zu dem Kondensator den Schalterbaustein und können so die Rückkopplung unterbrechen und damit den Pfeifton abstellen. Seine Tonhöhe beträgt circa 1000 Hz und wird für die Tontelegraphie bevorzugt, da unser Gehör für diese Tonhöhe am empfindlichsten ist. Wir haben uns einen Tongeber aufgebaut, mit dem wir das Morsen zu üben können.

Eigentlich stimmt das Wort Ton - Telegraphie heute nicht mehr. Der Erfinder Samuel Morse, schuf ein Alphabet, das aus Punkten, Strichen und Pausen besteht. Diese Zeichen wurden getastet und über Draht an einen Telegraphen (Fernschreiber) gegeben, der sie auf einen fortlaufenden Papierstreifen in Form von kurzen und langen Strichen aufzeichnete. Erst später, durch die Entwicklung der Funktechnik, wurde das Morsen in der Form der Ton - Telegraphie angewandt und behielt seinen Namen, obwohl diese Morsezeichen heute nicht mehr unmittelbar geschrieben, sondern vom Funker als Tonsignale gehört wer-

den. Durch kurzzeitiges oder länger anhaltendes Drücken der Taste gibt unser Morsegenerator kurze oder länger dauernde Töne. Da wir einen sehr kurzen Ton subjektiv höher empfinden als einen länger dauernden, trennen wir die Impulse scheinbar als in der Tonhöhe schwankend. Di da di da di da di da: so klingen die Signale als Melodie. Ein geübter Funker hört bis zu 90 Signale in der Minute.

#### Morsezeichen

A	.-.-	R	...-
Ä	..-.-	S	...-
B	....	T	-
C	..-.-	U	...-
CH	--- --	Ü	...- -
D	-...-	V	...- -
E	..	W	-...-
F	..-.-	X	...- -
G	...-	Y	-...-
H	....	Z	...- -
I	..	1	..- - - -
J	..- - -	2	...- - -
K	-...-	3	....- -
L	..-...-	4	....- -
M	- -	5	....
N	-..	6	-....
O	---	7	-...-
Ö	..-...-	8	-...-
P	..-...-	9	-...-
Q	..-...-	0	-...-



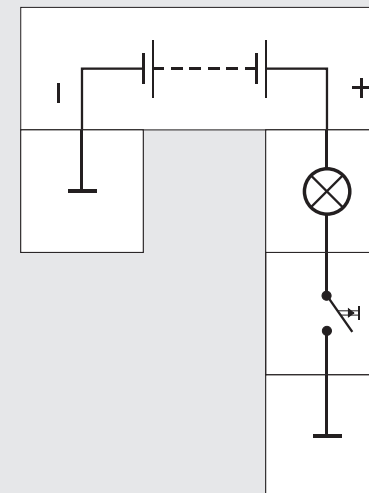
## Experiment 46

### Ein Morse – Blinker

Wie wir das Morsealphabet in Form von Tonimpulsen wiedergegeben haben, so können wir es auch in Form von Lichtsignalen senden. Dies ist, vor allem in der Seefahrt, eine Möglichkeit der drahtlosen Nachrichtenübermittlung. Dadurch können in Sichtweite auf eine sehr unkomplizierte Weise Nachrichten übermittelt werden. Unser einfacher Experimentaufbau zeigt das Prinzip dieser wohl ältesten Art der drahtlosen Nachrichtenübermittlung. Durch Betätigung der Taste werden kurz- und langzeitige

Lichtimpulse gegeben. Der »Beobachter« setzt die Lichtsignale in unsere Sprache um. Wie wichtig die Morsetelegraphie auch heute trotz modernster Kommunikationsmittel noch ist, beweist der allgemein bekannte und von allen verstandene Notruf: dreimal kurz, dreimal lang, dreimal kurz: Di di di – da da da – di di di, SOS (nach dem englischen *Save our souls*, d. h. Rettet unsere Seelen).

Wenn wir also morsen können, dazu einen Partner haben, der es auch kann, so ist es leicht möglich, sich mit einer kurzzeitig schaltbaren Taschenlampe (mit Blinkschalter) auf Sichtentfernung zu verständigen.





## Experiment 47

### Morsen mit Gegenstation

Haben wir aber einen Partner, der dazu auch noch selbst einen Lectron - Baukasten wie wir besitzt, so können wir über Draht richtig gegenseitig Tontelegraphie betreiben.

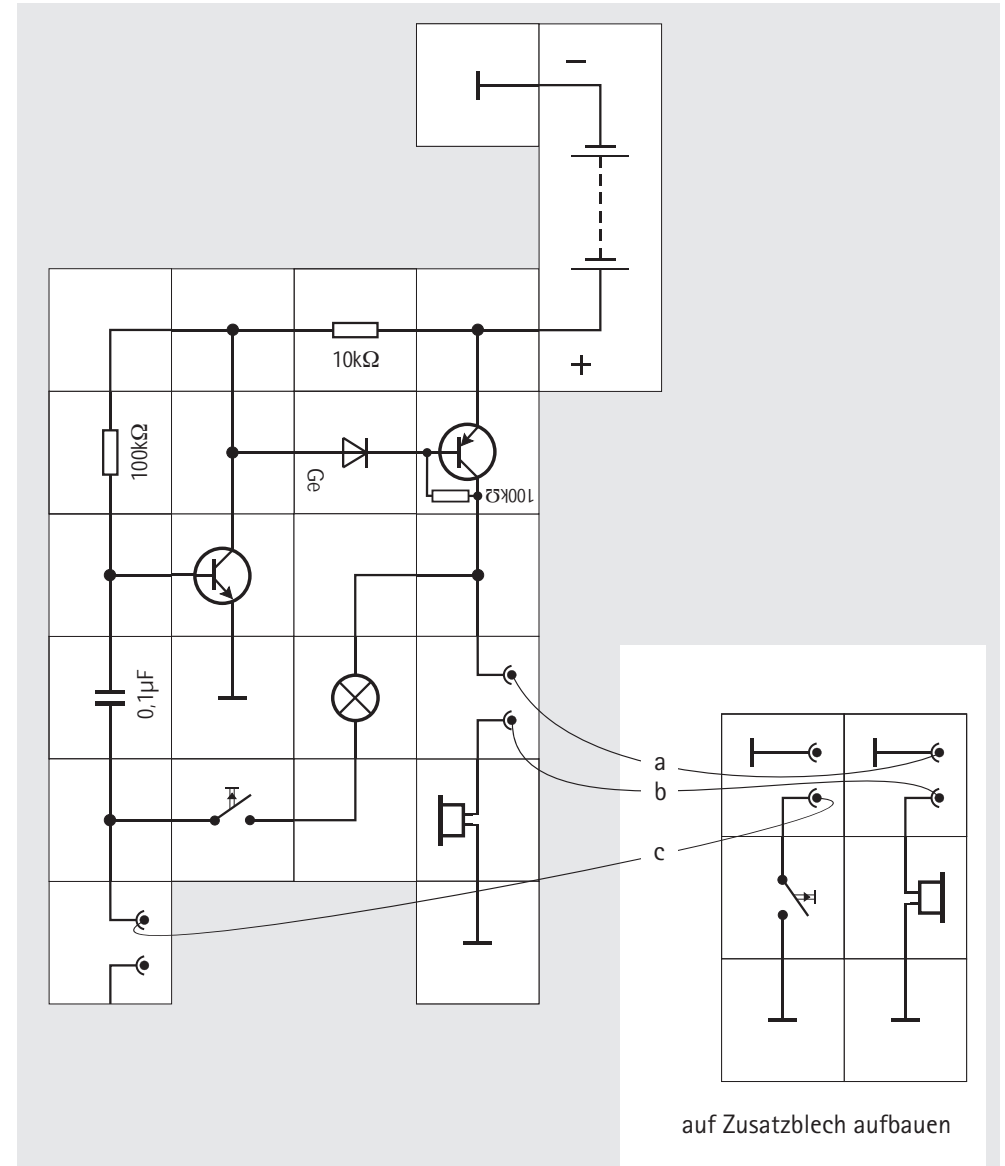
Die Schaltung zeigt, dass die zweite Taste über den Trennbaustein parallel zur eigenen Taste geschaltet ist. Der Glühlämpchenbaustein in dieser Schaltung dient nur als Verbindungsbaustein. Wir könnten ihn genauso durch direkte Verbindungen ersetzen.

Unter Verwendung des Zusatzbleches bauen wir unsere Gegenstation auf.

Durch unsere Leitungen sind Ohrhörer und Taste mit der Hauptstation verbunden. Unser Partner tastet den Morsegenerator genauso, als würden wir selbst die Taste drücken.

Die Anwendung der Betriebszeichen - kommen, verstanden, Ende usw. - lässt sich rasch begreifen, da ja über unsere Leitungen jeweils nur ein Signal, entweder von der einen Station zur anderen oder umgekehrt, gegeben werden kann.

kommen	---
verstanden	...--
warten	..-..
Spruch - Ende	...---
Verkehrs - Ende	...--
Empfangsbestätigung	...-
Irrung	.....



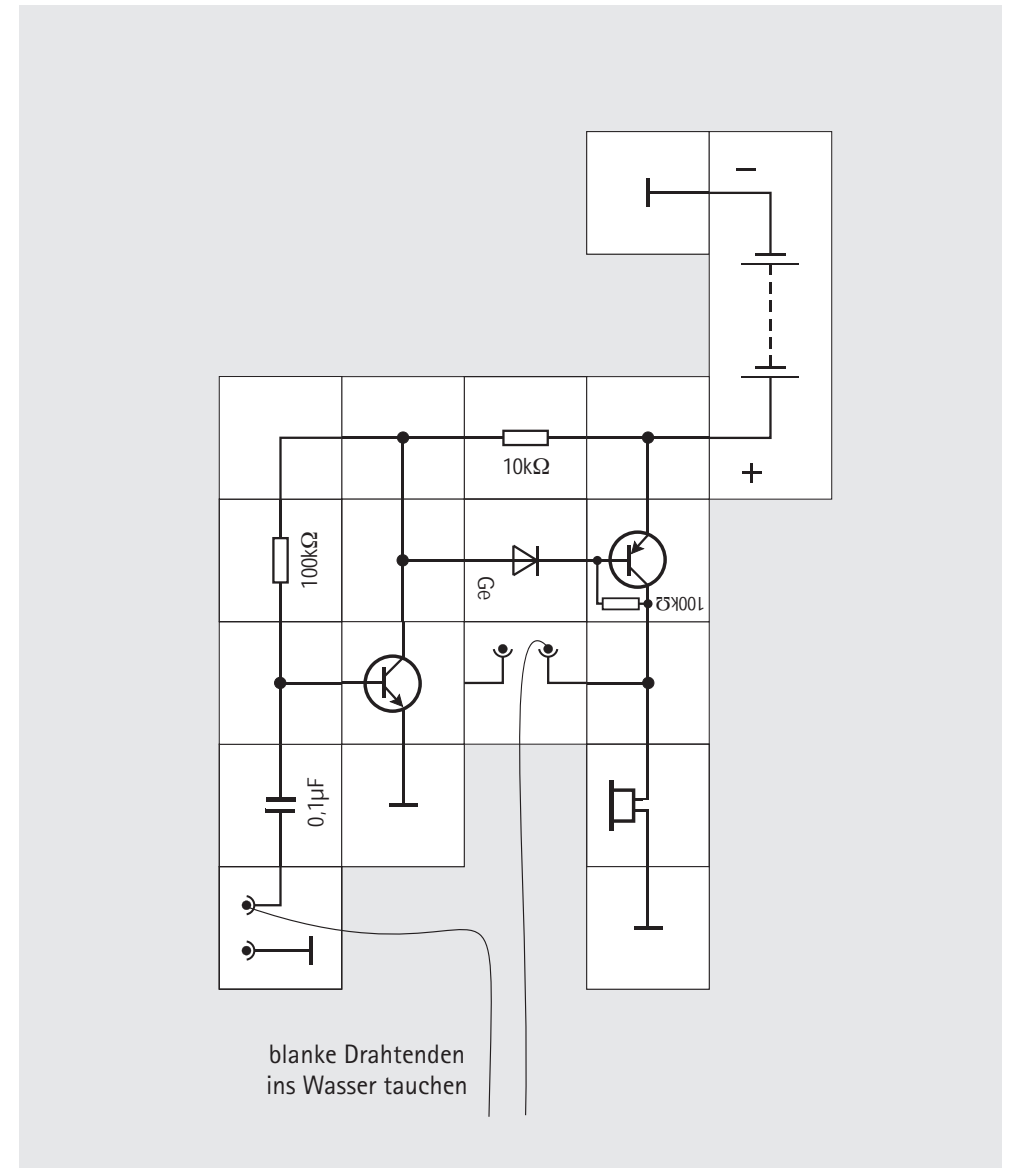


## Experiment 48

## Füllstandsanzeige

Die Schaltung aus den Experimenten 44 und 45 lässt sich auch gut zur Füllstandsüberwachung von leitenden Flüssigkeiten verwenden. Statt des Schalterbausteins verwenden wir den Trennbau-

stein, füllen ein kleines Glas mit Wasser und hängen die beiden abisolierten Drähte als Elektroden in die Flüssigkeit; sie dürfen sich nicht berühren. Unser Tongenerator gibt so lange den Pfeifton ab, wie das Wasser die erforderliche leitende Verbindung herstellt; er verstummt augenblicklich, wenn wir die Drahtenden aus dem Wasser ziehen.



## Experiment 49

## Prinzip der Tonbandwiedergabe

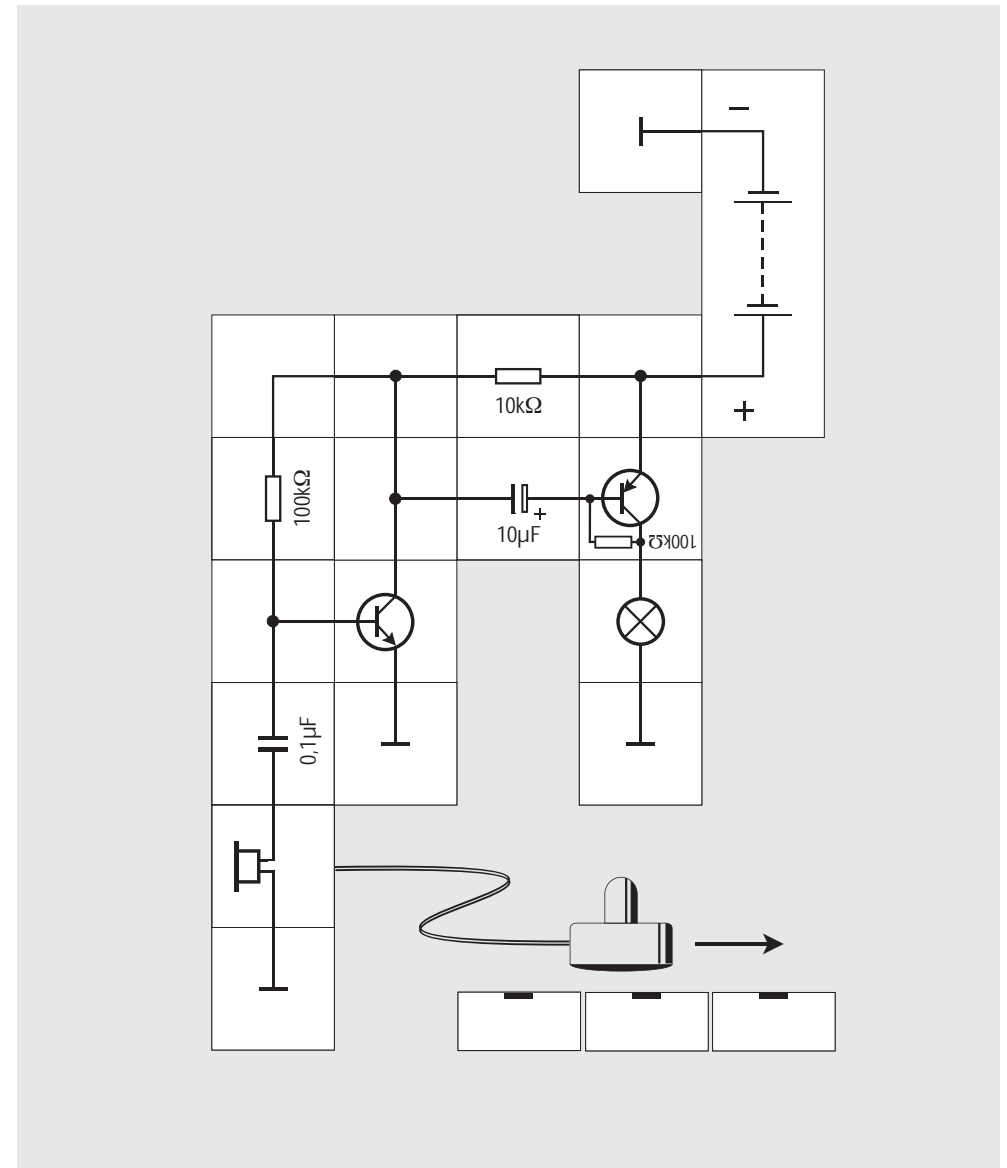
Wir bauen unseren Verstärker aus zwei Transistoren wieder auf und ersetzen den «Lautsprecher» durch die Glühlampe.

Im Experiment 42 (induktive Kopplung der Ohrhörer) haben wir gesehen, dass die Spule im Ohrhörer auf wechselnde Magnetfelder reagiert. Genauso arbeitet der Wiedergabe - Tonkopf eines Tonbandgerätes. Legen wir nämlich mehrere Bausteine, etwa die Diode und die beiden Steckbausteine, mit dem Schaltbild nach unten auf den Tisch und führen den

Ohrhörer mit dem Rücken nach unten sehr schnell über die Bodenmagnete der Bausteinkette, so flackert die Glühlampe.

Die Magnetkette ist das Modell eines Stückchens Tonband. Auch auf dem Tonband finden wir Stellen stärkerer und Stellen schwächerer Magnetisierung. Im Tonkopf werden die Schwankungen des Magnetfeldes zu Stromschwankungen umgewandelt. In unserem Versuch erkennen wir den schwankenden Strom am Flackern des Lampenlichtes.

Wer die Stromschwankungen hören will, muss die Glühlampe gegen den zweiten Ohrhörer austauschen.





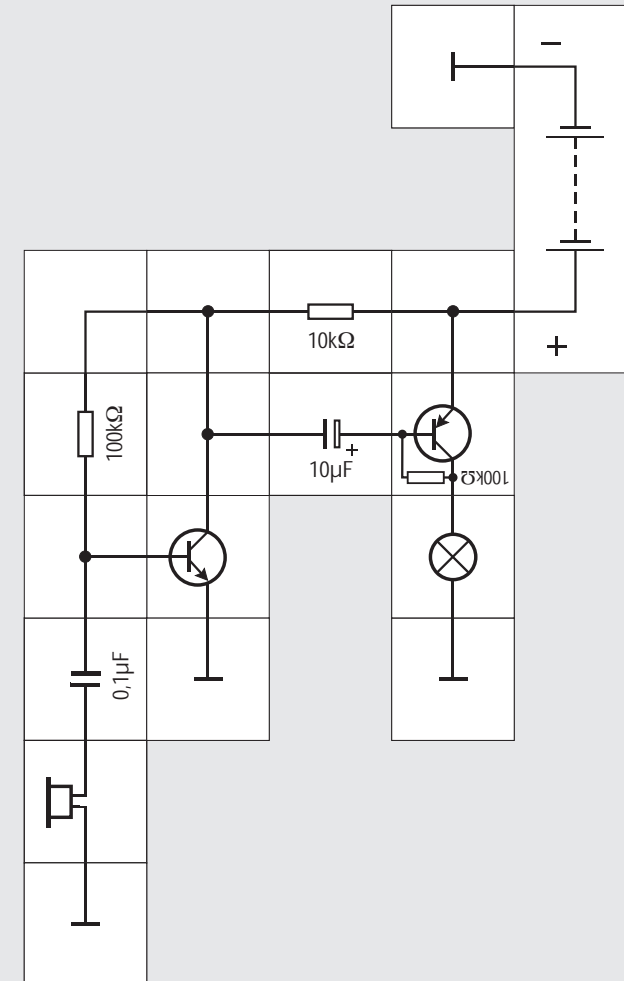
## Experiment 50

### Ein Lichtsender

Die gleiche Schaltung können wir auch zum Umwandeln von Luftdruckänderungen, also Luftstößen, in Lichtsignale verwenden. Durch kräftiges Anpusten oder Anpfeifen der Ohrhöreröffnung entsteht ein Strom schwankender Stärke, ein Wechselstrom, der über den Ankopplungskondensator die Basis des lin-

ken Transistors ansteuert. Nach zweimaliger Verstärkung schwankt die Helligkeit der Glühlampe im Takt der Luftstöße.

Auf diese Art kann man ein Telefongespräch in Lichtschwankungen umwandeln und so auf einem Lichtstrahl telefonieren. Die Gegenstelle braucht dann einen Photowiderstand, eine lichtempfindliche Zelle, welche aus den Lichtschwankungen wieder den Telefontext hörbar macht.





## Experiment 51

### Wechselsprechanlage

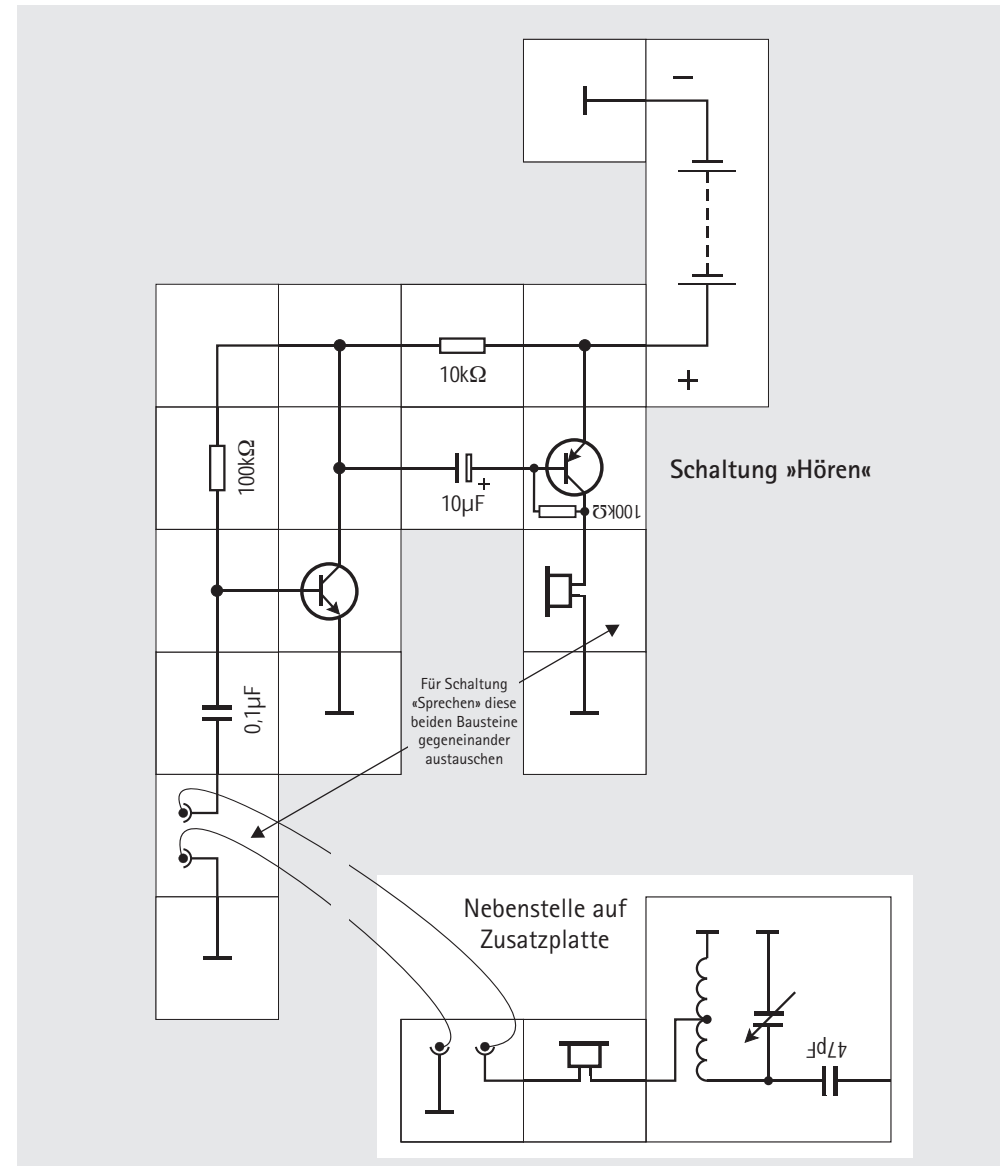
Bereits in Experiment 47 bauten wir eine Morsestation mit Gegenstelle. Dabei war aber unschön, dass man einen zweiten Experimentierkasten benötigte.

Nun soll eine richtige Wechselsprechanlage aufgebaut werden, mit der man also hin und zurücktelefonieren kann.

Wir bauen auf der großen Aufbauplatte den zweistufigen Transistorverstärker auf. Am Eingang des Verstärkers liegt der Trennbaustein, von dessen Buchsen zwei Verbindungsschnüre zur Gegenstelle führen.

Die Gegenstelle wird auf der Zusatzplatte aufgebaut. Sie enthält nur einen Ohrhörer, der abwechselnd als Mikrofon und als Lautsprecher arbeitet. Die eigentliche Funktion des Abstimmbausteins wird nicht benötigt. Der Baustein ersetzt lediglich einen sonst fehlenden Massebaustein.

Bei der Schaltung »Hören« kann die Hauptstelle hören und die Gegenstelle sprechen. Will der Benutzer der Hauptstelle sprechen, so muss er schnell den Trennbaustein mit den zur Gegenstelle führenden Schnüren mit dem Ohrhörerbaustein vertauschen. Nun kann er sprechen, und der Benutzer der Nebenstelle kann hören.



## Experiment 52

## Spule im Gleichstromkreis

Erinnern wir uns an die ersten Experimente. Welche der wichtigsten Funktionen elektrischer Schaltung kennen wir bereits?

- den elektrischen Leiter
- den Nichtleiter
- den Halbleiter (Diode)
- den steuerbaren Halbleiter (Transistor)
- den Widerstand als mehr oder weniger guten Leiter
- den Kondensator als Übertrager von Wechselspannung und Nichtleiter für Gleichspannung

Nun finden wir unter unseren Bausteinen noch den im letzten Experiment benutzten Abstimmbaustein.

Wir legen gegen den Batterieanschluss das Lämpchen und daran den Abstimmbaustein. Das Lämpchen leuchtet auf. Der Gleichstrom fließt durch die in den Baustein eingebaute Spule. Der in diesem Baustein weiterhin eingebaute Kondensator ist in seiner Größe (Kapazität) veränderlich. Wir können aber ruhig daran drehen, am Gleichstromfluss ändert sich nichts. Das Lämpchen leuchtet immer gleich hell. Dies ist nicht verwun-

derlich, da ja, wie wir wissen, ein Kondensator keinen Gleichstromfluss ermöglicht.

Im Gegensatz zur Gleichspannung, wo wir als Maß nur die Höhe der Spannung kennen (so z. B. die Spannung der Batterie 9 V) und die Kennzeichnung der Pole Plus und Minus, finden wir bei der Wechselspannung noch die Nennung des Richtungswechsels pro Sekunde als Frequenz in Hertz (Hz) ausgedrückt (z. B. 220 V / 50 Hz die Wechselspannung unseres Stromnetzes).

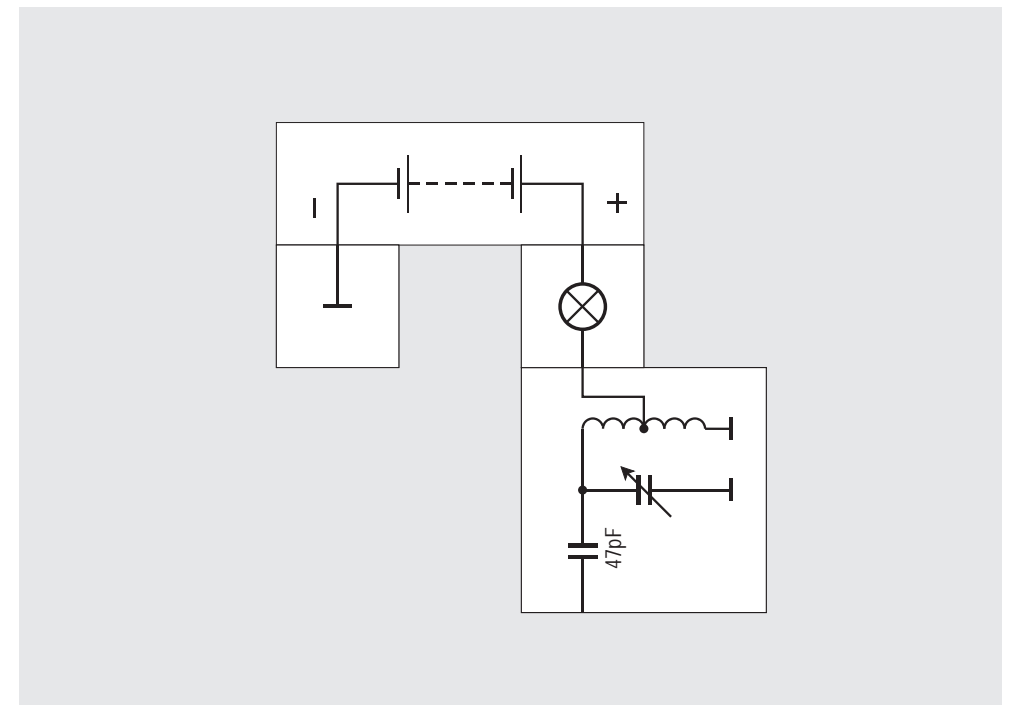
Beim Kondensator ist es nun so, dass er umso besser den Wechselstrom durchlässt, je größer seine Kapazität und je höher die Frequenz des Wechselstroms ist. Bei der Spule ist es umgekehrt, ohne dass wir es im Experiment zeigen können: Sie lässt Gleichstrom sehr gut durch, ihr Widerstand wächst, wenn die Frequenz des Stromes steigt. Für sehr hochfrequente Ströme ist sie nahezu unpassierbar.

Schaltet man eine Spule und einen Kondensator parallel, so lässt diese Anordnung Gleichstrom ohne merklichen Widerstand passieren (die Spule leitet); das Gleiche gilt für Wechselstrom sehr hoher Frequenz (der Kondensator leitet).

Für eine ganz bestimmte Frequenz zwischen diesen beiden Extremwerten ist der Widerstand dieser Anordnung, die man PARALLELSCHWINGKREIS nennt, sehr hoch. Er schwingt dann in RESONANZ mit der RESONANZFREQUENZ. Ihr Wert hängt von den Spuleneigenschaften und der Kapazität des Kondensators ab. Ändert man die Kapazität, so ändert sich auch die Resonanzfrequenz. Neben dem Parallelschwingkreis gibt es den SERIENSCHWINGKREIS; bei ihm liegen Kondensa-

tor und Spule in Reihe. Er ist undurchlässig für Gleichstrom und sehr hohe Frequenzen. Sehr gut lässt er dagegen Ströme mit der Resonanzfrequenz passieren, sein Widerstand wird sehr klein.

Die beschriebenen Eigenschaften des Abstimmbausteins werden wir in den nächsten Experimenten nutzen, um bestimmte Frequenzen, nämlich die Resonanzfrequenzen, aus einem Frequenzgemisch auszusuchen, zu selektieren.



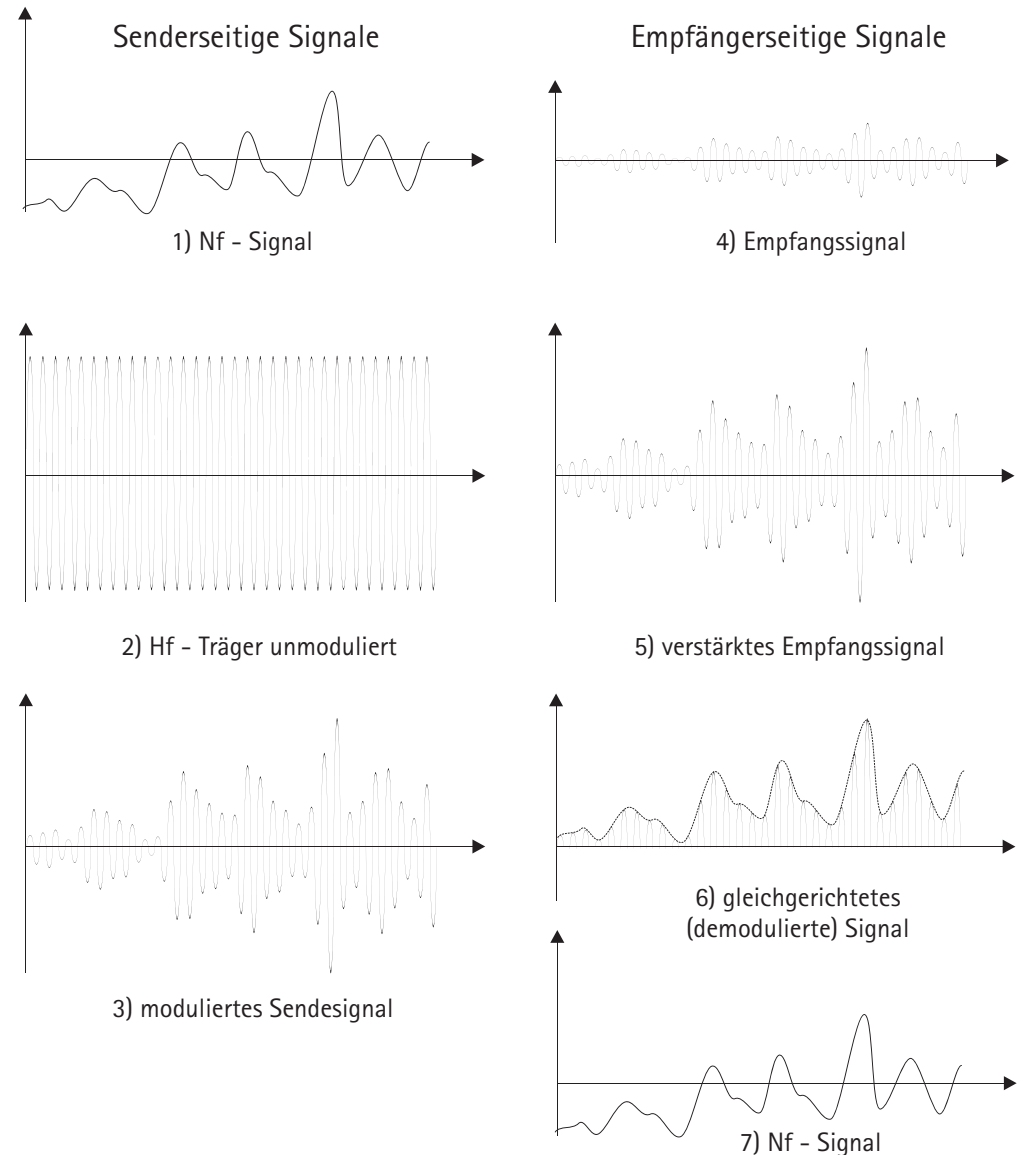
## Schwingungen und Modulation

In Experiment 37 bauten wir einen Mikrofonverstärker auf, mit dessen Hilfe wir in der Lage waren, akustische Schwingungen (Schall, Sprache, Musik) in elektrische Signale umzusetzen und zu verstärken. Diese Signale (1) haben Frequenzen im sogenannten Tonfrequenzbereich, erstreckt sich von 20 Hz bis 20 kHz. Selbst bei äußerst starker Verstärkung würde eine Sendeantenne diese Frequenzen im Niederfrequenzbereich (Nf) kaum abstrahlen, ein drahtloser Rundfunkempfang wäre nicht möglich. Anders sieht es dagegen mit Frequenzen im Hochfrequenzbereich (Hf) aus. Wenn wir uns die Skala eines Rundfunkgerätes betrachten, werden wir beispielsweise für den »Mittelwellenbereich« Frequenzangaben von 550 kHz bis 1500 kHz entdecken (2). Dass wir diese Frequenzen als Ton nicht mehr wahrnehmen können, dürfte verständlich sein. Aber doch empfangen wir Sender auf einer dieser Frequenzen.

Man benutzt diesen Frequenzbereich, weil die Ausbreitungsbedingungen einer elektromagnetischen Welle mit solcher hoher Frequenz im freien Raum sehr

günstig sind und arbeitet dabei mit einem Trick: Die Hochfrequenz wird mit der Niederfrequenz MODULIERT, indem man deren AMPLITUDE (Höhe) im Takte der Niederfrequenz schwanken lässt (3). Wie das technisch gemacht wird, würde den Rahmen des Experimentierkastens sprengen und soll deswegen nicht beschrieben werden. In der Fachsprache ist die Hochfrequenz der TRÄGER, man spricht von einer TRÄGERFREQUENZ und einer AMPLITUDENMODULATION. Modulierte hochfrequente Schwingungen werden also von der Sendeantenne abgestrahlt, breiten sich durch den freien Raum aus und bringen so das modulierte Signal an unsere Empfangsantenne. Dieses im allgemeinen äußerst schwache Signal (4) ist in der Lage, winzige Spannungen in der Empfangsantenne zu erzeugen, die wir »weiter verarbeiten« müssen, um die aufmodulierte Niederfrequenz wieder zu gewinnen und in für uns hörbare akustische Schwingungen umzusetzen (5 bis 7).

In den Abbildungen sind die einzelnen Stationen der Signalverarbeitung gezeigt. Die Weiterverarbeitung im Empfänger wollen wir im nächsten Experiment durchführen.



## Experiment 53

## Detektor

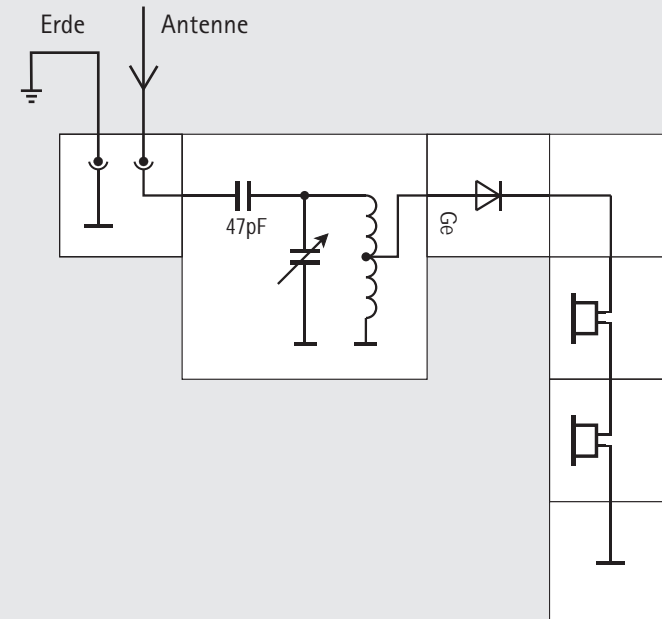
Wenn wir uns in einer einigermaßen günstigen Lage zu einem Mittelwellensender befinden, so haben wir zu jeder Tageszeit mit Hilfe einer Hochantenne (langer außerhalb des Gebäudes isoliert befestigter Draht) einen ausreichenden Empfang, es trifft noch genügend Energie vom Sender auf unsere Empfangsantenne und regt sie zum Mitschwingen an. Abends nach Sonnenuntergang ist der Empfang generell besser, da sich dann im Mittelwellenbereich die Ausbreitungsbedingungen verbessern.

Wir wollen zunächst - wie in der Frühzeit der Rundfunktechnik üblich - mit einem sogenannten DETEKTOR versuchen, *ohne* Batterie und damit *ohne* weitere Verstärkung (5) das Empfangssignal (4) zu demodulieren. Um aus dem Empfangssignal das aufmodulierte Nutzsignal zu erhalten, müssen wir die eine Hälfte «abschneiden», es also gleichrichten. Die Ohrhörermembran kann ohnehin nicht der Hochfrequenz folgen, aber auch nicht das sie umhüllende Nutzsignal wiedergeben, da es stets sowohl im positiven wie im negativen Spannungsbereich vorkommt und das resultierende Signal stets gleich Null ist. Das Gleichrichten geschieht mit der Germanium-

diode. In der Pionierzeit des Rundfunks wurde ein Bleiglanzkrystall (Bleisulfid), auf dem mit einer Drahtspitze zunächst eine zum Gleichrichten geeignete Stelle detektiert (gefunden) werden musste, verwendet; daher stammt auch der Name für diese einfache Empfangseinrichtung.

Wir bauen unsere Schaltung auf und schließen die Antenne an. Von ihr gelangen Wechselspannungen verschieden hoher (Träger-) Frequenzen an den Abstimmbaustein. Drehen wir am Abstimmkondensator, so finden wir eine Stellung in diesem »Eingangskreis«, in der wir einen bestimmten Sender am lautstärksten empfangen. Der Eingangskreis liegt in Resonanz zur Frequenz des gerade eingestellten Senders. Alle anderen Senderfrequenzen werden unterdrückt. Die ankommende hochfrequente Wechselspannung des eingestellten Senders wird von der Diode gleichgerichtet und die Ohrhörermembran bewegt sich im Takte der Umhüllenden, die ja das Nutzsignal ist: Wir hören die vom Sender ausgestrahlte Sprache oder Musik.

Versuchsweise können wir zur Empfangsverbesserung auch noch »Erde« anschließen, und zwar verbinden wir dazu die Aufbauplatte (Masse) mit der Wasserleitung oder der Heizung.



## Experiment 54

## Rundfunkempfänger

An unsere Detektorschaltung können wir nun unseren bekannten zweistufigen Transistorverstärker anschließen. Der Vergleich der beiden Ohrhörersignale zeigt uns den deutlichen Unterschied zwischen unverstärkten und verstärkten Eingangssignal. Nach diesem Vergleich sollte der linke Hörer entfernt und parallel zum rechten geschaltet werden. Auch kann man wieder ausprobieren, ob die Empfangsverhältnisse sich verbessern, wenn man die Erde anschließt. In den Abendstunden werden wir durch vorsichtiges Drehen am Abstimmkondensator die verschiedensten Sender empfangen können. Versuchsweise kann bei starken Sendern auch die Germaniumdiode entfernt werden, dann übernimmt die Basis-Emitter-Diode der ersten Transistors die Gleichrichtung des vom Abstimmkreis gelieferten Signals.

Entfernen wir schließlich den Abstimmbaustein und schließen die Antenne direkt an die Germaniumdiode oder den Kondensator, so hören wir nur ein Durcheinander von Geräuschen: Der Empfänger ist nicht abgestimmt.

Mit dem Aufbau des Rundfunkempfängers sind wir am Ende unsere Versuche angekommen. Wer dieses interessante Gebiet vertiefen möchte, dem sei das LECTRON Elektronik »Start- und Aufbau-system« mit über 90 Versuchen empfohlen.

